

VERWURZELT

ROOTED

AM HOLZWEG IN BAD VÖSLAU - ALGORITHMISCHE HOLZSTRUKTUR
OFF THE TRACK IN BAD VÖSLAU - ALGORITHMIC WOOD STRUCTURE



ZUERST MÖCHTE ICH MICH BEI ALLEN BEDANKEN, DIE MICH AUF MEINEM LANGEN WEG DURCH DAS ARCHITEKTURSTUDIUM AUF DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT WIEN BEGLEITET, GESTÄRKT, BERATEN, INSPIRIERT UND ANFORDERND HABEN. BESONDERER DANK GLT ISABELLA, DIE MIR STETS DEN RÜCKEN FREIHÄLT, MICH IN MEINEM SCHAFFEN BESTÄRKT UND MIR STETS EINE ANDERE BETRACHTUNGSWEISE AUFEIGT. DANKE MANFRED, DASS DU MIR DIE MÖGLICHKEIT GEBOTEN HAST, MEINE DIPLOMARBEIT MIT EINER DERARTIGEN FREIHEIT UMZUSETZEN, WIE ICH ES MIR BESSER NICHT VORSTELLEN KANN.



MASTER-/DIPLOMARBEIT

VERWURZELT

ROOTED

AM HOLZWEG IN BAD VÖSLAU

ALGORITHMISCHE HOLZSTRUKTUR

OFF THE TRACK IN BAD VÖSLAU

ALGORITHMIC WOOD STRUCTURE

AUSGEFÜHRT ZUM ZWECKE DER ERLANGUNG
DES AKADEMISCHEN GRADES EINES
DIPLOM-INGENIEURS UNTER DER LEITUNG VON

MANFRED BERTHOLD

PROF ARCH DI DR

MITBETREUUNG

KARL DEIX

ASS.PROF. DIPL.-ING. DR. TECHN.

E253 - INSTITUT FÜR ARCHITEKTUR UND ENTWERFEN

INGEREICHT AN DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT WIEN

FAKULTÄT FÜR ARCHITEKTUR UND RAUMPLANUNG

WENDELIN HARTMANN

MATR. NR. 00727267

WIEN, AM

DATUM

UNTERSCHRIFT

ABSTRACT

THE PLANKS THAT MEAN THE WORLD

This diploma work is about a grid structure of wooden nodes which are algorithmically generated by a software script in order to be applied flexibly to a wide variety of structural tasks. Starting from the detail of the single node, the possible geometric arrangements and framework conditions were expressed by using code in order to exhaust its possibilities. Hereby, solutions for vertical and horizontal weight transfer were created in order to generate the primary structure through a framework. Based on the numerous use cases in different dimensions and scales from furniture, roof constructions, paths up to the whole construction, an interesting architectural task was investigated for the development. Furthermore, in the course of the creation of "Rooted", research results of forerunners in the field of knot-knot systems were analyzed.

STAGE FOR NATURE

With the help of a drone a laser scan of a part of the rock quarry of the former dolomite plant in Bad Vöslau was accomplished. The goal is to lead a path as close as possible to the existing

rock surface, which interferes with nature as little as possible and leads to a climbing center. This includes a partially roofed platform with various seating options, an information point about the surrounding geological nature trail, a rental center for various sports equipment and a flying fox as a special feature to give visitors an attraction to enjoy the surrounding nature.

UNTANGLING THE KNOT

In the process of the thesis, different versions of the wooden connectors of the node were produced by hand on a scale of 1:1, which were subject to different material tests depending on the point of use, in order to obtain the ideal solution, both from the point of possible load and from the point of economical production. Based on the results of these experiments, two prototypes of a partial segment of a possible future structure were built and converted into a final design.

KURZFASSUNG

BRETTER, DIE DIE WELT BEDEUTEN

Diese Diplomarbeit befasst sich mit einer Gitternetzstruktur aus Holzknoten, welche über ein Skript algorithmisch erzeugt werden, um flexibel auf unterschiedlichste Bauaufgaben angewandt werden zu können. Ausgehend vom Detail des einzelnen Knotenpunktes wurden die möglichen geometrischen Anordnungen und Rahmenbedingungen mittels Code ausgedrückt, um dessen Möglichkeiten auszureizen. Hiermit wurden Lösungen für vertikale und horizontale Lastableitungen geschaffen, um die primäre Struktur über ein System zu erzeugen. Ausgehend von den zahlreichen Einsatzzwecken in unterschiedlichen Maßstäben und Skalierungen vom Möbel, Dachkonstruktionen, Wegen bis hin zum ganzen Gebäude, wurde zur Ausarbeitung eine interessante Bauaufgabe gesucht. Weiters wurden im Zuge der Entstehung von „Verwurzelt“ Ergebnisse von Vorreitern auf dem Gebiet der Knoten-Steck-Systeme analysiert.

BÜHNE DER NATUR

Mit Hilfe einer Drohne wurde ein Laserscan eines Teiles des Steinbruchs des ehemaligen Dolomitwerks in Bad Vöslau

durchgeführt. Ziel ist es einen Weg so nah wie möglich an die bestehende Felswand zu führen, welcher die Natur möglichst geringfügig beeinträchtigt und in einem Kletterzentrum endet. Dieses beinhaltet eine teilweise überdachte Tribüne mit unterschiedlichen Sitzmöglichkeiten, ein Informationsportal über den umliegenden Geo-Lehrpfad, ein Verleihzentrum für diverse Sportutensilien und soll als Ausflugs-/Erlebnissziel mit einem Flying Fox als Besonderheit aufwarten, um den Besuchern einen Anreiz zu geben, die umliegende Natur zu genießen.

DEN KNOTEN ENTWIRREN

Im Zuge der Arbeit wurden unterschiedliche Ausführungen der Holzverbindungen des Knotenpunktes im Maßstab 1:1 händisch hergestellt, welche je nach Einsatzort unterschiedlichen Materialprüfungen unterzogen wurden, um die ideale Lösung, sowohl aus Sicht der möglichen Belastung als auch der ökonomischen Produktion zu erhalten. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Versuche wurden zwei Prototypen eines Teilausschnittes einer möglichen zukünftigen Struktur gebaut und in einen Entwurf umgesetzt.



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

INHALTSVERZEICHNIS

I. EINLEITUNG	
1.1 ALLGEMEINES.....	8
II. SITUATIONSANALYSE	
2.1 BAUPLATZ	12
2.2 AUFNAHME.....	18
III. ZIELE DER ARBEIT	
3.1 WOHN FÜHRT DIE REISE.....	26
IV. ANALYSE / SYNTHESE	
4.1 STABWERKE DER ARCHITEKTUR.....	30
4.2 STECK-KNOTEN-SYSTEME.....	32
4.3 AUSGEFALLENES MATERIAL	34
4.4 SYNTHESE	36
V. METHODIK	
5.1 SKRIPT / PROGRAMMIERUNG	40
5.2 FORMANALYSE / VORSTUDIEN	44
5.3 VERBINDUNGEN / PROTOTYP.....	48
5.4 RAUMPROGRAMM.....	78
VI. ERGEBNIS / RESULTAT	
6.1 VERWURZELT	86
6.2 ARBEITSMODELLE	120
VII. BEWERTUNG	
7.1 GITTERKONSTRUKTION.....	128
VIII. ZUSAMMENFASSUNG	
8.1 CONCLUSIO / AUSBLICK.....	134
IX. VERZEICHNISSE	
9.1 PLANVERZEICHNIS.....	138
9.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	138
9.3 LITERATURVERZEICHNIS.....	144
9.4 WEITERFÜHRENDE VERWEISE.....	144
X. APPENDIX	
10.1 SKIZZEN	148
10.2 ÜBER DEN AUTOR.....	151



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

I. EINLEITUNG

1.1 ALLGEMEINES

1.1 ALLGEMEINES

Der Spannungsbogen zwischen einem vom Menschen geschaffenen geologischen Eingriff - und dessen Lage mitten in der Natur - stellt ein Paradigma unserer Zeit dar.

Das hohe Maß an Ressourcenverbrauch veranlasst uns als Gesellschaft immer öfter neue Wege und Materialanwendungsbereiche zu finden, um nachhaltigere und typologisch effizientere Gebäude und Konstruktionen zu schaffen.

Ziel der Arbeit ist es einen zeitgenössischen Entwurf zu gestalten, welcher die Problematik der heutigen extrem hohen Bodenversiegelung behandelt und berücksichtigt.

Zu Beginn dieser Arbeit wurde ein abstrahiertes Stab- und Knoten-Stecksystem entwickelt, das dieses Ziel zu erreichen versucht. Das in diesem Prozess angeeignete Wissen und die angewandten Methoden sollen in einem Entwurf eines Kletterzentrums münden.





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

II. SITUATIONSANALYSE

2.1 BAUPLATZ

2.2 AUFNAHME

2.1 BAUPLATZ

LAGE

Im Süden von Niederösterreich, nahe Wien befindet sich Bad Vöslau. Westwärts von Bad Vöslau beginnen die ersten Alpenausläufer.

ALPEN

Der Harzberg gilt als einer der östlichsten Berge der österreichischen Alpen. Vom Bad Vöslauer Stadtzentrum aus führt ein bestehender Geolehrpfad¹ in Richtung Harzberg und endet an einem ehemaligen Steinbruch. Das sogenannte „Vöslauer Dolomitwerk“².

VÖSLAUER DOLOMITWERK

Fest vom Nadelholz Dickicht umschlossen befindet sich das „Vöslauer Dolomitwerk“ an einer Lichtung im Wald, das sich durch eine karge Topografie (siehe nachfolgende Bilder) in einem schwer durchwegbaren Gelände befindet.

TOPOGRAFIE

Nach Auflösen des Dolomitwerks rutschten in den letzten Jahrzehnten immer wieder, der Erosion geschuldet, Gesteinspakete in den offenen Steinbruch ab.

GEOLOGIE

Der Steinbruch, am südlichen Ende des Harzberges, bietet durch sein übergroßes Ausmaß an geologischen Verschiebung³ einen einmaligen Blick und Kulisse in den Süden Österreichs.

TOURISMUS

All diese Eigenschaften machen den Harzberger Steinbruch, wie er auch genannt wird, zu einem spannenden Ausflugsziel mitten in der Natur Niederösterreichs.⁴

GEOLEHRPFAD

Der Lehrpfad beginnt am Ende der „Lange Gasse“. Dieser ist ein bekannter Wanderweg, welcher reichhaltige Informationen zu den geologischen Besonderheiten dieser Region bietet.

Die Gesamtlänge des Lehrpfades beträgt etwa 4,5 KM bei 140 Meter Aufstiegshöhe.

1 vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Region und Wasserwirtschaft: <https://info.bml.gv.at/im-fokus/bildung/lehrpfade/niederoesterreich/geolehrpfad-bad-voeslau.html> (2023-01-02, 08:14)

2 vgl. Fink, Max Herbert; Hartmann, Helga; Hartmann, Wilhelm: „Die Höhlen Niederösterreichs“, Band 2, Landesverein f. Höhlenkunde in Wien u. Niederösterreich, Wien 1979, S. 219

3 vgl. Stadtgemeinde Bad Vöslau: „Wandertafel am Harzbergbruch“, (2021-10-02, 09:37)

4 vgl. Bad Vöslau Tourismus: „Kurstadt Bad Vöslau“, <https://www.badvoeslau-tourismus.at/geolehrpfad-in-bad-voeslau> (2023-01-02, 10:34)





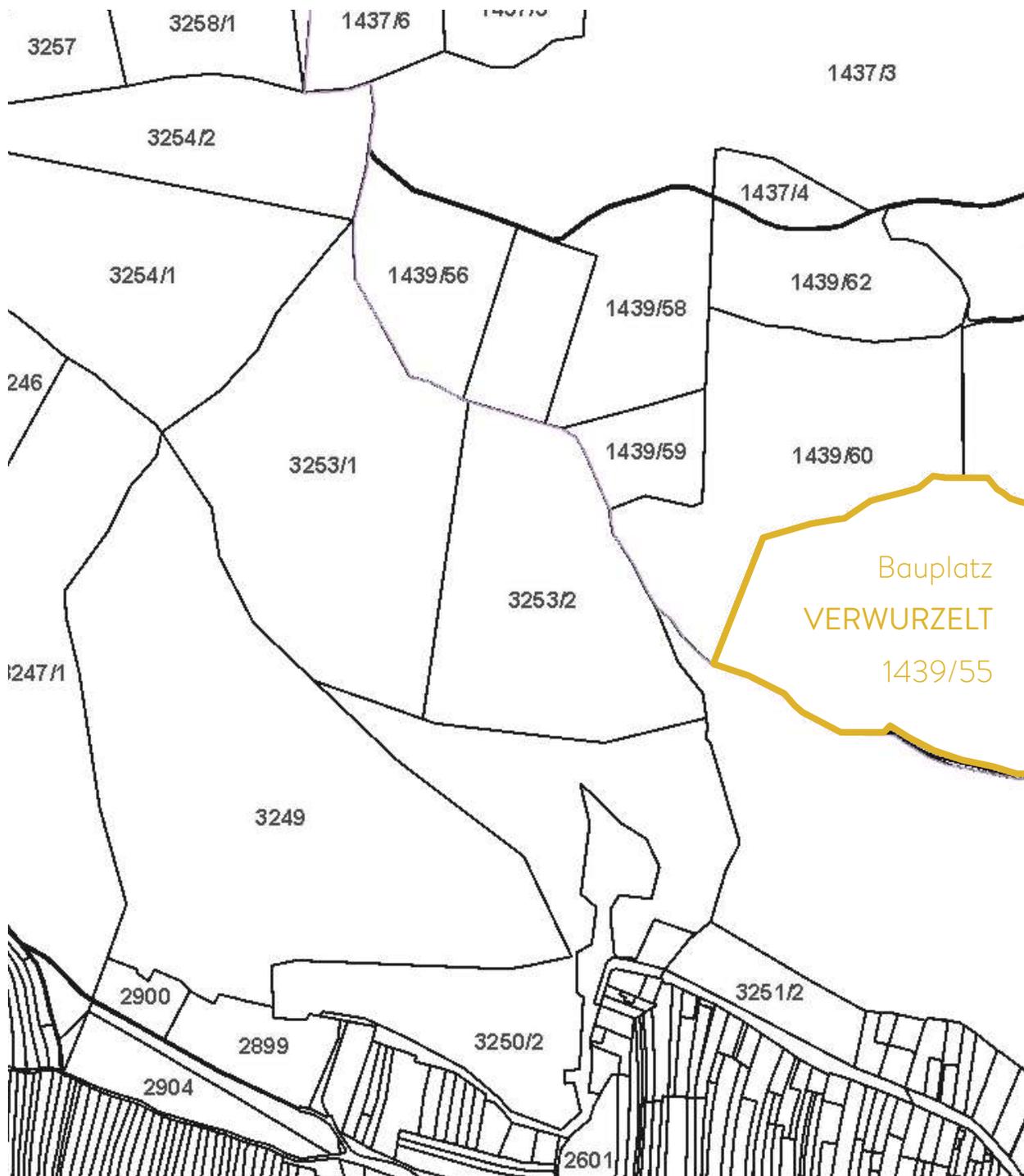
Abb. 6 Blick Richtung Harzbergbruch
Abb. 7 Beschilderung Geolehrpfad
Abb. 8 Lange Gasse
Abb. 9 Blick Richtung Süden - Hohe Wand



Abb. 10 Orthofoto Bauplatz

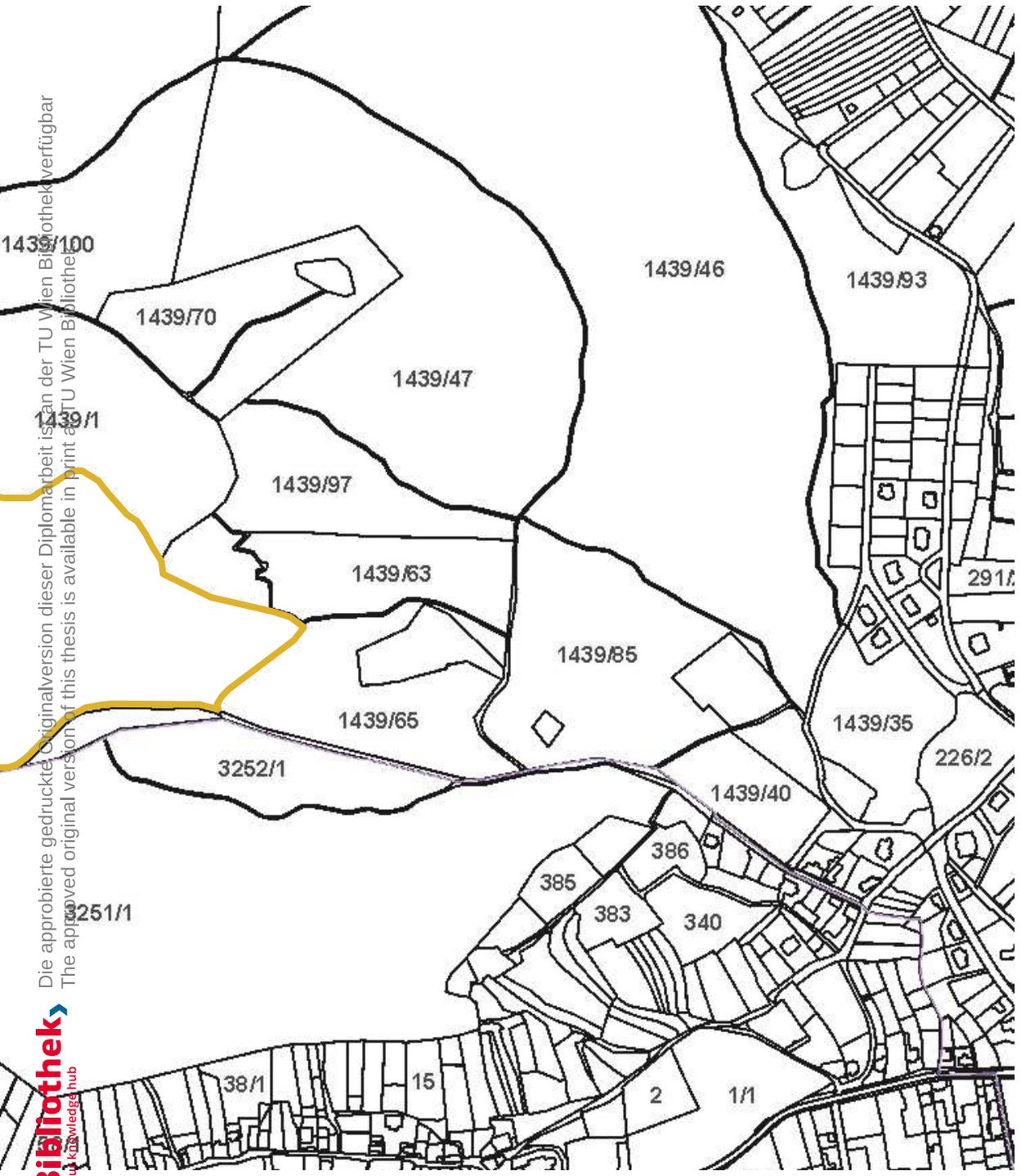


Abb. 11 Ankunft beim Dolomitwerk
 Abb. 12 Geolehrpfad Richtung Brunnenhöhle
 Abb. 13 Eingang Brunnenhöhle
 Abb. 14 Blick entlang der Abbruchwand



Pln.1 Grundstücksgrenzen des Bauplatzes lt. NÖ-Atlas

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



2.2 AUFNAHME

DROHNENRUNDFLÜGE

Die Bauplatzbesichtigungen erfolgten mit einer Drohne. Diese Drohne erzeugte bei ihren Rundflügen eine Vielzahl an Aufnahmen des Bauplatzes in unterschiedlichen Flugpositionen.

PHOTOGRAMMETRIE

Aus dieser umfassenden Fotoserie konnte mit Hilfe von Photogrammetriesoftware eine Punktwolke generiert werden, die ein relativ exaktes dreidimensionales Abbild des Bauplatzes darstellt.

Mittels Mustererkennung und künstlichen Signalmarken, die durch die Software in den aufgenommenen Bildern erfasst wurden, können Erhebungen und ihre Distanz zueinander erkannt und bei der Interpretation in ein 3D Modell ausgegeben werden.⁵

BAUPLATZMODELL

Das nun generierte Bauplatzmodell wird als Grundlage für die Datenausgabe zur weiteren Bauplatzbearbeitung und Entwurfentwicklung verwendet:

- automatisch generierte Waagschnitte in einem Abstand von 1 Meter = Höhenschichten
- Ursprüngliche Fotoaufnahmen = die auch auf das 3D Modell gemappt werden
- 3D Modell Topografie als Modellgrundlage

5 vgl. Luhmann, Thomas: „Nahbereichsphotogrammetrie Grundlagen, Methoden und Anwendungen“, 3. Auflage, Wichmann, Berlin 2010.

Abb. 15 mittels Photogrammetriesoftware erzeugtes 3D-Modell

Abb. 16 mittels Photogrammetriesoftware erzeugtes 3D-Modell mit Fototexturen

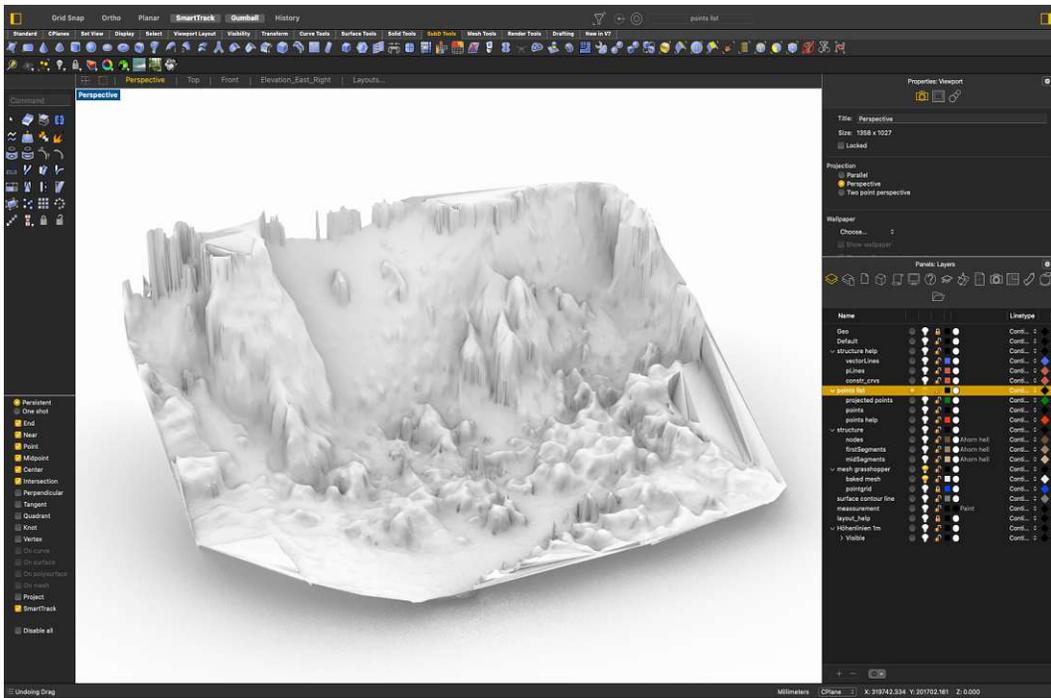




Abb. 17 Drohnenaufnahme des Steinbruches Richtung Westen





Abb. 18 Blick Richtung Süden - Hohe Wand/Hochschneeberg





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

III. ZIELE DER ARBEIT

3.1 WOHIN FÜHRT DIE REISE

3.1 WOHN FÜHRT DIE REISE

BAUBOOM IN ÖSTERREICH UND EUROPA

Ein über ein Jahrzehnt andauerndes Wirtschaftswachstum, ein immer stärker anziehender Immobilienmarkt, sowie der hohe Zuzug in den Städten haben zu einer kontinuierlichen Preissteigerung und damit verbundenen akuten Wohnungsnot geführt. Daraus resultierend wurde via gemeinsamen, privaten und öffentlichen Auftraggebern im Bauträger- und Immobiliensektor großangelegte Bauvorhaben anvisiert.

PROBLEMATIK DER BODENVERSIEGELUNG

Als Resultat werden derzeit in Österreich pro Tag ca. 2ha gesunder und ertragreicher Boden versiegelt. Dies wird aus wissenschaftlicher Sicht in hohem Maße den Klimawandel vorantreiben. Einerseits aufgrund der ausgestoßenen Energie im Zuge des Bauprozesses, andererseits durch bodennahe Temperaturänderungen durch Versiegelung von Oberflächen und im Weiteren durch die Vernichtung von Ackerland, welches wichtig für die Nahrungsmittelproduktion ist. Diese versiegelten Flächen vernichten sauerstoffreichen und aufnahmefähigen (Niederschlag) Humus und sind

unwiederbringlich verloren.

GEBÄUDE ANDERS DENKEN

Verwurzelt (Rooted) soll ein Konzept sein, dass die Möglichkeiten von nachhaltigen Bauweisen auslotet und ein Gebäude entstehen lässt, welches trotz notwendiger Baumaßnahme ein hohes Maß an Boden und Fauna in seinem bisherigen Zustand belässt bzw. nicht wesentlich nachteilig verändert. Kann grundsätzlich ein Gebäude entstehen, ohne ein hohes Maß an Boden zu versiegeln?

Können ausschließlich regionale Werkstoffe ausreichen, um ein Gebäude zu errichten, das auch zeitgenössischen Ansprüchen genügt? In weitere Folge sollen diese Fragen beleuchtet werden und in der Anwendung in einem Entwurf für einen regionalen, nachhaltigen Freizeitpark „Verwurzelt“ ein repräsentatives Beispiel finden. Anschließend sollen die Erkenntnisse aus dem, rein aus Holz bestehenden, zu entwickelnden, Stab-Knoten-Stecksystem methodisch durch verschiedene Versuche in 1:1 Modellen überprüft werden.

Abb. 19 Entwurfsinspiration vor Ort

Abb. 20 Blick in das Tal





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

IV. ANALYSE / SYNTHESE

- 4.1 STABWERKE DER ARCHITEKTUR
- 4.2 STECK-KNOTEN-SYSTEME
- 4.3 AUSGEFALLENES MATERIAL
- 4.4 SYNTHESE

4.1 STABWERKE DER ARCHITEKTUR

STABWERK ALS TRAGWERK

Um das Ziel eines möglichst geringen Flächenverbrauchs zu erreichen, bedient man sich in der Architektur Stabwerken. Diese bestehen oftmals nicht nur aus gestalterischen Elementen, sondern meist auch aus tragenden Stäben.

In einem Fachwerk beispielsweise führen Stäbe Zug- und Druck-Funktionen aus und bilden das alleinige Tragwerk. Einer Abwandlung eines solchen Systems wollen wir uns im späteren Entwurf bedienen.

REFERENZEN IN DER ARCHITEKTUR

Einige der größten Ikonen in der Architekturgeschichte beschäftigten sich ausführlich mit Stab- und Fachwerken. Gleichwohl ist auch das Holzfachwerk eine der ältesten bekannten Bauweisen überhaupt und wird gemeinhin mit einem hohen Maß an Perfektion bis heute, in modernen, adaptierten Bausystemen, immer noch umgesetzt. Siehe dazu auch Systemholzbau und Holzfachwerkbau.

FREI OTTO

Der deutsche Architekt und Bauingenieur Otto Frei

entwickelte im Zuge seiner Hochschulkarriere den weitgespannten Leichtbau, wie wir ihn heute kennen. Zu einer Zeit, in der die mathematischen Kenntnisse zwar annähernd vorhanden, jedoch eine technische Methodik (Computer, Software) noch fehlte, entwickelte er, anhand analoger Modelle erste ultraleichte Tragwerke.

Internationale Erfolge konnte Frei Otto mit seinem Pavillon für die Weltausstellung 1967 in Montreal feiern. Hier wurde eine seiner Tragkonstruktion erstmals im übergroßen Maßstab realisiert.⁶

Mit der Multihalle in Mannheim zur Weltgartenschau, wurde nach seinen "Tensile Structures" eine erste Holz-Stahl-Konstruktion für die weltweit weit gespannteste, freistehende Halle in Holz errichtet.⁷

Mit dem Olympia-Stadion in München wurde Frei Otto zum Weltstar und erhielt 2015 schließlich den weltweit anerkannten Pritzker-Preis. Mit seinen leichten Tragwerken wollte Frei Otto zeit seines Lebens leistbaren, effizienten und nachhaltigen Lebensraum schaffen.⁸

6 vgl. Frei Otto, "Ausgewählte Arbeiten von Frei Otto und seinen Teams", <http://www.freiotto.com/>, (2023-01-02, 14:32)

7 vgl. Laura C. Malone, Hyperallergic 2015, <https://hyperallergic.com/189699/frei-otto-master-of-tensile-structures-dies-day-before-winning-pritzker-prize/>, (2023-01-03, 17:02)

8 The New York Times, 2015, <https://www.nytimes.com/2015/03/11/arts/design/frei-otto-architect-who-found-inspiration-in-a-post-war-shortage-dies-at-89.html>, (2023-01-03, 14:22)

Abb. 21 Regierungszentrum KOCOMMAS, Majilis al Shura

Abb. 22 Multihalle (1.27), Gitterschale



4.2 STECK-KNOTEN-SYSTEME

KONRAD WACHSMANN

Der deutsch-amerikanische Architekt Konrad Wachsmann entwickelte u.a. gemeinsam mit Walter Gropius ein Fertigteilhaussystem aus Holzelementen. In weiterer Folge entwickelte er für die US-amerikanische Luftwaffe, im Zuge von Forschungsarbeiten, immens große Flugzeughangar Systeme, um die immer größer werdenden Flugzeuge in geschützten Bereichen warten zu können.

Da die schnell wachsende Luftfahrtindustrie und die stetig wachsenden Spannweiten ein unvorhersehbares Maß in der Planung darstellten, strebte Wachsmann von Beginn an ein universelles System aus gleichen bzw. möglichst gleichen Komponenten an. Dies wurde über die einfache industrielle Fertigung (Fertigteilbauweise) als besonders wirtschaftlich erachtet.⁹

Die Nachlassstiftung, das „Konrad-Wachsmann-Archiv“ bezeichnet, im Besonderen sein Spätwerk, als eine „Suche nach einem universellen Knotenpunkt“ und würdigt damit die herausragenden technischen Fertigkeiten und bis heute inspirierenden Lösungsansätze. Der **Wachsmann-Knoten** be-

schreibt im Wesentlichen einen Knoten, der als Anschlusspunkt von immer gleichen Stäben im Winkel von 45° allseitig Anbindungen zulässt. Das daraus entstehende Stabwerk kann, je nach Stahlgüte und Dimensionierung, enorme Spannweiten generieren.

Seine offenen, scheinbar unendlich erweiterbaren mehrdeutigen Strukturen versuchte Wachsmann mittels Poesie zu beschreiben.¹⁰

I AM IT AND I AM IN IT

«A point in space is a cosmic system, but any part of it again is infinite and bent and floating in eternity; there is no part nor whole, begin or end, no more no less - there only IS. What is, is not what was or will be there in time to come, it is surrounded by extremes such as blind spots in seeing eyes or static centerpoints in turning wheels. I know there is no present, and „reality“ can be a moment in reflection of a past or symbolic for what may become a system of the future, but „COGITO ERGO SUM“ sees existence as the Quintessence of life I ergo change! And now I know that I cannot see the present, ERGO ID SUM ET IN ID SUM [I'M IT AND I'M IN IT]» Konrad Wachsmann¹¹

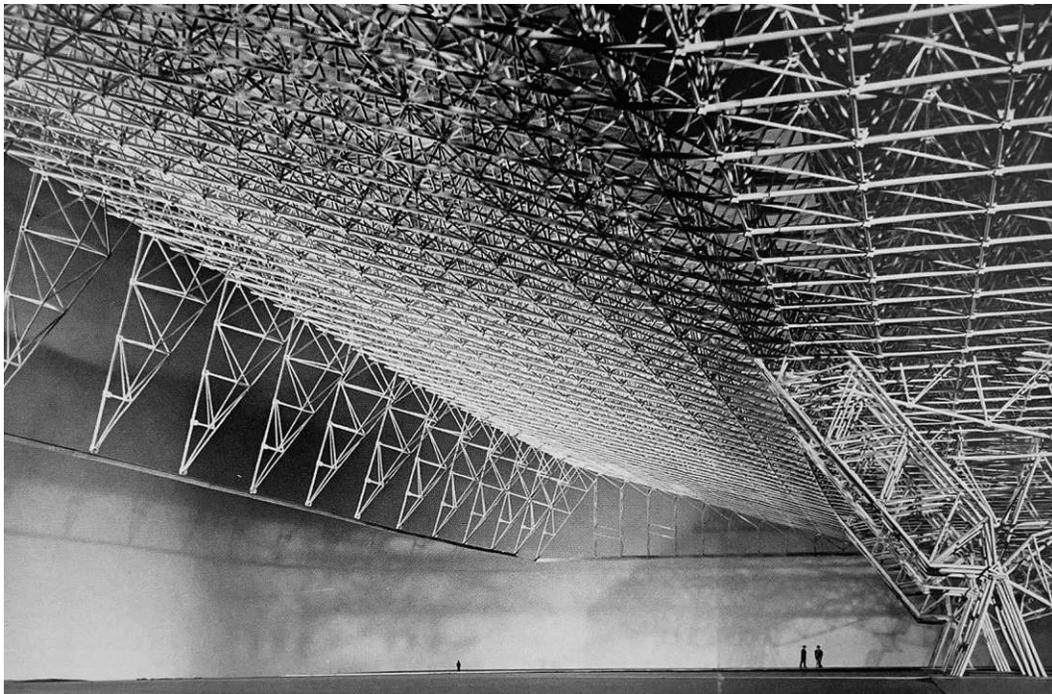
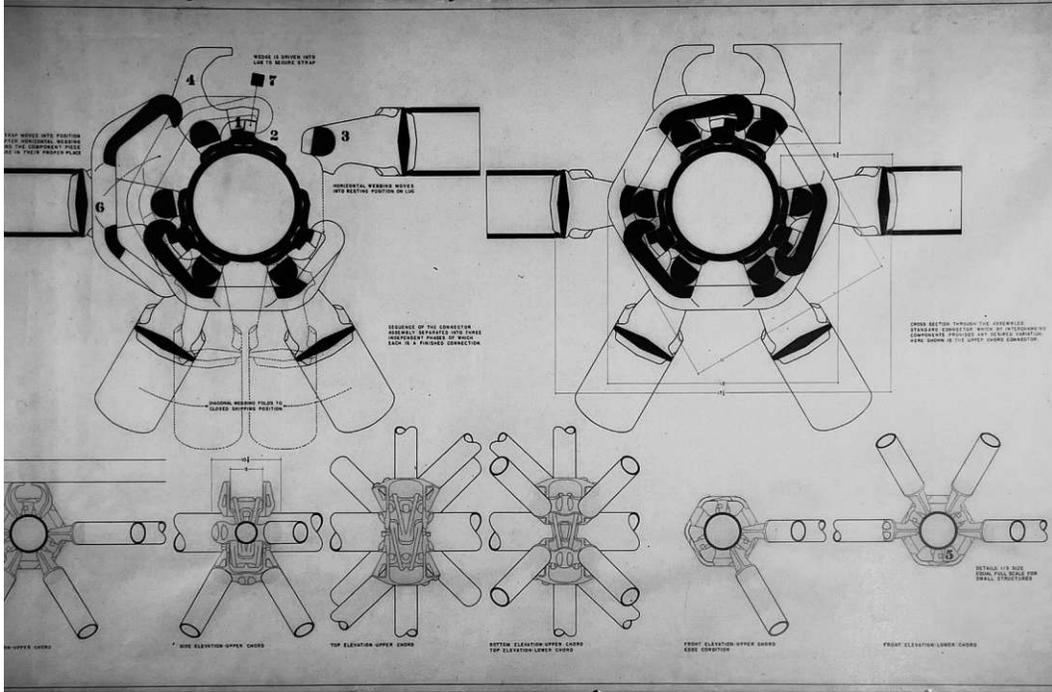
9 vgl. Bollinger, Klaus; Medicus, Florian: „Stressing Wachsmann, Structures for a Future“, 1.Auflage, Birkhäuser, Berlin 2020

10 vgl. Stiftung Bauhaus Dessau; Denny, Phillip; Przywara, Adam: „The Art of Joining: Designing the Universal Connector“, 1. Auflage, Spector Books Leipzig, Leipzig 2019, S.89-91

11 Stiftung Bauhaus Dessau; Denny, Phillip; Przywara, Adam: „The Art of Joining: Designing the Universal Connector“, 1. Auflage, Spector Books Leipzig, Leipzig 2019, S.94-105

Abb. 23 Konrad Wachsmann, A new method of construction and the USAF-Hangar

Abb. 24 Konrad Wachsmann, Model of the USAF-Hangar, ca. 1953



4.3 AUSGEFALLENES MATERIAL

SHIGERU BAN

Der japanische Architekt Shigeru Ban gilt als eine international angesehene Koryphäe im Bereich Architektur und Holzkonstruktionen.

Nach seinem Studium an der SCIA (Los Angeles, USA) beschäftigte er sich vornehmlich mit traditionellen japanischen Holzkonstruktionen und deren rascher Einsetzbarkeit, zum Beispiel in Katastrophengebieten zum Einsatz als temporäre Behausungen.

In seiner Laufbahn hat Ban mit einer Vielzahl an Materialien experimentiert und ist unter anderem für den Einsatz von Papier als Konstruktionsmaterial bekannt.

Für die Expo 2000 in Hannover arbeitete Ban mit Frei Otto zusammen und entwarf mit ihm den japanischen Pavillon in einer Kartonrohr-Stab-Konstruktion – unter Anlehnung an traditionelle Japanische Bambus-Stabwerk-Konstruktionen – welche von Holzbögen gestützt, mit einer Membran überspannt wurde.¹²

Eine einzigartige Detaillösung stellt die Konstruktion des 2004 entstandenen Nomadic Paper Domes dar. Hier bietet der

Knotenpunkt aus Stahlelementen nicht nur den jeweils sechs Rollen aus Karton halt, sondern ist auch der Anbindepunkt für die über die Struktur gespannte Membran.¹³

Mit seinem bekanntesten Gebäude, dem Centre Pompidou in Metz, erreichte Ban Weltruhm und erhielt für sein Lebenswerk 2014 den Pritzker-Preis.

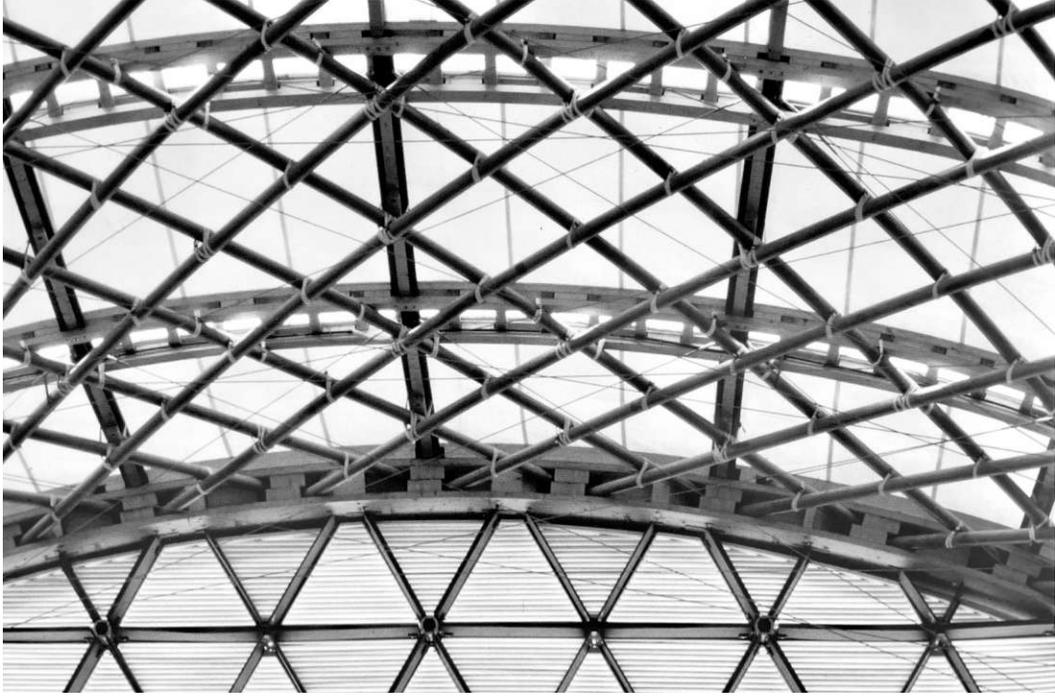
«I believe that the material doesn't need to be strong to be used to build a strong structure. The strength of the structure has nothing to do with the strength of the material.» Shigeru Ban¹⁴

12 vgl. Shigeru, Ban: „Shigeru Ban Architects“, 1. Auflage, The Imaged Publishing Group Pty Ltd, Australien 2018

13 vgl. Jodidio, Philip: „Shigeru Ban. Complete Works 1985-2015“, 1. Auflage, TASCHEN, Köln 2015

14 Shigeru, Ban: „Famous Quote“, 2016, [Abb. 25 Expo 2000. Japan-Pavillon - Hannover](https://archeyes.com/814/#:~:text=I%20believe%20that%20the%20material,with%20strengt-h%20of%20the%20-material, (2023-05-22, 10:05)“</p></div><div data-bbox=)

Abb. 26 Detailansicht Nomadic Paper Dome



4.4 SYNTHESE

STABSTRUKTUREN UND STABFORMEN

Bei der Analyse unterschiedlicher Netz-Geometrien wurde festgestellt, dass sich die notwendige Stabanzahl je Knotenpunkt stark unterscheidet. Dies wird zu einem bestimmenden Entwurfsfaktor.

ELEMENTARE NETZSTRUKTUREN:

- gleichseitiges Dreieck
- Sechseck
- Achteck-Quadrat
- Voronoi

Im Hinblick auf die Verwendung von **Holz als Werkstoff** scheint es naheliegend, einfache Zuschnitte – also möglichst wenige Stäbe je Knoten – zu erzeugen.

Weiters beeinflusst die Struktur das gesamte Erscheinungsbild des Gebäudes und somit auch die Möglichkeiten in seiner flächenmäßigen Ausnutzung (=Nutzfläche) wie auch die räumliche Ausformung (=Volumen).

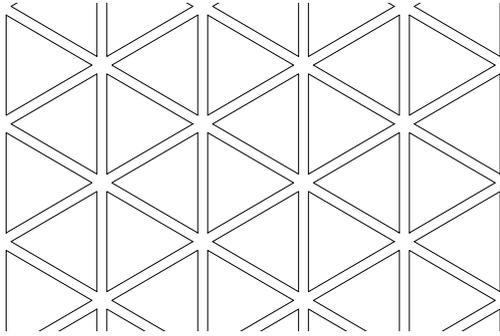
Daher muss diese soweit flexibel eingesetzt werden können, dass sie für unterschiedlichste Einsatzzwecke der räumlichen Umschließung (Boden, Wand, Decke) angewandt werden kann.

Das Ziel ist, ein Stab-Knoten-

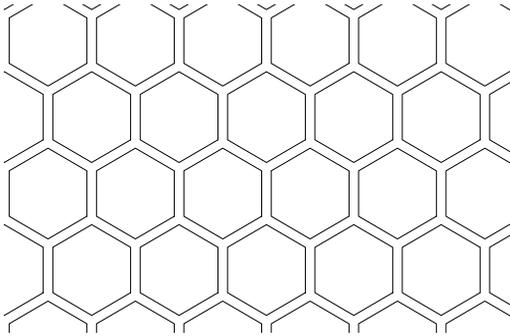
Elemente-System zu entwickeln, welches die folgenden Eigenschaften erfüllt:

- eine möglichst einfache, jedoch auch
- einfach individualisierbare Verbindung, für
- komplexe Formgebung (Voronoi-Netz), sowie
- unterschiedliche Stablängen, und Ausrichtungen zueinander

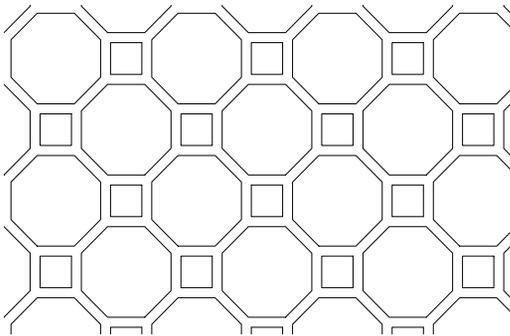
Dieses System kann, unter Einsatz von Holzwerkzeugen vor Ort realisiert, aber auch komplexeren, zeitgenössischen Ansprüchen (Form, Funktion, Gestalt, Nutzung) gerecht werden.



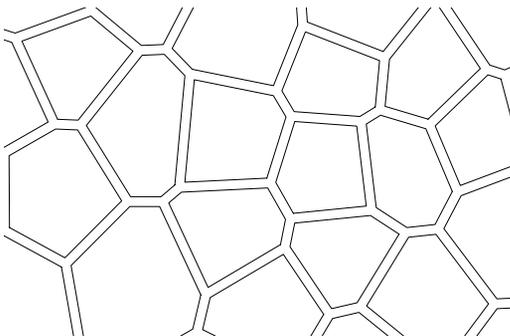
Ein Netz aus gleichseitigen Dreiecken führt zu einer starken Regelmäßigkeit, da an jedem Knotenpunkt sechs Stäbe anschließen müssen. Dadurch ist die mögliche Form der Struktur eingeschränkt.



Durch ein sechseckiges Wabennetz wird die Anzahl der Stäbe bereits auf drei Stück je Knotenpunkt reduziert. Jedoch ist die Formensprache weiterhin stark reglementiert.



Durch die Kombination aus Acht- und Vierecken bleibt die Anzahl der Stäbe je Knotenpunkt erhalten, jedoch ergeben sich sehr unterschiedliche Feldgrößen, welche nicht stark variiert werden können.



Mittels Voronoi-Struktur kann flexibel auf die Topografie reagiert, die Feldgrößen effektiv kontrolliert und gleichzeitig ein sehr lebendiges Muster erzeugt werden. Kritisch sind allerdings sehr kurze Abstände zwischen den Knotenpunkten.



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

V. METHODIK

- 5.1 SKRIPT / PROGRAMMIERUNG
- 5.2 FORMANALYSE / VORSTUDIEN
- 5.3 VERBINDUNGEN / PROTOTYP
- 5.4 RAUMPROGRAMM

5.1 SKRIPT / PROGRAMMIERUNG

ALGORITHMISCHE PARAMETER

Um das Vorhaben einer flexiblen Struktur, welche sich an die Topografie des gewählten Bauplatzes anpassen kann, umsetzen zu können, muss ein Weg gefunden werden, mit welchem ein Knoten-Stab System über algorithmische Parameter erzeugt wird. Da sich durch die gewünschte Unregelmäßigkeit des Entwurfes jeder Knotenpunkt geringfügig unterscheidet, ist es nur logisch dies über ein Skript zu programmieren.

PYTHON SKRIPT

Nachfolgend ist die Main-Funktion angeführt, welche durch eine Vielzahl an Unterfunktionen die Knotenpunkte bis ins 1:1 Detail erzeugt. Zu Beginn sind die gewünschten Dimensionen [mm] festzulegen, um die Strukturen für den jeweiligen Einsatzzweck zu erzeugen.

```
def Main(_ptsList):15
```

```
    radius = 180
    width = 100
    height = 200
    heightSeg = 150
    depth = 25
    segLength = 200
```

```
#select a cluster of neighbor
points if the current center pt is
also in this list it will get filtered
    ptsID = _ptsList
    ChangeLayer(ptsID, "points",
    [0,0,0])
if ptsID:
    #the base point will be one
of the pts from ptsID- will be
changed later
    #basePt = ptsID[2]
    basePt = rs.GetObject("sel
base point", rs.filter.point)
if basePt is None:
    print "no base point
selected"
    return
else:
    print "basePt
coordinates: " ,
    rs.PointCoordinates(bas
ePt)
#initialize a new list for the
neighbor point
    listNeighborPts = []
#check if base point of the node
is in list of neighbor points
    for pt in ptsID:
        if rs.PointCompare(pt,
basePt) == False:
            listNeighborPts.
append(pt)
        else:
            print "base point
detected and culled
from list of neighbor
points"
            rs.SelectObject(pt)
#if direction of neighbor
points is clockwise, reverse
```

15 Hartmann, Wendelin: „Verwurzelt Main-Funktion“, Python-Skript, Baden 2022

```

        the list
    If      DirectionOfPoly
(listNeighborPts) == False: list.
reverse(listNeighborPts)
    print "direction of neighbor
pts flipped"
    else:
        print "direction of
neighbor pts is right
(ccw)"
    #check angle between
points before starting the
whole story - check for node
self intersections
    for i, pt in
enumerate(listNeighbor
Pts):
thisPt = pt
if i < len(listNeighborPts) -1:
    nextPt =
listNeighborPts[i+1]
    else:
        nextPt =
listNeighborPts[0]
    if CheckIntersection(basePt,
thisPt, nextPt, radius, width)
== True:
        print "horizontal angle
between neighbor
points is too small"

        rs.UnselectAllObjects()
rs.SelectObjects([thisPt,
nextPt])
    return [thisPt, nextPt]

#check angle in z direction
angle =GetAngle
(basePt, thisPt,
radius)

        angleMin =
CalcPythagoras
(height / 5, depth,
None, None)
angleMin = angleMin[3] + 10
angleMax = 180 - angleMin

if angle <= angleMin or
angle >= angleMax:
    print "angleMin = ",
angleMin, " angleMax
= ", angleMax, " angle
= ", angle
        print "vertical angle
between neighbor
point and base point
is too small"
rs.UnselectAllObjects()
rs.SelectObject(thisPt)
    return thisPt
lengthMidSeg =
CheckSegmentLength
(basePt, thisPt, radius,
segLength)

if lengthMidSeg <
segLength:

    print "distance min = ", (3 *
segLength), " distance = ",
lengthMidSeg + (2 * segLength)
    print "distance between
base point and neighbor
point is too small"
rs.UnselectAllObjects()
rs.SelectObject(thisPt)
    return thisPt

#draw vectors between neighbor
pts just for visualization of
direction

```

```

# DrawVector(basePt,
rs.VectorCreate(listNeighborPts
[0], basePt), 0.5)
    for i in range
        (len(listNeighborPts)):

        if i < len(listNeighborPts) - 1:
            thisPt =
            listNeighborPts[i]
            nextPt =
            listNeighborPts[i+1]
            DrawVector(thisPt,
            rs.VectorCreate(nextPt,
            thisPt), 0.5)
        else:
            thisPt =
            listNeighborPts[i]
            nextPt = listNeighborPts[0]
            DrawVector(thisPt,
            rs.VectorCreate(nextPt,
            thisPt), 0.5)

nodeObj = NodeBody
(listNeighborPts, basePt, radius,
width, height, depth)

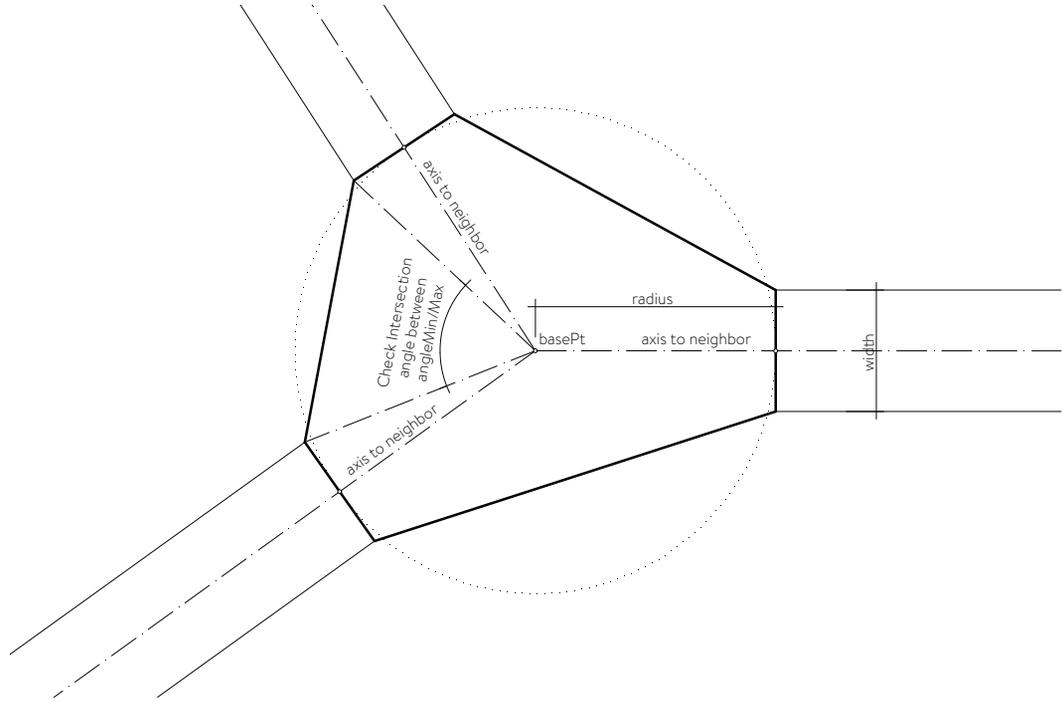
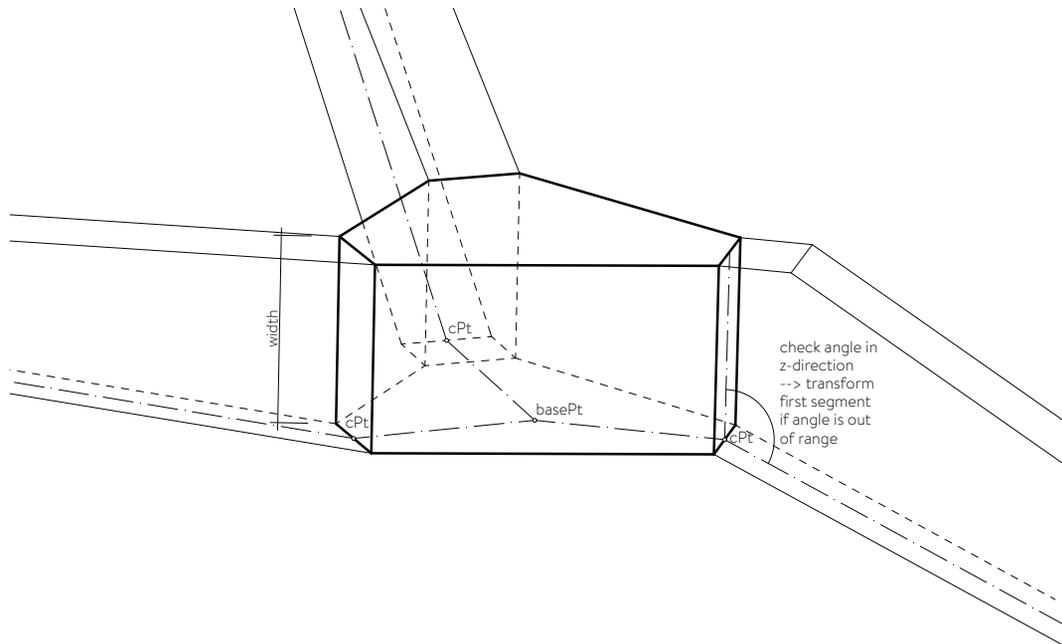
    for neighborPt in
        listNeighborPts:

#check angle in z direction
    angle = GetAngle(basePt,
neighborPt, radius)
        angleMin
            =
            CalcPythagoras(height / 5,
            depth, None, None)
        angleMin = angleMin[3] +
30
        angleMax = 180 - angleMin
        tempSegment =
        FirstSegment(basePt,
neighborPt, radius, width,
height, depth, segLength,
heightSeg, angle, angleMin,
angleMax)
        firstSegment =
        rs.BooleanDifference(te
mpSegment, nodeObj,
False)
        rs.DeleteObject(tempSegment)
        ChangeLayer(firstSegment,
"firstSegments",
"firstsegment")

        midSegment =
        MidSegment(basePt,
neighborPt, radius,
width, depth, segLength,
heightSeg, angle,
angleMin, angleMax)
def Draw(r):
    if r == 0:
        return
    else:
        #rs.AddCircle(pt, r)
        #return RecursiveCircle(pt, r-1)
        ptList =
        rs.GetObjects("select
neighbor points", rs.filter
point)
        if ptList:
            item = Main(ptList)
        else:
            return
        if item:
            r e t u r n
            rs.SelectObjects(item)
        else:
            return Draw(r -1)
if __name__=="__main__":
    Draw(500)
    
```

Abb. 28 Geometrische Darstellung der Arbeitsweise des Skriptes, Grundriss

Abb. 29 Geometrische Darstellung der Arbeitsweise des Skriptes, Perspektive



5.2 FORMANALYSE / VORSTUDIEN

BASIS 1:1 DETAIL

Ausgehend vom 1:1 Detail des Knotenpunktes wurden die geometrischen Eigenschaften des gewählten Materials Holz ausgereizt und die Erkenntnisse in der Programmierung des Skriptes umgesetzt.

Um die Querschnitte der Stäbe und Knotenpunkte ideal miteinander verbinden zu können, musste eine Lösung gefunden werden, um zwei unterschiedliche Dimensionen zu kombinieren ohne technisch und ästhetisch ungünstige Verschnitte zu erhalten.

Dies wird in erster Linie dadurch gewährleistet, dass die oberen und unteren Deckflächen der Knotenpunkte im Schnitt betrachtet immer parallel zueinander ausgerichtet werden. Damit die Punkte mit immer gleichen Querschnitten der Stäbe verbunden werden können, wurde ein weiteres Segment integriert, welches je nach Lage der zu verbindenden Punkte im Profil unterschiedlich reagieren muss (siehe nachfolgende Grafiken). Nun wird eine zusätzliche Holzverbindung eingefügt, welche in weiterer Folge mittels Materialprüfungen untersucht wird.

- Abb. 30 Mittelsegment horizontal
- Abb. 31 Mittelsegment ansteigend
- Abb. 32 Mittelsegment absteigend
- Abb. 33 Netz aus vier Knotenpunkten

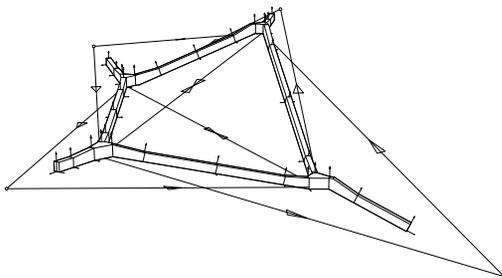
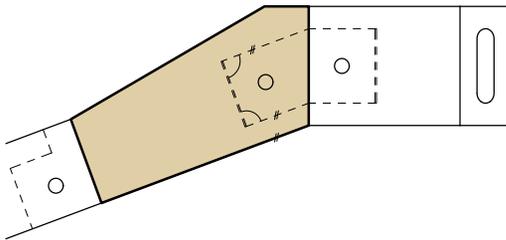
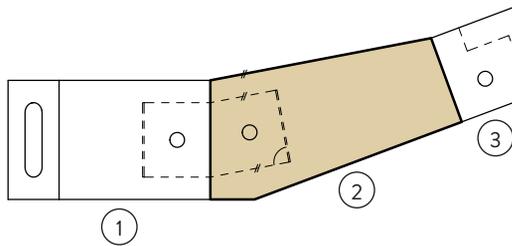
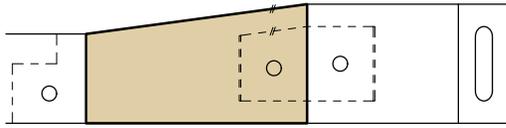
VORSTUDIEN

Somit besteht die tragende Struktur aus den drei Elementen:

1. **Knotenpunkt**
2. **Mittelsegment**
3. **Stab**

Das erstellte Skript wird in weiterer Folge an unterschiedlichen Orientierungen und Strukturen getestet, um die möglichen Geometrien so gut wie möglich beeinflussen und steuern zu können.

Hier wird bereits berücksichtigt, dass das hinzugefügte Mittelsegment, je nach Höhenlage der Knotenpunkte zueinander, für die Holzverbindung angepasst wird, damit genügend Überdeckung der Verbindungen vorhanden bleibt.



Ausrichtung der Verbindung bei **gleicher Höhe** oder geringfügiger Höhenabweichung der verbundenen Punkte.

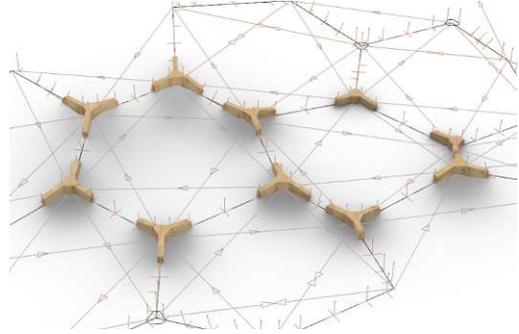
Sobald der vertikale Winkel der zu verbindenden Punkte zu groß ist, wird im Falle des **ansteigenden Mittelsegmentes** ein zusätzlicher Vektor im unteren Bereich ergänzt und somit die Achse des Stabes vom Knotenpunkt weg verschoben, um das Profil anzupassen.

Dem **entgegengesetzten absteigenden Mittelsegment** wird der gleiche Vektor im oberen Bereich hinzugefügt, damit auch diese Verbindung weiterhin tragfähig bleibt.

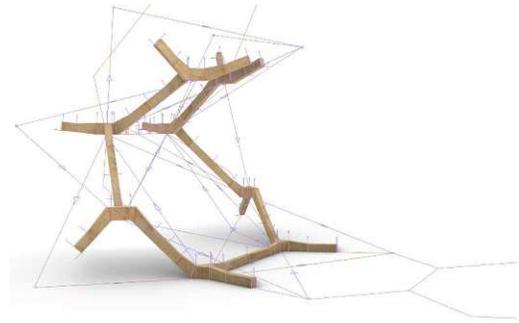
Ausgeführtes Skript für ein **Netz aus vier Knotenpunkten** mit unterschiedlichen Steigungsverhältnissen der Stäbe.

VORSTUDIEN

Sich aufbauende Knotenpunkte bei gestartetem Skript, inklusive aller Hilfslinien, welche zur **Überprüfung der Funktionsweise** der einzelnen Funktionen erzeugt werden.



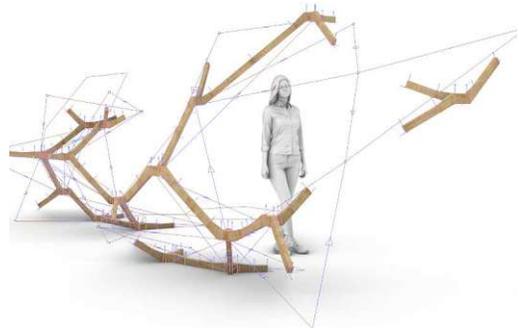
Nachfolgend sind unterschiedliche Stände des ausgeführten Skriptes dargestellt, mit welchen überprüft wird, wie weit die **gesetzten Parameter** in eine Geometrie umsetzbar sind.



Im Zuge dessen werden die geometrischen Einschränkungen eruiert und so weit wie möglich ausgereizt, um eine brauchbare **Höhenentwicklung der Struktur** zu gewährleisten.



Erweiterung der Struktur zu einer **raumbildenden Skulptur**, welche sowohl Wand und Decke bilden kann.



Die Hilfslinien werden automatisch auf eigens dafür vorgesehene Layer gelegt, um sie im weiteren Verlauf schnell ausblenden zu können.

- Abb. 34 aufbauende Knotenpunkte
- Abb. 35 geometrische Überprüfung des Skriptes
- Abb. 36 Versuche zur Verbesserung des Skriptes
- Abb. 37 raumbildende Skulptur

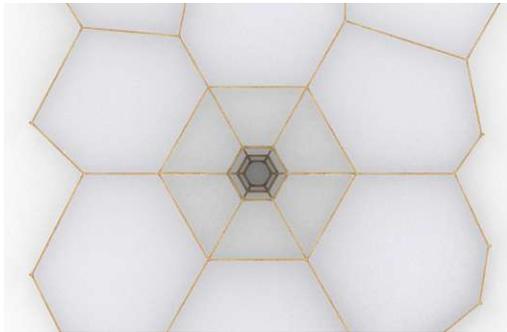
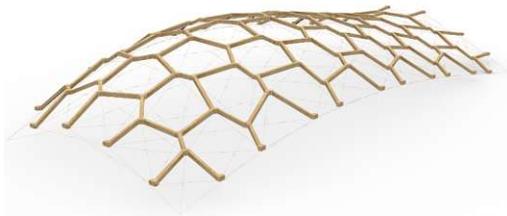
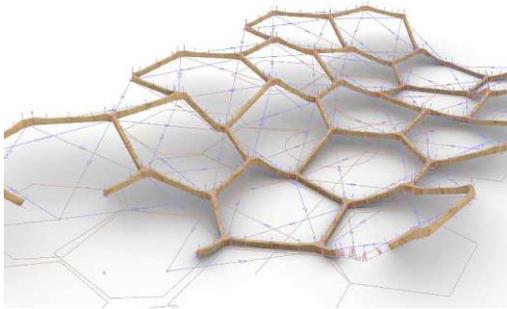


Abb. 38 flächige Netzstruktur

Abb. 39 Entwurf einer Überdachung

Abb. 40 Einbindung des Stützelementes in die Dachstruktur - Grundriss

Abb. 41 Stützelement - Perspektive

Erste Versuche, mit dem Skript eine **flächige Netzstruktur** herzustellen, um einen flexibel einsetzbaren horizontalen Raumabschluss zu erzeugen.

Mögliche konvexe Form einer eingespannten **Überdachung**, welche zum Beispiel in einem Innenhof mittels Anbindung an umliegende Gebäude ohne weitere Stützen eingesetzt werden kann.

Vertikale Ableitung: Da die mögliche Höhenentwicklung der Struktur durch die Geometrie eingeschränkt ist, musste eine Methode geschaffen werden, um ohne externe Anbindungen an zum Beispiel Bestandsgebäude, Bäume oder Gelände auszukommen. Somit wird ein im gleichen System befindliches

Stützelement geschaffen, welches sich in die Voronoi-Struktur integrieren lässt. Diese Stützenkonstruktion ist **im Grundriss als regelmäßiges Sechseck** definiert, wobei die oberen Anschlusspunkte zur Anbindung an die unregelmäßige Dachstruktur auf unterschiedlichen Höhen liegen kann.

5.3 VERBINDUNGEN / PROTOTYP

MATERIALPRÜFUNG

Um die stabilste Holzverbindung zwischen den Knotenpunkten, dem Mittelsegment und dem Stab auszuwählen und die ausgearbeitete Form der Netze zu überprüfen, wurde jede Verbindung, für sich betrachtet einer zerstörenden Werkstoffprüfung unterzogen.

Hierfür wurden unterschiedliche Typen hergestellt, welche im Labor des TU Science Centers des Institutes für Werkstofftechnologie unter der Leitung von Herrn Dipl.-Ing.Dr. Ass.-Prof. Karl Deix einer Biegezug- und Scherprüfung in einer Zwick Z250 Prüfmaschine unterzogen und die Ergebnisse daraus analysiert wurden.

Bei der Biegezugsprüfung wurde ein Auflagerabstand von 300 mm mit einem Abstand des Prüfkopfes zu der Verbindung von 50 mm eingehalten. (siehe Grafik des Versuchsaufbaues)

Für die Scherprüfung der Knotenpunktverbindung musste eine Hilfskonstruktion an den Elementen angebracht werden, um diese in der Prüfmaschine einheitlich belasten zu können.

Knotenpunkt – Mittelsegment

1. Schwalbenschwanz
2. Zinken
3. Fremde Feder

Mittelsegment – Stab

4. Schwalbenschwanz
5. Zinken
6. Halbverdeckter Schlitz und Zapfen mit Nutfeder ohne Absatz

Nach Abschluss der ersten Versuchsreihe aus Fichte massiv wurden die tragfähigsten Verbindungen weiterentwickelt, aus Lärchen-Leimbindern hergestellt und in verleimter Ausführung erneut geprüft.

Knotenpunkt – Mittelsegment

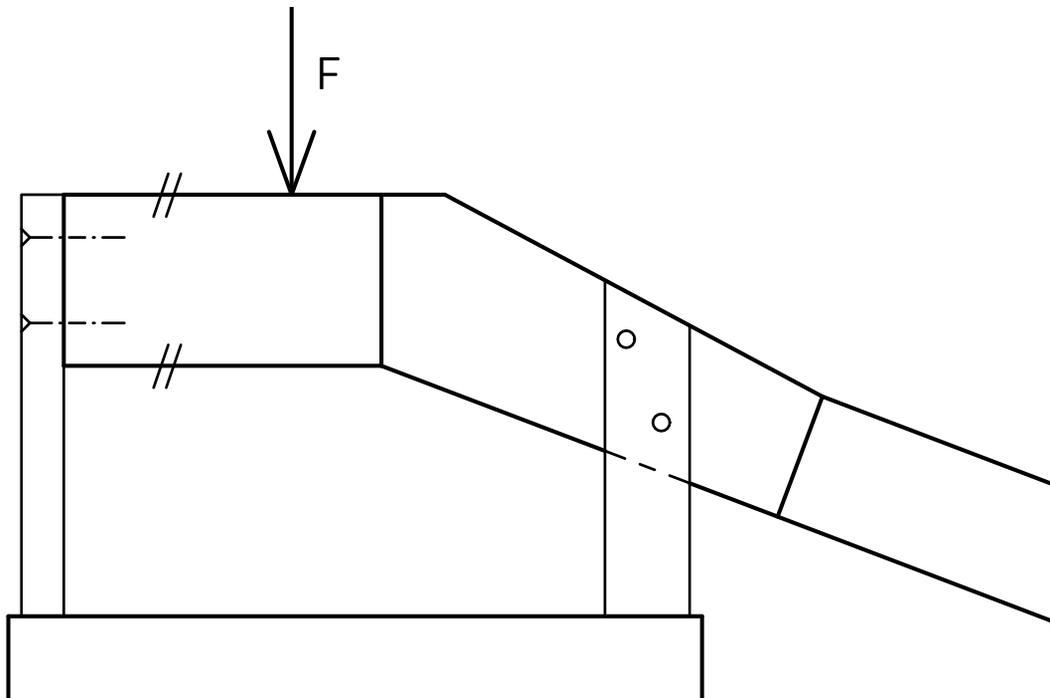
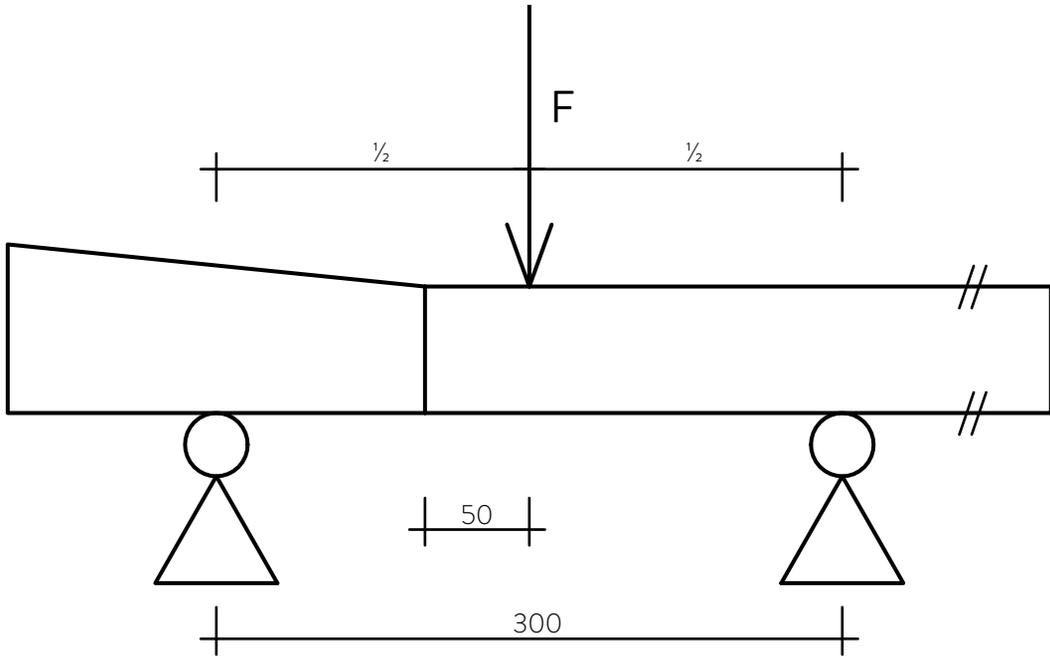
3. V1 Fremde Feder - verleimt

Mittelsegment – Stab

6. Halbverdeckter Schlitz und Zapfen mit Nutfeder
V1 Ohne Absatz
V2 Feder zum Zapfen hin abgestemmt
V3 Feder zu Oberkante hin abgestemmt
V4 Zapfen und Feder eingebohrt
V5 Ohne Absatz - verleimt

Abb. 42 Versuchsaufbau Biegezugprüfung

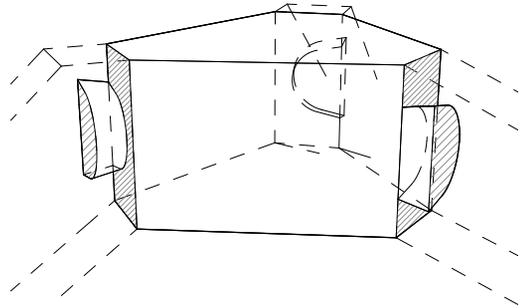
Abb. 43 Versuchsaufbau Scherprüfung



KNOTENPUNKT – MITTELSEGMENT

1. Schwalbenschwanz

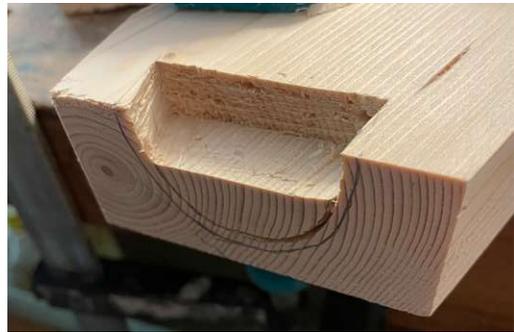
- Material: Fichte massiv
- Knotenhöhe: 80 mm
- Stabhöhe: 60 mm
- Stabbreite: 40 mm
- unverleimt



Mittels Japansäge abgelängter Knotenpunkt und mit Buchendübel gesicherter horizontaler Schwalbenschwanz.



Übertragen der Verbindung auf das Mittelsegment, Ausstemmen der Ausnehmung für den Schwalbenschwanz mittels Stemmeisen.



Scherversuch zwischen Knotenpunkt und Mittelsegment am 26.08.2021

Prüfmaschine: Zwick Z250



Abb. 44 Liniengrafik - 1 Knotenpunkt Schwalbenschwanz

Abb. 45 1:1 Modell der Schwalbenschwanzverbindung

Abb. 46 Herstellung der Verbindung im Mittelsegment Probe 1

Abb. 47 Scherversuch - Schwalbenschwanz

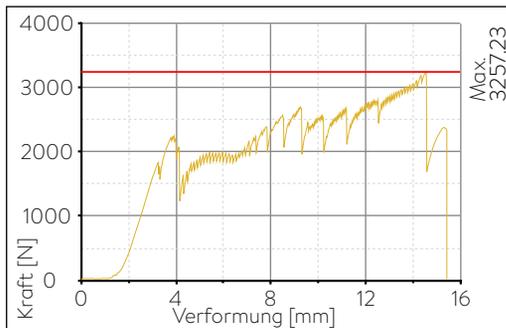
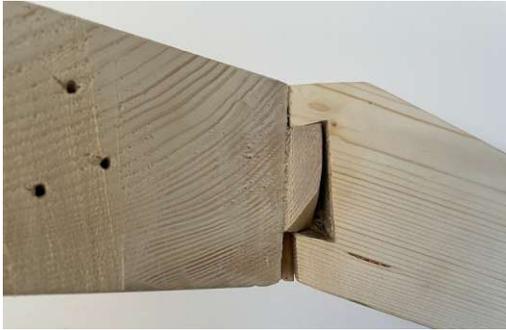


Abb. 48 Analyse des Bruchbildes geschlossen Probe 1
Abb. 49 Zerstörte offene Verbindung Probe 1
Abb. 50 Nahaufnahme des Schwalbenschwanzes
Abb. 51 Prüfergebnis Probe 1

Bruchbild nach der Materialprüfung

Der Schwalbenschwanz konnte der Belastung nur bedingt standhalten, da dieser sich im unteren Bereich aus der Verankerung herausgedreht hat, bis es zum Bruch kam.

Geöffnete Bruchstelle des Schwalbenschwanzes

Problematisch ist hier vor allem die Richtung der Holzfasern des Schwalbenschwanzes. Das Mittelsegment weist nur geringfügige Verformungen auf.

Bruchbild der Verbindung

Der zur Sicherung der Lage eingesetzte Buchendübel hat in der Prüfung keinen erkennbaren Nutzen.

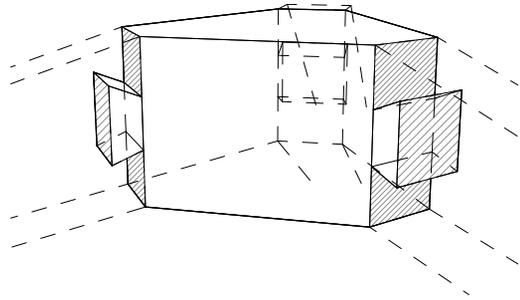
Ergebnis der Materialprüfung:

- $F_{max} = 3,26 \text{ kN}$
- $dL \text{ bei } F_{max} = 14,6 \text{ mm}$

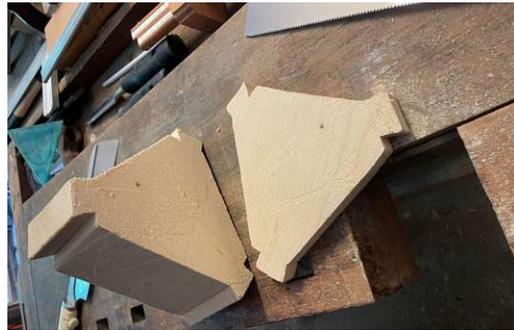
KNOTENPUNKT – MITTELSEGMENT

2. Zinken

- Material: Fichte massiv
- Knotenhöhe: 80 mm
- Stabhöhe: 60 mm
- Stabbreite: 40 mm
- unverleimt



Mit Japansäge abgerichteter Knotenpunkt und vorbereitete Zinkenverbindung.



Fertiggestellte horizontale Zinkenverbindung zwischen dem Knotenpunkt und dem Mittelsegment.



Scherversuch zwischen Knotenpunkt und Mittelsegment am 26.08.2021

Prüfmaschine: Zwick Z250



- Abb. 52 Liniengrafik - 2 Knotenpunkt Zinken
- Abb. 53 abgerichteter Knotenpunkt
- Abb. 54 1:1 Modell der Zinkenverbindung
- Abb. 55 Scherversuch - Zinken

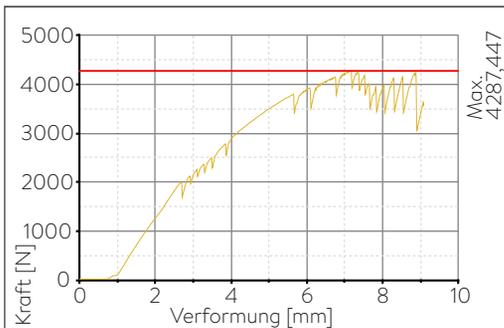
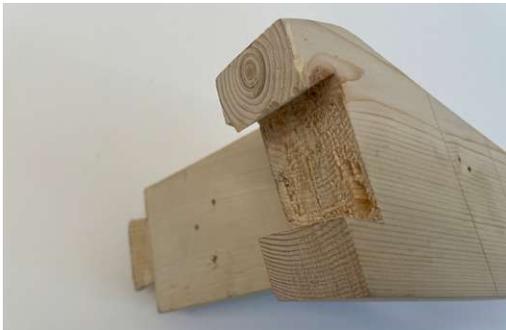
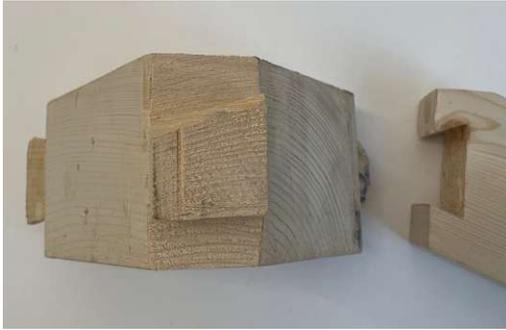
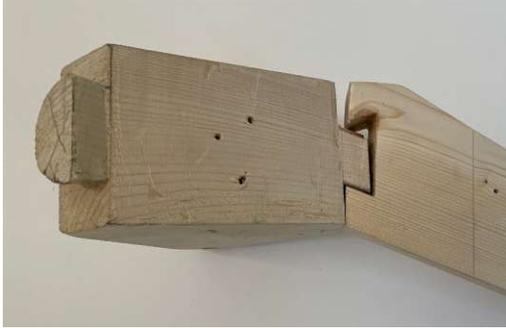


Abb. 56 Analyse des Bruchbildes geschlossen Probe 2
Abb. 57 Zerstörte offene Verbindung Probe 2
Abb. 58 Nahaufnahme des Zinkens im Mittelsegment
Abb. 59 Prüfergebnis Probe 2

Bruchbild nach der Materialprüfung

Der Zinken konnte im Vergleich mit dem Schwalbenschwanz bereits einer stärkeren Belastung standhalten. Hier kam es im oberen Bereich zum Bruch des Zinkens.

Geöffnete Bruchstelle des Zinkens

Schwachstelle ist auch hier das Element am Knotenpunkt, da der Zinken unter Belastung entlang der Faserrichtung bricht.

Verbindung des Mittelsegmentes nach der Materialprüfung

Diese weist nur eine geringfügige Beschädigung auf.

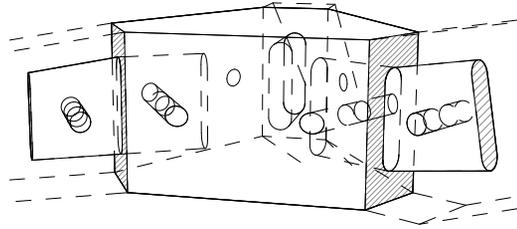
Ergebnis der Materialprüfung:

- $F_{max} = 4,29 \text{ kN}$
- dL bei $F_{max} = 7,1 \text{ mm}$

KNOTENPUNKT – MITTELSEGMENT

3. Fremde Feder

- Material: Fichte massiv
- Feder: Buche massiv
- Knotenhöhe: 80 mm
- Stabhöhe: 60 mm
- Stabbreite: 40 mm
- unverleimt



In den Knotenpunkt eingesetzte fremde Feder aus Buche, welche zusätzlich mittels Buchendübel gesichert wird.



Durch die versteckte Montage sind schlussendlich nur die Sicherungsdübel von Außen erkennbar, was zu einem reduzierten Erscheinungsbild der Verbindung führt.



Scherversuch zwischen Knotenpunkt und Mittelsegment am 26.08.2021

Prüfmaschine: Zwick Z250



- Abb. 60 Liniengrafik - 3 Knotenpunkt Fremde Feder
- Abb. 61 Herstellung der Fremden Feder
- Abb. 62 1:1 Modell der Fremden Feder
- Abb. 63 Scherversuch - Fremde Feder

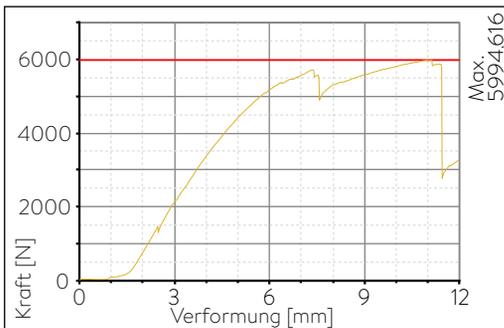


Abb. 64 Analyse des Bruchbildes geschlossen Probe 3
Abb. 65 Zerstörte offene Verbindung Probe 3
Abb. 66 Nahaufnahme Probe 3
Abb. 67 Prüfergebnis Probe 3

Bruchbild nach der Materialprüfung

Die Ausführung mit Fremden Feder wies im Vergleich zu den anderen Proben die höchste F_{max} aus und wurde somit für weitere Versuche weiterentwickelt.

Geöffnete Bruchstelle der Fremden Feder

Der Sicherungsdübel konnten seine Funktion umfänglich erfüllen. Dieser wurde so weit verformt, bis es zum Bruch der seitlichen Wangen des Mittelsegmentes kam.

Der Knotenpunkt und die Fremde Feder selbst weisen beinahe keine Schäden auf. Die Schwachstelle ist somit die Verankerung im Mittelsegment.

Ergebnis der Materialprüfung:

- $F_{max} = 5,99 \text{ kN}$
- dL bei $F_{max} = 11,1 \text{ mm}$

MITTELSEGMENT – STAB

4. Schwalbenschwanz

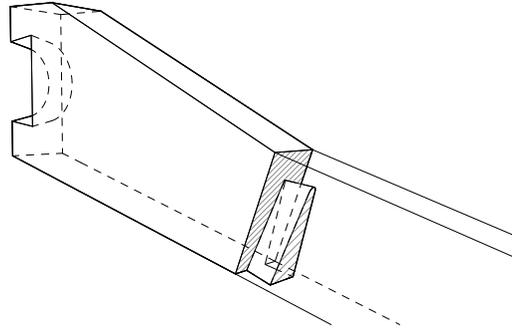
- Material: Fichte massiv
- Stabhöhe: 60 mm
- Stabbreite: 40 mm
- unverleimt

Händisch hergestellter Schwalbenschwanz des Mittelsegmentes zur Übertragung in den Stab.

Fertige Schwalbenschwanz-Verbindung zwischen dem Verbindungselement und dem Stab, welcher zusätzlich mittels Buchendübel gesichert ist.

Biegezugversuch zwischen Mittelsegment und Stab am 26.08.2021

Prüfmaschine: Zwick Z250



- Abb. 68 Liniengrafik - 4 Stab Schwalbenschwanz
Abb. 69 Herstellung der Probe 4
Abb. 70 Fertige Probe 4
Abb. 71 Biegezugversuch - Schwalbenschwanz

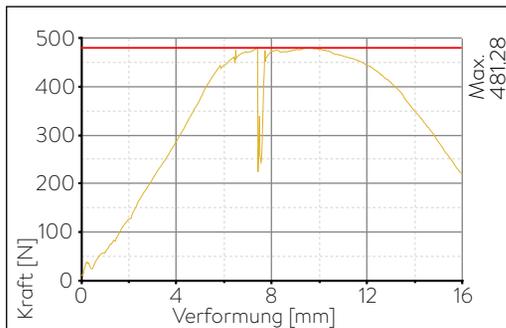


Abb. 72 Aufnahme zur Einrichtung der weiteren Proben
Abb. 73 Zerstörte Verbindung Probe 4
Abb. 74 Nahaufnahme Probe 4
Abb. 75 Prüfergebnis Probe 4

Aufnahme der Lage für die Prüfung der weiteren Verbindungsausführungen.

Bruchbild nach der Materialprüfung

Die Verbindung weist erwartungsgemäß eine sehr geringe F_{max} auf.

Dübelstange verbogen und Schwalbenschwanzaufnahme im Stab gerissen

Somit ist der Schwalbenschwanz aus der Verankerung gerutscht.

Ergebnis der Materialprüfung:

- $F_{max} = 0,48 \text{ kN}$
- dL bei $F_{max} = 7,4 \text{ mm}$

MITTELSEGMENT – STAB

5. Zinken

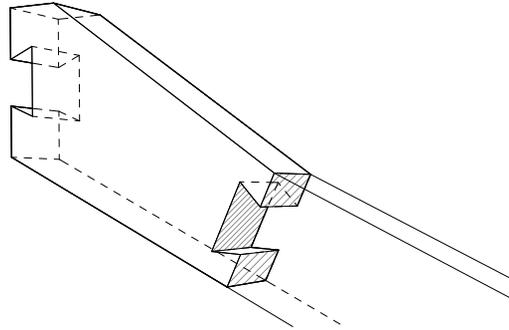
- Material: Fichte massiv
- Stabhöhe: 60 mm
- Stabbreite: 40 mm
- unverleimt

Mittels Japansäge und Stemmeisen hergestellte Zinkenverbindung.

Ansicht der fertigen Probe 5 mit sichtbarer Verbindungskante zwischen dem Stab und dem Mittelsegment.

Biegezugversuch zwischen Mittelsegment und Stab am 26.08.2021

Prüfmaschine: Zwick Z250



- Abb. 76 Liniengrafik - 5 Stab Zinken
- Abb. 77 Seitenansicht Probe 5
- Abb. 78 Fertige Probe 5
- Abb. 79 Biegezugversuch - Zinken

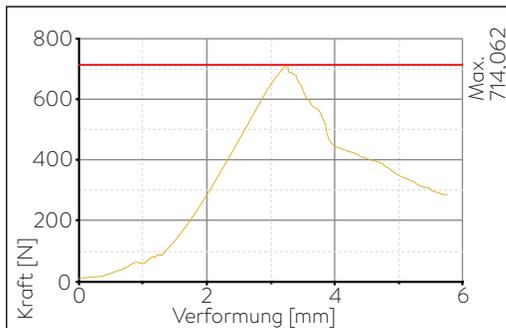
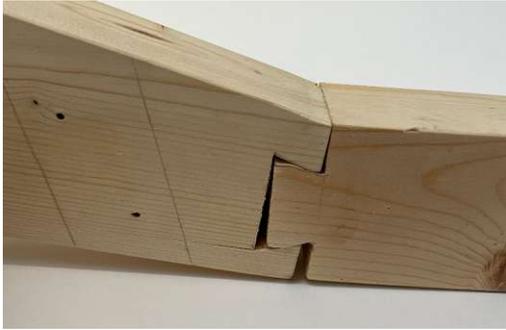
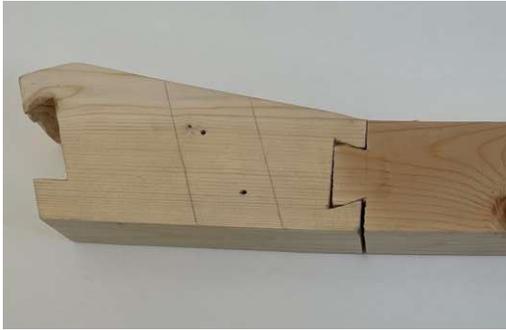


Abb. 80 Analyse des Bruchbildes geschlossen Probe 5
Abb. 81 Nahaufnahme Probe 5
Abb. 82 Vergleich Probe 3, 4, 5
Abb. 83 Prüfergebnis Probe 5

Bruchbild nach der Materialprüfung

Die Verbindung konnte die F_{max} , im Vergleich zu Probe 4, deutlich steigern.

Hier hat die Verankerung des Zinken in dem Mittelsegment versagt und ist parallel der Faserrichtung gebrochen. Dies führt zu einem Versagen trotz geringer Verformung.

Vergleich der zerstörten Proben Nummer vier, fünf und sechs.

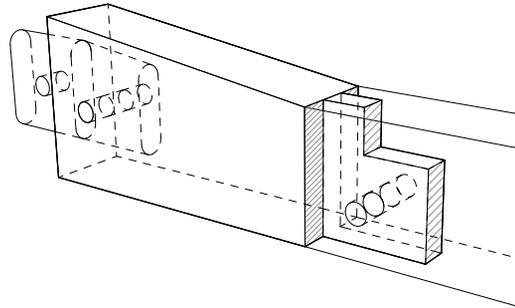
Ergebnis der Materialprüfung:

- $F_{max} = 0,71 \text{ kN}$
- dL bei $F_{max} = 3,3 \text{ mm}$

MITTELSEGMENT – STAB

6. Halbverdeckter Schlitz und Zapfen mit Nutfeder

- Material: Fichte massiv
- Stabhöhe: 60 mm
- Stabbreite: 40 mm
- unverleimt



Herstellung der halbverdeckten Schlitz und Zapfen Verbindung mit Nutfeder ohne Absatz welche mittels Buchendübel gesichert wird.



Geöffnete Verbindung der Probe 6 welche im geschlossenen Zustand durch den Buchendübel in der Lage gehalten wird.



Biegezugversuch zwischen Mittelsegment und Stab am 26.08.2021

Prüfmaschine: Zwick Z250



Abb. 84 Liniengrafik - 6 Stab Halbverdeckter S. und Z.

Abb. 85 Herstellung der Probe 6

Abb. 86 Geöffnete Probe 6

Abb. 87 Biegezugversuch - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen

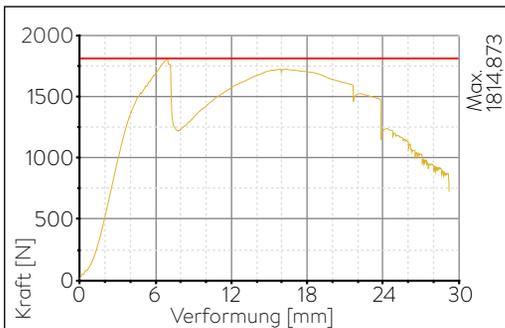


Abb. 88 Analyse des Bruchbildes geschlossen Probe 6
Abb. 89 Zerstörte offene Verbindung Probe 6
Abb. 90 Nahaufnahme Probe 6
Abb. 91 Prüfergebnis Probe 6

Bruchbild nach der Materialprüfung

Die Verbindung konnte die F_{max} im Vergleich zu Probe 5 mehr als verdoppeln.

Geöffnete Bruchstelle der Probe

Der Sicherungsdübel konnte seine Funktion umfänglich erfüllen. Dieser wurde so weit verformt, bis es zum Bruch der seitlichen Wangen des Stabes und des Dübels selbst kam.

Im Gegensatz zu den seitlichen Wangen des Schlitzes im Stab weist der Zapfen kaum sichtbare Schäden auf.

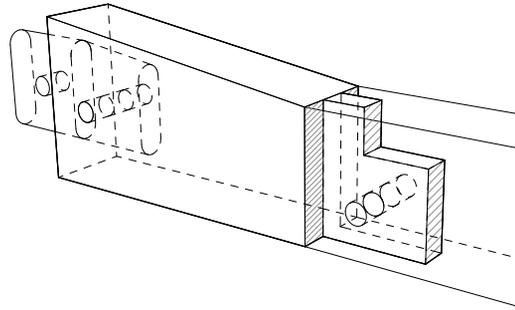
Ergebnis der Materialprüfung:

- $F_{max} = 1,81 \text{ kN}$
- dL bei $F_{max} = 6,9 \text{ mm}$

MITTELSEGMENT – STAB

6. V1 - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen mit Nutfeder - ohne Absatz - Leimbinder

- Material: Lärche
- Stabhöhe: 60 mm
- Stabbreite: 40 mm
- unverleimt



Herstellung des halbverdeckten Zapfens mittels Japansäge

Als Weiterentwicklung der bisherigen Schwachstelle (Mittelsegment zu Stab) wurde diese Verbindung in vier verschiedenen Abwandlungen des halbverdeckten Schlitz und Zapfens geprüft.



Nahaufnahme der offenen Verbindung der Probe 6. V1

Pro: leicht herzustellen

Contra: halbverdeckter Zapfen bleibt sichtbar



Vergleich der oberen Ansicht der Verbindungskante der Proben 6.V1 bis 6.V4

Zu erwarten ist, dass diese Varianten eine ähnliche F_{max} aufweisen werden und somit die Wahl aus ästhetischen und produktionstechnischen Gründen getroffen werden kann.



Abb. 92 Liniengrafik - 6 V1 Stab Halbverdeckter Schlitz und Zapfen

Abb. 93 Herstellung des halbverdeckten Zapfens 6 V1

Abb. 94 Nahaufnahme Probe 6 V1

Abb. 95 Vergleich der Proben 6 V1 bis 6 V4 - V1 markiert

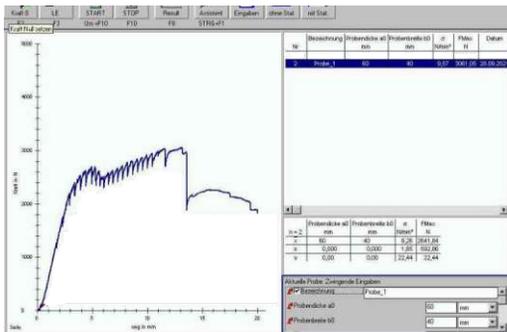
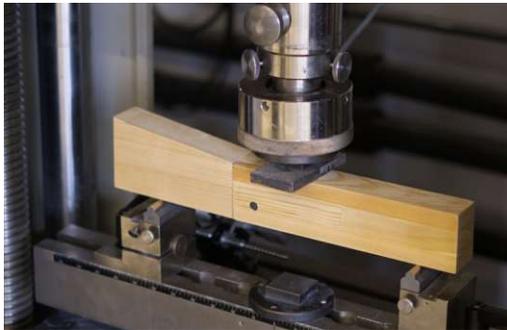


Abb. 96 Biegezugversuch - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen 6 V1
 Abb. 97 Analyse des Bruchbildes geschlossen Probe 6 V1
 Abb. 98 Nahaufnahme Probe 6 V1 zerstört
 Abb. 99 Prüfergebnis Probe 6 V1

Biegezugversuch zwischen
 Mittelsegment und Stab am
 28.09.2021

Prüfmaschine: Zwick Z250

Bruchbild nach der Materialprüfung

Der Materialwechsel von Fichte massiv zu dem Lärchen-Leimbinder mit gleichem Querschnitt hat zu einer Steigerung der Fmax von 1,81 kN zu 3,06 kN geführt.

Das Bruchbild hat sich dahingehend verändert, dass die Beanspruchung sowohl vom Zapfen als auch dem oberen Bereich des Stabes aufgenommen wurde. Versagt hat schließlich der Zapfen, welcher vom Sicherungsdübel parallel zur Faserrichtung des Holzes geteilt wurde.

Ergebnis der Materialprüfung:

- Fmax = 3,06 kN
- dL bei Fmax = 13,1 mm

MITTELSEGMENT – STAB

6. V2 - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen - Feder zum Zapfen hin abgestemmt - Leimbinder

- Material: Lärche
- Stabhöhe: 60 mm
- Stabbreite: 40 mm
- unverleimt

Herstellung der zum Zapfen hin abgestemmen Feder mittels Japansäge.

Die Herstellung des Schlitzes mittels Stemmeisen ist durch die abgeschrägte Feder aufwändiger.

Nahaufnahme der offenen Verbindung der Probe 6. V2

Pro: Sichtbarkeit der Verbindung reduziert

Contra: Schlitzherstellung F_{max} geringer

Vergleich der oberen Ansicht der Verbindungskante der Proben 6.V1 bis 6.V4

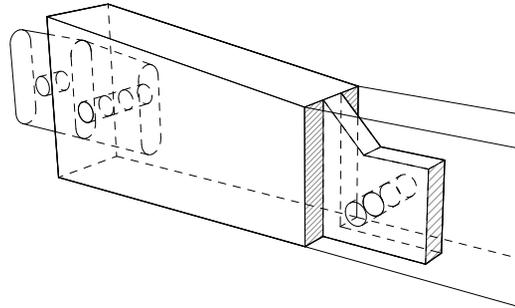


Abb. 100 Liniengrafik - 6 V2 Stab Halbverdeckter Schlitz und Zapfen

Abb. 101 Herstellung des halbverdeckten Zapfens 6 V2

Abb. 102 Nahaufnahme Probe 6 V2

Abb. 103 Vergleich der Proben 6 V1 bis 6 V4 - V2 markiert

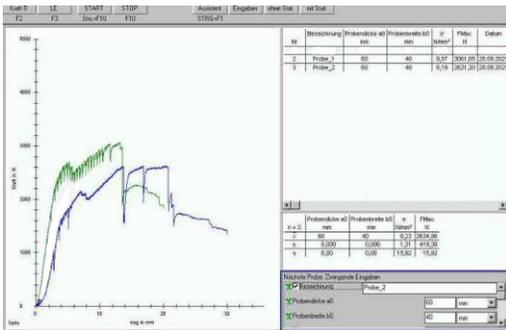
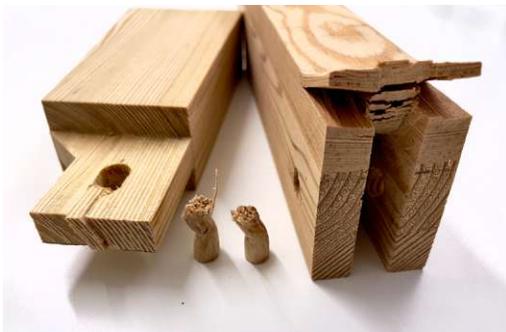


Abb. 104 Biegezugversuch - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen 6 V2

Abb. 105 Analyse des Bruchbildes geschlossen Probe 6 V2

Abb. 106 Nahaufnahme Probe 6 V2 zerstört

Abb. 107 Prüfergebnis Probe 6 V2

Biegezugversuch zwischen
 Mittelsegment und Stab am
 28.09.2021

Prüfmaschine: Zwick Z250

Bruchbild nach der Material-
 prüfung

Das Ergebnis kann nicht an die
 Probe 6 V1 herankommen, da die
 abgeschrägte Feder zu einer
 stärkeren Belastung der Feder im
 Sicherungsdübel führt und der
 Zapfen somit früher versagt.

Die reduzierte Feder führt zu
 einer stärkeren Verformung der
 Oberkante des Stabes und einer
 Weiterleitung der
 Beanspruchung an den
 Sicherungsdübel

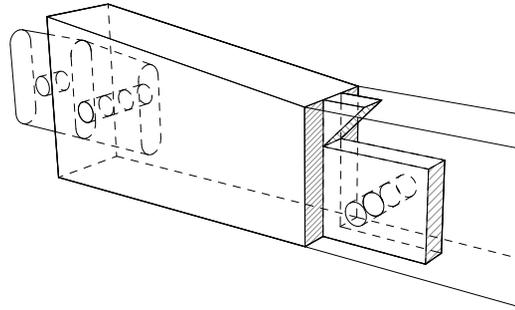
Ergebnis der Materialprüfung:

- $F_{max} = 2,62 \text{ kN}$
- $dL \text{ bei } F_{max} = 13,8 \text{ mm}$

MITTELSEGMENT – STAB

6. V3 - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen - Feder zu OK hin abgestemmt - Leimbinder

- Material: Lärche
- Stabhöhe: 60 mm
- Stabbreite: 40 mm
- unverleimt



Ausstemmen des Schlitzes für die abgeschrägte Nutfeder

Die Herstellung des Schlitzes mittels Stemmeisen ist durch die abgeschrägte Feder aufwändiger.



Nahaufnahme der offenen Verbindung der Probe 6. V3

Contra: Schlitzherstellung
F_{max} geringer



Vergleich der oberen Ansicht der Verbindungskante der Proben 6.V1 bis 6.V4



Abb. 108 Liniengrafik - 6 V3 Stab Halbverdeckter Schlitz und Zapfen

Abb. 109 Herstellung des Schlitzes 6 V3

Abb. 110 Nahaufnahme Probe 6 V3

Abb. 111 Vergleich der Proben 6 V1 bis 6 V4 - V3 markiert

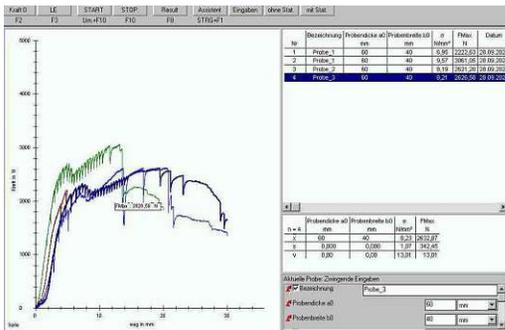


Abb. 112 Biegezugversuch - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen 6 V3
 Abb. 113 Analyse des Bruchbildes geschlossen Probe 6 V3
 Abb. 114 Nahaufnahme Probe 6 V3 zerstört
 Abb. 115 Prüfergebnis Probe 6 V3

Biegezugversuch zwischen Mittelsegment und Stab am 28.09.2021

Prüfmaschine: Zwick Z250

Bruchbild nach der Materialprüfung

Im Vergleich zu Probe 6. V1 weist diese Ausführung eine deutlich stärkere Verformung bei geringerer Fmax auf.

Die abgeschrägte Nutfeder kann die aufgebrachte Kraft kaum aufnehmen, was zu einer starken Beanspruchung im Bereich des Sicherungsdübeln führt. Dies führt schließlich zu einem Versagen der seitlichen Wange des Stabes und des Dübeln.

Ergebnis der Materialprüfung:

- o Fmax = 2,63 kN
- o dL bei Fmax = 19,5 mm

MITTELSEGMENT – STAB

6. V4 - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen - Zapfen und Feder eingebohrt - Leimbinder

- Material: Lärche
- Stabhöhe: 60 mm
- Stabbreite: 40 mm
- unverleimt

Herstellung des Sicherungsdübeln an der Probe 6. V4.

Die Herstellung der Verbindung sollte CNC-gesteuert einfach umsetzbar sein.

Nahaufnahme der offenen Verbindung der Probe 6. V4

Pro: Sichtbarkeit der Verbindung minimiert

Contra: Herstellung generell
F_{max} gering

Vergleich der oberen Ansicht der Verbindungskante der Proben 6.V1 bis 6.V4

Allseitig versteckte Verbindung. Lediglich der Sicherungsdübel bleibt sichtbar.

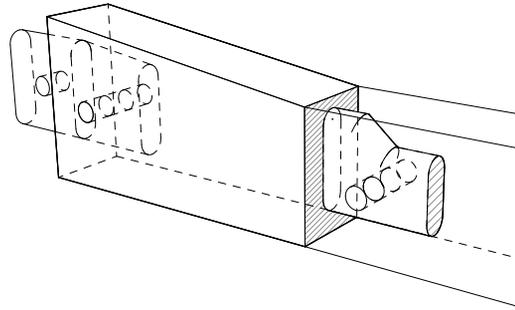


Abb. 116 Liniengrafik - 6 V4 Stab Halbverdeckter Schlitz und Zapfen

Abb. 117 Herstellung des Sicherungsdübeln 6 V4

Abb. 118 Nahaufnahme Probe 6 V4

Abb. 119 Vergleich der Proben 6 V1 bis 6 V4 - V4 markiert

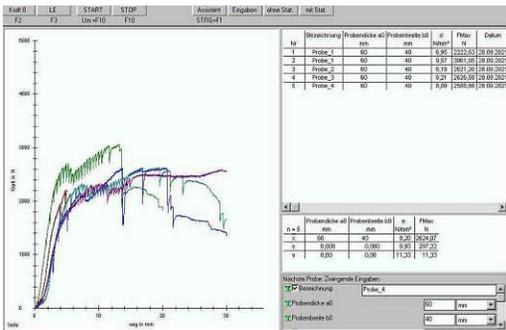


Abb. 120 Biegezugversuch - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen 6 V4

Abb. 121 Analyse des Bruchbildes geschlossen Probe 6 V4

Abb. 122 Nahaufnahme Probe 6 V4 zerstört

Abb. 123 Prüfergebnis Probe 6 V4

Biegezugversuch zwischen
 Mittelsegment und Stab am
 28.09.2021

Prüfmaschine: Zwick Z250

Bruchbild nach der Materialprüfung

Das erhoffte Ergebnis bezüglich der Tragfähigkeit konnte mit dieser Ausführung nicht erzielt werden.

Die Probe weist bereits bei geringerer Beanspruchung im oberen Bereich des Stabes über die ganze Breite hin deutlich stärkere Verformungen auf.

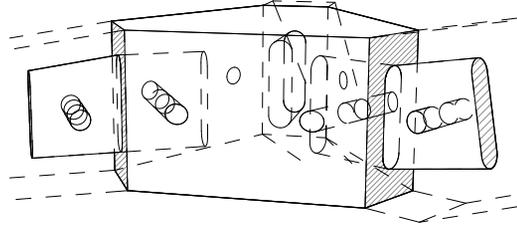
Ergebnis der Materialprüfung:

- $F_{max} = 2,59 \text{ kN}$
- dL bei $F_{max} = 29,6 \text{ mm}$

KNOTENPUNKT – MITTELSEGMENT

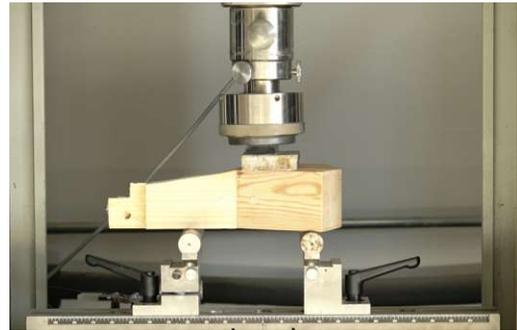
3. V1 - Fremde Feder - LB

- Material: Lärche
- Feder: Lärche massiv
- Knotenhöhe: 80 mm
- Stabhöhe: 60 mm
- Stabbreite: 40 mm
- verleimt



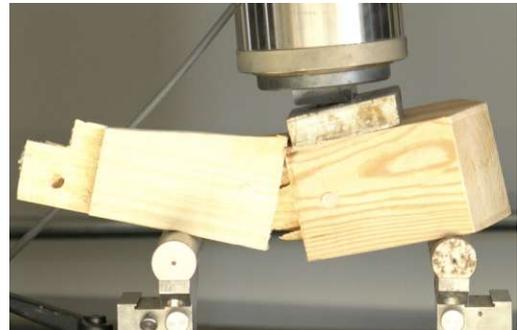
Scherversuch zwischen Knotenpunkt und Mittelsegment am 09.11.2021

Prüfmaschine: Zwick Z250



Bruchbild nach der Materialprüfung

Die Ausführung konnte ihre F_{max} im Vergleich zur unverleimten Probe aus massiver Fichte um etwa 350 % steigern und somit ein überragendes Ergebnis erzielen. Dies bei einer Verformung von lediglich 4 mm.



Ergebnis der Materialprüfung:

- $F_{max} = 21,05 \text{ kN}$
- dL bei $F_{max} = 4,0 \text{ mm}$

Knotenpunkt: 1. Platz

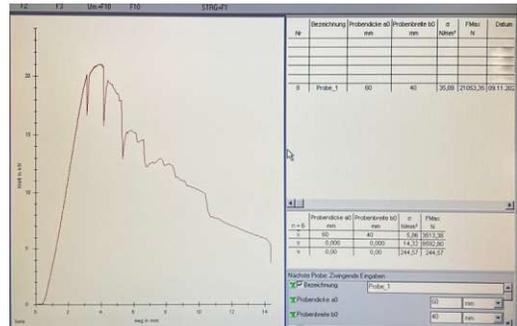


Abb. 124 Liniengrafik - 3 V1 Knotenpunkt Fremde Feder

Abb. 125 Scherversuch - Fremde Feder 3 V1

Abb. 126 Analyse des Bruchbildes geschlossen Probe 3 V1

Abb. 127 Prüfergebnis Probe 3 V1

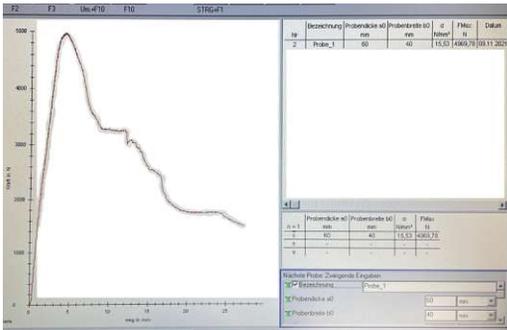
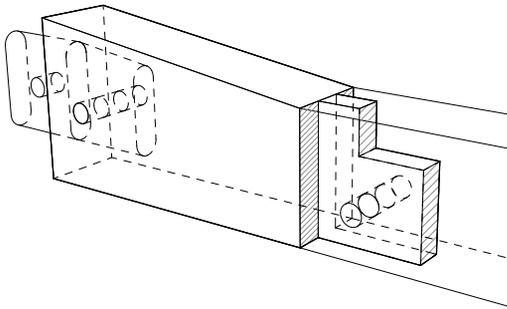


Abb. 128 Liniengrafik - 6 V5 Stab Halbverdeckter Schlitz und Zapfen
 Abb. 129 Biegezugversuch - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen 6 V5
 Abb. 130 Analyse des Bruchbildes geschlossen Probe 6 V5
 Abb. 131 Prüfergebnis Probe 6 V5

MITTELSEGMENT - STAB

6. V5 - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen mit Nutfeder - ohne Absatz - Leimbinder

- o Material: Lärche
- o Stabhöhe: 60 mm
- o Stabbreite: 40 mm
- o verleimt

Biegezugversuch zwischen Mittelsegment und Stab am 09.11.2021

Prüfmaschine: Zwick Z250

Bruchbild nach der Materialprüfung

Die Ausführung konnte ihr Fmax im Vergleich zur unverleimten Probe erneut von 3,06 kN auf 4,97 kN deutlich steigern. Dies bei einer deutlich geringeren Verformung.

Ergebnis der Materialprüfung:

- o Fmax = 4,97 kN
- o dL bei Fmax = 4,9 mm

Stab: 1. Platz

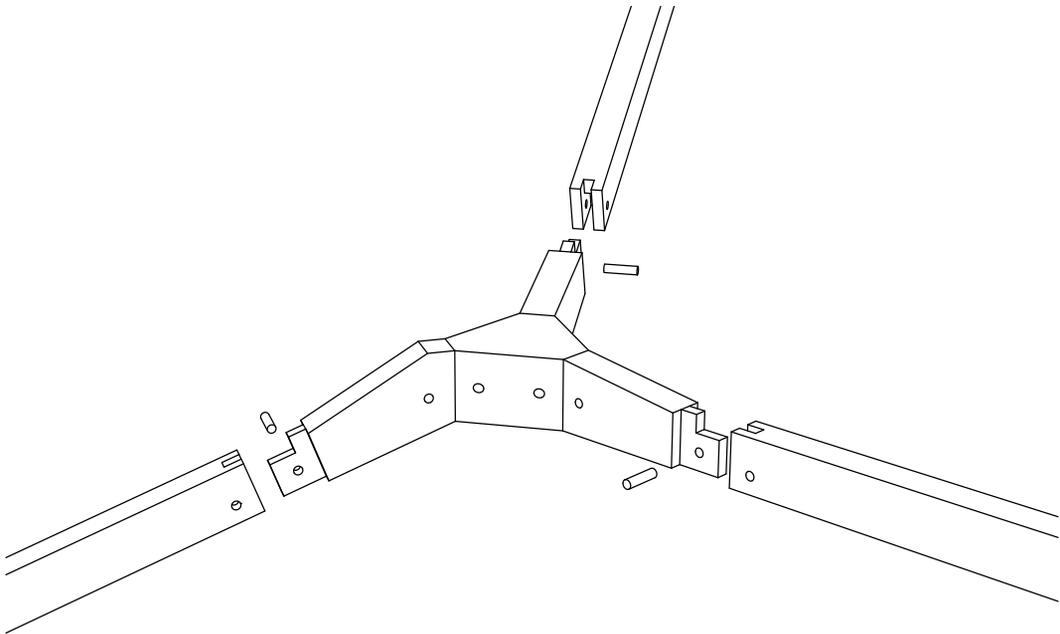
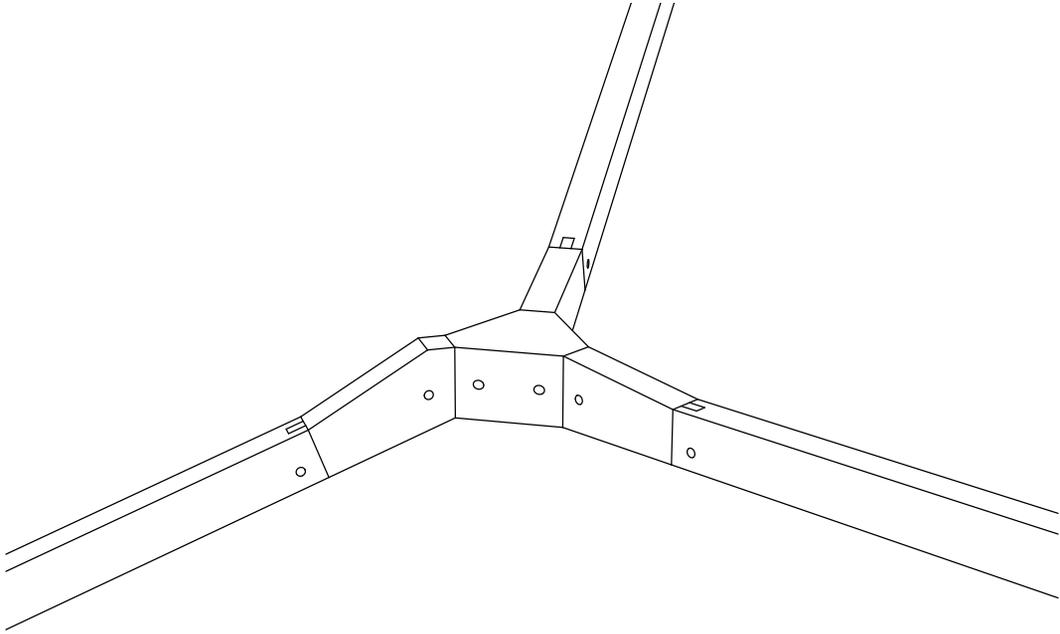


Abb. 132 Explosionszeichnung der gewählten Verbindungen geschlossen

Abb. 133 Explosionszeichnung der gewählten Verbindungen Stab offen

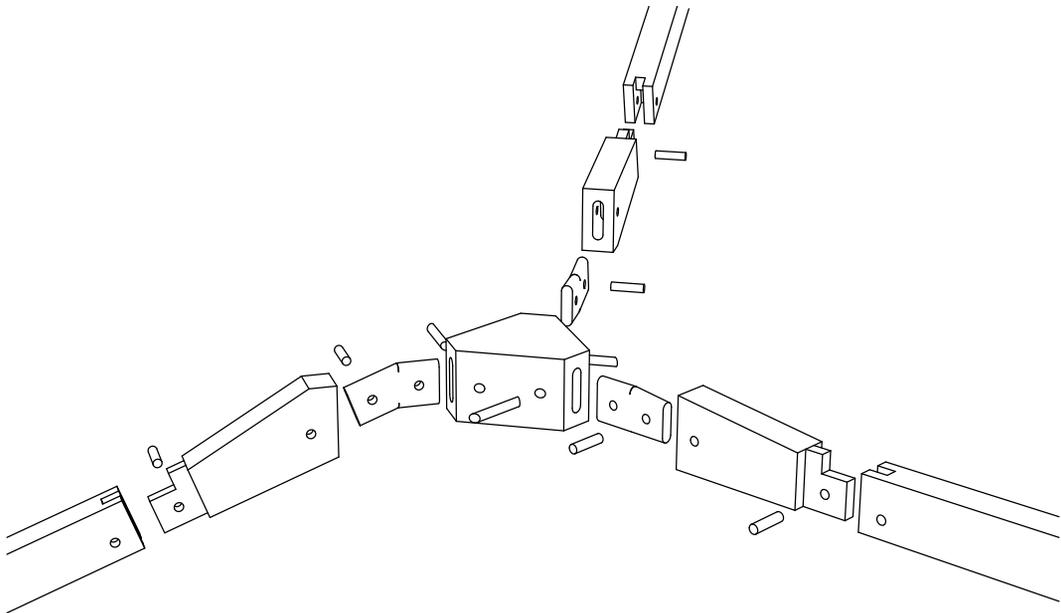
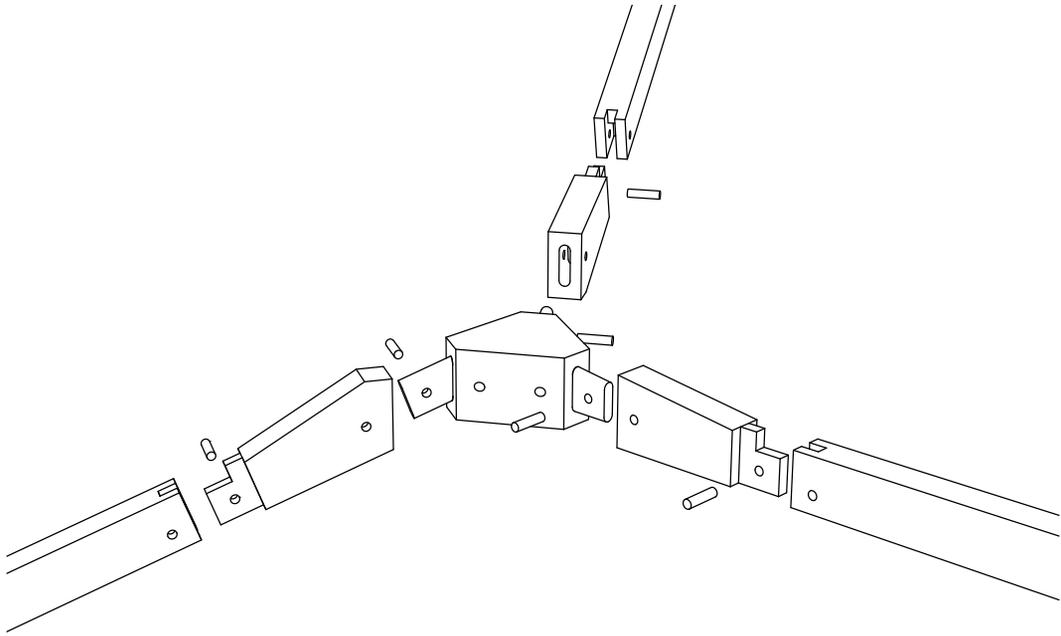


Abb. 134 Explosionszeichnung der gewählten Verbindungen Stab und Mittelsegment offen
Abb. 135 Explosionszeichnung der gewählten Verbindungen offen

PROTOTYP I

Nach den durchgeführten Materialprüfungen der einzelnen Verbindungen werden die jeweiligen Sieger-Ausführungen – 3.V1 und 6.V5 (Siehe S.70-71) – für den weiteren Entwurfsprozess herangezogen.

Der daraus entstandene **Prototyp I** ist ein Ausschnitt aus einem regelmäßigen Sechseck-Netz, wobei jeder zweite Punkt in ein Dreibein mit einem Hochpunkt umgewandelt wurde. Dieses Netz kann beispielsweise als Tragstruktur eines horizontalen Raumabschlusses fungieren.

Trotz weiterhin händischer Produktion konnte der Herstellungsprozess verbessert werden, da für die jeweiligen Arbeitsschritte Schablonen für eine Oberfräse und Bohrpunkte der einzelnen Verbindungen geschaffen wurden.

Der fertige Prototyp I kann nun erstmals im Verbund eines Netzes untersucht und geprüft werden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden im weiteren Projektverlauf berücksichtigt.

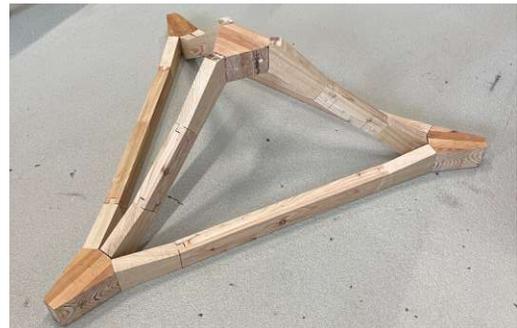
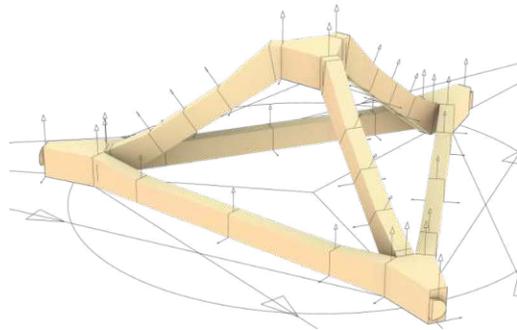
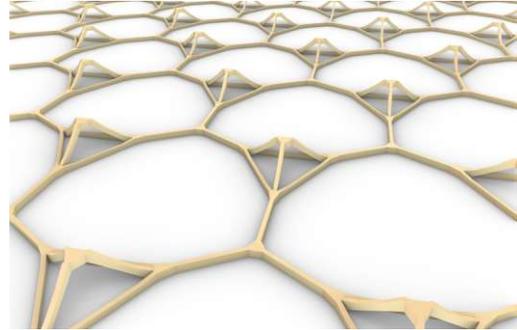


Abb. 136 Entwurf Netz . Prototyp I - regelmäßiges Sechseck mit Dreibein-Hochpunkten

Abb. 137 Prototyp I - Ausschnitt aus Netz - Dreibein mit einem Hochpunkt und Hilfslinien

Abb. 138 Knotenpunkt mit eingesetzten Fremden Federn

Abb. 139 Zusammenbau des Prototyp I



Abb. 140 Prototyp I - erste Belastung

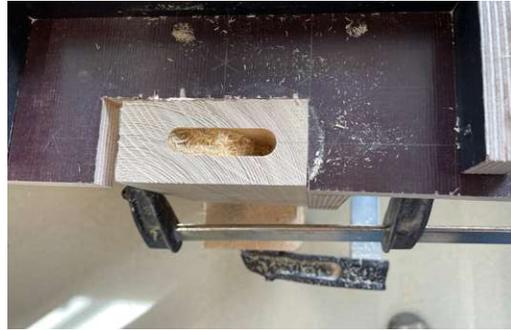
PROTOTYP II

Im fortschreitenden Entwurfsverlauf hat sich der Holzweg als eines der essenziellen Elemente herauskristallisiert. Um den Einsatz der Verbindungen für diesen Zweck überprüfen zu können, wurde der Prototyp II hergestellt.

Trotz der für den Prototyp I bereits hergestellten Fräs-, Schneide- und Bohrschablonen – welche hierfür erneut eingesetzt werden konnten – barg die Herstellung aufgrund der Größe neue Überraschungen.

Da es sich bei dem Netzausschnitt bereits um eine größere Struktur handelt, mussten vor Baubeginn des Probenkörpers die möglichen Prüfmaschinen dafür gefunden werden.

Ein passendes Labor bietet die HTL-Camillo Sitte Bautechnik in der Leberstraße 4c, 1030 Wien. Somit wurden die Abmessungen des Prototyps auf passende Dimensionen umgeplant. Der so mögliche Versuchsaufbau ist in Abbildung 145 dargestellt.



- Abb. 141 Fräsen der Mittelsegment mit extra angefertigter Frässchablone
- Abb. 142 Mittelsegmente mit gefrästen Schlitzen der Fremden Feder
- Abb. 143 Herstellung der Knotenpunkte
- Abb. 144 Zusammenbau des Prototyp II - Ausschnitt aus dem Holzweg

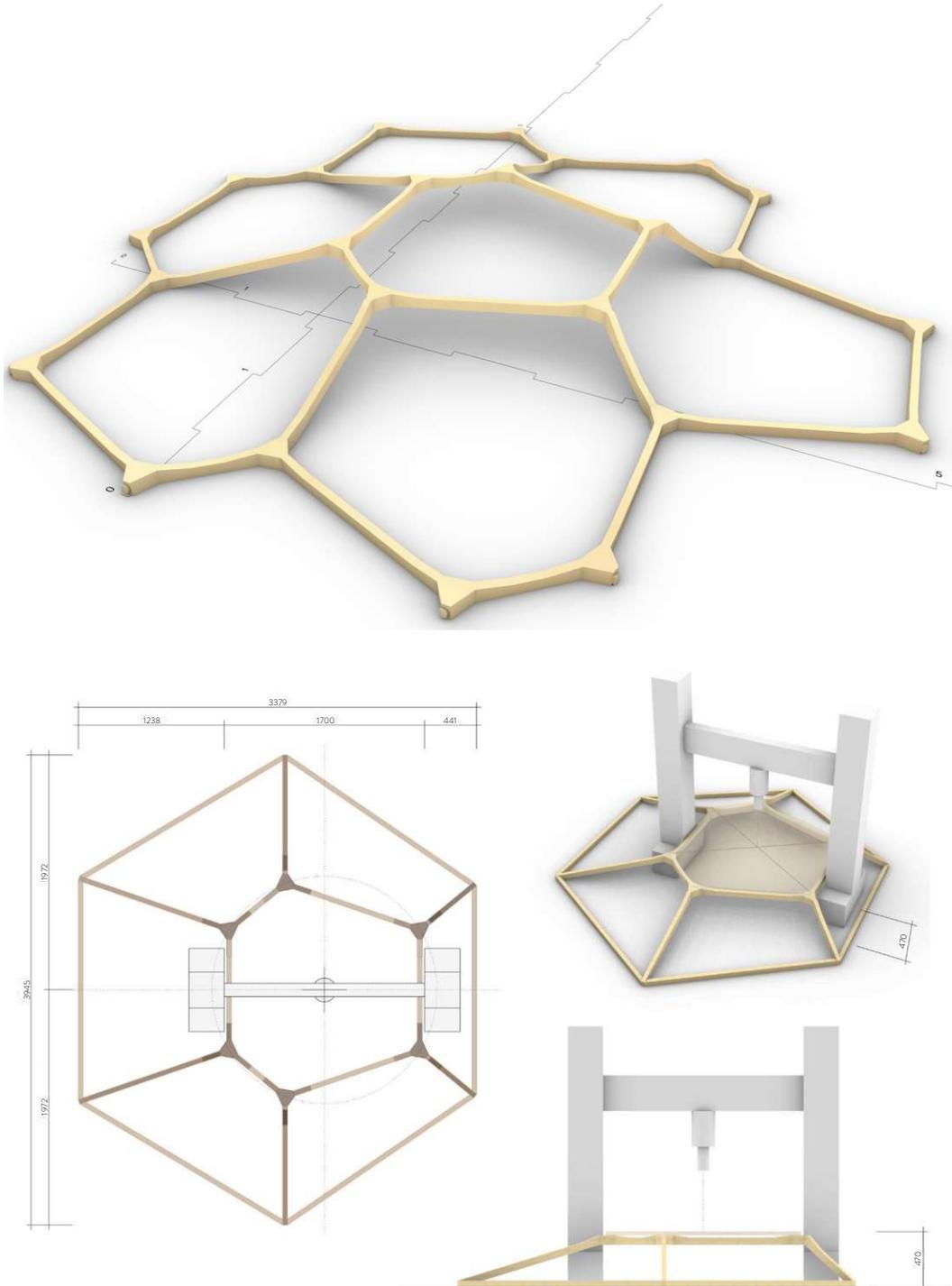
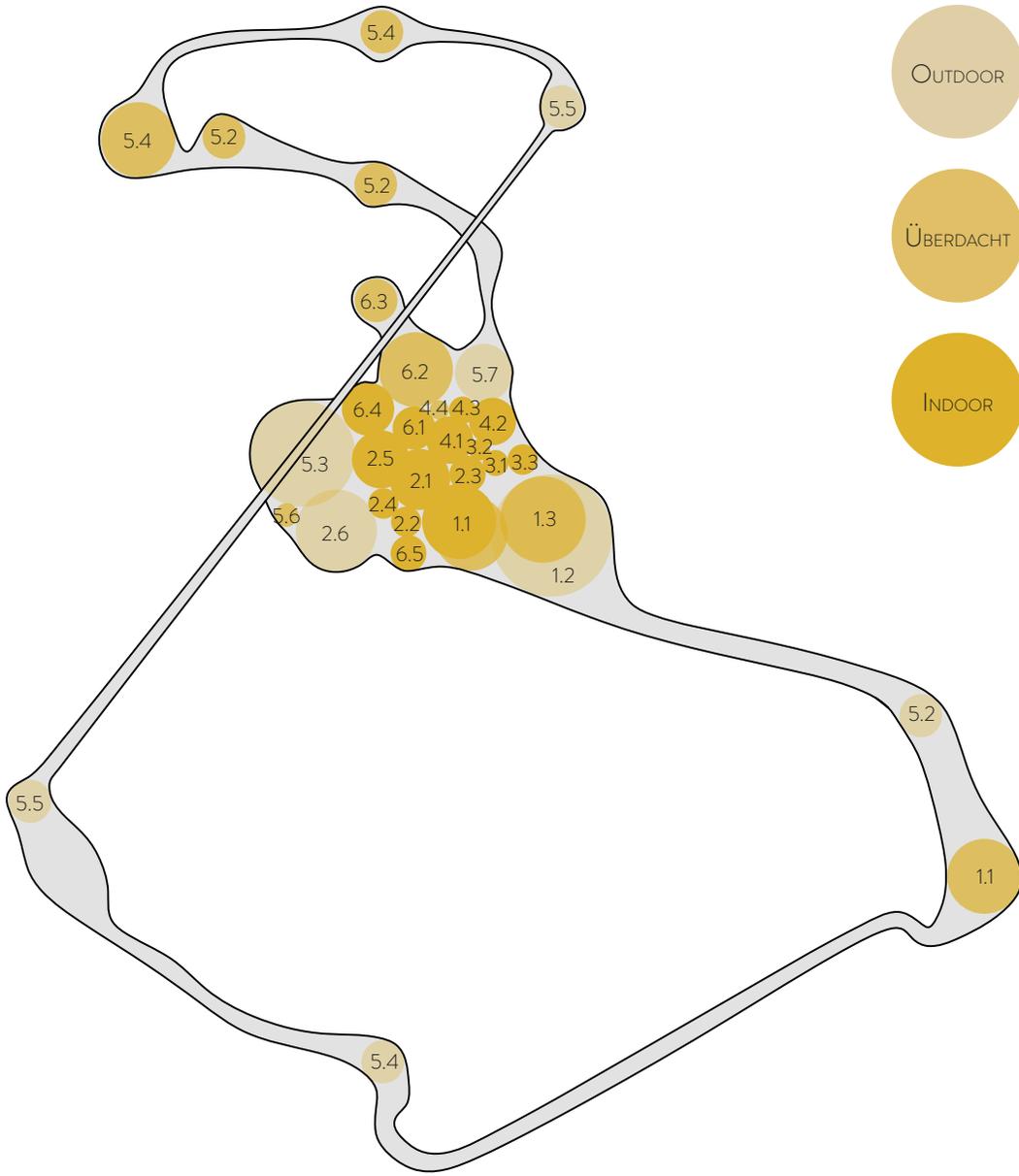


Abb. 145 Entwurf Prototyp II - Ausschnitt aus dem Holzweg
Pln. 2 Versuchsaufbau zur Materialprüfung des Prototyp II - Netz aus 6 Knotenpunkten

5.4 RAUMPROGRAMM

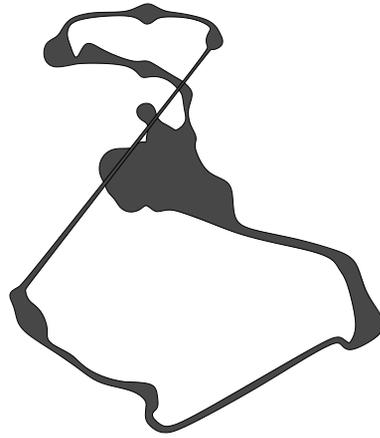
1 VORPLATZ	1.1 ANKUNFTSBEREICH	150 M ²
	1.2 RADSTELLPLÄTZE	400 M ²
	1.3 VORDACH FÜR RÄDER	200 M ²
		750 M²
2 EINGANGSBEREICH	2.1 WARTEZONE	100 M ²
	2.2 EMPFANG MIT KASSA	25 M ²
	2.3 WC	36 M ²
	2.4 SHOP UND CAFÉ	25 M ²
	2.5 SITZBEREICH (INNEN)	90 M ²
	2.6 SITZBEREICH (AUSSEN, PLATTFORM)	180 M ²
	456 M²	
3 PERSONAL	3.1 UMKLEIDEN	18 M ²
	3.2 DUSCHEN UND WC	12 M ²
	3.3 PAUSENRAUM	25 M ²
	55 M²	
4 VERLEIH	4.1 VERLEIHSTATION	60 M ²
	4.2 LAGER FÜR KLETTERZUBEHÖR	60 M ²
	4.3 UMKLEIDEBEREICHE	20 M ²
	4.4 TOURGUIDE SAMMELPLATTFORM	10 M ²
	150 M²	
5 SPORTBEREICH	5.1 KLETTERWAND (FELSEN)	BESTAND
	5.2 KLETTERWEG (HOLZSTEG)	LT. ENTWURF
	5.3 KINDERKLETTERGARTEN (GITTER)	300 M ²
	5.4 AUSSICHTSPLATTFORMEN (GITTER)	150 M ²
	5.5 SPRUNGPLATTFORMEN (GITTER)	50 M ²
	5.6 KLETTERWART (GITTER)	15 M ²
	515 M²	
6 EVENTZONE	6.1 INDOOR BÜHNE	50 M ²
	6.2 TRIBÜNE	LT. ENTWURF
	6.3 OUTDOOR BÜHNE	50 M ²
	6.4 BACKSTAGE-BEREICH/TECHNIK/LAGER	75 M ²
	6.5 ANLIEFERUNG	35 M ²
	210 M²	

Abb. 146 Raumprogramm



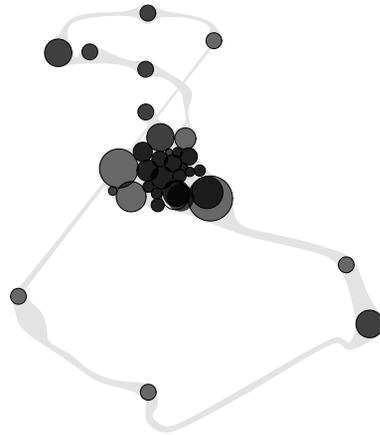
SCHLEIFE

Um den Harzbergbruch von allen Seiten aus erleben zu können, wird eine Schleife über das ganze Tal gelegt, welche in ihrem Mittelpunkt in einem Kletterzentrum endet. Das neue Herz des Tales.



CLUSTER

Die Funktionen des erstellten Raumprogramms werden nach der jeweils zueinander passenden Nutzung sinnvoll miteinander in Bezug gestellt. Die so entstandenen Cluster verdichten sich somit in ihrem Zentrum, aus denen die Bereiche für die verschiedenen Strukturen abgeleitet werden.



STRUKTUR

Hier können nun die Parameter für das Skript der jeweiligen Einsatzbereiche definiert werden und eine Voronoi-Netzstruktur für die entsprechenden Funktionsbereiche erstellt werden. Die so entstehende Skulptur wird in weiterer Folge zu dem Entwurf ausgearbeitet.

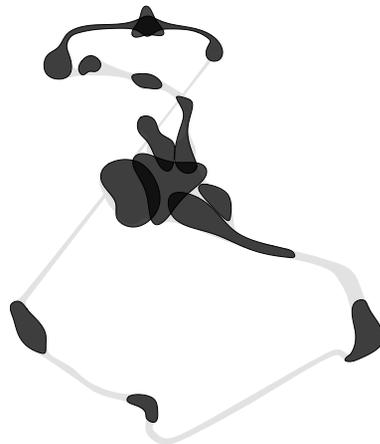
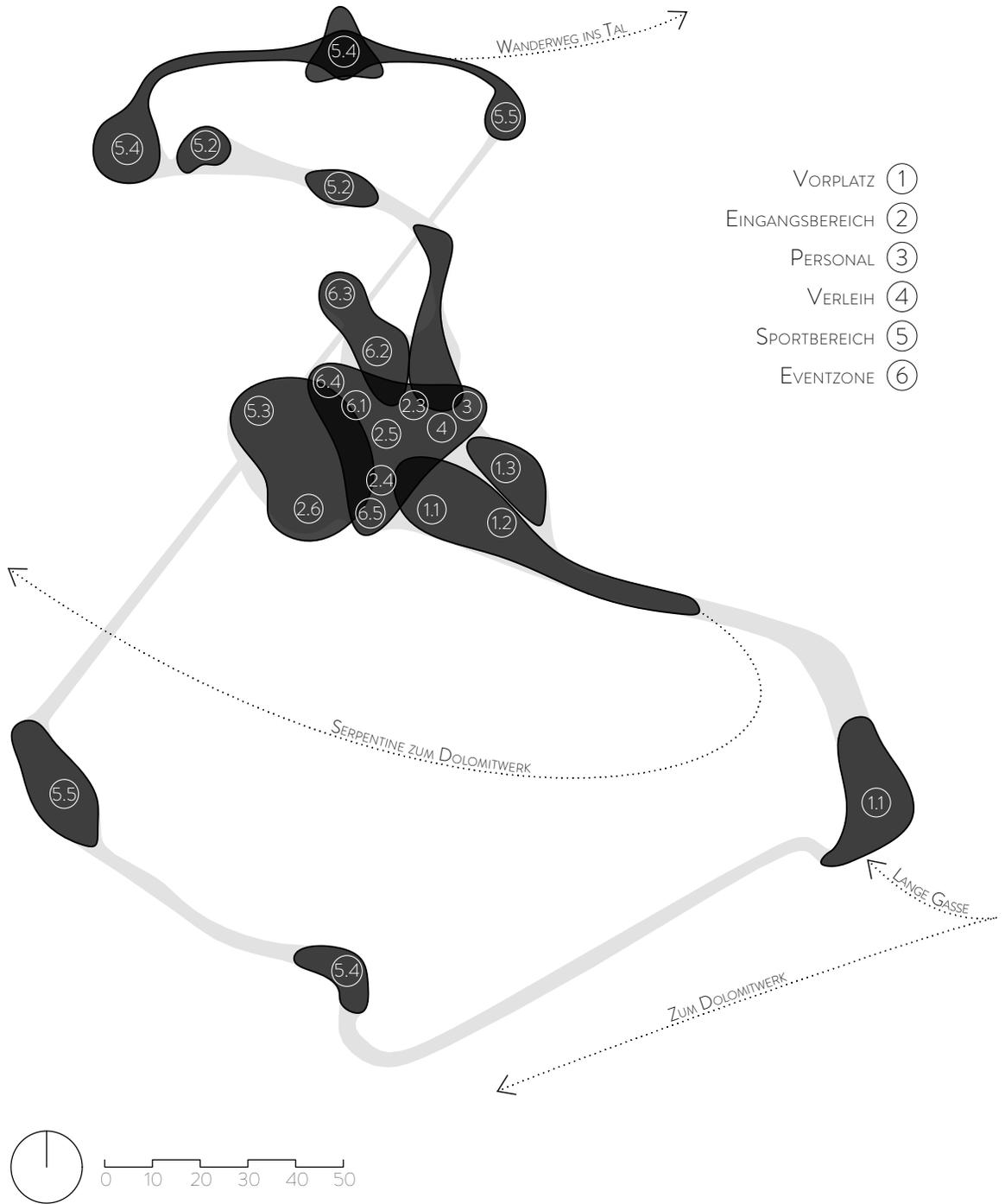


Abb. 147 Schema Schleife

Abb. 148 Schema Cluster

Abb. 149 Schema Struktur

Abb. 150 Funktionsbereiche



BESCHREIBUNG DER FUNKTIONSBEREICHE

1 - VORPLATZ

Ein langer Schotterweg führt serpentinartig den steilen Weg hinauf, fällt nach einer weiteren S-Kurve leicht ab und führt zu einer freien Lichtung, die leicht geneigt und vertieft ist, wie ein Abdruck. Wir befinden uns inmitten des ehemaligen Steinbruchs.

An diesem Vorplatz können die Besucher*innen ihre Fahrräder und andere alternative Mobilitätsgegenstände, wie Roller, Scooter oder E-Bikes, abstellen und aufladen.

2 - EINGANGSBEREICH

Ein fließender Übergang zwischen innen und außen prägt das Erscheinungsbild des Kletterzentrums. Ein Flugdach bietet den Rädern und ankommenden Besuchern Schutz bei Regen oder extremer Hitze.

Die dynamische Form des Flugdachs führt in Richtung Eingang und der dort befindlichen Wartezone. In dieser befinden sich radial angeordnet ein Empfangspult zum Ticketing, Sitzgelegenheiten und ein in der Nähe befindliches Besucher WC.

Die Wartezone führt einerseits zum Beginn der Kletterroute, aber auch andererseits zu einem angeschlossenen Café im Herzen des Kletterzentrums. Aus dieser zusammengeführten Eingangshalle und -Wartezone wird man in den Sportbereich sowie in den Eventbereich geführt.

3 - PERSONAL

Hinter dem Empfangstresen mit Kassa und Anmeldung / Ticketing befinden sich Arbeitsplätze für die Mitarbeiter. In Weiterfolge befindet sich ein kompakter Raumkern mit den für die Angestellten notwendigen internen Ablaufbereiche:

- Umkleide
- Duschen und WC
- Pausen- und Aufenthaltsbereiche
- Arbeitsplätze und Teambereich

4 - VERLEIH

In der an den Kassabereich angeschlossenen Verleihstation erhalten Kletterbegeisterte künftig ihre Ausrüstung. Je nach Bedarf können sich die Neo-Kletterer auch in den Umkleiden diese, für den Kletttervorgang notwendige, Spezialausrüstung anlegen.

Ein Lager für die Ausrüstung, ebenso wie Spinde, gehören zu den räumlichen Aufgaben der Verleihstation. Hierfür wurden Bereiche und abschließbare Zonen definiert.

Am Ende der Verleihstation können sich die umgekleideten Kletterbegeisterten in der sogenannten „Sammelplattform“ einfinden. Von hier an beginnt der Aufstieg und das Klettererlebnis. Touren können mit und ohne Tourguides stattfinden.

5 - SPORTBEREICH

Nach verlassen des Hauptgebäudes, beginnt ein Weg, der zum Harzbergbruch führt. Ein kleiner, freistehender Pavillon bildet die Aussichtsplattform des Kletterwarts, der die Steilwand im Auge behält.

Entlang des Klettersteigs gibt es verschiedene Plattformen, welche für kurze Pausen und als Aussichtshighlight für Kletterbegeisterte genutzt werden können.

Hat man nun den Aufstieg gemeistert endet die Tour nicht – man erreicht die große Aussichtsplattform mit Blick Richtung Hochschneeberg und Hoher Wand, von der aus zwei

verschiedene Reisewege zurück ins Hauptgebäude führen:

- Flying Fox Seilrutsche
- Wanderweg ostwärts retour in das Steinbruch-Tal.

6 - EVENTZONE

Sollte man als Kletterbegeisterter ein Schlechtwetterprogramm benötigen, oder einfach eine sehr eindrucksvolle Szenerie für ein Konzert suchen, haben Sie im Eventbereich ihren Aufenthaltsort gefunden. Konzerte, Veranstaltungen, Team-Building-Events und weitere Möglichkeiten werden hier in spannender Umgebung erlebbar. Indoor und Outdoor.



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

VI. ERGEBNIS / RESULTAT

- 6.1 VERWURZELT
- 6.2 ARBEITSMODELLE

6.1 VERWURZELT

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

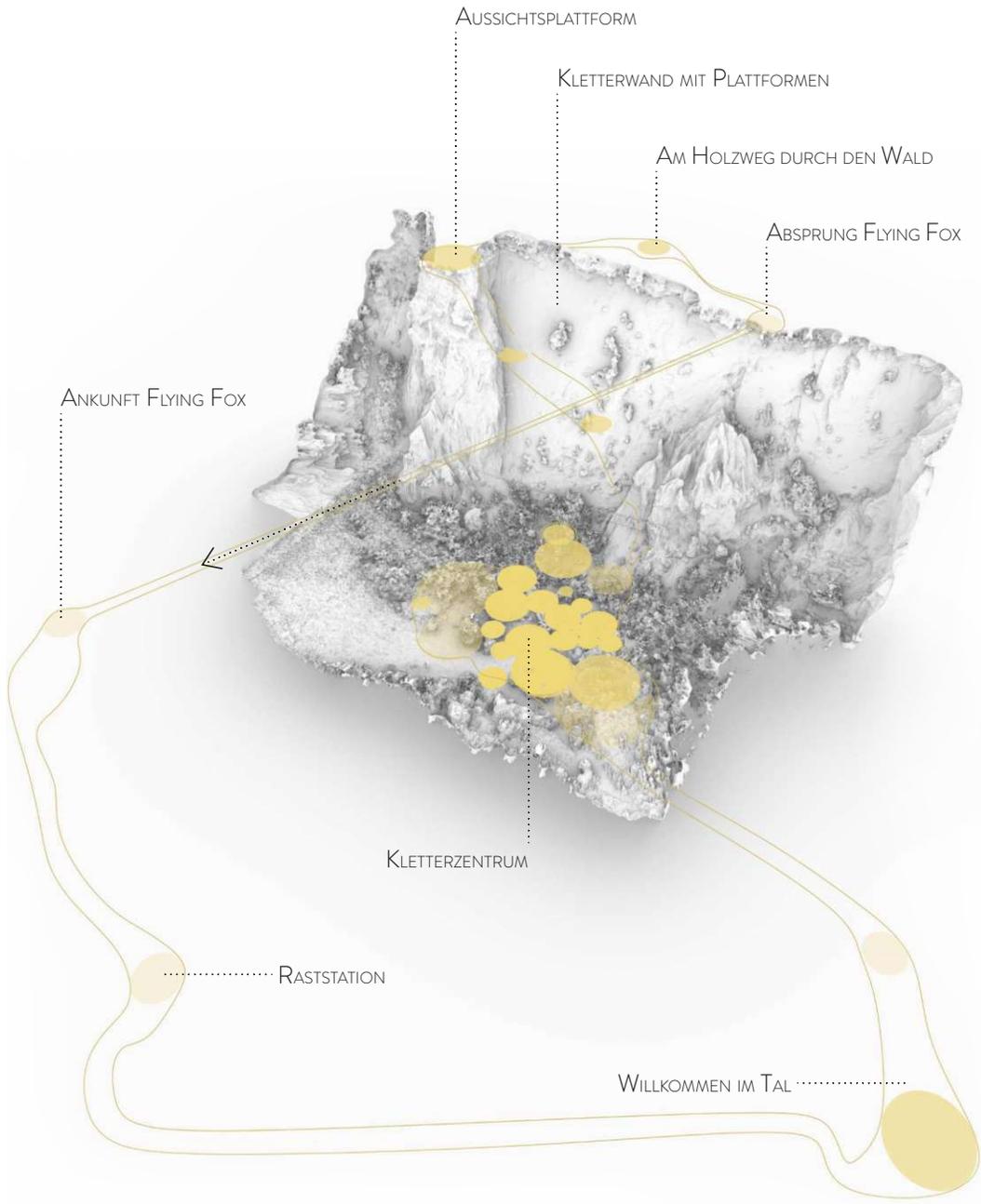
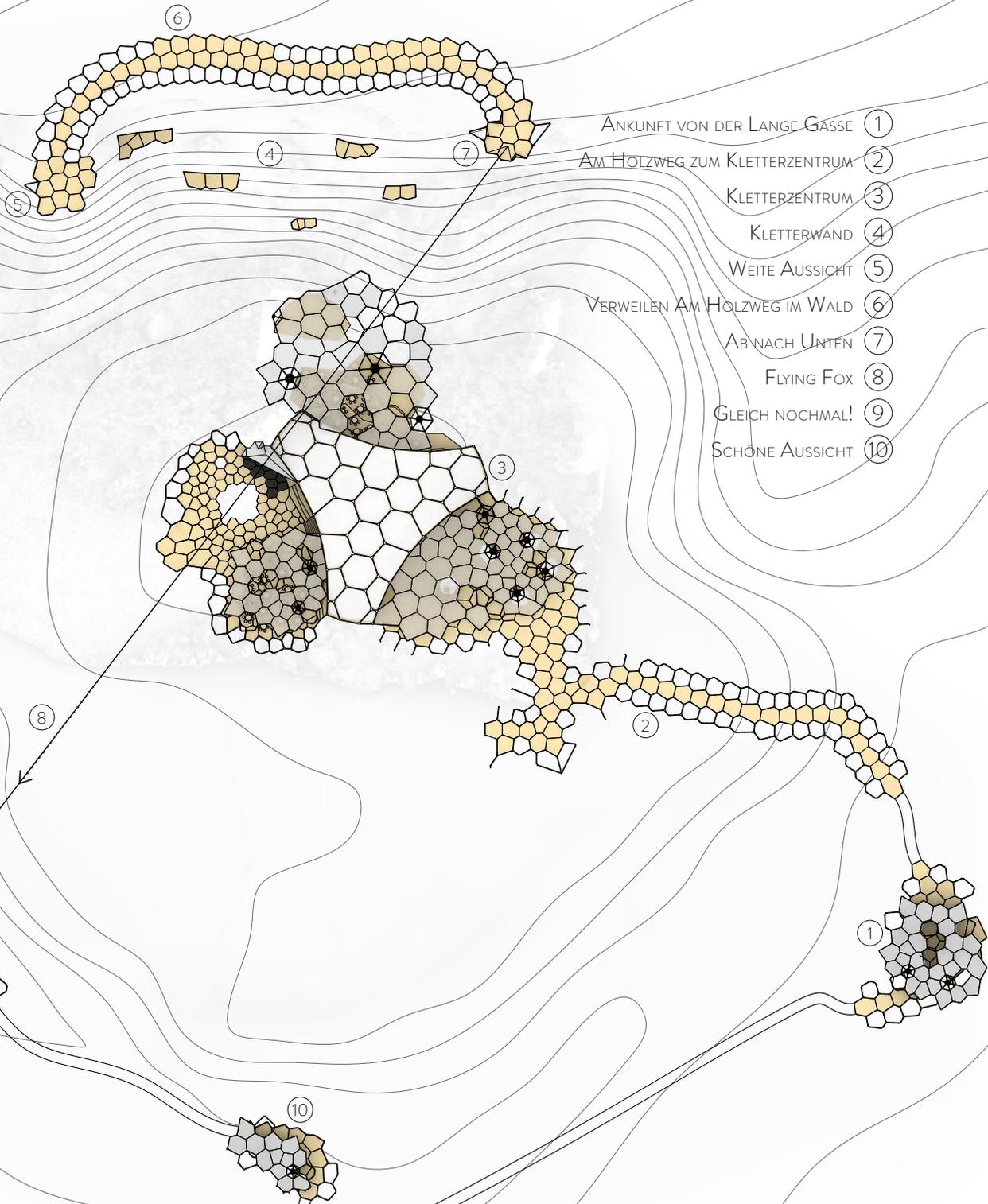
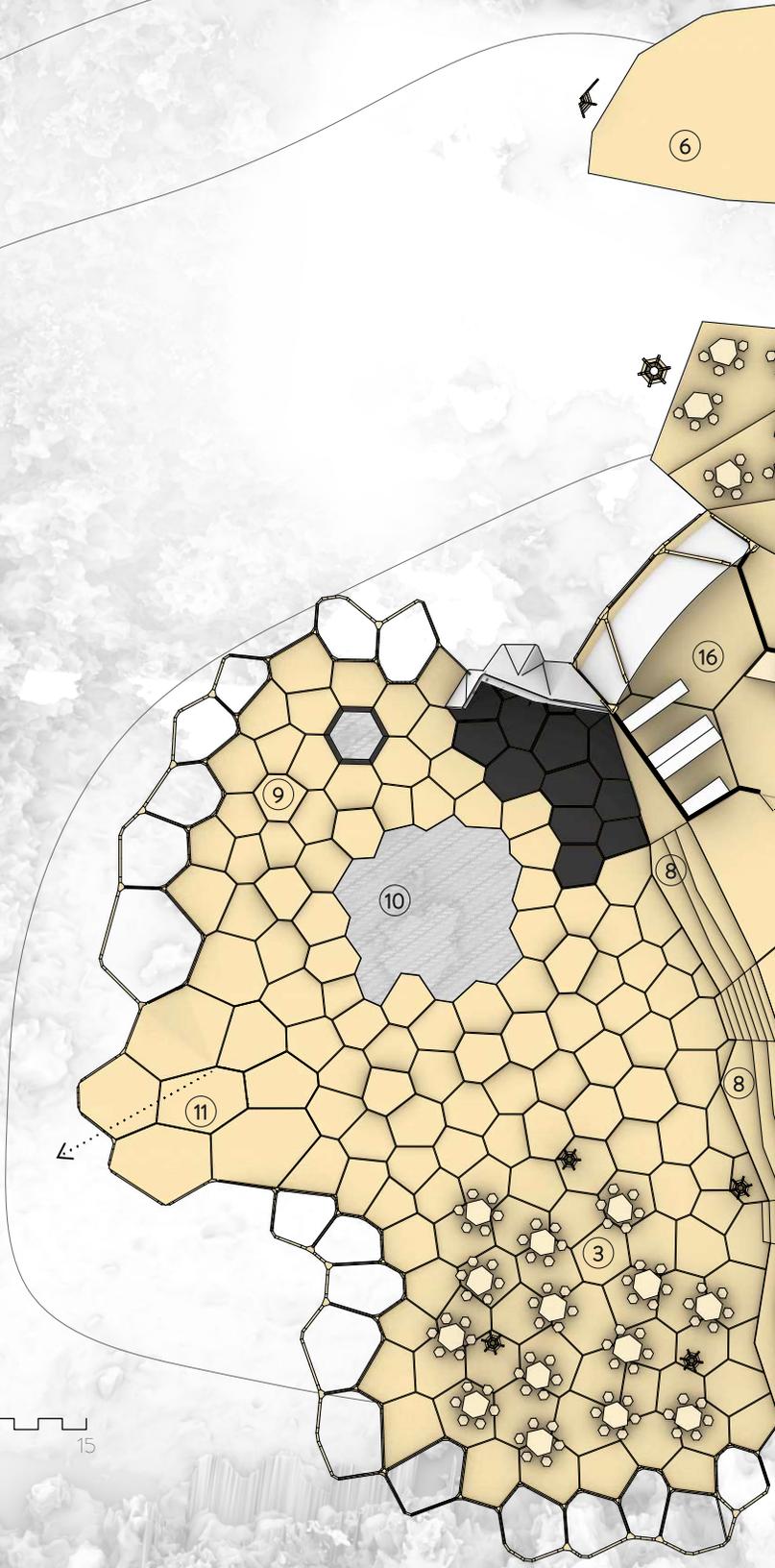
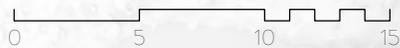


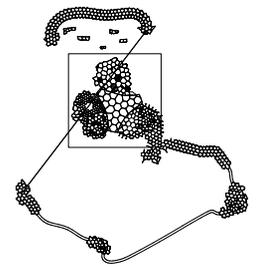
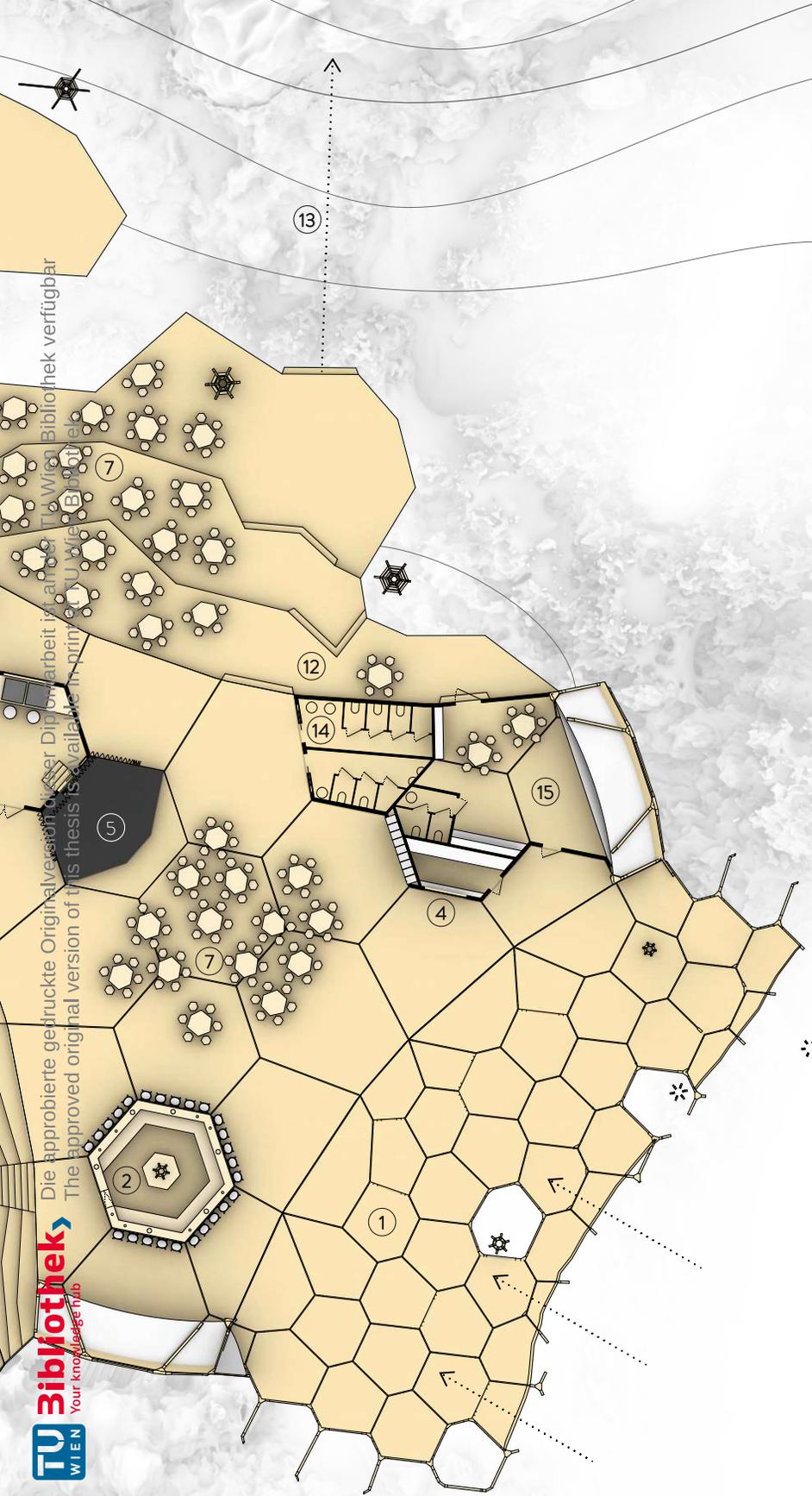
Abb. 151 Dreidimensionales Raumprogramm
Pln. 3 Draufsicht

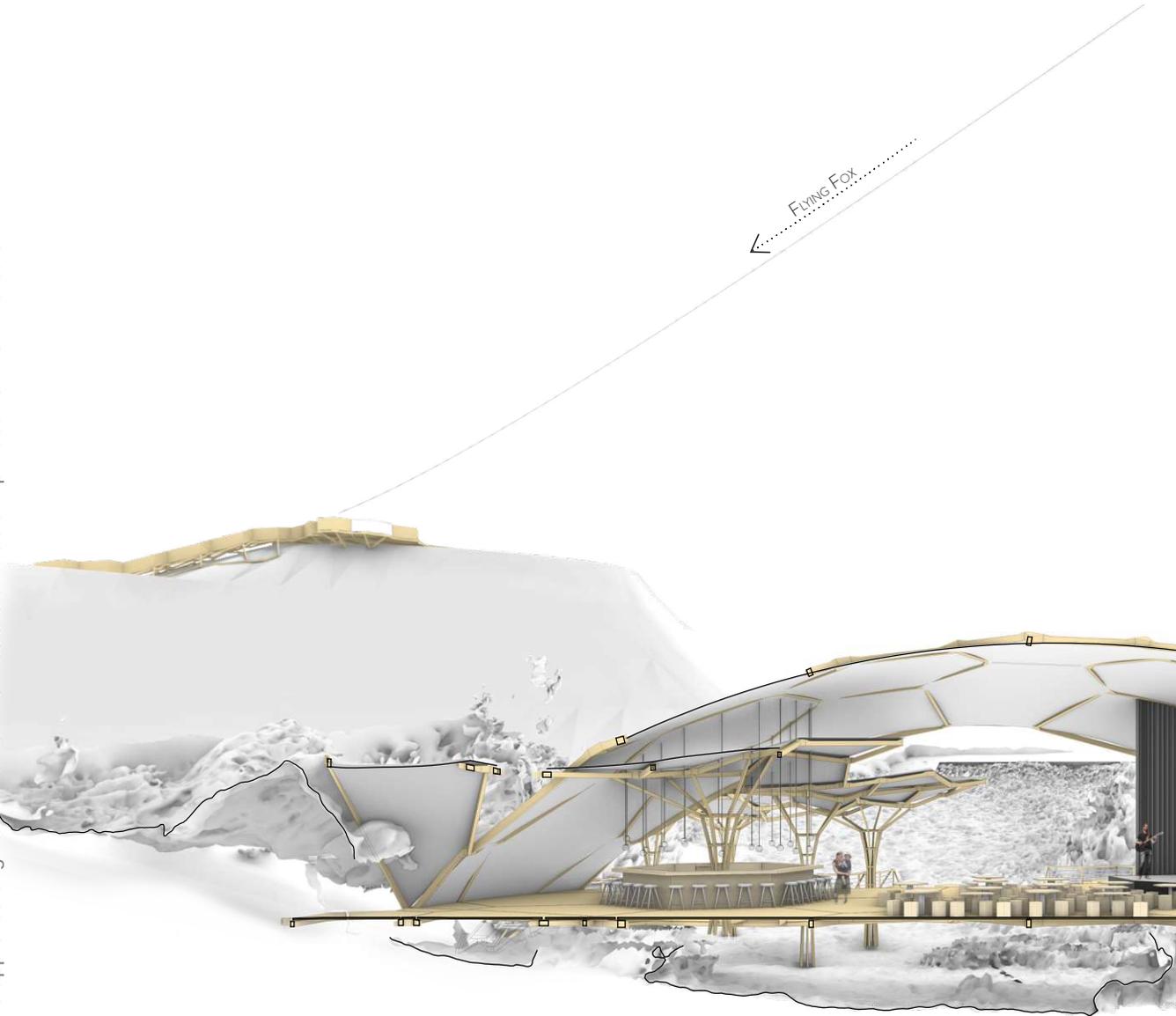
Die approved version dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



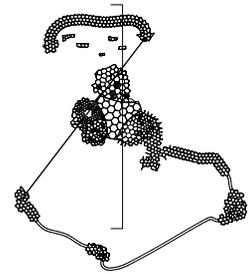
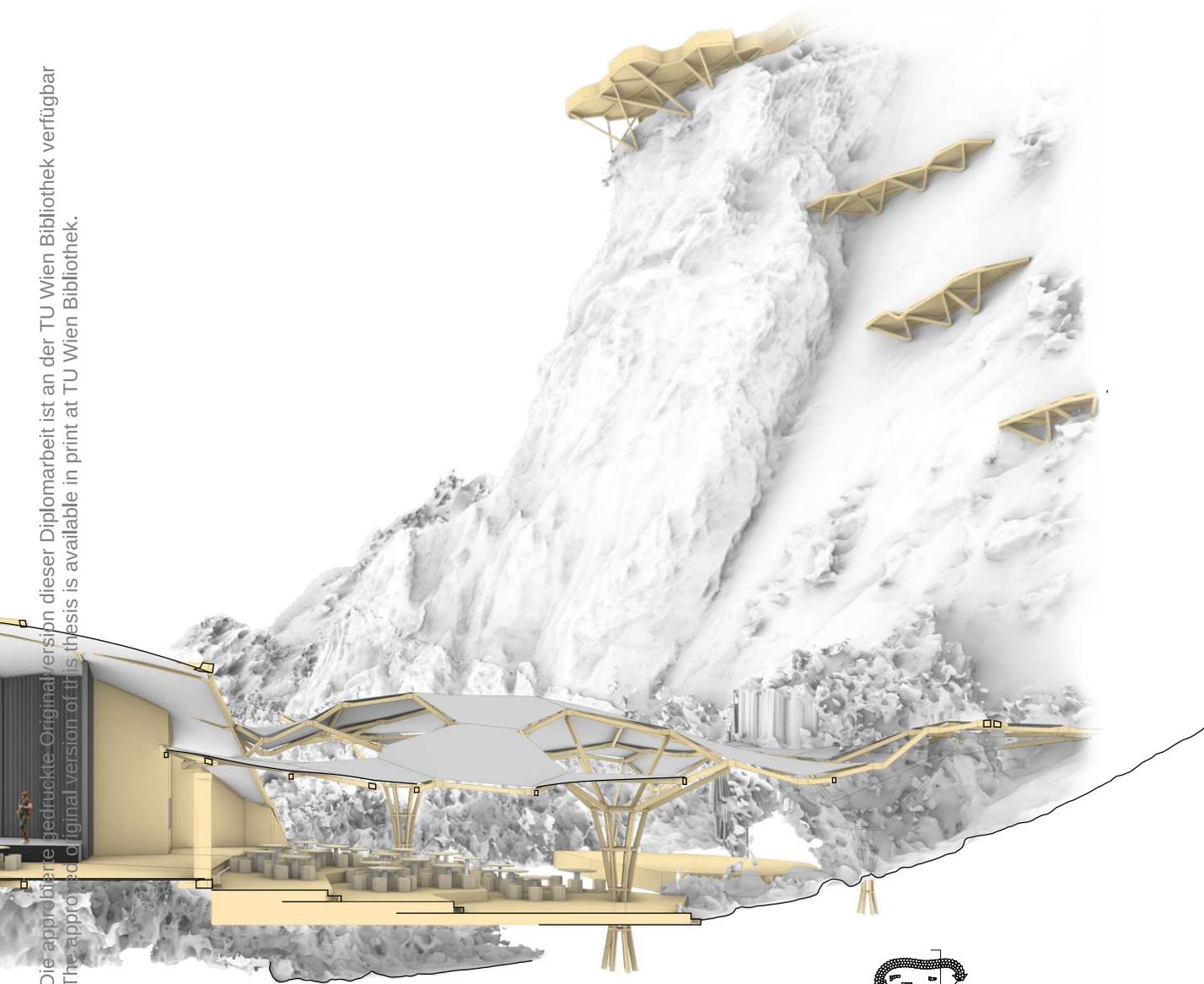
- ① ANKUNFT
- ② BAR
- ③ CAFÉ
- ④ VERLEIHSTATION / SPINDE
- ⑤ INDOORBÜHNE
- ⑥ OUTDOORBÜHNE
- ⑦ ZUSCHAUERBEREICHE
- ⑧ SITZSTUFEN
- ⑨ KLETTERGARTEN
- ⑩ HÄNGENETZ
- ⑪ WEG ZUR LICHTUNG
- ⑫ TOURGUIDE
- ⑬ AUFSTIEG
- ⑭ SANITÄR
- ⑮ BACKOFFICE
- ⑯ BACKSTAGE- BEREICH / TECHNIK







0 5 10 15



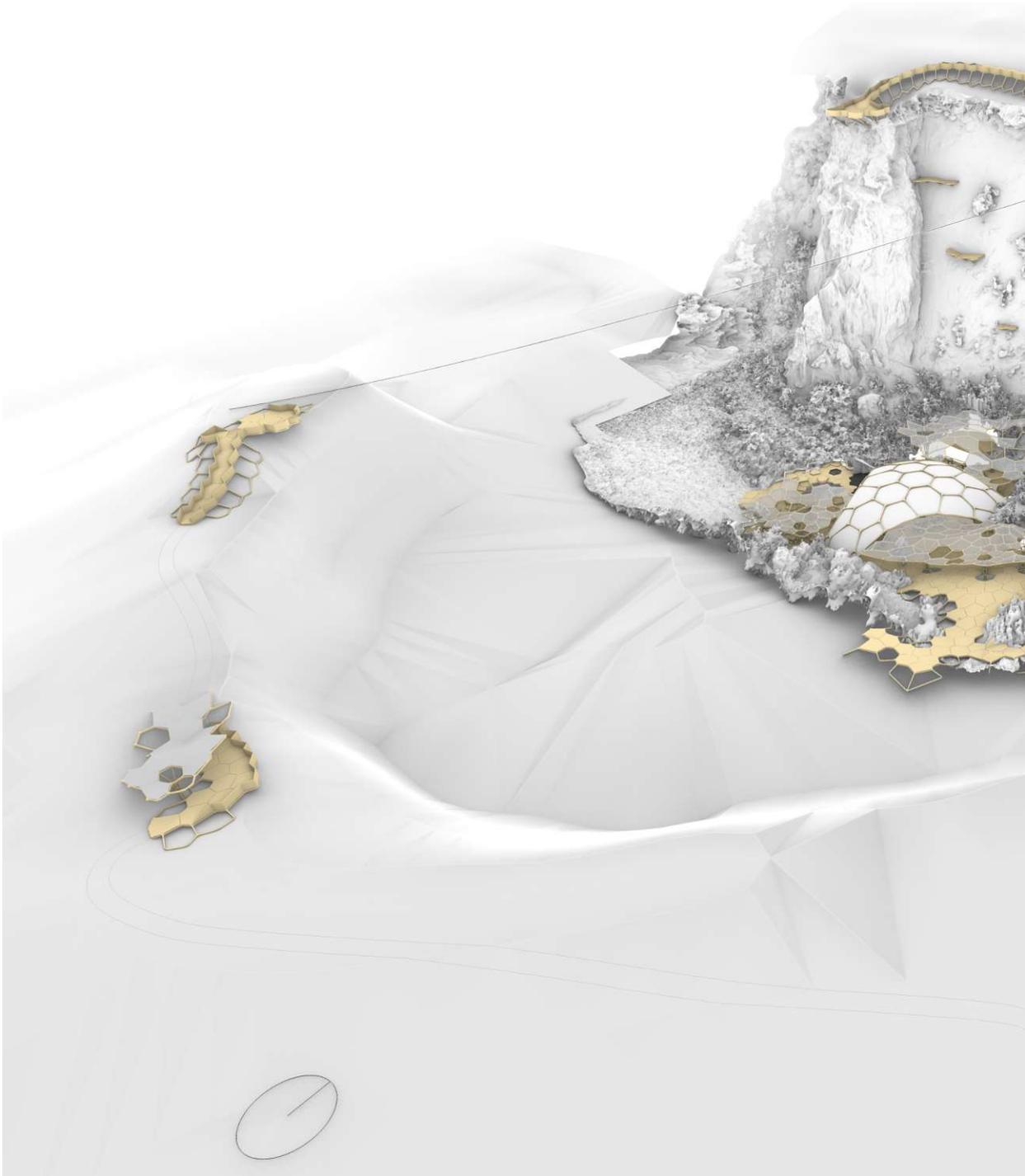


Abb. 152 Vogelperspektive



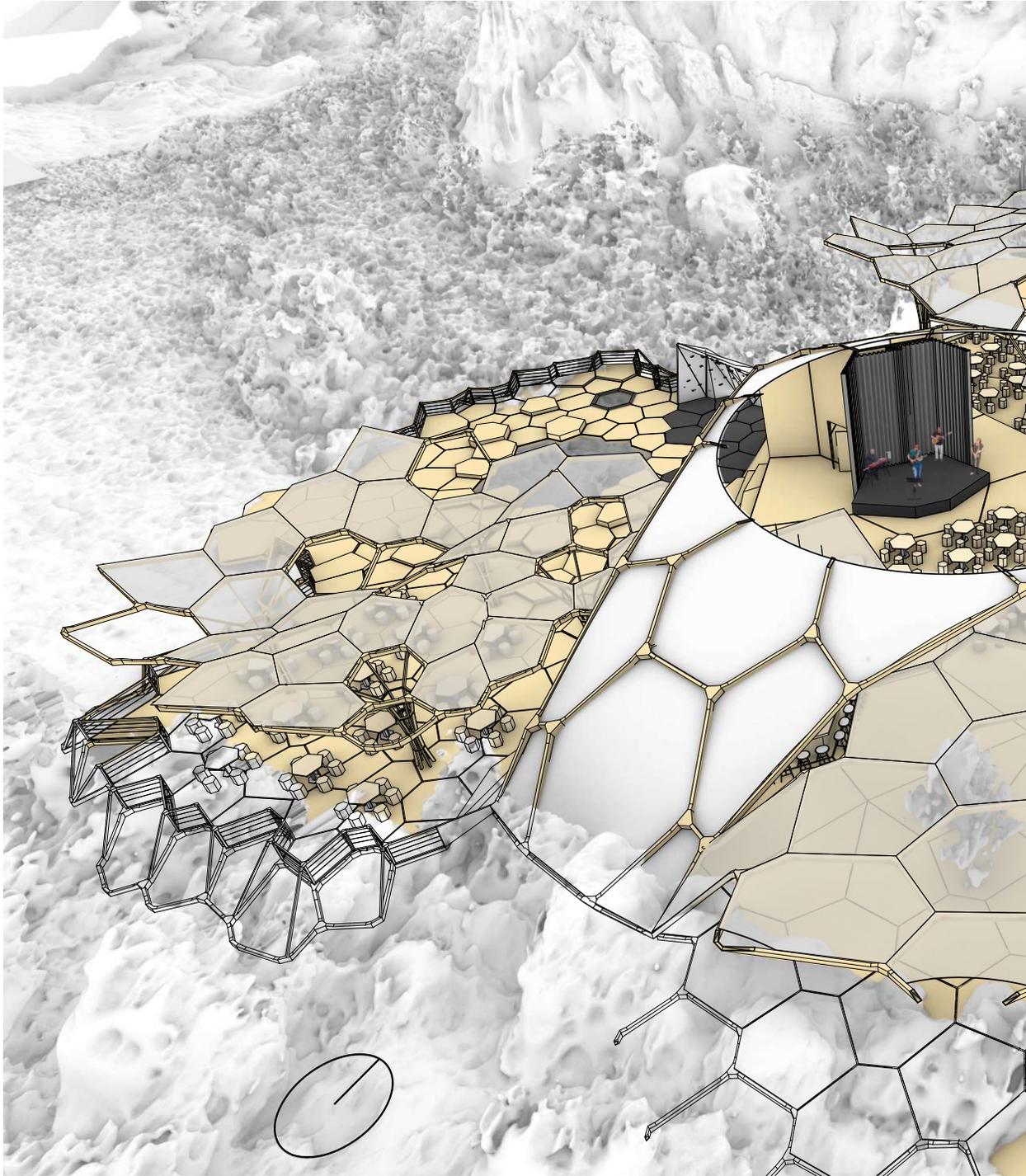
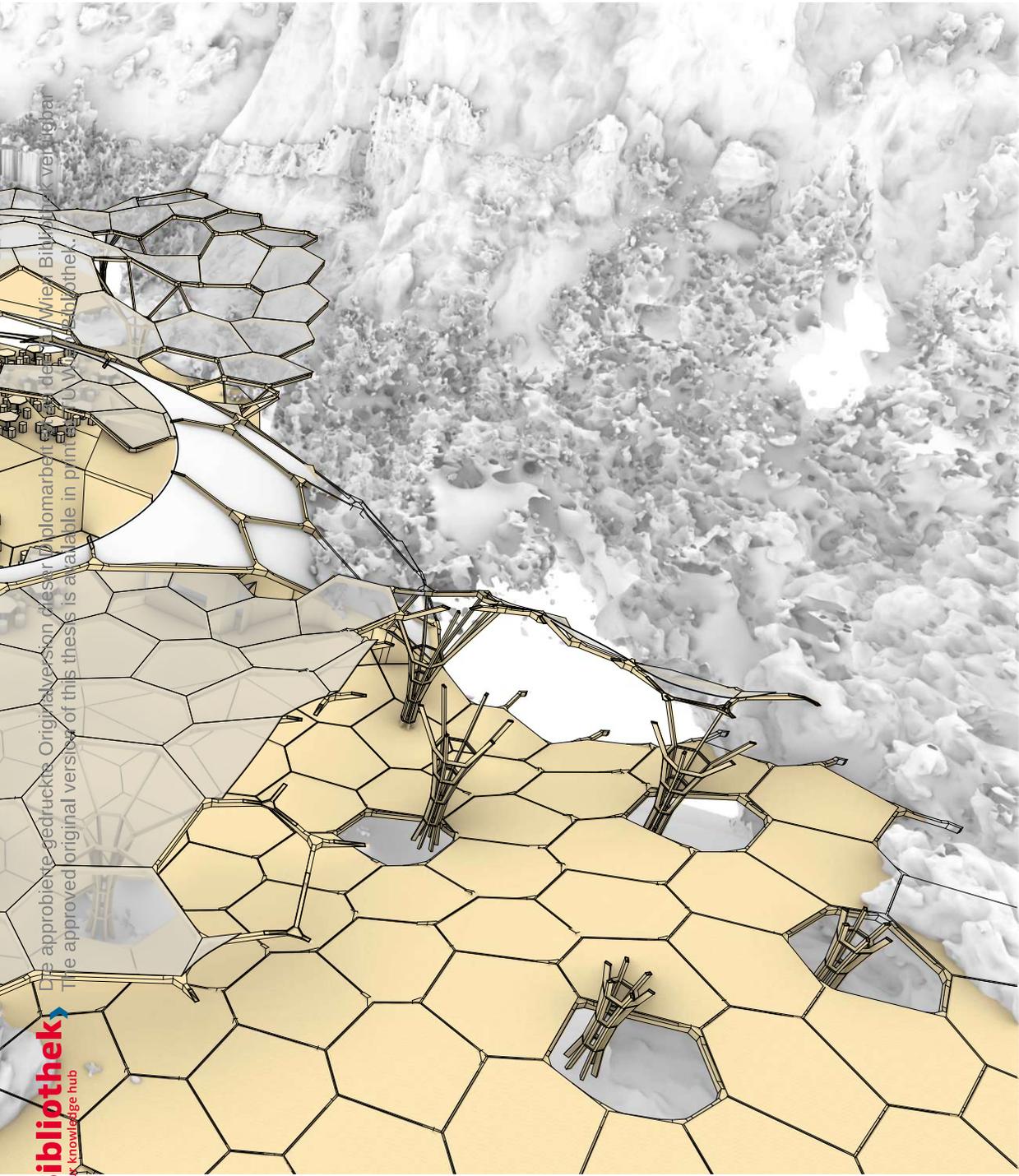


Abb. 153 Schnittperspektive der Hauptgebüdes



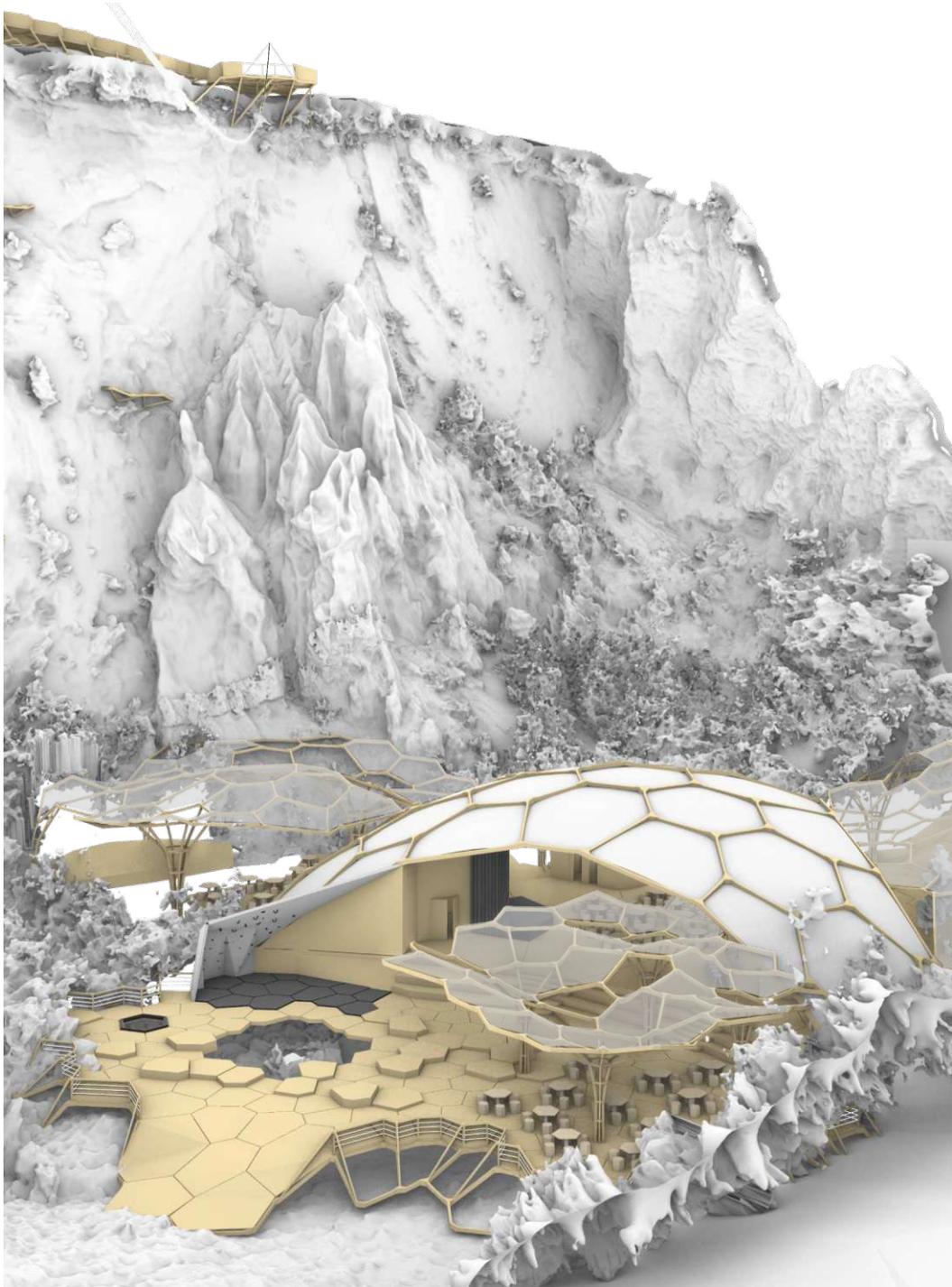
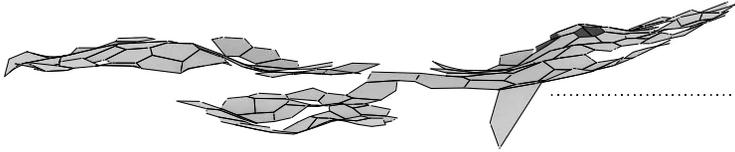


Abb. 154 Perspektive mit Blick auf den Café-Bereich
Abb. 155 Explosionszeichnung des Hauptgebäudes



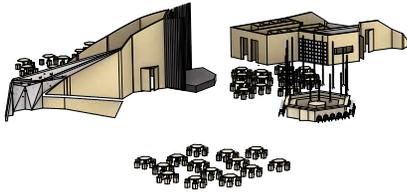
.....KUPPELÜBERSPANNUNG
DES HAUPTGEBÄUDES



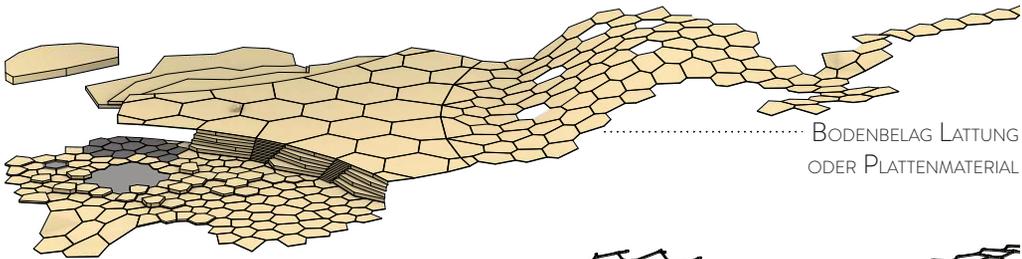
.....TEXTILE SOLARBESPANNUNG



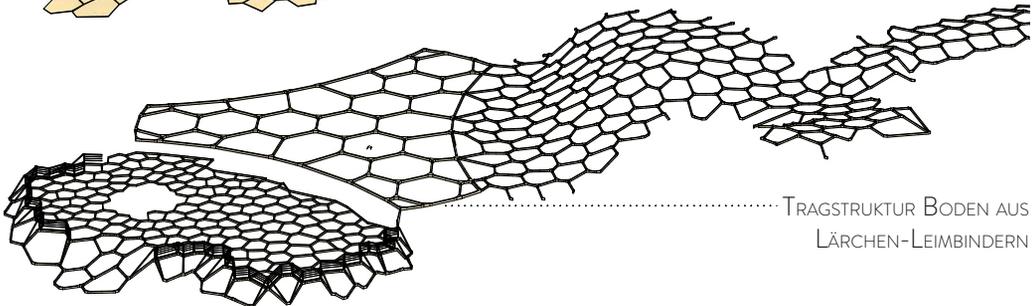
.....TRAGSTRUKTUR DER ÜBERDACHUNG
AUS LÄRCHEN-LEIMBINDERN



.....INNENAUSBAU UND MÖBLIERUNG



.....BODENBELAG LATTUNG
ODER PLATTENMATERIAL



.....TRAGSTRUKTUR BODEN AUS
LÄRCHEN-LEIMBINDERN

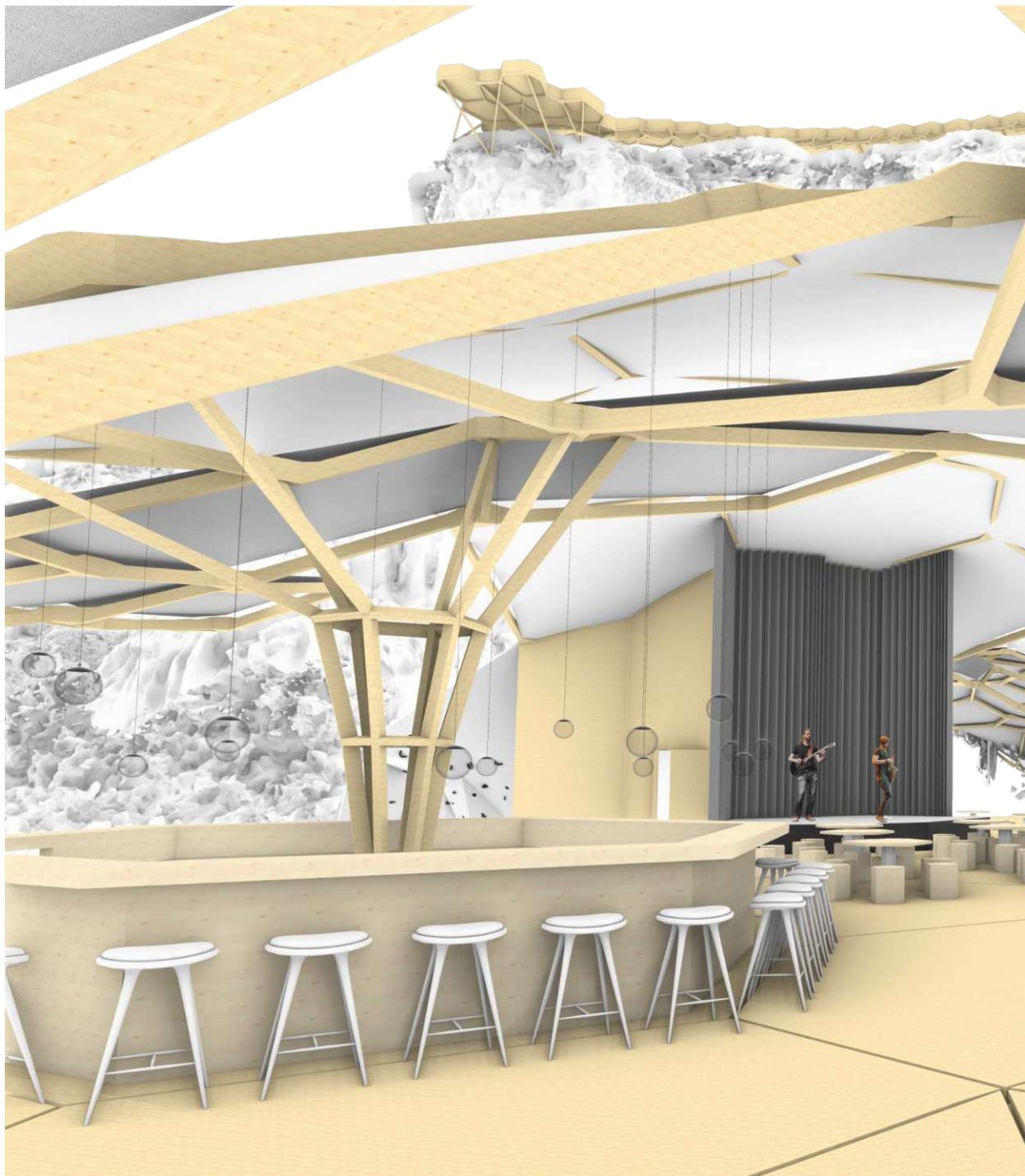
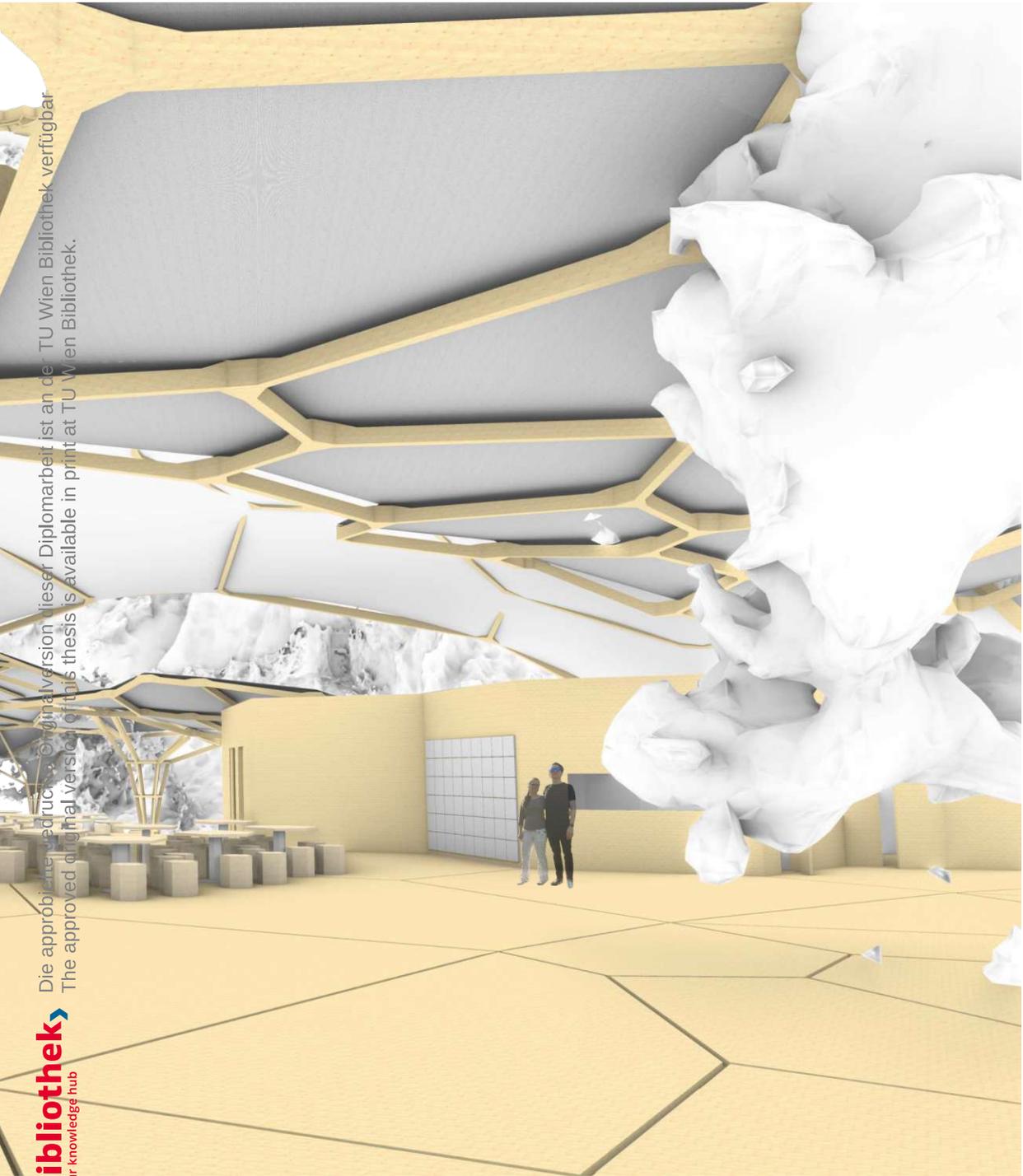


Abb. 156 Blick Richtung Bar und Indoorbühne



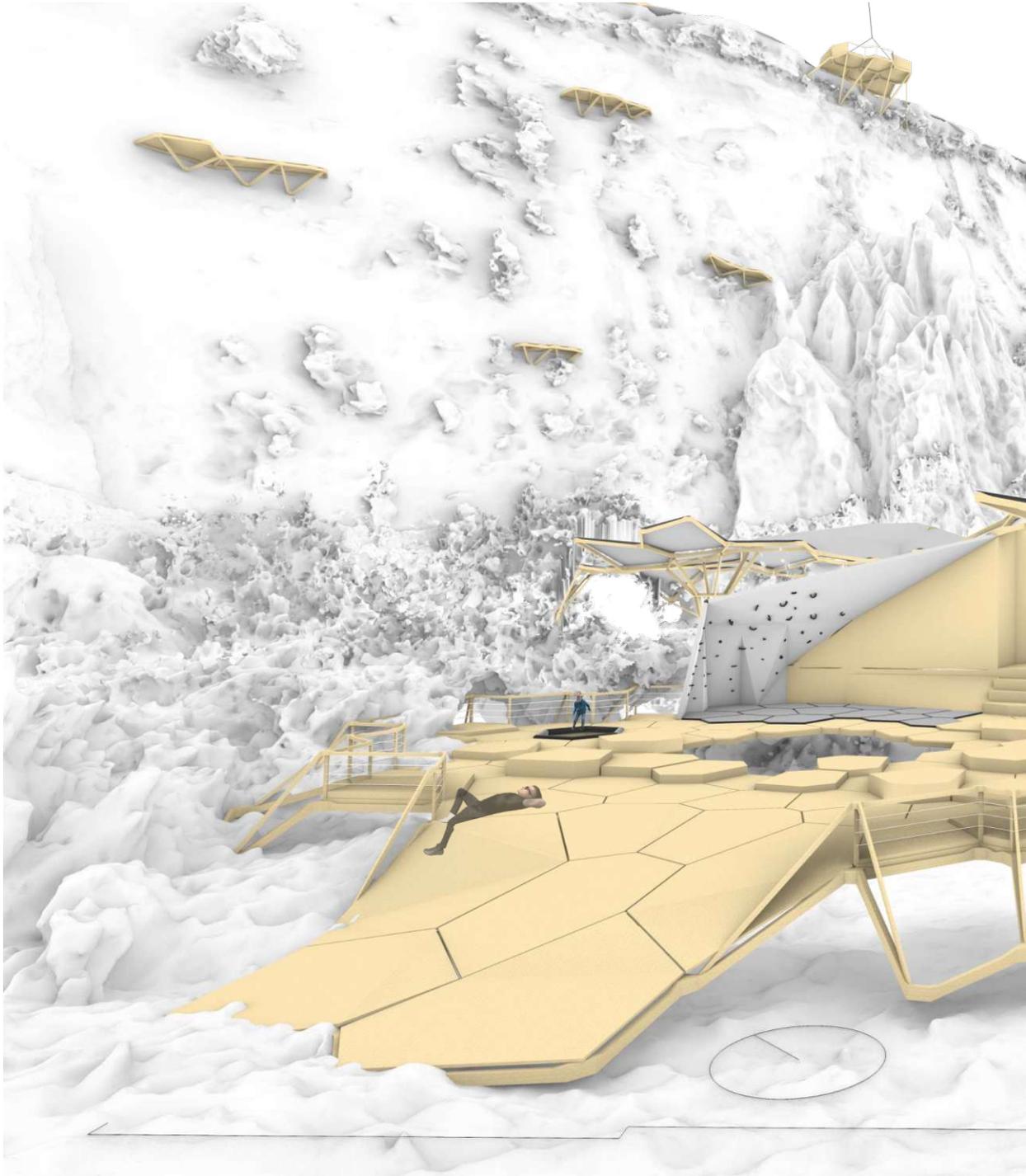
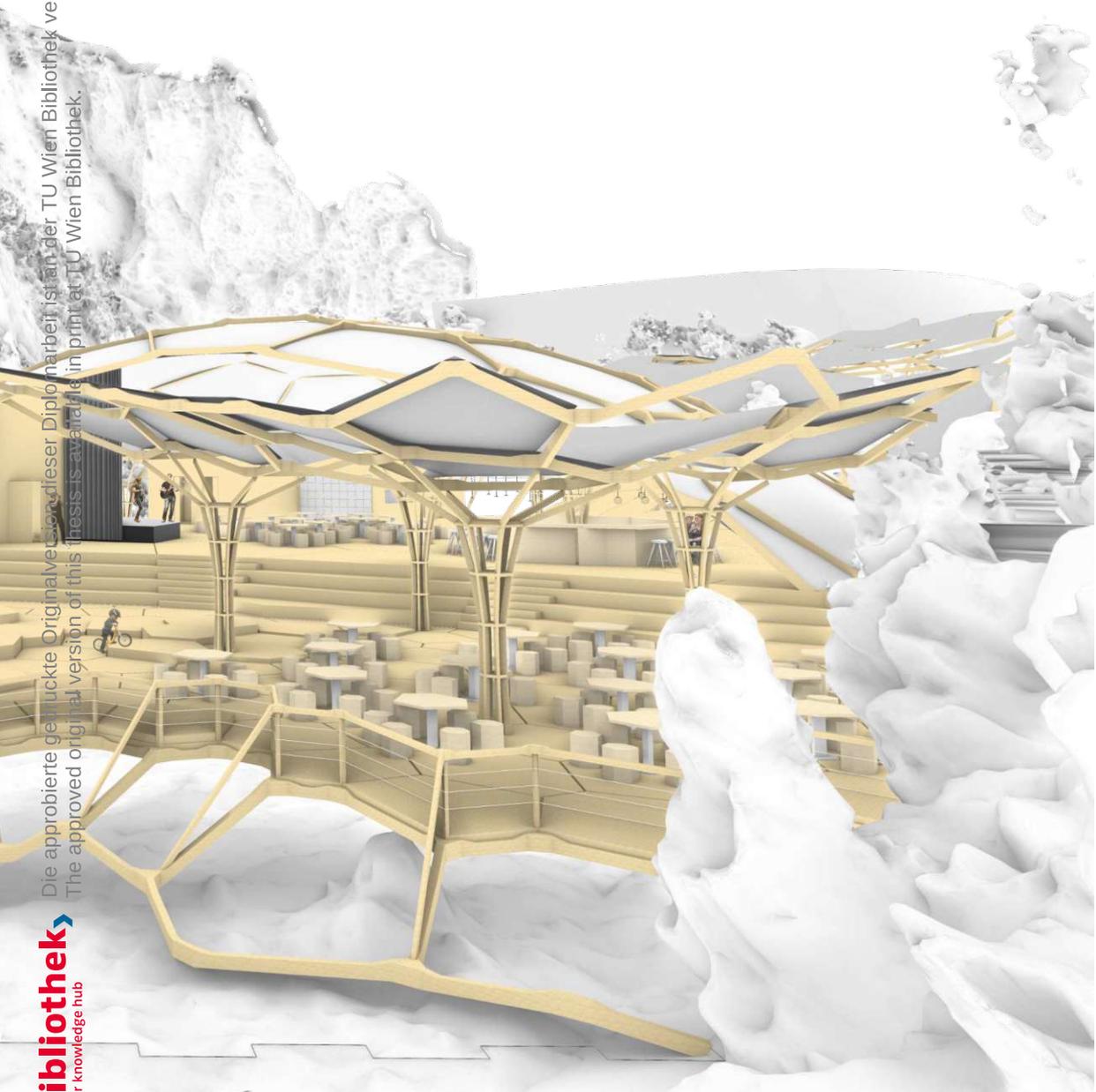


Abb. 157 Blick Richtung Café-Plattform



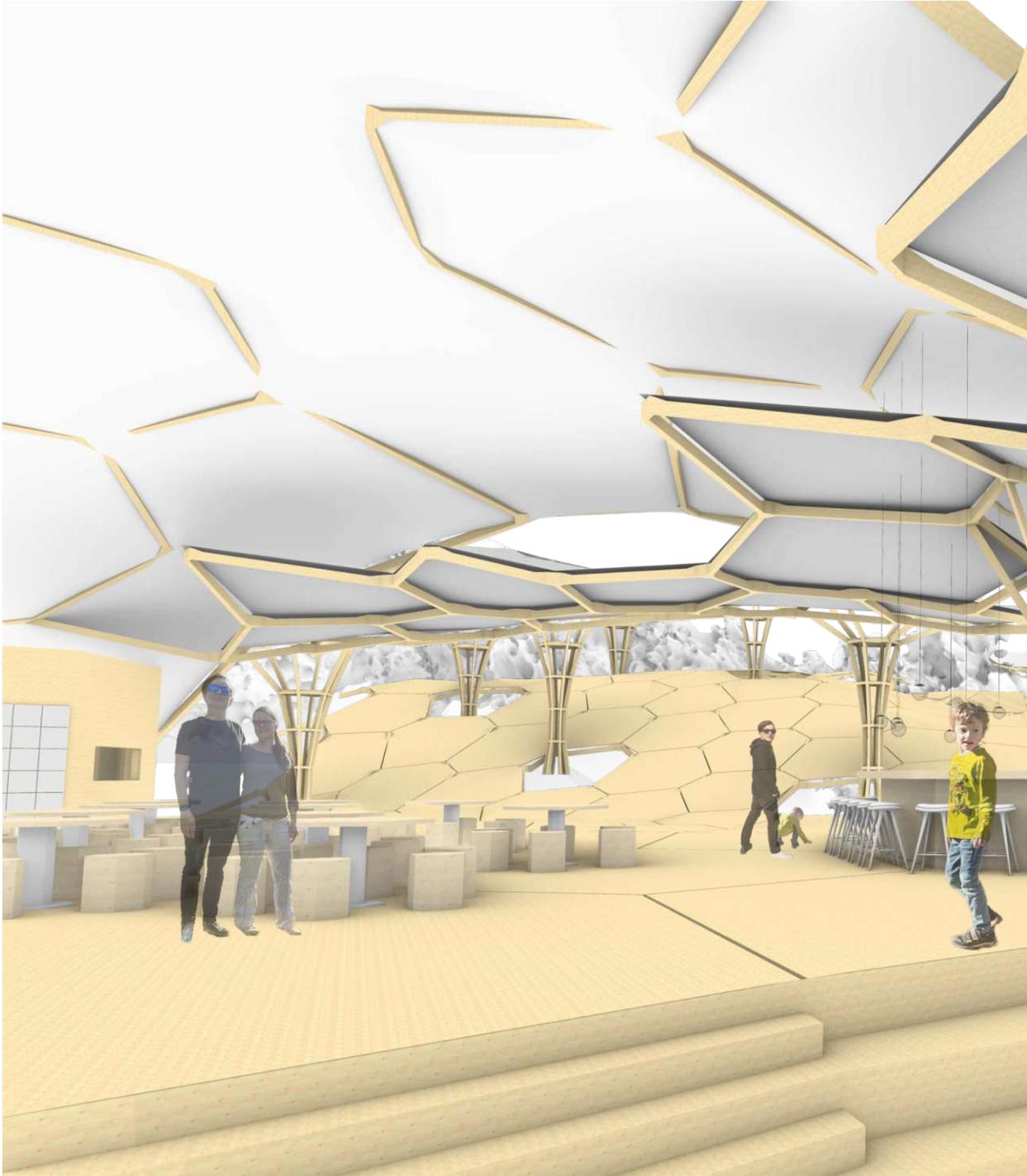
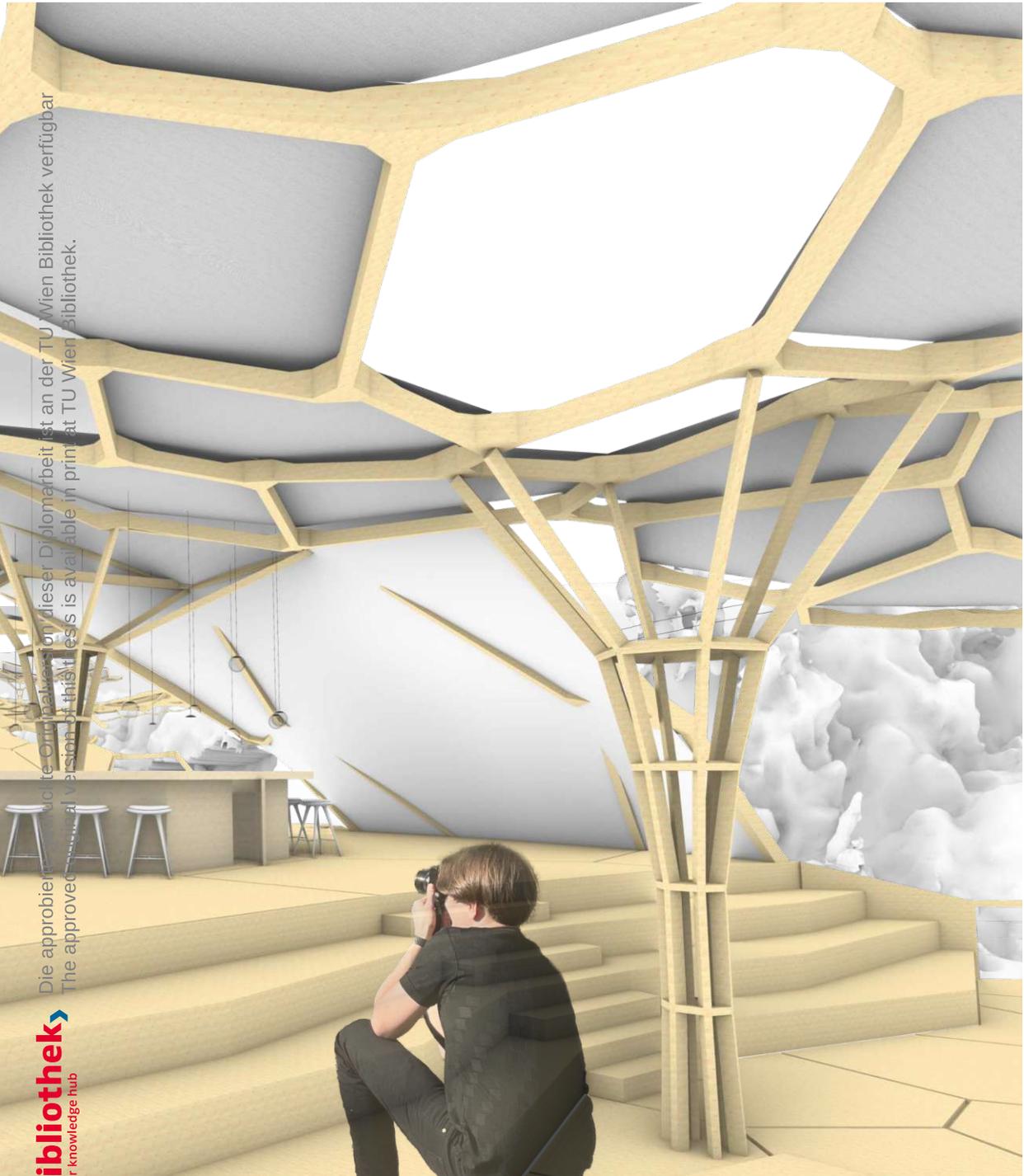


Abb. 158 Blick in den Dome



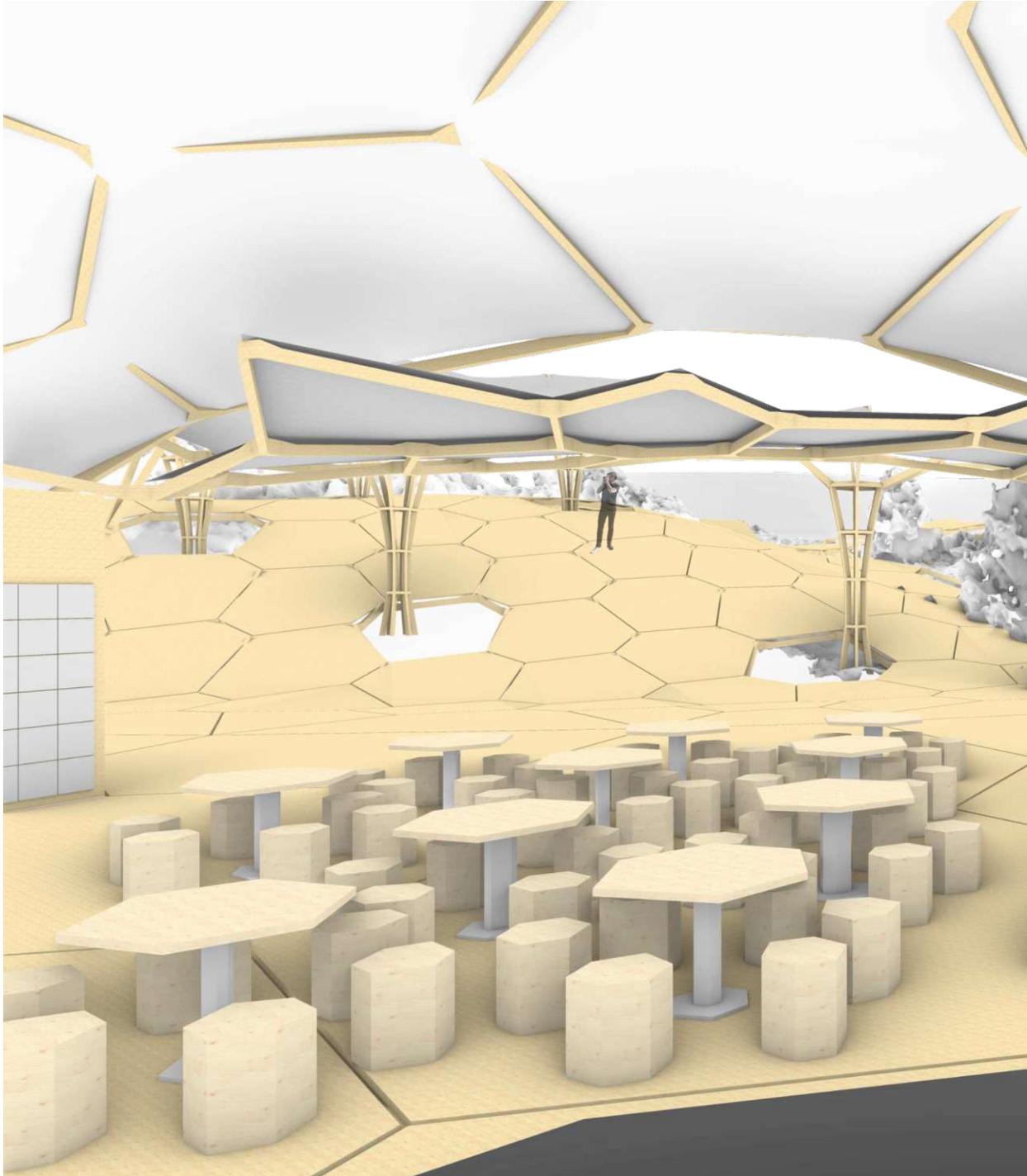


Abb. 159 Blick Auf der Indoorbühne stehend



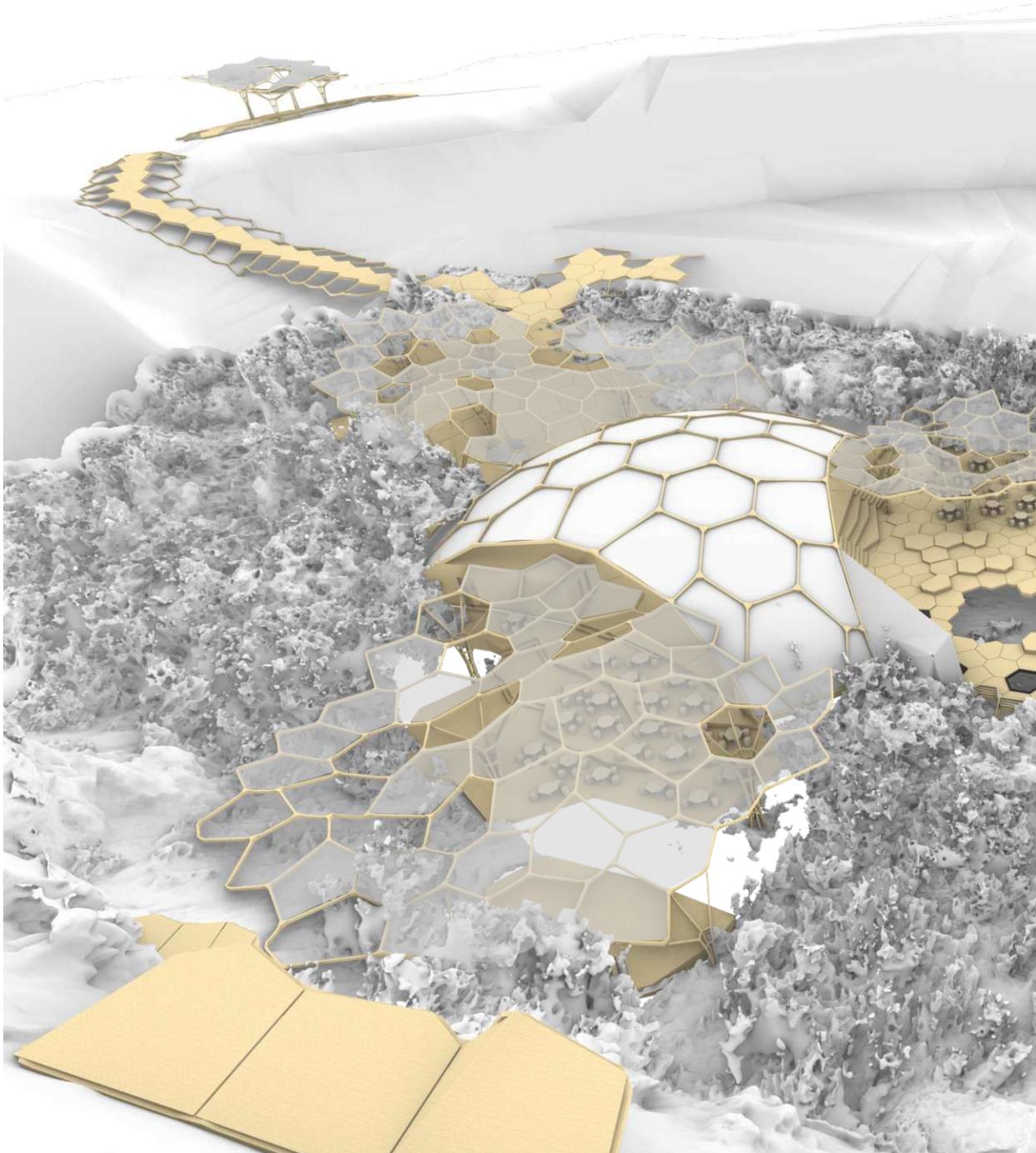


Abb. 160 Blick von einer Plattform an der Kletterwand hinunter



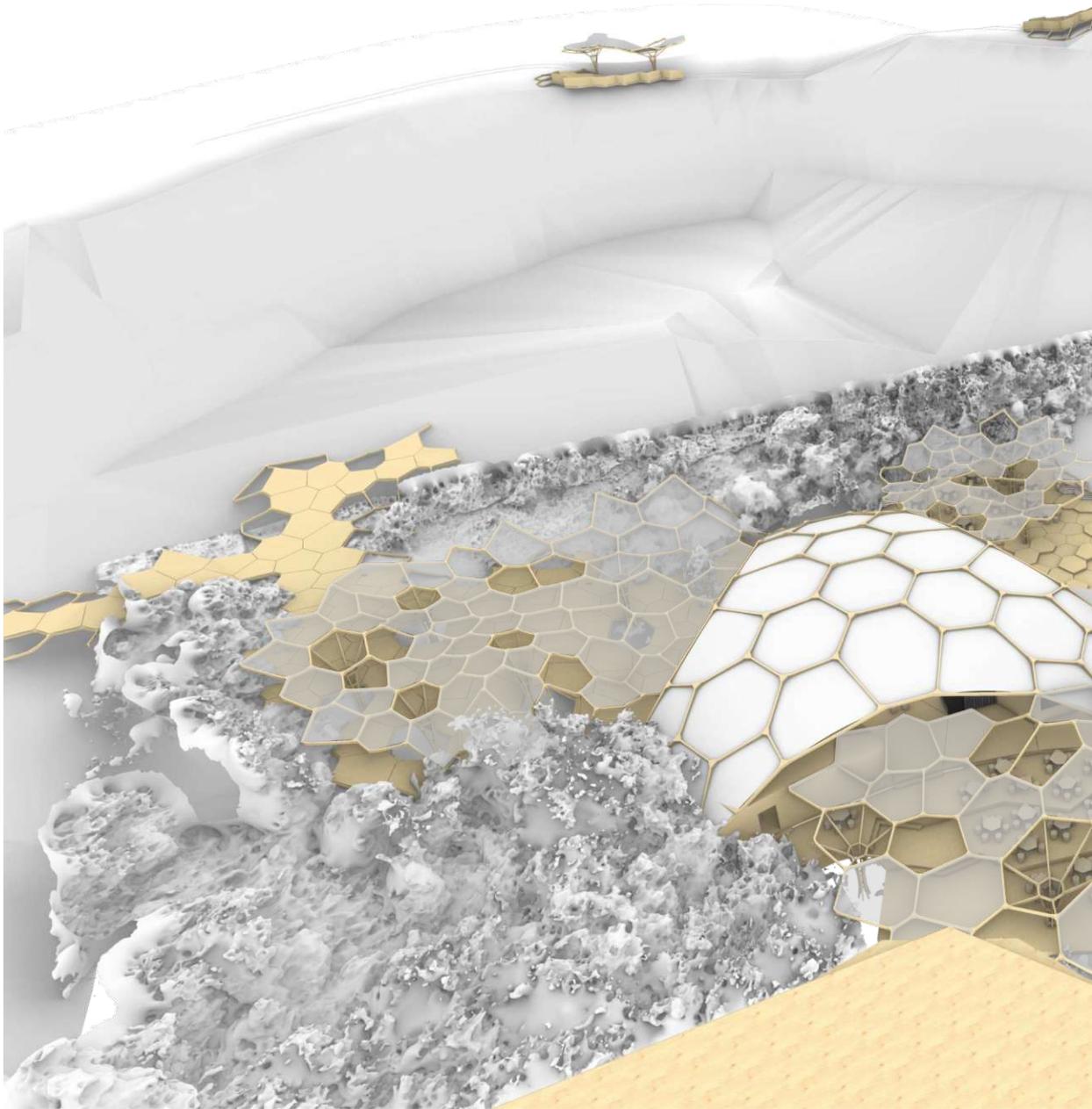
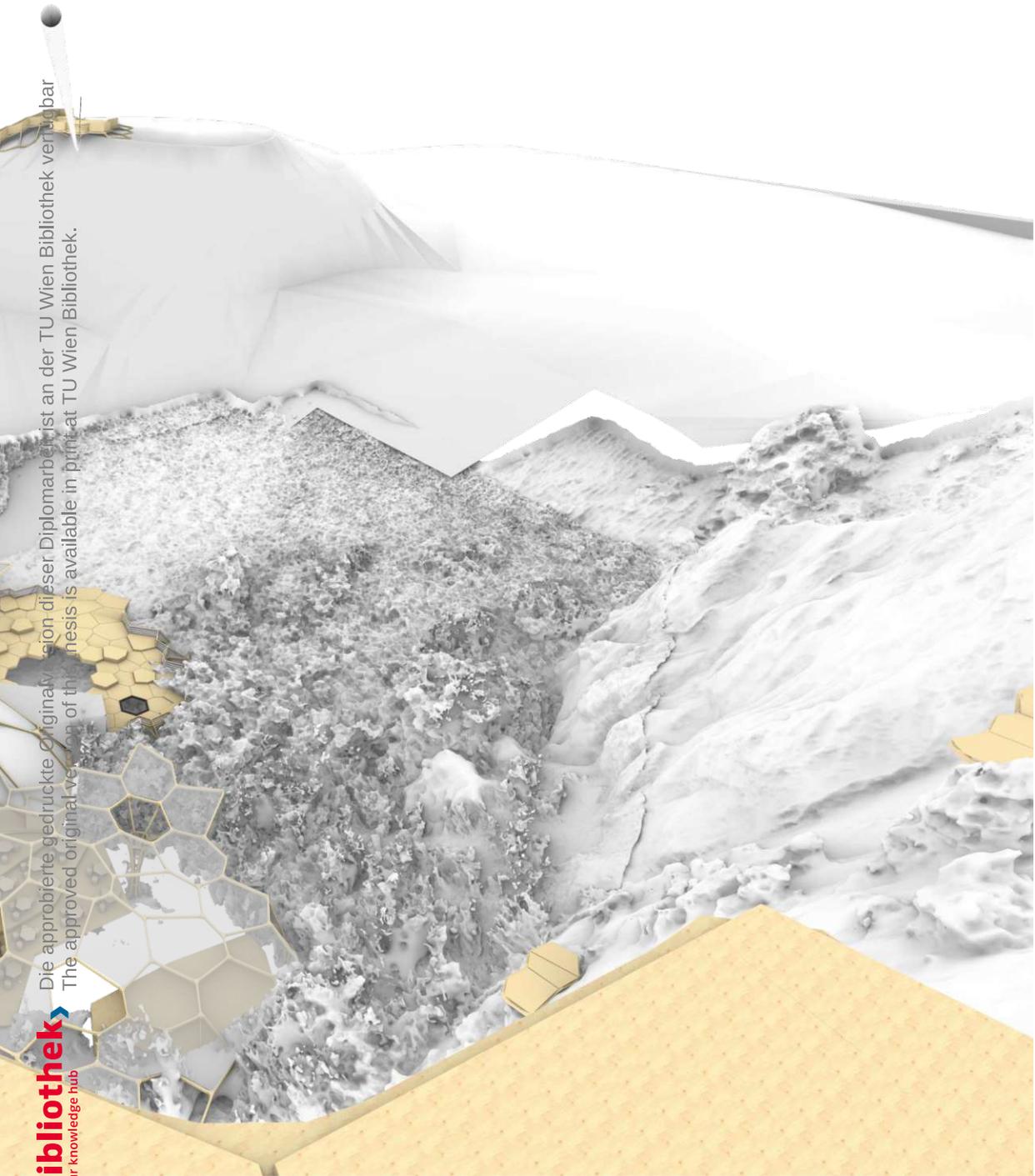


Abb. 161 Kurz vor dem Absprung mit dem Flying Fox



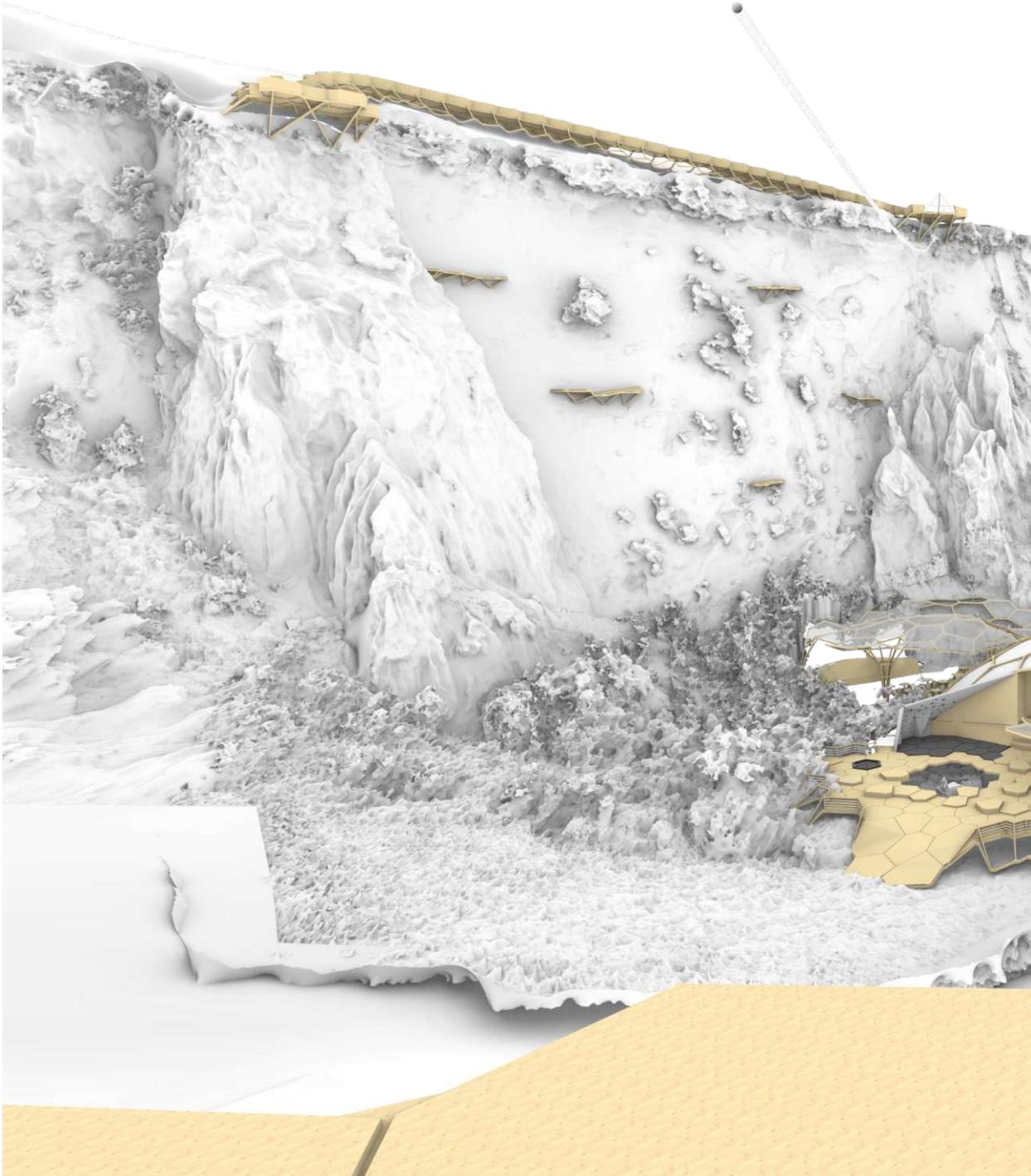
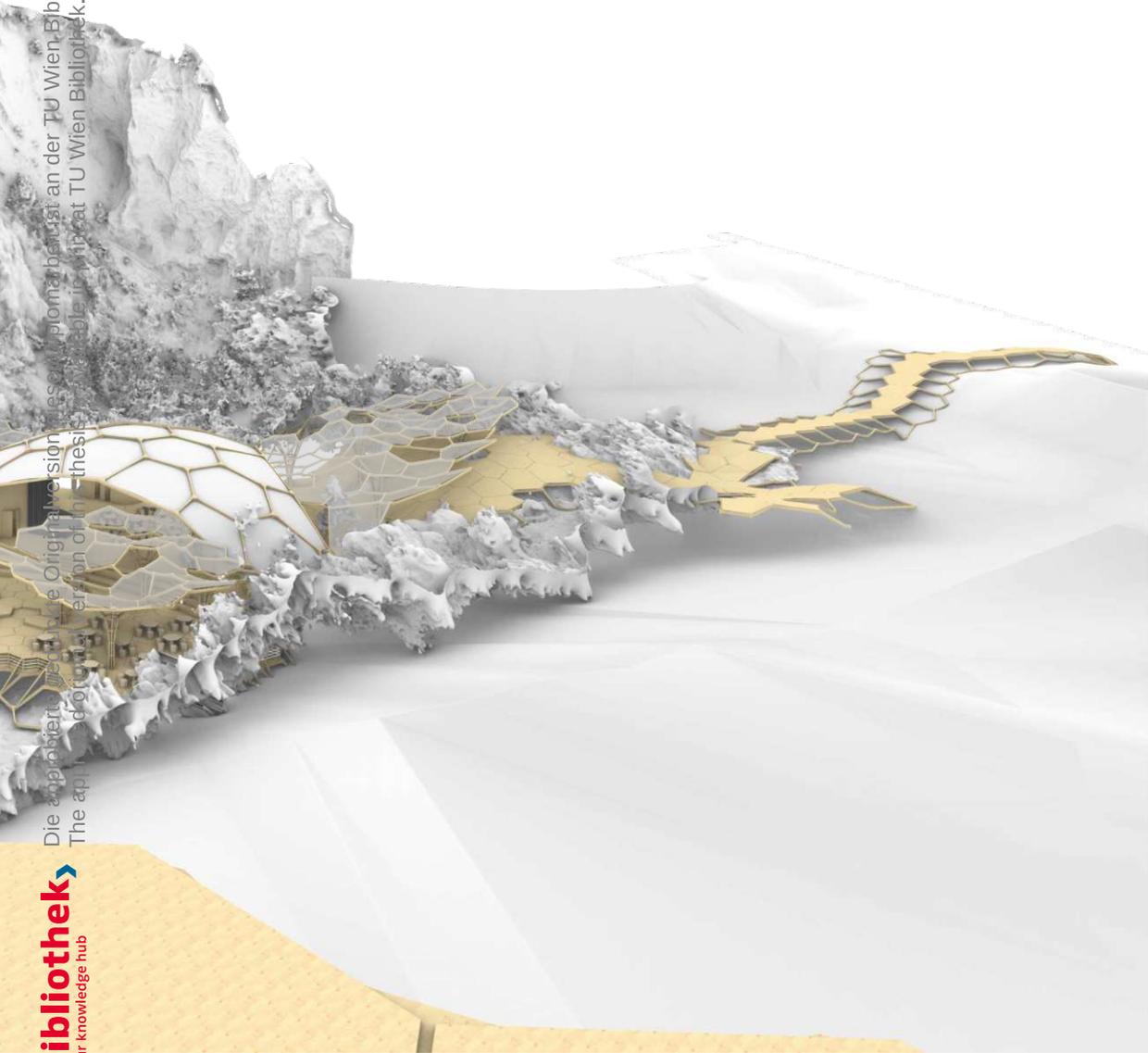


Abb. 162 Ankunft auf der Landeplattform mit dem Flying Fox



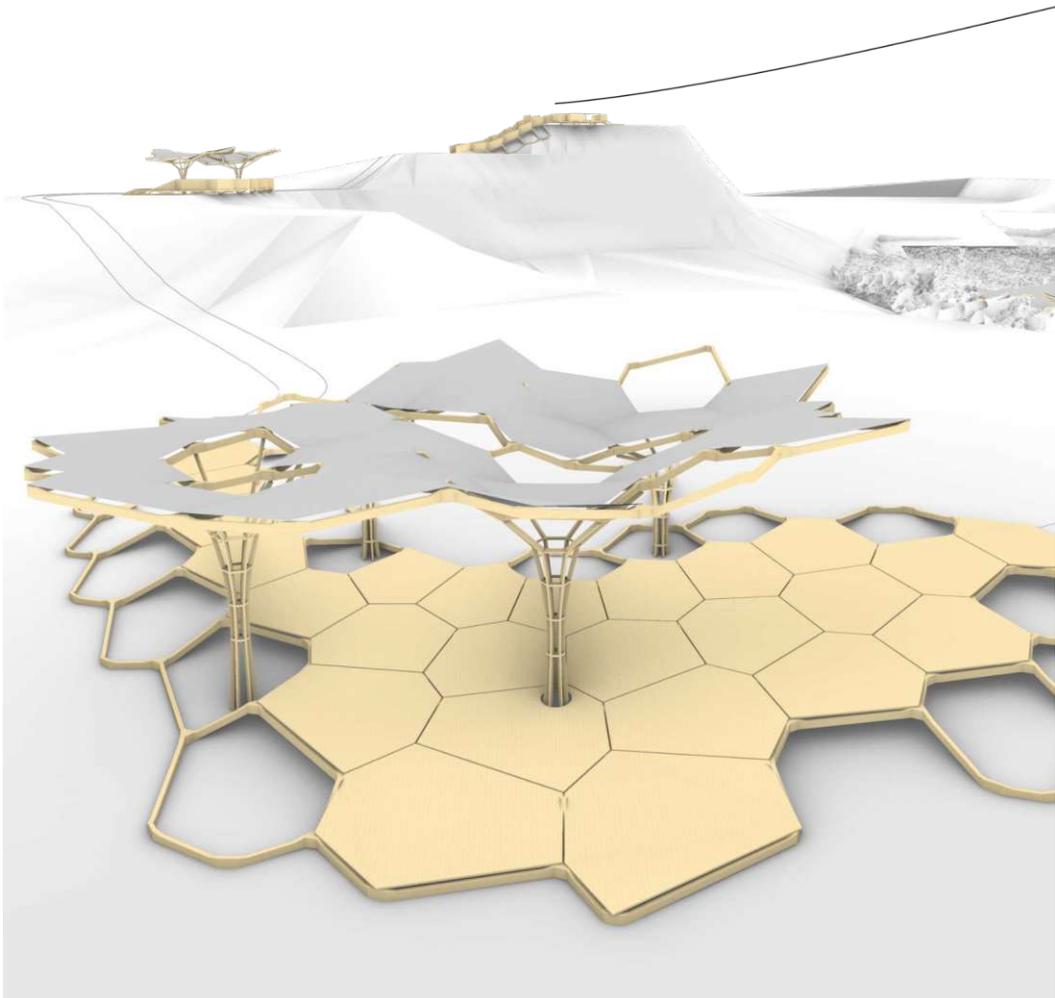
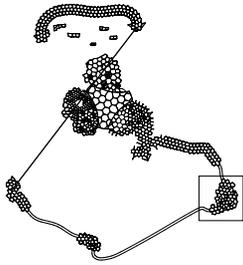
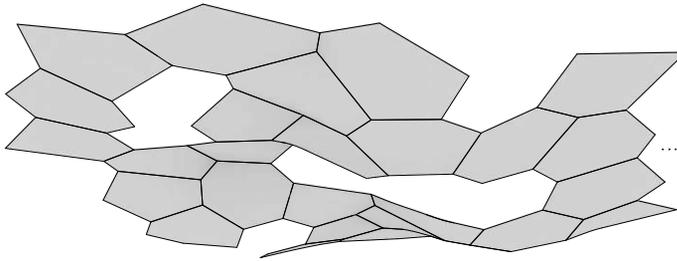
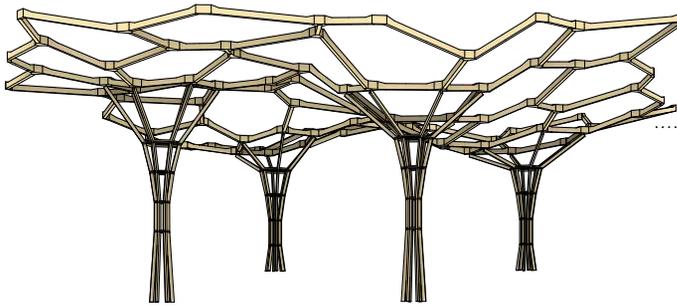


Abb. 163 Ankunftsplattform am Ender der Lange Gasse

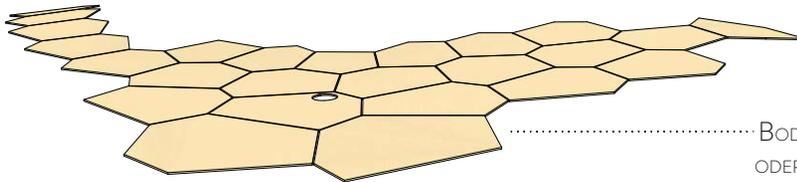
Abb. 164 Explosionszeichnung der einzelnen Bauteile der Ankunftsplattform



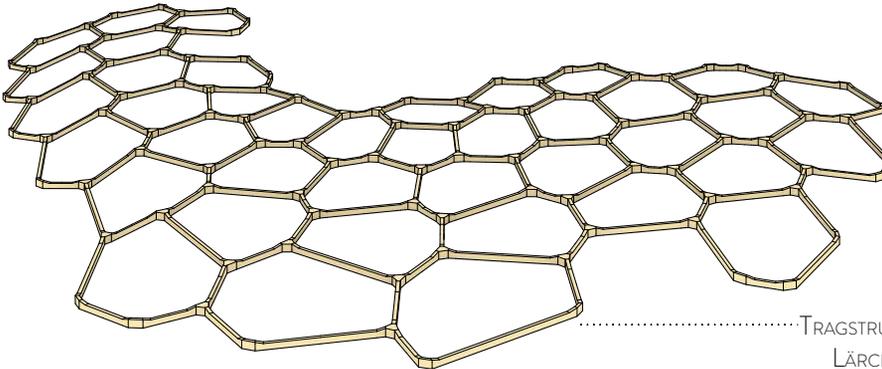
.....TEXTILE SOLARBESpanNUNG



.....TRAGSTRUKTUR DACH AUS
LÄRCHEN-LEIMBINDERN



.....BODENBELAG LATTUNG
ODER PLATTENMATERIAL



.....TRAGSTRUKTUR BODEN AUS
LÄRCHEN-LEIMBINDERN

ABHÄNGIG VOM HÖHENUNTERSCHIED ZUM UNTERGRUND WIRD IN DEN NOTWENDIGEN BEREICHEN EINE ABSTURZSICHERUNG AUS DEM GLEICHEN SYSTEM HERGESTELLT



KNOTENPUNKTE AN DEN TIEFPUNKTEN ÜBERNEHMEN DIE LASTABTRAGENDE FUNKTION IN DEN BODEN UND WERDEN JE NACH UNTERGRUND AN EINZEL-/SCHRAUBFUNDAMENTEN BEFESTIGT

- Abb. 165 Extrahierter Ausschnitt eines Weges - Perspektive und Seitenansicht
- Abb. 166 Visualisierung des Holzweges im Wald (S.116-117)
- Abb. 167 Visualisierung - Hauptgebäude (S.118-119)



MÖGLICHE BEPLANKUNG FÜR EINEN
BEGEBAREN WEG AUS LÄRCHEN-LEIMBINDERN

TRAGENDE VORONOI-NETZSTRUKTUR WELCHE
MIT HILFE DES SKRIPTES ERSTELLT WIRD



Bitte beachten: nur die Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Muenchen Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Muenchen Bibliothek.







6.2 ARBEITSMODELLE

ANALOGUE MODELLE

Um die komplexen Formen, welche im Projektverlauf entstanden sind umzusetzen, sind auf den nachfolgenden Seiten einige weitere Arbeitsmodelle abgebildet, welche mit unterschiedlichen Methoden und Materialien wie zum Beispiel 3D-Druck und Laserzuschnitt hergestellt wurden.

Diese haben einen wertvollen Beitrag zu der Entstehung von „Verwurzelt“ geleistet, da sie sowohl den einzelnen Knotenpunkt als auch die später entstandenen Netzstrukturen maßgebend beeinflusst und (be)greifbar gemacht haben.

Dank dieser Modelle, an denen stets weitergearbeitet wurde, hat sich bereits sehr früh herausgestellt, dass die Funktionalität und die möglichen Einsatzgebiete des entwickelten Knoten-Steck-Systems nur in größerem Maßstab sinnvoll untersucht werden können. Dies nährte den Wunsch, einen Prototypen aus Holz zu bauen und führte schlussendlich zu der intensiven Auseinandersetzung mit den Materialprüfungen.

Anschließend konnte die Funktion der Parameter in dem

programmierten Skript festlegt und überprüfen werden.

DIGITALE MODELLE

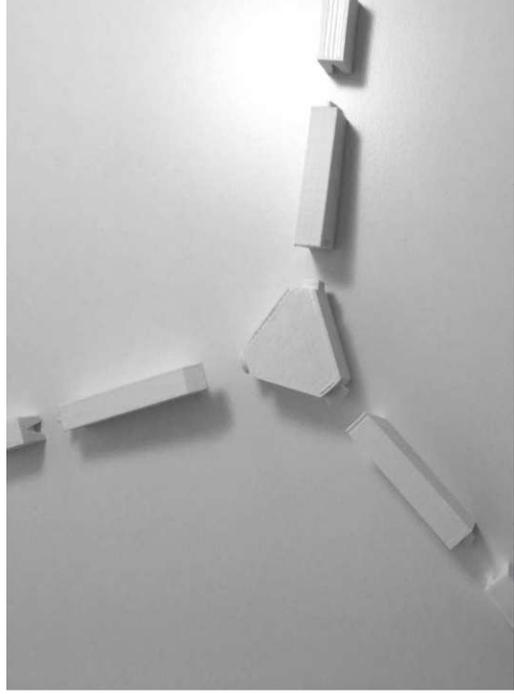
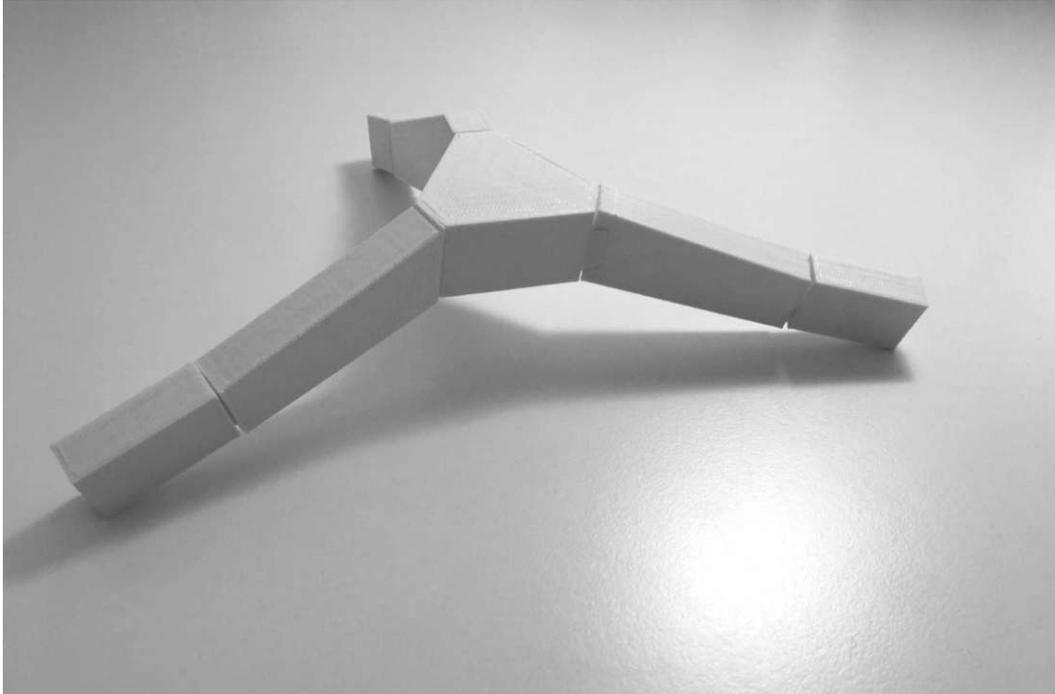
Aufgrund der so entstandenen großen Strukturen, welche unzählige Male abgewandelt und überarbeitet wurden, sind die weiteren Modelle direkt in dem mittels Drohne eigens dafür aufgenommenen digitalen Geländemodells (DGM) entstanden, da durch diese Methode auf die tatsächliche Topografie des Baugrundes eingegangen werden konnte.

Das Ergebnis der daraus generierten Modelle wurde in dem Entwurf ausgearbeitet.

Abb. 168 3D-Druck - Arbeitsmodell

Abb. 169 Einzelteile eines Arbeitsmodelles

Abb. 170 Zusammengesetztes Arbeitsmodell



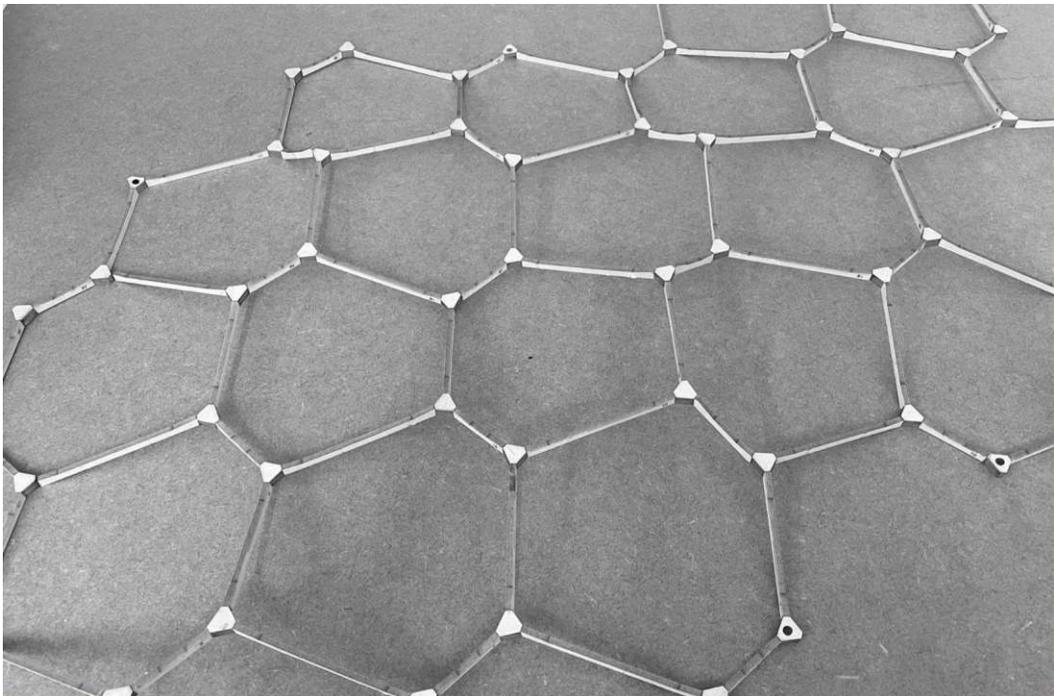
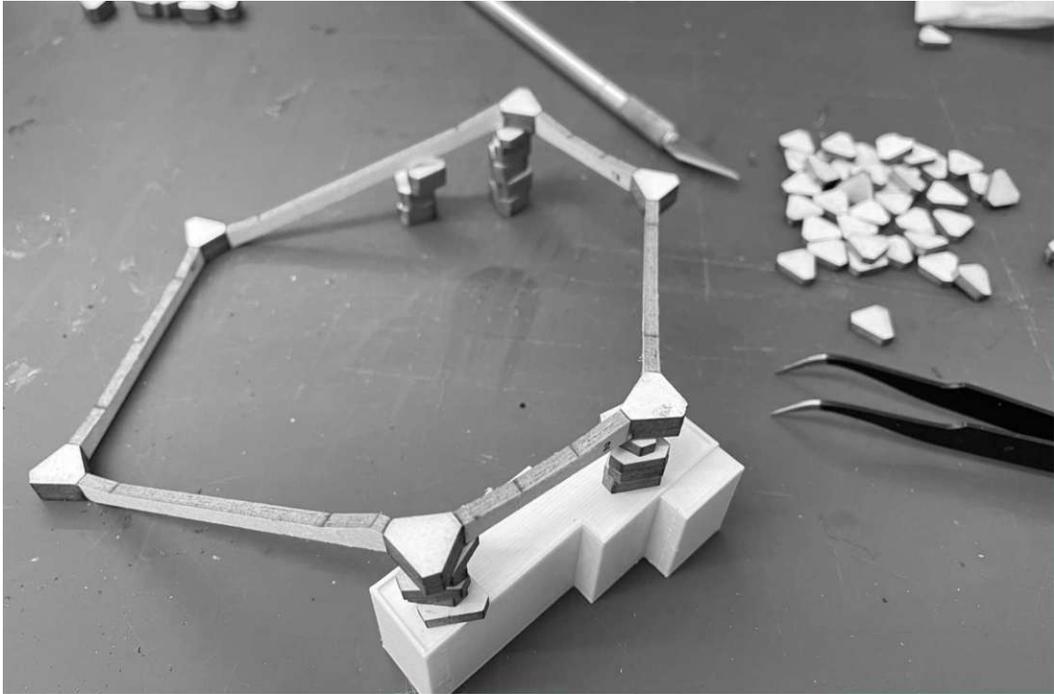


Abb. 171 Erstes Netzelement aus gelaserter Finnplatte - Arbeitsmodell

Abb. 172 Zusammengesetztes Netz aus gelaserter Finnplatte - Arbeitsmodell

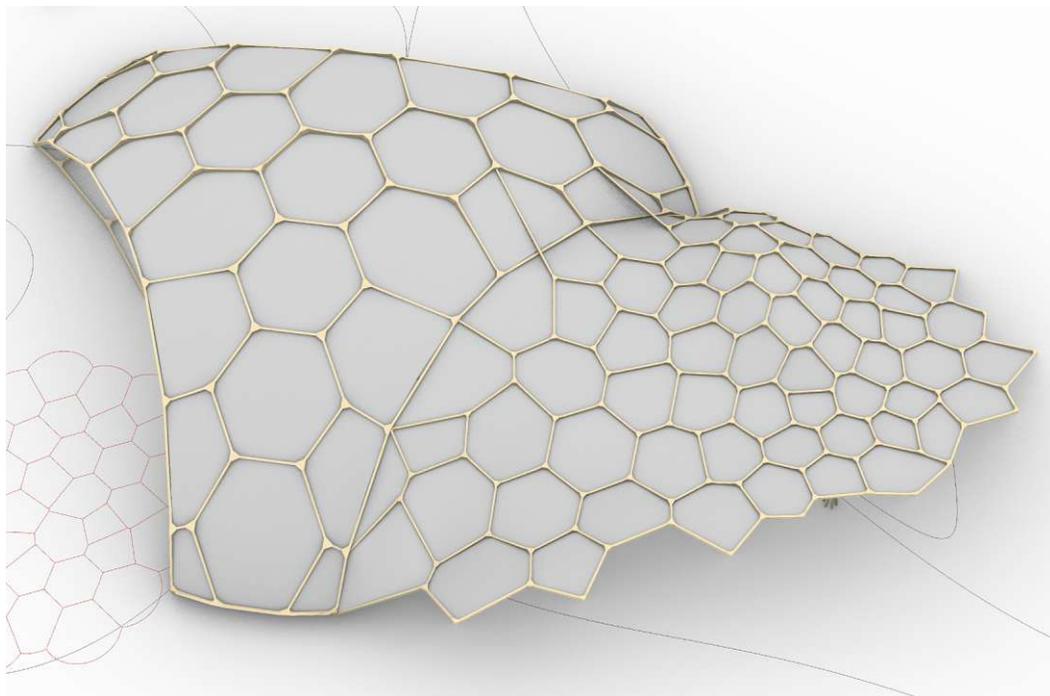


Abb. 173 Am Holzweg - Digitales Arbeitsmodell

Abb. 174 Kuppelgebäude mit Dachstruktur - Digitales Arbeitsmodell



Abb. 175 Höhenlinien aus der Punktwolke im Grundriss - Digitales Arbeitsmodell

Abb. 176 Höhenlinien aus der Punktwolke im Schnitt - Digitales Arbeitsmodell

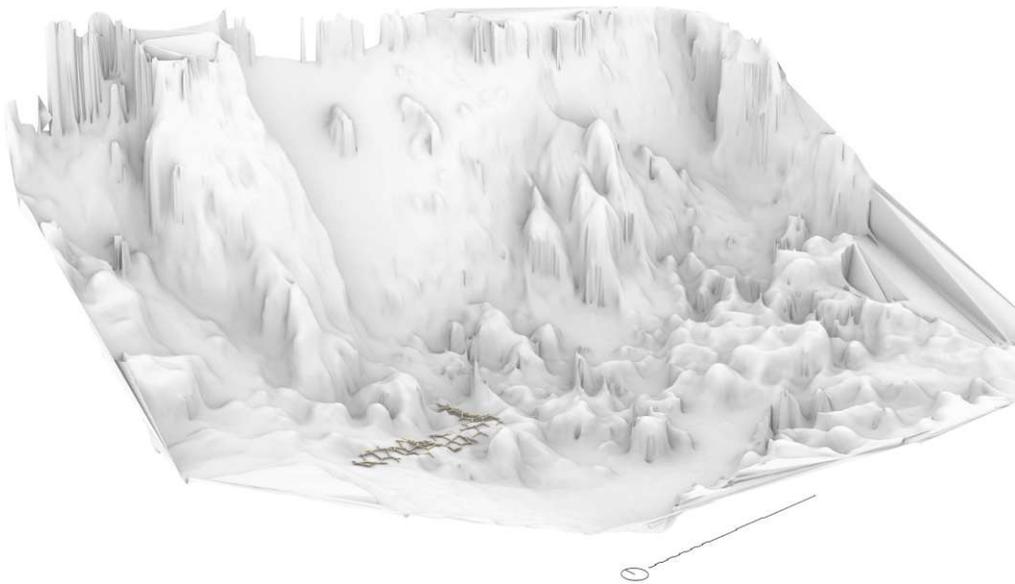
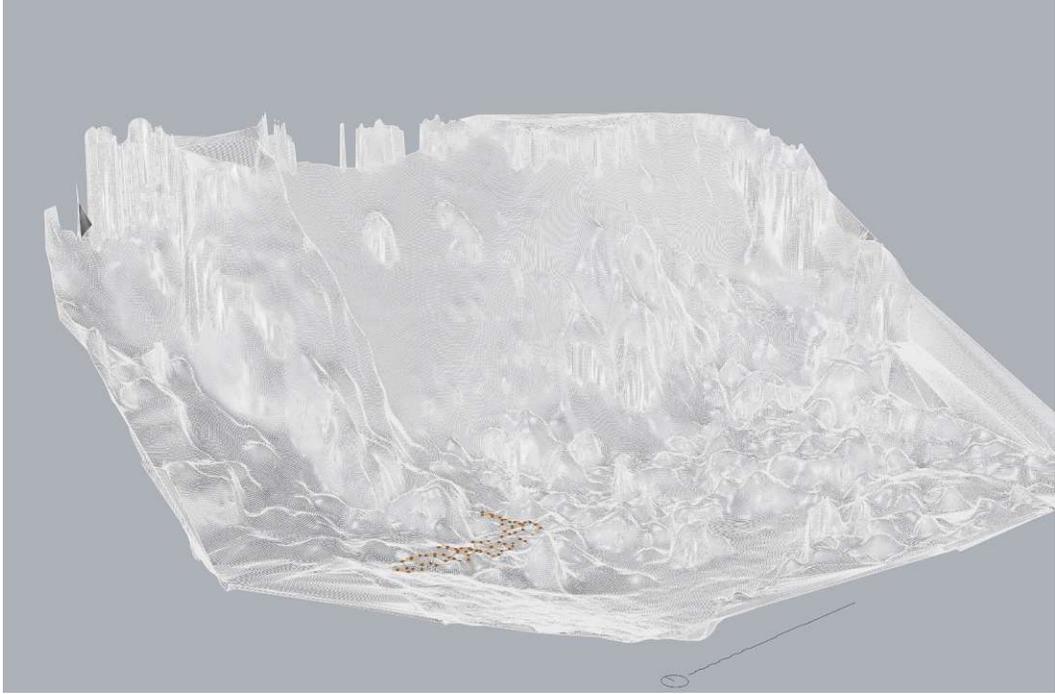


Abb. 177 Versuche eines Weges im erzeugte digitalen Arbeitsmodell des Geländes / Shade-Mode

Abb. 178 Versuche eines Weges im erzeugte digitalen Arbeitsmodell des Geländes / Arctic-Mode



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

VII. BEWERTUNG

7.1 GITTERKONSTRUKTION

7.1 GITTERKONSTRUKTION

DIMENSIONIERUNG

Die für die Stab-Knoten-Struktur des Kuppelgebäudes gewählten Parameter, welche dem Skript als Vorgabe dienten, werden im Folgenden näher betrachtet.

Hierfür wird die Tragstruktur in einzelne Knoten mit der jeweiligen Eck-Anzahl und die verbindenden Stäbe als 3D-Linien erzeugt und in einem eigens dafür entwickelten Blender Add-On einer Element-Analyse unterzogen. Hierdurch kann eine Querschnittsoptimierung, Querschnittswerte, Biegespannungen, Momente, Längskräfte und Verformungen unter gewählten Kräfteinflüssen überprüft und diese Ergebnisse in der weiteren Planung berücksichtigt werden.

ÜBERPRÜFUNG DER ANNAHME

Die Abbildungen 181 bis 188 zeigen die Querschnittsoptimierung folgender angenommener Dimensionen der Netzstruktur:

- KNOTENPUNKT H=250 MM
- KNOTENPUNKT R = 300 MM
- STAB = 120/200 MM (B/H)
- MITTELSEGMENT L=250 MM

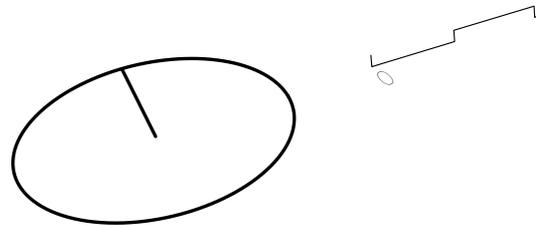
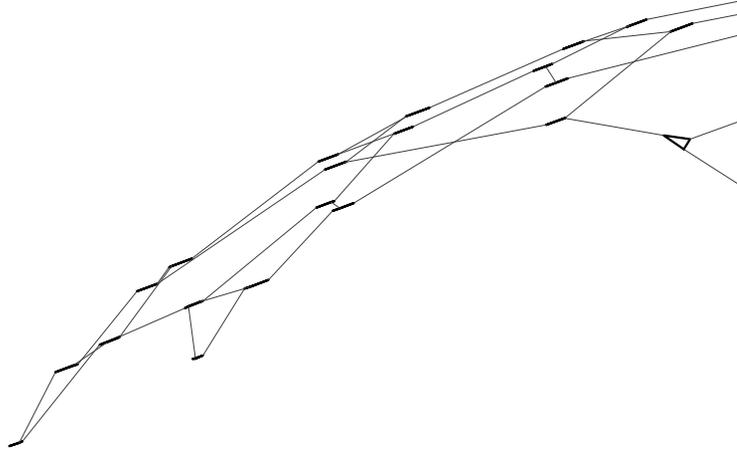
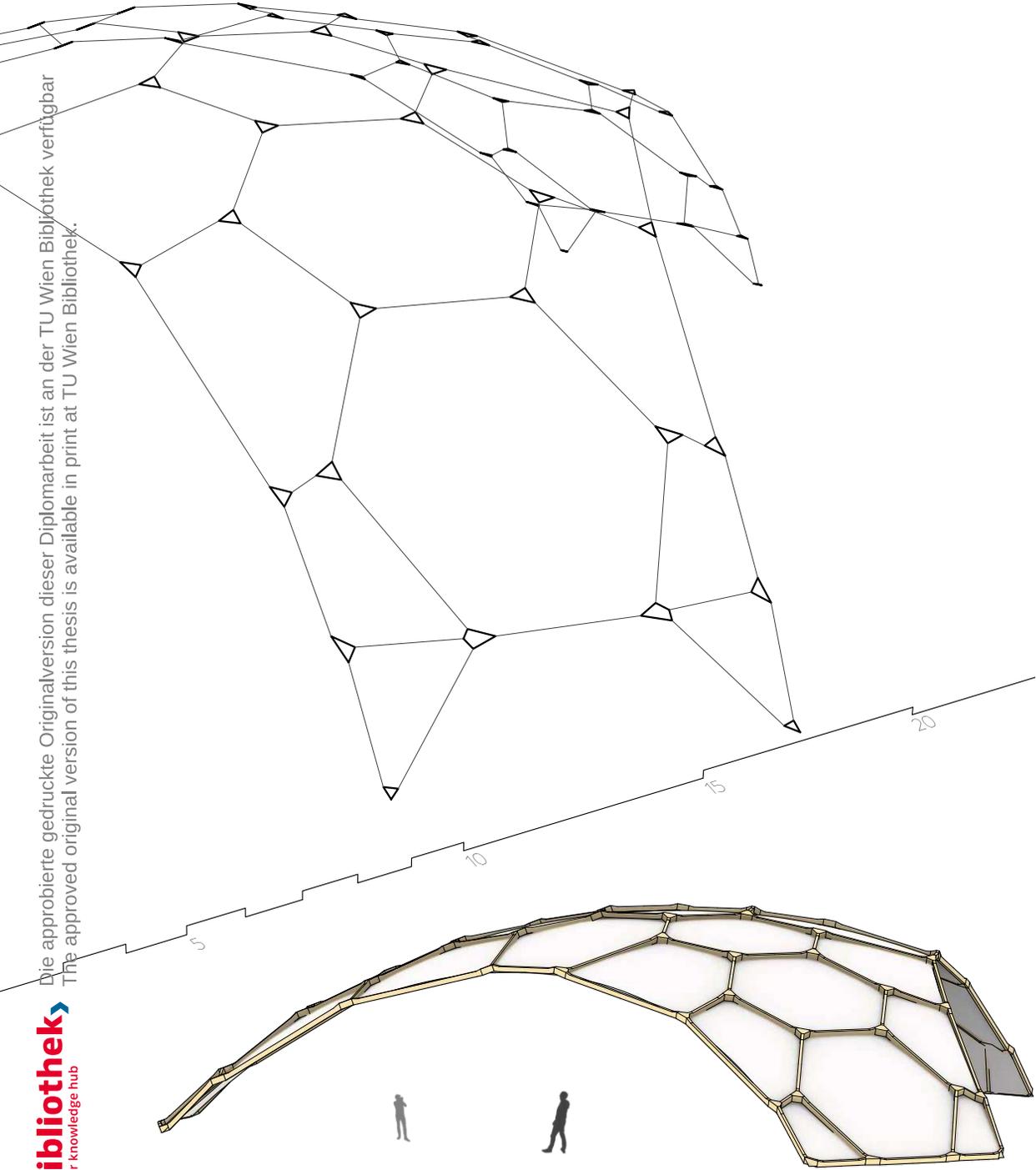


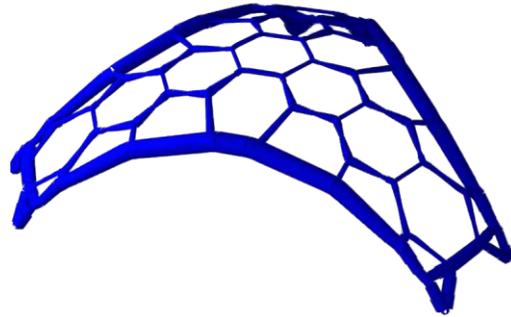
Abb. 179 extrahierte Knoten-Struktur zur Dimensionierung der Kuppel
Abb. 180 Seitenansicht der Kuppel



QUERSCHNITTSOPTIMIERUNG

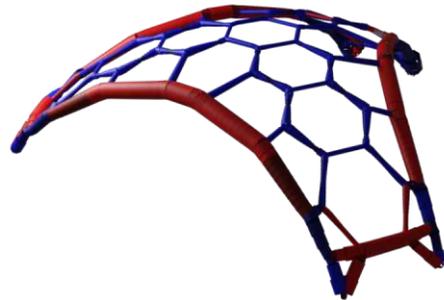
verschieblich gelagerte Auflager

- $E = 1000 \text{ kN/cm}^2$
- $G = 55 \text{ kN/cm}^2$
- $d = 0,35 \text{ g/cm}^3$



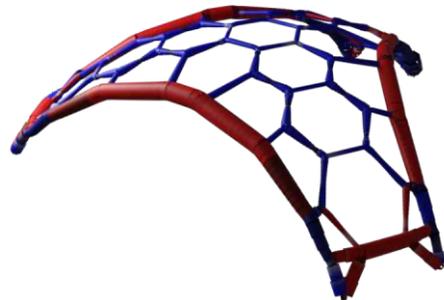
MOMENTENVERLAUF

Unter Lasteinwirkung deutlich sichtbare Beanspruchung der Randbereiche.



SPANNUNGSVERLAUF

Unter Lasteinwirkung deutlich sichtbare Beanspruchung der Randbereiche.



VERFORMUNG

Überhöhtes Verformungsbild unter Lasteinwirkung bei verschieblichen Auflagern.

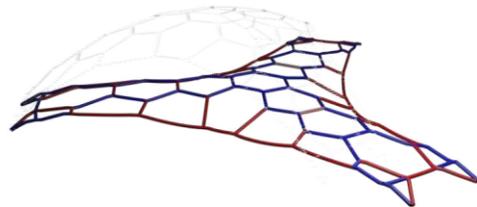


Abb. 181 Kuppel - verschieblich gelagert- Querschnittsoptimierung

Abb. 182 Kuppel - verschieblich gelagert- Moment

Abb. 183 Kuppel - verschieblich gelagert - Spannung

Abb. 184 Kuppel - verschieblich gelagert - verformt

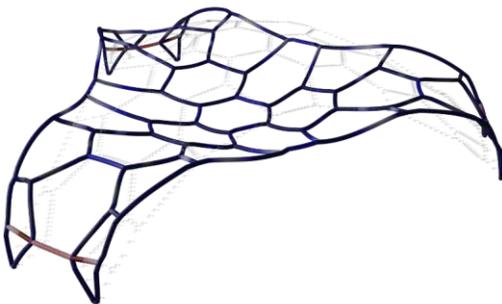
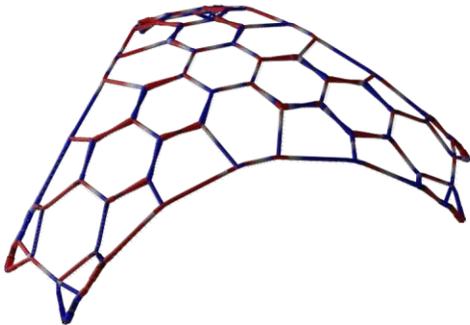
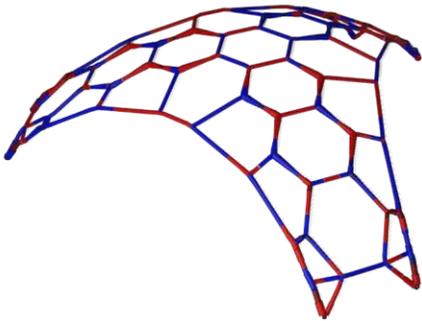
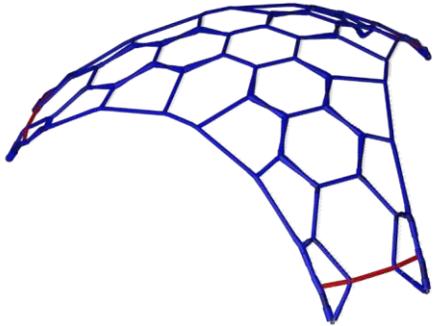


Abb. 185 Kuppel - fix gelagert- Querschnittsoptimierung
Abb. 186 Kuppel - fix gelagert- Moment
Abb. 187 Kuppel - fix gelagert - Spannung
Abb. 188 Kuppel - fix gelagert - verformt

QUERSCHNITTSOPTIMIERUNG

fix gelagerte Auflager

- $E = 1000 \text{ kN/cm}^2$
- $G = 55 \text{ kN/cm}^2$
- $d = 0,35 \text{ g/cm}^3$

MOMENTENVERLAUF

Sichtbare gleichmäßige
Verteilung innerhalb der
Netzstruktur.

QUERKRAFTVERLAUF

Sichtbare gleichmäßige
Verteilung innerhalb der
Netzstruktur.

VERFORMUNG

Überhöhtes Verformungsbild der
Netzstruktur unter Last-
einwirkung bei fixen Auflagern.



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

VIII. ZUSAMMENFASSUNG

8.1 CONCLUSIO / AUSBLICK

8.1 CONCLUSIO / AUSBLICK

ERKENNTNISSE

Das ursprünglich gesetzte Ziel einer geringen Bodenversiegelung durch das Gebäude kann mit der geplanten Netzstruktur erreicht werden. Hierfür sind allerdings eine Vielzahl an Einzelfundamenten erforderlich, was sicher zu technischen Problemen (unterschiedliche Setzungen) führen wird. Gerade im Bereich unter dem Hauptgebäude wird die Flora und Fauna auch durch diese Struktur nicht erhalten bleiben, wodurch der Einsatzzweck in diesem Maßstab zu hinterfragen ist. Nach wie vor bin ich der Meinung, dass kleinere Strukturen – wie Pavillons, Wege oder Überdachungen – sehr flexibel umsetzbar sind und einer modernen Formensprache gerecht werden.

MÖGLICHE HERSTELLUNG

Eine Weiterentwicklung des Systems ist die bereits abgeklärte Herstellungsmethode mittels CNC-Fräse der Firma Hundegger. Die Knotenpunkte, Verbindungselemente und die Stäbe können direkt aus dem Code inklusive der Verbindung exportiert und in das erforderliche Dateiformat BVX2 umgewandelt und damit

direkt von einer ROBOT-Drive CNC-Fräse verarbeitet und im gleichen Schritt beschriftet werden. Somit kann jeder Punkt unterschiedliche Abmessungen/Winkel aufweisen und dennoch wirtschaftlich hergestellt werden.

ENERGIEVERSORGUNG

Aufgrund der abgelegenen Lage und aus ökologischer Sichtweise betrachtet ist es für die Struktur erforderlich, dass die Versorgung über erneuerbare Energieformen erzeugt wird. Dank der Ausrichtung des Tals (Steilwand nordseitig) können die Folienbespannungen großflächig für die Solare Energiegewinnung genutzt werden. Hierfür sind aktuell vielversprechende Forschungsarbeiten im Entstehen, welche solche Module (z.B. für LKW-Planen) entwickeln.

Für die Wasserversorgung können die vorhandenen Leitungen des geschlossenen Dolomitwerks weitergeführt und für das Kletterzentrum verwendet werden.

«Alle materiellen Objekte sind Konstruktionen» Frei Otto¹⁶

¹⁶ Otto, Frei; Rasch, Bodo (Hg.): „Gestalt finden - Auf dem Weg zu einer Baukunst des Minimalen“, Fellbach 1995, S.15 'zitiert nach' Nerdinger, Winfred (Hg.); Meissner, Irene; Möller, Eberhard; Grdanjski, Mirjana: „Frei Otto das Gesamtwerk - Leicht bauen natürlich gestalten, 1. Auflage, Birkhäuser - Verlag für Architektur, Schweiz 2005, S.17





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

IX. VERZEICHNISSE

- 9.1 PLANVERZEICHNIS
- 9.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS
- 9.3 LITERATURVERZEICHNIS
- 9.4 WEITERFÜHRENDE VERWEISE

VERZEICHNISSE

9.1 PLANVERZEICHNIS

Pln. 1 hArtmann, wEndelin:
„Grundstücksgrenzen des Bauplatzes lt. NÖ-Atlas“; vgl. Land Niederösterreich, BEV, GIP.at © Land Niederösterreich, <https://atlas.noegv.at/atlas/portal/noe-atlas/> (2023-01-02, 13:36)

Pln. 2 hArtmann, wEndelin:
„Versuchsaufbau zur Materialprüfung des Prototyp II - Netz aus 6 Knotenpunkten“, Wien 2021

Pln. 3 hArtmann, wEndelin:
„Draufsicht“, Wien 2023

Pln. 4 hArtmann, wEndelin:
„Grundriss M.1:300“, Wien 2023

Pln. 5 hArtmann, wEndelin:
„Schnitt M.1:250“, Wien 2023

9.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1 hArtmann, wEndelin:
„Bucheinband“, Flächengrafik, Baden 2022

Abb. 2 hArtmann, wEndelin:
„Teaser Bucheinband innen“, Visualisierung, Baden 2022

Abb. 3 Technische Universität Wien: TU Signet, <https://colab.tuwien.ac.at/pages/viewpage.action?spaceKey=CD&title=1.1.2.+TU+Signet>, (2023-05-18, 16:31)

Abb. 4 hArtmann, wEndelin:
„Blick auf den Waldweg“, Visualisierung, Baden 2022

Abb. 5 hArtmann, wEndelin:
Google Earth Pro: „Orthofoto Bauplatz“, (2023-01-04, 16:55)

Abb. 6 hArtmann, wEndelin:
„Blick Richtung Harzbergbruch“, Foto, Bad Vöslau 2021

Abb. 7 hArtmann, wEndelin:
„Beschilderung Geolehrpfad“, Foto, Bad Vöslau 2021

Abb. 8 hArtmann, wEndelin:
„Lange Gasse“, Foto, Bad Vöslau 2021

Abb. 9 hArtmann, wEndelin:
„Blick Richtung Süden - Hohe Wand“, Foto, Bad Vöslau 2021

Abb. 10 hArtmann, wEndelin:
Google Earth Pro: „Orthofoto Bauplatz“, (2023-01-02, 20:58)

Abb. 11 hArtmann, wEndelin:
„Ankunft beim Dolomitwerk“, Foto, Bad Vöslau 2021

Abb. 12 hArtmann, wEndelin:
„Geolehrpfad Richtung Brunnenhöhle“, Foto, Bad Vöslau 2021

Abb. 13 hArtmann, wEndelin:
„Eingang Brunnenhöhle“, Foto, Bad Vöslau 2021

Abb. 14 hArtmann, wEndelin:
„Blick entlang der Abbruchwand“, Foto, Bad Vöslau 2021

Abb. 15 hArtmann, wEndelin:
„mittels Photogrammetriesoftware erzeugtes 3D-Modell“, Bildschirmaufnahme, Baden 2023

Abb. 16 hArtmann, wEndelin:
„mittels Photogrammetriesoftware erzeugtes 3D-Modell mit Fototexturen“, Bildschirmaufnahme, Baden 2023

Abb. 17 hArtmann, wEndelin:
„Drohnenaufnahme des Steinbruches Richtung Westen“, Foto, Bad Vöslau 2021

Abb. 18 hArtmann, wEndelin:
„Blick Richtung Süden - Hohe Wand/Hochschneeberg“, Foto, Bad Vöslau 2022

Abb. 19 hArtmann, wEndelin:
„Entwurfsinspiration vor Ort“, Foto, Bad Vöslau 2022

Abb. 20 hArtmann, wEndelin:
„Blick in das Tal“, Foto, Bad Vöslau 2022

Abb. 21 hArtmann, wEndelin (bearbeitet): „Regierungszentrum KOCOMMAS, Majilis al Shura“, Datenquelle: Nerdinger, Winfried; Meissner, Irene; Möller, Eberhard; Grdanjski, Mirjana: „Frei Otto das Gesamtwerk - Leicht bauen natürlich gestalten, 1. Auflage, Birkhäuser - Verlag für Architektur, Schweiz 2005, S.297

Abb. 22 hArtmann, wEndelin (bearbeitet): „Multihalle (1.27), Gitterschale“, Datenquelle: Meissner, Irene; Möller, Eberhard: „Frei Otto - forschen bauen inspirieren“, 2. Auflage, Edition Detail, München 2017, S.83

Abb. 23 hArtmann, wEndelin (bearbeitet): „Konrad Wachsmann, A new method of construction and the USAF-Hangar“, Datenquelle: Bollinger,Klaus; Medicus, Florian: „Stressing Wachsmann, Structures for a Future“, 1.Auflage, Birkhäuser, Berlin 2020, S.103

Abb. 24 hArtmann, wEndelin (bearbeitet): „Konrad Wachsmann, Model of the USAF-Hangar, ca. 1953“, Datenquelle: Bollinger,Klaus; Medicus, Florian: „Stressing Wachsmann, Structures for a Future“, 1.Auflage, Birkhäuser, Berlin 2020, S.103

Abb. 25 hArtmann, wEndelin (bearbeitet): „Expo 2000. Japan-Pavillon - Hannover“, Datenquelle: Shigeru, Ban: „Shigeru Ban Architects“, 1. Auflage, The Imaged Publishing Group Pty Ltd, Australien 2018, S.168

Abb. 26 hArtmann, wEndelin (bearbeitet): „Detailansicht Nomadic Paper Dome“, Datenquelle: Jodidio, Philip: „Shigeru Ban. Complete Works 1985-2015“, 1. Auflage, TASCHEN, Köln 2015, S.308

Abb. 27 hArtmann, wEndelin: „Vergleich elementarer Netzstrukturen“, Liniengrafik, Baden 2022

Abb. 28 hArtmann, wEndelin: „Geometrische Darstellung der Arbeitsweise des Skriptes, Grundriss“, Liniengrafik, Baden 2022

Abb. 29 hArtmann, wEndelin: „Geometrische Darstellung der Arbeitsweise des Skriptes, Perspektive“, Liniengrafik, Baden 2022

Abb. 30 hArtmann, wEndelin: „Mittelsegment horizontal“, Liniengrafik, Baden 2023

Abb. 31 hArtmann, wEndelin: „Mittelsegment ansteigend“, Liniengrafik, Baden 2023

Abb. 32 hArtmann, wEndelin: „Mittelsegment absteigend“, Liniengrafik, Baden 2023

Abb. 33 hArtmann, wEndelin: „Netz aus vier Knotenpunkten“, Liniengrafik, Baden 2023

Abb. 34 hArtmann, wEndelin: „aufbauende Knotenpunkte“, Schaubild, Baden 2022

Abb. 35 hArtmann, wEndelin: „geometrische Überprüfung des Skriptes“, Schaubild, Baden 2022

Abb. 36 hArtmann, wEndelin: „Versuche zur Verbesserung des Skriptes“, Schaubild, Baden 2022

Abb. 37 hArtmann, wEndelin: „raumbildende Skulptur“, Schaubild, Baden 2022

Abb. 38 hArtmann, wEndelin: „flächige Netzstruktur“, Schaubild, Baden 2022

Abb. 39 hArtmann, wEndelin: „Entwurf einer Überdachung“, Schaubild, Baden 2022

Abb. 40 hArtmann, wEndelin: „Einbindung des Stützelementes in die Dachstruktur - Grundriss“, Schaubild, Baden 2022

Abb. 41 hArtmann, wEndelin: „Stützelement - Perspektive“, Schaubild, Baden 2022

Abb. 42 hArtmann, wEndelin: „Versuchsaufbau Biegezugprüfung“, Liniengrafik, Baden 2021

Abb. 43 hArtmann, wEndelin: „Versuchsaufbau Scherprüfung“, Liniengrafik, Baden 2021

Abb. 44 hArtmann, wEndelin: „Liniengrafik - 1 Knotenpunkt Schwalbenschwanz“, Liniengrafik, Baden 2021

Abb. 45 hArtmann, wEndelin: „1:1 Modell der Schwalbenschwanzverbindung“, Foto, Baden 2021

Abb. 46 hArtmann, wEndelin: „Herstellung der Verbindung im Mittelsegment Probe 1“, Foto, Baden 2021

Abb. 47 hArtmann, wEndelin: „Scherversuch - Schwalbenschwanz“, Foto, Wien 2021

Abb. 48 hArtmann, wEndelin: „Analyse des Bruchbildes geschlossenen Probe 1“, Foto, Wien 2022

Abb. 49 hArtmann, wEndelin: „Zerstörte offene Verbindung Probe 1“, Foto, Wien 2022

Abb. 50 hArtmann, wEndelin: „Nahaufnahme des Schwalbenschwanzes“, Foto, Wien 2022

Abb. 51 hArtmann, wEndelin: „Prüfergebnis Probe 1“, Diagramm, Wien 2023

Abb. 52 hArtmann, wEndelin: „Liniengrafik - 2 Knotenpunkt Zinken“, Liniengrafik, Baden 2021

Abb. 53 hArtmann, wEndelin: „abgerichteter Knotenpunkt“, Foto, Baden 2021

Abb. 54 hArtmann, wEndelin: „1:1 Modell der Zinkenverbindung“, Foto, Baden 2021

Abb. 55 hArtmann, wEndelin: „Scherversuch - Zinken“, Foto, Wien 2021

Abb. 56 hArtmann, wEndelin: „Analyse des Bruchbildes geschlossenen Probe 2“, Foto, Wien 2022

Abb. 57 hArtmann, wEndelin: „Zerstörte offene Verbindung Probe 2“, Foto, Wien 2022

Abb. 58 hArtmann, wEndelin: „Nahaufnahme des Zinkens im Mittelsegment“, Foto, Wien 2022

Abb. 59 hArtmann, wEndelin: „Prüfergebnis Probe 2“, Diagramm, Wien 2024

Abb. 60 hArtmann, wEndelin: „Liniengrafik - 3 Knotenpunkt Fremde Feder“, Liniengrafik, Baden 2021

Abb. 61 hArtmann, wEndelin: „Herstellung der Fremden Feder“, Foto, Baden 2021

Abb. 62 hArtmann, wEndelin: „1:1 Modell der Fremden Feder“, Foto, Baden 2021

Abb. 63 hArtmann, wEndelin: „Scherversuch - Fremde Feder“, Foto, Wien 2021

Abb. 64 hArtmann, wEndelin: „Analyse des Bruchbildes geschlossenen Probe 3“, Foto, Wien 2022

Abb. 65 hArtmann, wEndelin: „Zerstörte offene Verbindung Probe 3“, Foto, Wien 2022

Abb. 66 hArtmann, wEndelin: „Nahaufnahme Probe 3“, Foto, Wien 2022

Abb. 67 hArtmann, wEndelin: „Prüfergebnis Probe 3“, Diagramm, Wien 2023

Abb. 68 hArtmann, wEndelin: „Liniengrafik - 4 Stab Schwalbenschwanz“, Liniengrafik, Baden 2021

Abb. 67 hArtmann, wEndelin: „Herstellung der Probe 4“, Foto, Baden 2021

Abb. 70 hArtmann, wEndelin: „Fertige Probe 4“, Foto, Baden 2021

Abb. 71 hArtmann, wEndelin: „Biegezugversuch - Schwalbenschwanz“, Foto, Wien 2021

Abb. 72 hArtmann, wEndelin: „Aufnahme zur Einrichtung der weiteren Proben“, Foto, Wien 2021

Abb. 73 hArtmann, wEndelin: „Zerstörte Verbindung Probe 4“, Foto, Wien 2022

Abb. 74 hArtmann, wEndelin: „Nahaufnahme Probe 4“, Foto, Wien 2022

Abb. 75 hArtmann, wEndelin: „Prüfergebnis Probe 4“, Diagramm, Wien 2023

Abb. 76 hArtmann, wEndelin: „Liniengrafik - 5 Stab Zinken“, Liniengrafik, Baden 2021

Abb. 77 hArtmann, wEndelin: „Seitenansicht Probe 5“, Foto, Baden 2021

Abb. 78 hArtmann, wEndelin: „Fertige Probe 5“, Foto, Baden 2021

Abb. 79 hArtmann, wEndelin: „Biegezugversuch - Zinken“, Foto, Wien 2021

Abb. 80 hArtmann, wEndelin: „Analyse des Bruchbildes geschlossenen Probe 5“, Foto, Wien 2022

Abb. 81 hArtmann, wEndelin: „Nahaufnahme Probe 5“, Foto, Wien 2022

Abb. 82 hArtmann, wEndelin: „Vergleich Probe 3, 4, 5“, Foto, Wien 2022

Abb. 83 hArtmann, wEndelin: „Prüfergebnis Probe 5“, Diagramm, Wien 2023

Abb. 84 hArtmann, wEndelin: „Liniengrafik - 6 Stab Halbverdeckter S. und Z“, Liniengrafik, Baden 2021

Abb. 85 hArtmann, wEndelin: „Herstellung der Probe 6“, Foto, Baden 2021

Abb. 86 hArtmann, wEndelin: „Geöffnete Probe 6“, Foto, Wien 2021

Abb. 87 hArtmann, wEndelin: „Biegezugversuch - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen“, Foto, Wien 2021

Abb. 88 hArtmann, wEndelin:
„Analyse des Bruchbildes geschlossenen Probe 6“, Foto, Wien 2021

Abb. 89 hArtmann, wEndelin:
„Zerstörte offene Verbindung Probe 6“, Foto, Wien 2022

Abb. 90 hArtmann, wEndelin:
„Nahaufnahme Probe 6“, Foto, Wien 2022

Abb. 91 hArtmann, wEndelin:
„Prüfergebnis Probe 6“, Diagramm, Wien 2023

Abb. 92 hArtmann, wEndelin: „Liniengrafik - 6 V1 Stab Halbverdeckter Schlitz und Zapfen“, Liniengrafik, Baden 2021

Abb. 93 hArtmann, wEndelin:
„Herstellung des halbverdeckten Zapfens 6 V1“, Foto, Wien 2021

Abb. 94 hArtmann, wEndelin:
„Nahaufnahme Probe 6 V1“, Foto, Wien 2021

Abb. 95 hArtmann, wEndelin:
„Vergleich der Proben 6 V1 bis 6 V4 - V1 markiert“, Foto, Wien 2021

Abb. 96 hArtmann, wEndelin:
„Biegezugversuch - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen 6 V1“, Foto, Wien 2021

Abb. 97 hArtmann, wEndelin:
„Analyse des Bruchbildes geschlossenen Probe 6 V1“, Foto, Wien 2021

Abb. 98 hArtmann, wEndelin:
„Nahaufnahme Probe 6 V1 zerstört“, Foto, Wien 2023

Abb. 99 hArtmann, wEndelin:
„Prüfergebnis Probe 6 V1“, Bildschirmaufnahme, Wien 2021

Abb. 100 hArtmann, wEndelin: „Liniengrafik - 6 V2 Stab Halbverdeckter Schlitz und Zapfen“, Liniengrafik, Baden 2021

Abb. 101 hArtmann, wEndelin:
„Herstellung des halbverdeckten Zapfens 6 V2“, Foto, Wien 2021

Abb. 102 hArtmann, wEndelin:
„Nahaufnahme Probe 6 V2“, Foto, Wien 2021

Abb. 103 hArtmann, wEndelin:
„Vergleich der Proben 6 V1 bis 6 V4 - V2 markiert“, Foto, Wien 2021

Abb. 104 hArtmann, wEndelin:
„Biegezugversuch - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen 6 V2“, Foto, Wien 2021

Abb. 105 hArtmann, wEndelin:
„Analyse des Bruchbildes geschlossenen Probe 6 V2“, Foto, Wien 2021

Abb. 106 hArtmann, wEndelin:
„Nahaufnahme Probe 6 V2 zerstört“, Foto, Wien 2023

Abb. 107 hArtmann, wEndelin:
„Prüfergebnis Probe 6 V2“, Bildschirmaufnahme, Wien 2021

Abb. 108 hArtmann, wEndelin: „Liniengrafik - 6 V3 Stab Halbverdeckter Schlitz und Zapfen“, Liniengrafik, Baden 2021

Abb. 109 hArtmann, wEndelin:
„Herstellung des Schlitzes 6 V3“, Foto, Wien 2021

Abb. 110 hArtmann, wEndelin:
„Nahaufnahme Probe 6 V3“, Foto, Wien 2021

Abb. 111 hArtmann, wEndelin:
„Vergleich der Proben 6 V1 bis 6 V4 - V3 markiert“, Foto, Wien 2021

Abb. 112 hArtmann, wEndelin:
„Biegezugversuch - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen 6 V3“, Foto, Wien 2021

Abb. 113 hArtmann, wEndelin:
„Analyse des Bruchbildes geschlossenen Probe 6 V3“, Foto, Wien 2021

Abb. 114 hArtmann, wEndelin:
„Nahaufnahme Probe 6 V3 zerstört“, Foto, Wien 2023

Abb. 115 hArtmann, wEndelin:
„Prüfergebnis Probe 6 V3“, Bildschirmaufnahme, Wien 2021

Abb. 116 hArtmann, wEndelin: „Liniengrafik - 6 V4 Stab Halbverdeckter Schlitz und Zapfen“, Liniengrafik, Baden 2021

Abb. 117 hArtmann, wEndelin:
„Herstellung des Sicherungsdübels 6 V4“, Foto, Wien 2021

Abb. 118 hArtmann, wEndelin:
„Nahaufnahme Probe 6 V4“, Foto, Wien 2021

Abb. 119 hArtmann, wEndelin:
„Vergleich der Proben 6 V1 bis 6 V4 - V4 markiert“, Foto, Wien 2021

Abb. 120 hArtmann, wEndelin:
„Biegezugversuch - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen 6 V4“, Foto, Wien 2021

Abb. 121 hArtmann, wEndelin:
 „Analyse des Bruchbildes geschlossenen Probe 6 V4“, Foto, Wien 2021

Abb. 122 hArtmann, wEndelin:
 „Nahaufnahme Probe 6 V4 zerstört“, Foto, Wien 2023

Abb. 123 hArtmann, wEndelin:
 „Prüfergebnis Probe 6 V4“, Bildschirmaufnahme, Wien 2021

Abb. 124 hArtmann, wEndelin: „Liniengrafik - 3 V1 Knotenpunkt Fremde Feder“, Liniengrafik, Baden 2021

Abb. 125 hArtmann, wEndelin:
 „Scherversuch - Fremde Feder 3 V1“, Foto, Wien 2021

Abb. 126 hArtmann, wEndelin:
 „Analyse des Bruchbildes geschlossenen Probe 3 V1“, Foto, Wien 2021

Abb. 127 hArtmann, wEndelin:
 „Prüfergebnis Probe 3 V1“, Bildschirmaufnahme, Wien 2021

Abb. 128 hArtmann, wEndelin: „Liniengrafik - 6 V5 Stab Halbverdeckter Schlitz und Zapfen“, Liniengrafik, Baden 2021

Abb. 129 hArtmann, wEndelin:
 „Biegezugversuch - Halbverdeckter Schlitz und Zapfen 6 V5“, Foto, Wien 2021

Abb. 130 hArtmann, wEndelin:
 „Analyse des Bruchbildes geschlossenen Probe 6 V5“, Foto, Wien 2021

Abb. 131 hArtmann, wEndelin:
 „Prüfergebnis Probe 6 V5“, Bildschirmaufnahme, Wien 2021

Abb. 132 hArtmann, wEndelin: „Explosionszeichnung der gewählten Verbindungen geschlossen“, Liniengrafik, Wien 2023

Abb. 133 hArtmann, wEndelin: „Explosionszeichnung der gewählten Verbindungen Stab offen“, Liniengrafik, Wien 2023

Abb. 134 hArtmann, wEndelin: „Explosionszeichnung der gewählten Verbindungen Stab und Mittelsegment offen“, Liniengrafik, Wien 2023

Abb. 135 hArtmann, wEndelin: „Explosionszeichnung der gewählten Verbindungen offen“, Liniengrafik, Wien 2023

Abb. 136 hArtmann, wEndelin:
 „Entwurf Netz . Prototyp I - regelmäßiges Sechseck mit Dreibein-Hochpunkten“, Schaubild, Wien 2023

Abb. 137 hArtmann, wEndelin:
 „Prototyp I - Ausschnitt aus Netz - Dreibein mit einem Hochpunkt und Hilfslinien“, Schaubild, Wien 2023

Abb. 138 hArtmann, wEndelin:
 „Knotenpunkt mit eingesetzten Fremden Federn“, Foto, Wien 2021

Abb. 139 hArtmann, wEndelin:
 „Zusammenbau des Prototyp I“, Foto, Wien 2021

Abb. 140 hArtmann, wEndelin:
 „Prototyp I - erste Belastung“, Foto, Wien 2021

Abb. 141 hArtmann, wEndelin:
 „Fräsen der Mittelsegment mit extra angefertigter Frässhablone“, Foto, Wien 2021

Abb. 142 hArtmann, wEndelin:
 „Mittelsegmente mit gefrästen Schlitzern der Fremden Feder“, Foto, Wien 2021

Abb. 143 hArtmann, wEndelin:
 „Herstellung der Knotenpunkte“, Foto, Wien 2021

Abb. 144 hArtmann, wEndelin: „Zusammenbau des Prototyp II - Ausschnitt aus dem Holzweg“, Foto, Wien 2021

Abb. 145 hArtmann, wEndelin:
 „Entwurf Prototyp II - Ausschnitt aus dem Holzweg“, Schaubild, Wien 2023

Abb. 146 hArtmann, wEndelin:
 „Raumprogramm“, Diagramm, Wien 2023

Abb. 147 hArtmann, wEndelin:
 „Schema Schleife“, Diagramm, Wien 2023

Abb. 148 hArtmann, wEndelin:
 „Schema Cluster“, Diagramm, Wien 2023

Abb. 149 hArtmann, wEndelin:
 „Schema Struktur“, Diagramm, Wien 2023

Abb. 150 hArtmann, wEndelin:
 „Funktionsbereiche“, Diagramm, Wien 2023

Abb. 151 hArtmann, wEndelin:
 „Dreidimensionales Raumprogramm“, Schaubild, Wien 2023

Abb. 152 hArtmann, wEndelin:
 „Vogelperspektive“, Schaubild, Wien
 2023

Abb. 153 hArtmann, wEndelin:
 „Schnittperspektive der Hauptge-
 bäudes“, Schaubild, Wien 2023

Abb. 154 hArtmann, wEndelin:
 „Perspektive mit Blick auf den
 Café-Bereich“, Schaubild, Wien
 2023

Abb. 155 hArtmann, wEndelin: „Ex-
 plusionszeichnung des Hauptge-
 bäudes“, Schaubild, Wien 2023

Abb. 156 hArtmann, wEndelin:
 „Blick Richtung Bar und Indoorbüh-
 ne“, Schaubild, Wien 2023

Abb. 157 hArtmann, wEndelin:
 „Blick Richtung Café-Plattform“,
 Schaubild, Wien 2023

Abb. 158 hArtmann, wEndelin:
 „Blick in den Dome“, Schaubild,
 Wien 2023

Abb. 159 hArtmann, wEndelin:
 „Blick Auf der Indoorbühne ste-
 hend“, Schaubild, Wien 2023

Abb. 160 hArtmann, wEndelin:
 „Blick von einer Plattform an der
 Kletterwand hinunter“, Schaubild,
 Wien 2023

Abb. 161 hArtmann, wEndelin:
 „Kurz vor dem Absprung mit dem
 Flying Fox“, Schaubild, Wien 2023

Abb. 162 hArtmann, wEndelin:
 „Ankunft auf der Landeplattform
 mit dem Flying Fox“, Schaubild,
 Wien 2023

Abb. 163 hArtmann, wEndelin:
 „Ankunftsplattform am Ender der
 Lange Gasse“, Schaubild, Wien
 2023

Abb. 164 hArtmann, wEndelin: „Ex-
 plusionszeichnung der einzelnen
 Bauteile der Ankunftsplattform“,
 Schaubild, Wien 2023

Abb. 165 hArtmann, wEndelin: „Ex-
 trahierter Ausschnitt eines Weges -
 Perspektive und Seitenansicht“,
 Schaubild, Wien 2023

Abb. 166 hArtmann, wEndelin: „Vi-
 sualisierung des Holzweges im
 Wald“, Visualisierung, Wien 2022

Abb. 167 hArtmann, wEndelin: „Vi-
 sualisierung - Hauptgebäude“, Vi-
 sualisierung, Wien 2023

Abb. 168 hArtmann, wEndelin:
 „3D-Druck - Arbeitsmodell“, Foto,
 Wien 2021

Abb. 169 hArtmann, wEndelin:
 „Einzelteile eines Arbeitsmodelles“,
 Foto, Wien 2021

Abb. 170 hArtmann, wEndelin: „Zu-
 sammengesetztes Arbeitsmodell“,
 Foto, Wien 2021

Abb. 171 hArtmann, wEndelin:
 „Erstes Netzelement aus gelasertes
 Finnplatte - Arbeitsmodell“, Foto,
 Wien 2021

Abb. 172 hArtmann, wEndelin: „Zu-
 sammengesetztes Netz aus ge-
 lasertes Finnplatte - Arbeitsmo-
 dell“, Foto, Wien 2021

Abb. 173 hArtmann, wEndelin:
 „Am Holzweg - Digitales Arbeits-
 modell, Wien 2021

Abb. 174 hArtmann, wEndelin:
 „Kuppelgebäude mit Dachstruktur -
 Digitales Arbeitsmodell, Wien 2023

Abb. 175 hArtmann, wEndelin:
 „Höhenlinien aus der Punktwolke im
 Grundriss - Digitales Arbeitsmo-
 dell“, Liniengrafik, Wien 2021

Abb. 176 hArtmann, wEndelin:
 „Höhenlinien aus der Punktwolke im
 Schnitt - Digitales Arbeitsmodell“,
 Liniengrafik, Wien 2021

Abb. 177 hArtmann, wEndelin:
 „ersuche eines Weges im erzeugte
 digitales Arbeitsmodell des Gelän-
 des / Shade-Mode“, Schaubild,
 Wien 2021

Abb. 178 hArtmann, wEndelin:
 „Versuche eines Weges im erzeugte
 digitales Arbeitsmodell des Gelän-
 des / Arctic-Mode“, Schaubild, Wien
 2021

Abb. 179 hArtmann, wEndelin: „ex-
 trahierte Knoten-Struktur zur Di-
 mensionierung der Kuppel“, Linien-
 grafik, Wien 2023

Abb. 180 hArtmann, wEndelin:
 „Seitenansicht der Kuppel“, Schau-
 bild, Wien 2023

Abb. 181 hArtmann, wEndelin:
 „Kuppel - verschieblich gelagert-
 Querschnittsoptimierung“, Schau-
 bild, Wien 2023

Abb. 182 hArtmann, wEndelin:
 „Kuppel - verschieblich gelagert-
 Moment“, Schaubild, Wien 2023

Abb. 183 hArtmann, wEndelin:
 „Kuppel - verschieblich gelagert -
 Spannung“, Schaubild, Wien 2023

Abb. 184 hArtmann, wEndelin:
 „Kuppel - verschieblich gelagert -
 verformt“, Schaubild, Wien 2023

Abb. 185 hArtmann, wEndelin:
 „Kuppel - fix gelagert- Quer-
 schnittoptimierung“, Schaubild,
 Wien 2023

Abb. 186 hArtmann, wEndelin:
 „Kuppel - fix gelagert- Moment“,
 Schaubild, Wien 2023

Abb. 187 hArtmann, wEndelin:
 „Kuppel - fix gelagert - Spannung“,
 Schaubild, Wien 2023

Abb. 188 hArtmann, wEndelin:
 „Kuppel - fix gelagert - verformt“,
 Schaubild, Wien 2023

Abb. 189 hArtmann, wEndelin: „Ich
 vor dem Harzbergbruch“, Foto, Bad
 Vöslau 2023

Abb. 190 hArtmann, wEndelin:
 „Entstehung der Schleife“, Bild-
 schirmaufnahme, Wien 2023

Abb. 191 hArtmann, wEndelin:
 „Grasshopper Skript der mobilen
 Einrichtung“, Bildschirmaufnahme,
 Wien 2023

Abb. 192 hArtmann, wEndelin:
 „Handskizze Grundriss - Formfin-
 dung“, Foto, Wien 2023

Abb. 193 hArtmann, wEndelin:
 „Handskizzen des Kletterzentrums“,
 Foto, Wien 2023

Abb. 194 hArtmann, wEndelin:
 „wEndelin hArtmann am Weg zum
 Bauplatz“, Foto, Bad Vöslau 2021

9.3 LITERATURVERZEICHNIS

Fink, Max Herbert; Hartmann, Hel-
 ga; Hartmann, Wilhelm: „Die Höhlen
 Niederösterreich“, Band 2, Landes-
 verein f. Höhlenkunde in Wien u.
 Niederösterreich, Wien 1979

Luhmann, Thomas: „Nahbereichs-
 photogrammetrie Grundlagen, Me-
 thoden und Anwendungen“, 3.
 Auflage, Wichmann, Berlin 2010

17 Zitat Einband Rückseite: Meiss-
 ner, Irene; Möller, Eberhard: „Frei
 Otto - forschen bauen inspirieren“,
 2. Auflage, Edition Detail, München
 2017, S.34

Nerdinger, Winfred (Hg.); Meissner,
 Irene; Möller, Eberhard; Grdanjski,
 Mirjana: „Frei Otto das Gesamt-
 werk - Leicht bauen natürlich ge-
 stalten, 1. Auflage, Birkhäuser - Ver-
 lag für Architektur, Schweiz 2005

Bollinger, Klaus; Medicus, Florian:
 „Stressing Wachsmann, Structures
 for a Future“, 1. Auflage, Birkhäuser,
 Berlin 2020

Stiftung Bauhaus Dessau; Denny,
 Phillip; Przywara, Adam: „The Art of
 Joining: Designing the Universal
 Connector“, 1. Auflage, Spector
 Books Leipzig, Leipzig 2019

Shigeru, Ban: „Shigeru Ban Archi-
 tects“, 1. Auflage, The Imaged Pu-
 blishing Group Pty Ltd, Australien
 2018

Jodidio, Philip: „Shigeru Ban.
 Complete Works 1985-2015“, 1.
 Auflage, TASCHEN, Köln 2015

Berthold, Manfred: „Architektur
 kostet Raum - Architektonisches
 Entwerfen bei Ressourcenknapp-
 heit“, 1. Auflage, Springer-Verlag,
 Wien 2010

Zwenger, Klaus: „Die Architektur der
 Dong“, 1. Auflage, Schlegelbrücke. Edi-
 tor Pálffy Editions, Wien 2013

Zwenger, Klaus: „Das Holz und seine
 Verbindungen - Traditionelle Bau-
 techniken in Europa, Japan und
 China“, 2. Überarbeitete und erwei-
 terte Auflage, Birkhäuser, Basel
 2012

König, Franz; Struber, Georg; Stru-
 ber, Georg; Winter, Horst: „Tischler
 Möbelzeichnen“, 3. Auflage, Verlag
 Hölzer Pichler Tempisky, Wien 2008

9.4 WEITERFÜHRENDE VERWEISE

[https://info.bml.gv.at/im-fokus/bil-
 dung/lehrgaenge/niederosterreich/
 geolehrpfad-bad-voeslau.html](https://info.bml.gv.at/im-fokus/bildung/lehrgaenge/niederosterreich/geolehrpfad-bad-voeslau.html)

[https://www.badvoeslau-tourismus.
 at/geolehrpfad-in-bad-voeslau](https://www.badvoeslau-tourismus.at/geolehrpfad-in-bad-voeslau)

<http://www.freiotto.com>

[https://hyperallergic.com/189699/
 frei-otto-master-of-tensile-struc-
 tures-dies-day-before-winning-
 pritzker-prize/](https://hyperallergic.com/189699/frei-otto-master-of-tensile-structures-dies-day-before-winning-pritzker-prize/)

[https://www.nytimes.com/
 2015/03/11/arts/design/frei-otto-
 architect-who-found-inspiration-
 in-a-post-war-shortage-dies-at-89.
 html](https://www.nytimes.com/2015/03/11/arts/design/frei-otto-architect-who-found-inspiration-in-a-post-war-shortage-dies-at-89.html)



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



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

X. APPENDIX

10.1 SKIZZEN

10.2 ÜBER DEN AUTOR

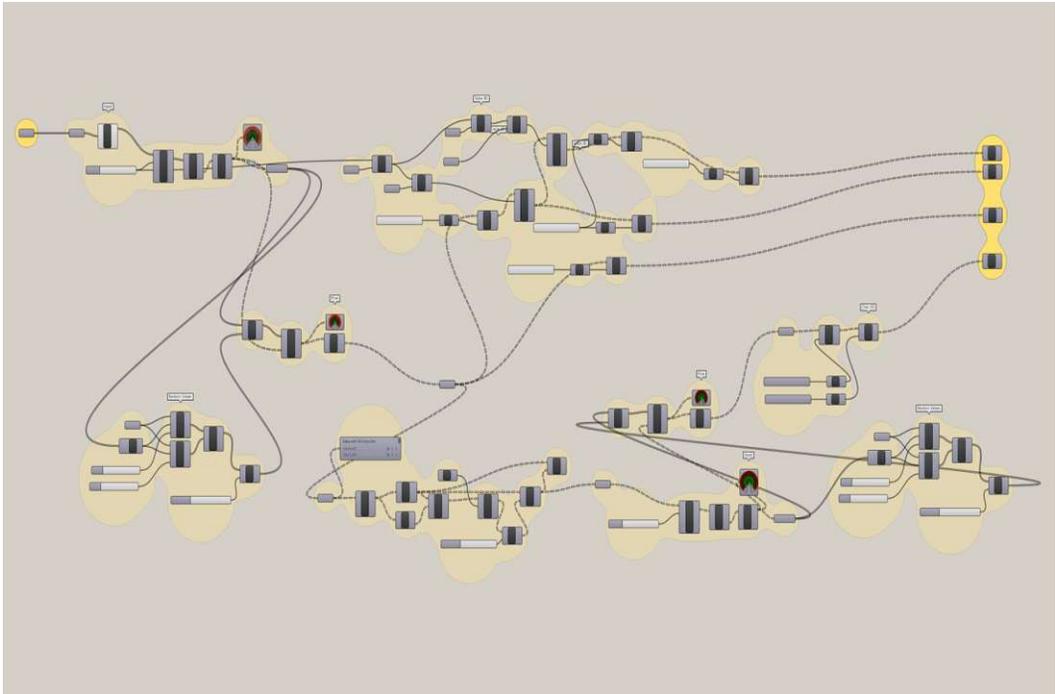


Abb. 190 Entstehung der Schleife

Abb. 191 Grasshopper Skript der mobilen Einrichtung

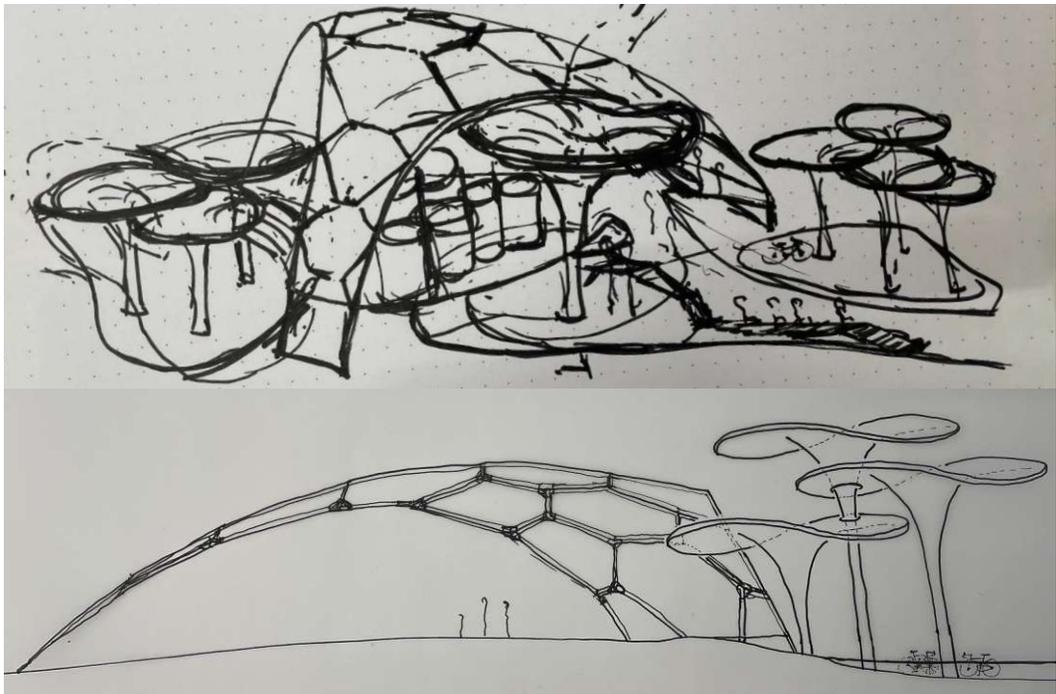


Abb. 192 Handskizze Grundriss - Formfindung

Abb. 193 Handskizzen des Kletterzentrums



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

10.2 ÜBER DEN AUTOR

WENDELIN HARTMANN

* 27.01.1988
Oberpullendorf



Ausbildung

2023	Abschluss des Masterstudiums Architektur
2015	TU Wien, Betonkanuregatta
2012 bis 2016	Tutor, TU Wien, Inst. f. Arch. U. Entwerfen, Abt. Hochbau u. Entwerfen
2010	Beginn des Architektur Studiums an der Technischen Universität Wien
2010	Abschluss des Kollegs für Innenraumgestaltung und Möbelbau an der HTL Mödling
2007 - 2008	Technische Universität Wien, Bac./Elektrotechnik
2007	Matura am BG/BRG Biondegasse Baden

Berufserfahrung

seit 2021	NUCE Consulting GmbH
seit 2016	selbstständige Tätigkeit - Zeichenbüro
seit 2014	selbstständige Tätigkeit - Architekturmodellbau
2012 bis 2021	Moser Architects Ziviltechniker GmbH
2011 - 2017	Allplan Österreich GmbH - NCI
2009 - 2011	Architekturbüro Liane Liszt



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

» MAN MUSS MEHR DENKEN, MEHR FORSCHEN, ENTWICKELN, ERFINDEN UND WAGEN... « | FREI OTTO¹⁷

