



**Foldaway**





TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

DIPLOMARBEIT

# “Foldaway”

Die Potenziale von Origami in der Architektur  
The Potential of Origami in Architecture

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines “Diplom-Ingenieur”

unter der Leitung von

**Associate Professor Dipl.-Ing.  
Dr. Alireza Fadai**

E259 Institut für Architekturwissenschaften  
Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

**eingereicht an der Technischen Universität Wien**

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

**Philipp Oberkofler, B.Sc.**  
01327591

Wien, am 09.01.2023





TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

### **DIPLOMARBEIT**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin. Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen, sind als solche kenntlich gemacht. Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachterinnen/Begutachtern beurteilten Arbeit überein. Ich nehme zur Kenntnis, dass die vorgelegte Arbeit mit geeigneten und dem derzeitigen Stand der Technik entsprechenden Mitteln (Plagiat-Erkennungssoftware) elektronischtechnisch überprüft wird. Dies stellt einerseits sicher, dass bei der Erstellung der vorgelegten Arbeit die hohen Qualitätsvorgaben im Rahmen der geltenden Regeln zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis „Code of Conduct“ an der TU Wien eingehalten wurden. Zum anderen werden durch einen Abgleich mit anderen studentischen Abschlussarbeiten Verletzungen meines persönlichen Urheberrechts vermieden.

Wien, am 09.01.2022



# Kurzfassung

Origami hat eine tiefgehende Geschichte hinter sich, das erste gefundene Origami geht auf das 16. Jahrhundert zurück. In letzter Zeit rückten die technischen Möglichkeiten von Origami immer stärker in das Zentrum der Aufmerksamkeit. Origami findet man inzwischen in den verschiedensten Bereichen, von der Automobilindustrie bis hin zur Weltraumtechnik. Auch in der Architektur bietet Origami viele Potenziale. Dies wurde bereits von Eugène Freyssinet unter Beweis gestellt, bei seinen Flugzeughallen von Orly. Lange Zeit wurden Falwerke aber ausschließlich aus Beton gebaut. Das Ziel dieser Arbeit ist das Aufzeigen der Potenziale von Holzfaltwerken. Es werden folgende Fragestellungen untersucht, die Ästhetik, die Ressourceneffizienz und die Funktionalität der Faltungen. Als Bauplatz dient dafür das Schloss Braunsberg. Dieses soll durch mehrere Erhaltungsmaßnahmen gesichert und für die Allgemeinheit erreichbar gemacht werden. Die verschiedenen Eingriffe bieten die Möglichkeit, die unterschiedlichen Potenziale von Origami aufzuzeigen. Dabei steht jeder Eingriff für eine unterschiedliche Fragestellung. Das Arbeiten mit den Faltungen wird systematisch aufgeschlüsselt und in kleine Schritte unterteilt. Das ermöglicht das Nachvollziehen der Arbeitsschritte. Die Faltungen werden optimiert, um die gewünschten Ergebnisse zu erreichen. Diese Arbeit zeigt auf, dass mit Origami ästhetische, ressourceneffiziente und funktionelle Bauwerke in Holz errichtet werden können. Dabei sind die Potenziale von Origami noch lange nicht ausgeschöpft.



# Abstract

Origami has a deep history behind it, the first origami found dates back to the 16<sup>th</sup> century. Recently, the technical possibilities of origami have become more and more the focus of attention. Origami can now be found in a wide variety of fields, from the automotive industry to space technology. Origami also offers many potentials in architecture. This was already demonstrated by Eugène Freyssinet in his Orly hangars. For a long time, however, folded structures were built exclusively of concrete. The aim of this work is to demonstrate the potential of wooden folding structures. The following questions are examined: the aesthetics, the resource efficiency and the functionality of the folds. Braunsberg Castle serves as the building site. This is to be secured through several conservation measures and made more accessible to the general public. The various interventions offer the opportunity to demonstrate the different potentials of origami. Each intervention stands for a different question. Working with the folds is systematically broken down and divided into small steps. This makes it easier to follow the steps. The folds are optimised to achieve the desired results. This work demonstrates that origami can be used to build aesthetic, resource-efficient and functional structures in wood. At the same time, the potential of origami is far from exhausted.



# Danksagung

An dieser Stelle danke ich,

meinem Associate Professor Dipl.-Ing. Dr.techn. Alireza Fadai für die Betreuung und die wertvollen Tipps zu meiner Arbeit.

meinen Eltern für die moralische und finanzielle Unterstützung. Aber auch dafür, dass ich mich in meiner Lebengestaltung immer frei entscheiden konnte.

meiner Schwester für das zahlreiche Korrekturlesen.

meinen Mitbewohnern die immer ein offenes Ohr hatten.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
<b>2 Schloss Braunsberg</b>	<b>3</b>
2.1 Geschichte	3
2.2 Lage und Erreichbarkeit	7
2.3 Das Gebäude	10
2.3.1 Der Turm	13
2.3.2 Die Wehrmauer	13
2.3.3 Der Wohntrakt	14
2.3.4 Die Sankt Blasius Kapelle	14
2.3.5 Der Innenhof	16
<b>3 Holz im Außenbereich</b>	<b>17</b>
3.1 Allgemein	17
3.2 Schutz von Holz	20
3.2.1 Allgemein	20
3.2.2 Chemischer Holzschutz	20
3.2.3 Baulicher Holzschutz	21
3.2.4 Bestimmung der Gebrauchsklasse	23
3.3 Einwirkungen auf Außenbauteile	25
3.3.4.1 Sonne	25
3.3.4.2 Niederschlag	25
3.3.4.3 Wind	26
3.3.4.4 Bestimmung der geeigneten Holzart	26
3.4 Knotenverbindungen	27
3.4.1 Längsverbindung	28
3.4.2 Schrägverbindung	29
3.4.3 Winkel und Kreuzverbände	30
3.4.4 Flächenverbindungen	31



<b>4</b>	<b>Faltwerke</b>	<b>32</b>
4.1	Origami	32
4.1.1	Action Origami	32
4.1.2	Modular Origami	32
4.1.3	Wet-folding	33
4.1.4	Pureland Origami	33
4.1.5	Origami tessellations	33
4.2	Tragverhalten von Faltungen	35
4.3	Faltungen	38
4.3.1	Grundfaltungen	38
4.3.1.1	Ziehharmonikafalten	38
4.3.1.2	Messerfalten	38
4.3.1.3	Kastenfalten	39
4.3.1.4	Verlaufsfalten	39
4.3.2	Eingrenzung der Faltungen	40
4.3.2.1	Yoshimura Pattern (Diamond Pattern)	41
4.3.2.2	Miura Ori Pattern (Herringbone Pattern)	41
4.3.2.3	Diagonal Pattern	42
<b>5</b>	<b>Referenzen</b>	<b>43</b>
5.1	Plattformen	45
5.1.1	Top of Tyrol , Stubai, AT	45
5.1.2	Stegastein, Aurland, NOR	46
5.2	Feste Faltwerke	47
5.2.1	Timber Pavillon of the Vidy Lausanne Th., Lausanne, CH	47
5.2.2	Kapelle Saint Loup, Pompaples, CH	48
5.3	Mobile Faltwerke	49
5.3.1	Origami Shelter	49
5.3.2	Development of a Foldable Mobile Shelter System	50



<b>6 Entwurf</b>	<b>53</b>
6.1 Konzept Erklärung	53
6.1.1 Graf. Rupert Strachwitz	53
6.1.2 Origami	56
6.2 Denkmalschutz	57
6.3 Vermessung	59
6.4 Umgebungsanalyse	61
6.4.1 Geschichte von Lana	61
6.4.2 Bauplatz	62
6.5 Themenweg	75
6.5.1 Allgemein	75
6.5.2 Infoscreen und Hinweisschilder	78
6.5.3 Verbesserung des Weges	83
6.5.4 Die Gaulschlucht	86
6.5.5 Materialkonzept	87
6.5.6 Konstruktion des Weges	88
6.6 Plattform	93
6.6.1 Allgemein	93
6.6.2 Standort	95
6.6.3 Denkmalschutz	97
6.6.4 Tragwerk	99
6.6.5 Geländer	101
6.7 Hotelzimmer	107
6.7.1 Lage	107
6.7.2 Materialität	109
6.7.3 Grundriss	111
6.7.4 Entwurf	113
6.7.4.1 Wahl der Faltung	113
6.7.4.2 Auflösen der Faltung	115



6.7.4.3 3D Modellierung	116
6.7.4.4 Faltung optimieren	117
6.7.4.5 Tragwerksentwurf	119
<b>6.8 Festplatz</b>	<b>137</b>
6.8.1 Allgemeines	137
6.8.1.1 Sitzbänke	139
6.8.1.2 Material	143
6.8.2 Stände	145
6.8.2.1 Konstruktion	147
6.8.2.2 Tragwerksentwurf	149
6.8.3 Bühne	151
6.8.3.1 Lage	151
6.8.3.2 Faltung Schritt 1	153
6.8.3.3 Auflösen der Faltung in ein Fachwerk	156
6.8.3.4 Knotenpunkte	157
6.8.3.5 Aufbau der Bühne	162
6.8.3.6 Verschließbarkeit der Bühne	165
6.8.3.7 Tragwerksentwurf	174
<b>7 Fazit</b>	<b>183</b>

# 1 Einführung

## Ziele, Eingrenzung und Inhalt der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit geht es darum, verschiedene Potenziale von Origami in der Architektur aufzuzeigen, das Arbeiten mit Faltungen soll erklärt werden und die Nutzung von Schloss Braunsberg soll verbessert werden.

Schloss Braunsberg befindet sich in Lana und bietet die Möglichkeit, unterschiedliche Eingriffe vorzunehmen, um die jeweils verschiedenen Vorteile von Origami aufzeigen und gleichzeitig die Nutzung des Schlosses zu verbessern. Das Schloss wird bewohnt und ist deshalb denkmalpflegerisch in sicheren Händen. Das Bauwerk ist denkmalgeschützt, deshalb wurde von einem direkten Umbau des Schlosses abgesehen. Die Eingriffe sind ausschließlich um das Schloss herum und grenzen sich optisch deutlich vom Schloss ab.

Die drei Eingriffe, die im Entwurf vorgenommen werden, sind eine Aussichtsplattform, ein Hotelzimmer und eine Bühne. Jedes der drei Bauwerke soll ein unterschiedliches Potenzial von Faltenwerken aufzeigen.

Die Aussichtsplattform dient dazu, Interessierten das Schloss näher zu bringen. Sie ist Teil eines Wanderweges, der sich um das Schloss herum entwickelt. Im Moment ist das Schloss nicht aus der Nähe betrachtbar. Aus diesem Grund gehen die Wanderer unerlaubt auf das Privatgelände des Schlosses. Durch die Optik der Faltung und einer klaren Wegführung sollen die Wanderer zur Plattform geleitet werden. Dadurch soll die Privatsphäre der Schlossbewohner bewahrt werden

und die Wanderer sollen neue spannende Einblicke auf das Schloss erhalten. Dadurch soll die Privatsphäre der Schlossbewohner bewahrt werden und die Wanderer sollen neue spannende Einblicke auf das Schloss erhalten.

Die Erhaltungskosten des Schlosses sind sehr hoch, daher wünscht sich der Besitzer des Schlosses eine Möglichkeit, das Schloss auch monetär zu nutzen. Es entstand die Idee, die Schlosskapelle als Hochzeitsort zu nutzen. Es soll ein Hotelzimmer entstehen, in dem das Brautpaar Nächtigen kann. Das Hotelzimmer soll die Vorteile von Faltenwerken aus Holz darlegen. Durch die Optimierung der Faltung soll der Herstellungsprozess der Einzelteile optimiert und das Tragwerk möglichst Ressourceneffizienz gestaltet werden.

Der dritte Eingriff ist eine Bühnenkonstruktion, diese soll für eine Reihe von Veranstaltungen Platz bieten. Zum einen soll sie Platz schaffen für Theateraufführungen und Konzerte der Musikkapelle. Zum anderen soll eine Möglichkeit geschaffen werden, für die Hochzeitsgäste zu feiern. Um den Eingriff in den denkmalgeschützten Bereich so gering wie möglich zu halten, soll sie schnell auf- und abbaubar sein, was durch ein Zusammenklappen der Konstruktion ermöglicht werden soll. Dabei spielt die richtige Wahl der Faltung eine entscheidende Rolle. Die Faltbarkeit zeigt die funktionellen Eigenschaften von Origami.

# 2 Schloss Braunsberg

## 2.1 Geschichte

Der Anfang der Geschichte von Schloss Braunsberg ist ungewiss. Die erste Erwähnung der Burg findet sich im Salbuche des Klosters Weingarten. Datiert ist dieses Dokument auf das Jahr 1082. Das Dokument ist aber eine gezielte Fälschung, um den Machtanspruch des Klosters zu sichern. Das Dokument stammt aus dem Jahre 1273/74. Es ist wahrscheinlicher, dass die Burganlage um 1200 als Ministeralien der Grafen von Tirol gebaut wurde. Die Grafen von Tirol waren 200 Jahre im Besitz der Burg und die Nachfolgen von den Herren von Lana.

Um 1300 findet man die ersten Aufzeichnungen der Herren von Braunsberg. Den Beginn macht Isolde von Braunsberg. Nach dem frühen Tod ihres Ehemannes heiratete sie Konrad Maiser. Das Ende des Geschlechts besiegelte der Tod von Paul von Braunsberg. Braunsberg fiel in gleichen Teilen an Randolf von Brandis und Etzlin von Andrian. 1401 fiel das Schloss an Hans Mareyder, diesem wurde es von Leopold IV von Habsburg verliehen. Nach dem Aussterben des Geschlechts wurde das Schloss vom Landesfürsten eingezogen. Einen wichtigen Punkt in der Geschichte stellt der Verkauf des Schlosses und des Ultentals im Jahr 1492 dar. Der Verkaufswert betrug 15.000 Gulden und es ging an die Brüder Jakob V. und Jörg Trapp. Die Herren von Trapp besitzen das Schloss in der Folge für über 500 Jahre.

Der letzte Besitzwechsel war erst 1969. Dieser hauchte dem Schlossgemäuer neues Leben ein. Durch Erbfolge fiel das Schloss an die Grafen Strachwitz. Diese begannen nach der Übernahme das Schloss wie-

der zu restaurieren. Nach jahrelanger Arbeit, ist das Schloss heute seit über 500 Jahren wieder durchgängig bewohnt.

Um das Schloss ranken sich zwei bekannte Legenden. In der ersten Geschichte soll sich ein tragischer Vorfall zugetragen haben. Dabei sollen im Jahre 1510 Teile der Burg in die Gaulschlucht gestürzt sein. Starke Indizien dafür findet man an den abrupt aufhörenden Enden der Burgmauer, an ihnen wurden Ausbesserungsarbeiten durchgeführt. Zu sehen auf Abbildungen 1. Ob der Absturz wirklich im Jahre 1510 stattfand, ist nicht nachweisbar. Aus der Maximilianischen Zeit müssten eigentlich mehr Aufzeichnungen zu einem so gravierenden Ereignis zu finden sein. Schloss Braunsberg und die Gaulschlucht haben aber ohne Zweifel eine starke Verbindung zueinander.



**Abb.1:** Abruptes Ende der Schlossmauer

Die zweite Geschichte erzählt von einem tragischen Moment aus dem Leben von Jutta von Braunsberg. Die Erzählung besagt, dass ihr Mann um 1393 aus dem Heiligen Land zurückgekehrt sei und sie der Untreue beschuldigt hat. Daraufhin stürzte sich Jutta in die Gaulschlucht. Sie

überlebte den Sturz und bewies dadurch ihre Unschuld. Die Legende wurde auf einem Bild in der Kapelle des Schlosses abgebildet. Roschmann beschreibt das Bild im Jahr 1740 wie folgt:

„Ich habe aldorten noch Eine andere bekhante Historia gesucht, nemlich von ain herr, desselben Schloß auß Eyfersucht durch ein Fenster yber den Felsen hinab in die faltschauer geworffen, welche aber unverletzt widerumb zuruegg kommen. Die gantze Hystori waren Ehemalen in der Capellen abgemalter zu sehen. Weilen aber die Bretter von Einander gebrochen sein solln, ist solche auf Lana gekhomen und wird Restituieret noch bishero reparirt worden.“

**1082**

Erste Erwähnung  
von Schloss Brauns-  
berg



**1492**

Übergang an die  
Herren von Trapp



**1510**

Teile der Burg  
stürzen in die Gaul-  
schlucht



**1969**

Übergang an die  
Familie Strachwitz



**1969-2016**

Renovierung des  
Schosses



**2016**

Schloss Braunsberg  
wird dauerhaft be-  
wohnt



Abb.2: Zeitstrahl

## 2.2 Lage und Erreichbarkeit

Lage:

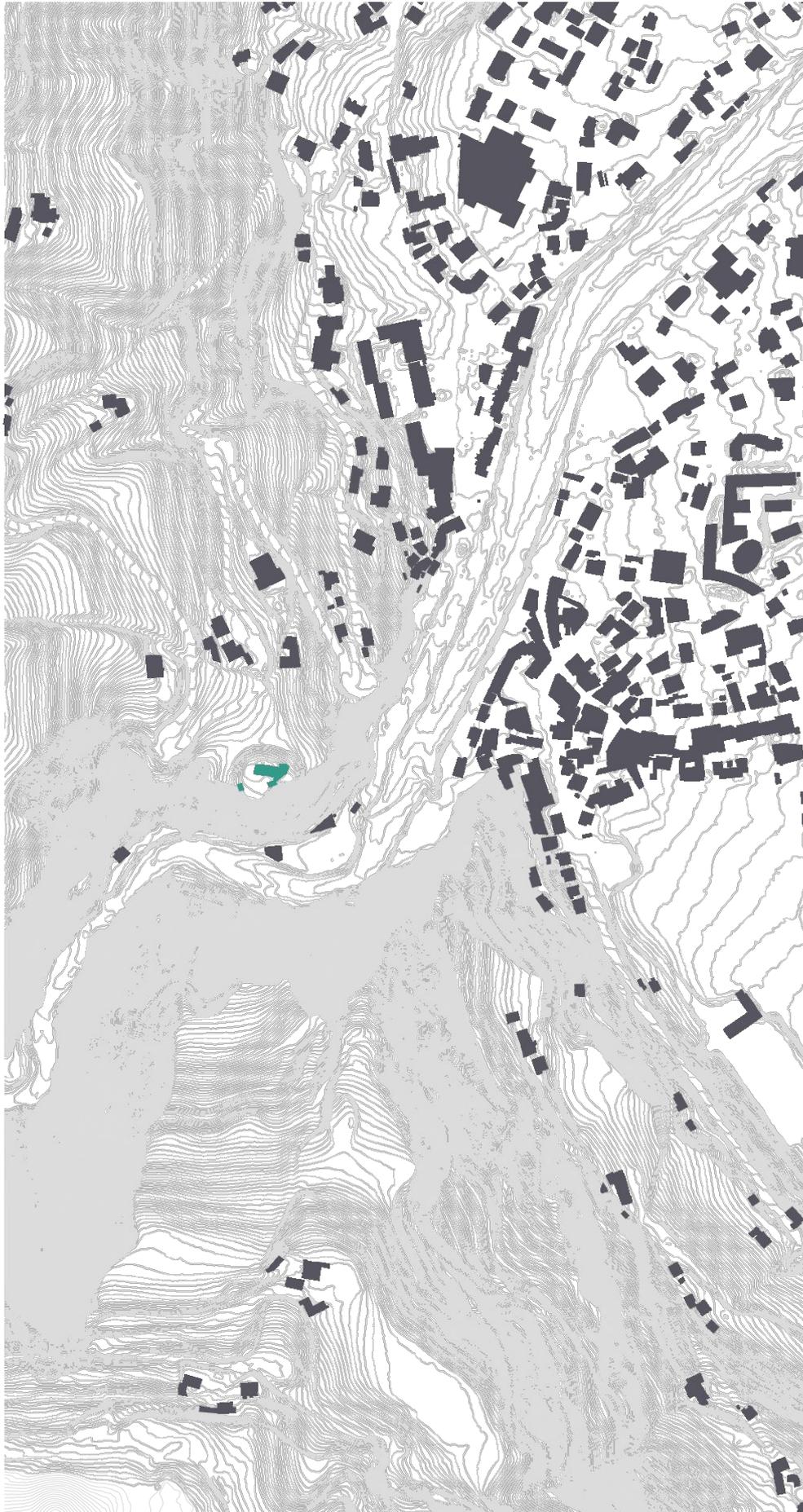


Abb.3: Schwarzplan

Auf der Abbildung 3 ist zu erkennen, dass die frühere Burganlage am westlichen Ende von Lana liegt. Zudem lassen sich an den Höhen-schichtenlinien zwei weitere wichtige Punkte für die Entscheidung, die Burg an diesem Ort zu bauen, ablesen. Zum einen sieht man das im Norden die Ultnerstraße vorbeiführt. Sie ist die wichtigste Zugangs-straße in das Ultental. Auch die „alte“ Ultnerstraße führt sehr nah am Schloss vorbei. Dadurch verlieh die Lage dem Schloss die Möglichkeit, diese überlebenswichtige Verbindung für das Ultental zu überwachen. Zum Zweiten sieht man, dass sich im Süden von Braunsberg die Gaul-schlucht befindet und das Gelände steil abfällt. Dadurch war die Burg von der Südseite aus geschützt und nur von der Nordseite angreifbar.

Erreichbar ist die heutige Schlossanlage über die Landesstraße Nr. 9, die vorher genannte Ultnerstraße.

Der Braunsbergerweg wird gerne von Einheimischen und Touristen für einen Spaziergang genutzt und führt knapp am Schloss Braunsberg vorbei, hoch zum Vigiljoch. Vigiljoch ist der Hausberg von Lana. Der Weg beinhaltet aber mehrere Straßenübergänge über die Ultnerstraße ohne Fußgängerüberweg. Zudem ist die Straße durch viele Kehren un-übersichtlich, wodurch die Sicherheit der Wanderer gefährdet ist.

Ein anderer Weg führt näher an das Schloss, dieser ist aber in den of-fiziellen Karten der Region noch nicht erfasst, da er erst vor Kurzem wiedereröffnet wurde. Der Weg bestand schon länger, war aber wegen Steinschlaggefahr gesperrt. Obwohl am Anfang des Weges ein Schild aufgestellt ist, welches besagt, dass man zum Schloss gelangt, endet der Weg kurz davor an einer Kehre der Ultnerstraße. Folgt man einem ausgetrampelten Weg, kommt man auf den Braunsbergerweg der zum

Vigiljoch führt.

An den Höhengschichtenlinien erkennt man den Fluss, die Falschauer, welcher südlich vom Schloss liegt. Die Falschauer führt entlang der Gaulpromenade, welche ein Naturdenkmal ist und auch gerne für kurze Spaziergänge genutzt wird. In den vergangenen Jahren wurden große Investitionen in die Gaulpromenade gemacht. Unter anderem wurden zwei Hängebrücken gebaut, um tiefer in die Gaulschlucht zu gelangen.

## 2.3 Das Gebäude

Dass in den letzten Jahren viel Zeit und Geld in die Restaurierung des Schlosses geflossen ist, spiegelt sich in seinem sehr gutem Zustand wieder. Die Restaurierung von Braunsberg begann mit der Erbübergabe an Graf Oskar Strachwitz im Jahr 1969. Dieser nutzte Braunsberg als Sommerresidenz. 1997 erbte Rupert Strachwitz, das Schloss Braunsberg. Rupert baute in einem langjährigen Prozess in Abstimmung mit dem Denkmalamt Braunsberg zu seinem Zuhause um. Die intensivsten Arbeiten erfolgten in den Jahren zwischen 1986 und 1991. Durch eine interne Verbindung der Räume im Erdgeschoss wurden die drei früheren Wirtschaftsräume zu einem Wohnzimmer, einer Küche und einem Aufenthaltsraum umgebaut. Vom Wohnzimmer führt eine interne Treppe in die Schlafzimmer der Familie. Auch die Sanitär- und Heizanlage wurde sachkundig erneuert. Seit einigen Jahren ist das Schloss die ganzjährige Wohnung von Rupert Strachwitz seiner Frau Katharina und Ihren drei Kindern.

Das komplette Schlossareal befindet sich unter Denkmalschutz, wie wir später im Kapitel 6.2 sehen werden. Aber durch die ausgezeichnete Sanierung ist das Schloss vor dem Verfall geschützt worden und durch die dauerhafte Bewohnung wird es auch in naher Zukunft zu keinem Verfall kommen. Dadurch ist der wichtigste denkmalpflegerische Aspekt erfüllt.

Schloss Braunsberg unterteilt sich in fünf Teile. Es gibt einen Turm, die Wehrmauer, einem Wohntrakt, eine Kapelle und einen Innenhof mit einem kleinen Zubau. Auf diese wird in den folgenden Unterkapiteln genauer eingegangen. Die Unterteilung der Burg und die Anordnung der Gebäudeteile sieht man auf den Grundrissen Abbildungen 4 und 5

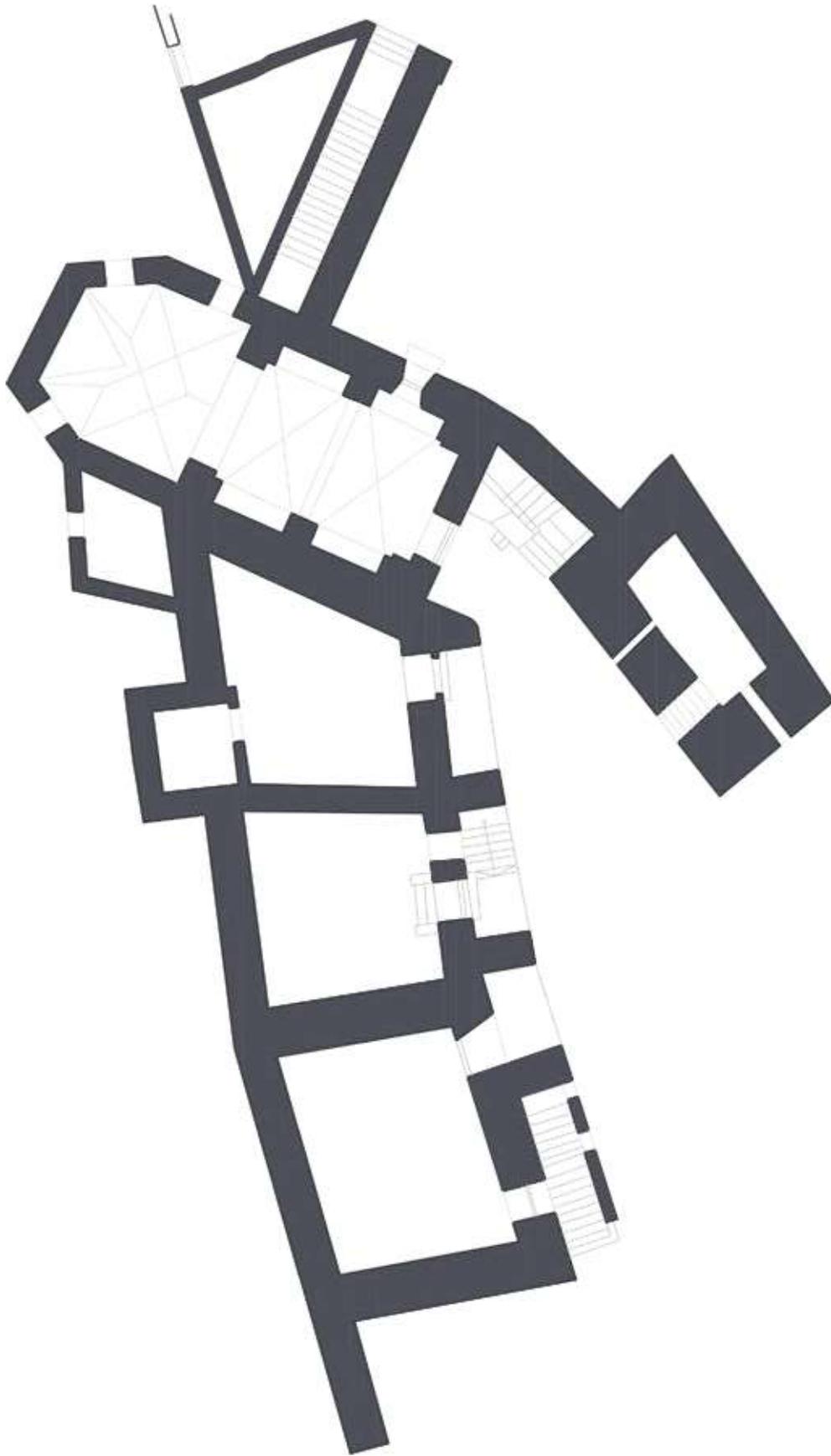
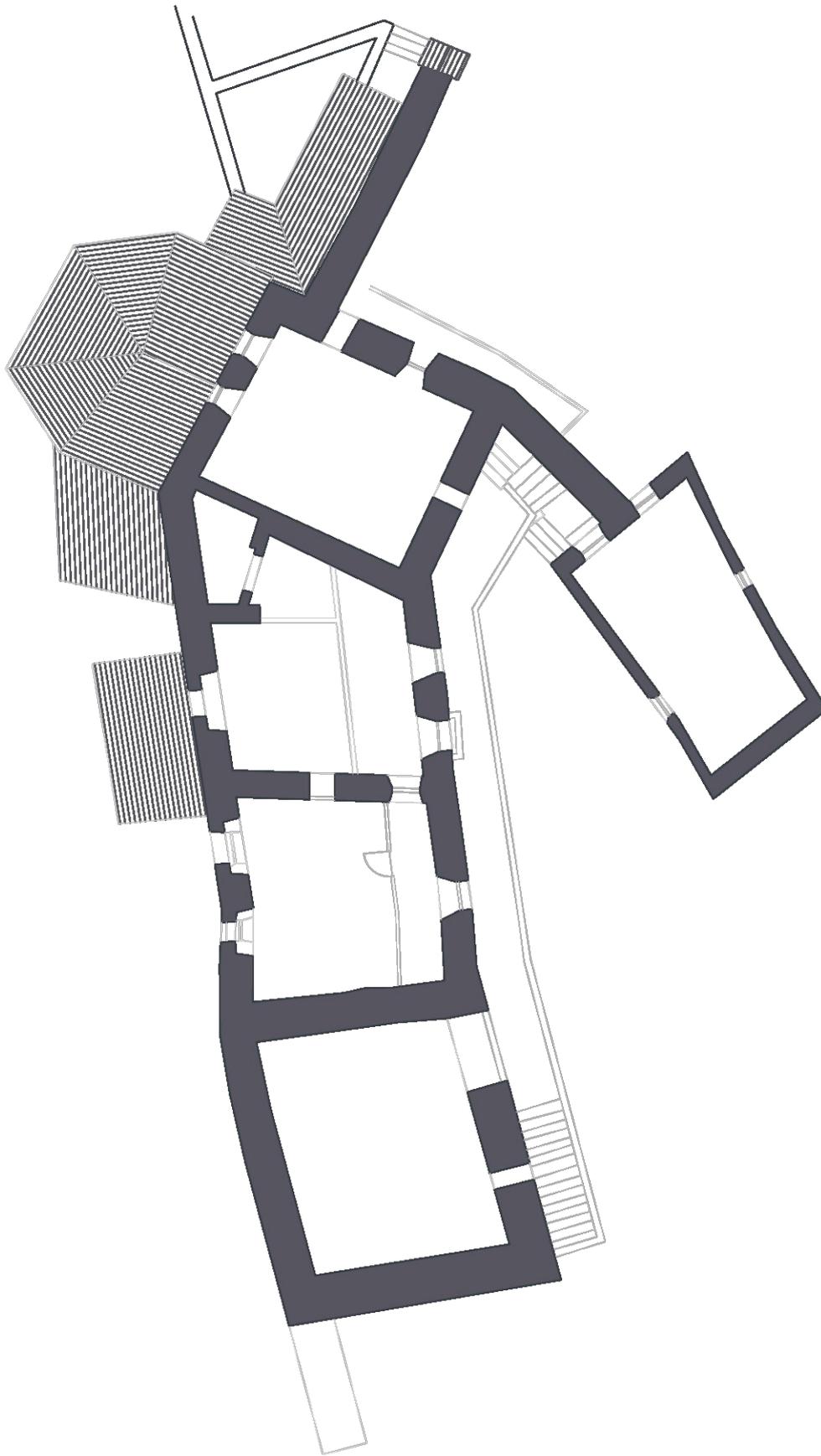


Abb.4: Maßstab 1:200 Erdgeschoss



**Abb.5:** Maßstab 1:200 Erstes Obergeschoß

### 2.3.1 Der Turm

Der Turm grenzt an die Wehrmauer, aber anders als es anzunehmen wäre, ist der Turm nicht der höchste Gebäudeteil der Schlossanlage. Übertroffen wird er von der angrenzenden Sankt Blasius Kapelle. Um wirklich als Burgfried zu fungieren, war der Turm zu klein. Zudem ist die Lage, in der er erbaut wurde, nicht optimal. Strategisch günstiger wäre eine Lage an der verwundbaren Nordmauer. Aber dank seiner 1,70 bis 1,90 dicken Mauern war der Turm durchaus in der Lage die Burganlage zu schützen. Wie bereits beschrieben liegt Braunsberg an einer Handelsstraße in Richtung Ulten. Braunsberg diente wohl zur Kontrolle dieser Straße und hat aus diesem Grund auch seinen Burgcharakter. Dadurch lassen sich auch die Wehrmauer und der Turm erklären.

Der Turm wurde in einem zweiten Schritt erhöht. Zu diesem Zeitpunkt hatte Schloss Braunsberg keine schützende Aufgabe mehr. Dies erklärt wieso im ersten Obergeschoss die Turmmauern nur noch bis zu 50 Zentimeter dick sind.

Das zweite Geschoss des Turmes wird heute als Arbeitsraum rege genutzt.

### 2.3.2 Die Wehrmauer

Besonders markant ist die Burgmauer, welche sich um das Schloss zieht. Sie diente zur Verteidigung der Burganlage. Im Süden von Braunsberg liegt die Gaulschlucht. Dadurch war Braunsberg nur vom Norden angreifbar. Dementsprechend wird die Nordseite auch von der Schlossmauer geschützt. Da auch die Einfahrt an der im Norden ist, wirkt die Wehrmauer sehr dominant. Sie ist 25 Meter lang und bis zu 10 Meter Hoch. An der Ostseite befindet sich das Eingangstor. Die Wehrmauer wurde mit Schwalbenschwanzzinnen bestückt, dadurch ist es wahr-

scheinlich, dass die Burgmauer ins 13. Jahrhundert zurückreicht und es sich noch um die originale Wehrmauer handelt. An der Nordseite endet die Mauer an der Kapelle an der Westseite an der Gaulschlucht. Dies sieht man sehr gut an der Abbildung 4.

### 2.3.3 Der Wohntrakt

Die Räume des Wohntraktes waren früher landwirtschaftliche Räume. In Ihnen befand sich unter anderem auch die älteste Weintorggl Südtirols sie ist auf das Jahr 1570 datiert. Heute steht sie im Obstbaumuseum von Lana. Die fünf Meter hohen Räume waren früher voneinander getrennt. Während der Renovierungsarbeiten wurde die Räume verbunden, damit drei Räume sinnvoll als Wohnung genutzt werden können. Außerdem wurden fünf neue große Fenster an der Nordseite sowie zwei Fenster zum Innenhof realisiert. Das Wohnzimmer sowie die Küche sind immer noch vom Innenhof getrennt zugänglich. Weiters wurde eine Treppe vom Wohnzimmer in das erste Obergeschoss hinzugefügt.

Wie bei vielen Maisonetten Wohnungen gibt es auch hier eine klare Trennung zwischen Schlafen und Wohnen. Die Schlafzimmer sowie ein Gästezimmer befinden sich im ersten Obergeschoss.

Zusätzlich befindet sich im Obergeschoss aber noch eine „Stube“. Die Stube ist ein typischer Raum in Tiroler Bauernhöfen. Wie die meisten Tiroler Stuben hat auch dies Stube auf Schloss Braunsberg eine Holztafelung und einen Ofen. Die Tafelung besteht aus massiven handgehobelten Balken aus dem 16. Jahrhundert.

### 2.3.4 Die Sankt Blasius Kapelle

Die Sankt Blasius Kapelle ist maßgebend für das Erscheinungsbild von

Schloss Braunsberg. Sie ist mit ihrem Glockenstuhl der höchste Gebäudeteil des Schlosses und gut sichtbar von der Einfahrt ins Schlossgelände sowie von ganz Lana aus. Der Glockenstuhl hat ein aufgemaltes Uhrenblatt.

Die Kapelle ist vom Innenhof durch einen steinernen Spitzbogen begehbar. Über dem Spitzbogen finden sich Seccomalereien. Seccomalerei ist eine Wandmalertechnik, bei der auf den trockenen Putz gemalt wird. Der Name Seccomalerei kommt vom italienischem Wort „secco“, was übersetzt trocken bedeutet. Die Malereien zeigen den hl. Blasius, der Namenspatron der Kapelle, den Hl. Vigilius, der Namenspatron des Hausberges, ein Kruzifix und entweder das Schweiß Tuch der Veronika oder das Grabtuch Christi. Die Quellen widersprechen sich hier.

Beim Betreten der Kapelle fallen zwei Kreuzgewölbe sofort ins Auge, diese überspannen das Schiff der Kapelle. Auf der Südseite befindet sich eine kleine Fensteröffnung. Die Mauerstärken in der Kapelle variieren von 125 Zentimeter an der Nordwand zu 75 Zentimeter an der Südwand. Anschließend an das Schiff wurde 1670 an die ursprünglich romanische Kapelle ein Chor im Renaissancestil angebaut. In diesem finden sich drei weitere Fensteröffnungen und der Sakristeianbau.

Über dem Chor wurde der bereits genannte Glockenstuhl gebaut. Dieser ist über eine außen liegende Treppe vom Innenhof aus erreichbar. Im Dachgiebel befindet sich ein hölzerner Uhrturm und eine Karfreitagsratsche. Die Kapelle wird heute oft für Hochzeiten und Jubiläen genutzt.

### 2.3.5 Der Innenhof

Der Innenhof wird umrahmt vom Wohntrakt im Norden, der Kapelle im Osten, dem Wehrturm im Südosten und einem kleinem Gebäude im Osten. Das Ensemble der Gebäude ergibt einen sehr privaten Erholungsraum. Außerdem sind über den Innenhof alle Gebäudeteile direkt begehbar.

An der westlichen Schlossmauer angebaut, ein wenig abseits des Schlosses selbst, steht zudem ein kleines Gebäude. Es hat eine Länge von 10 Metern und einer Tiefe von 5,40 Meter. Im Grundriss (Abbildung 6) ist zu erkennen, dass das Haus aus zwei Räumen besteht und als Backofen genutzt wurde. Das Haus ist ein Blockhaus und hat ein Satteldach das wie die restliche Burganlage mit Ziegeln gedeckt ist.

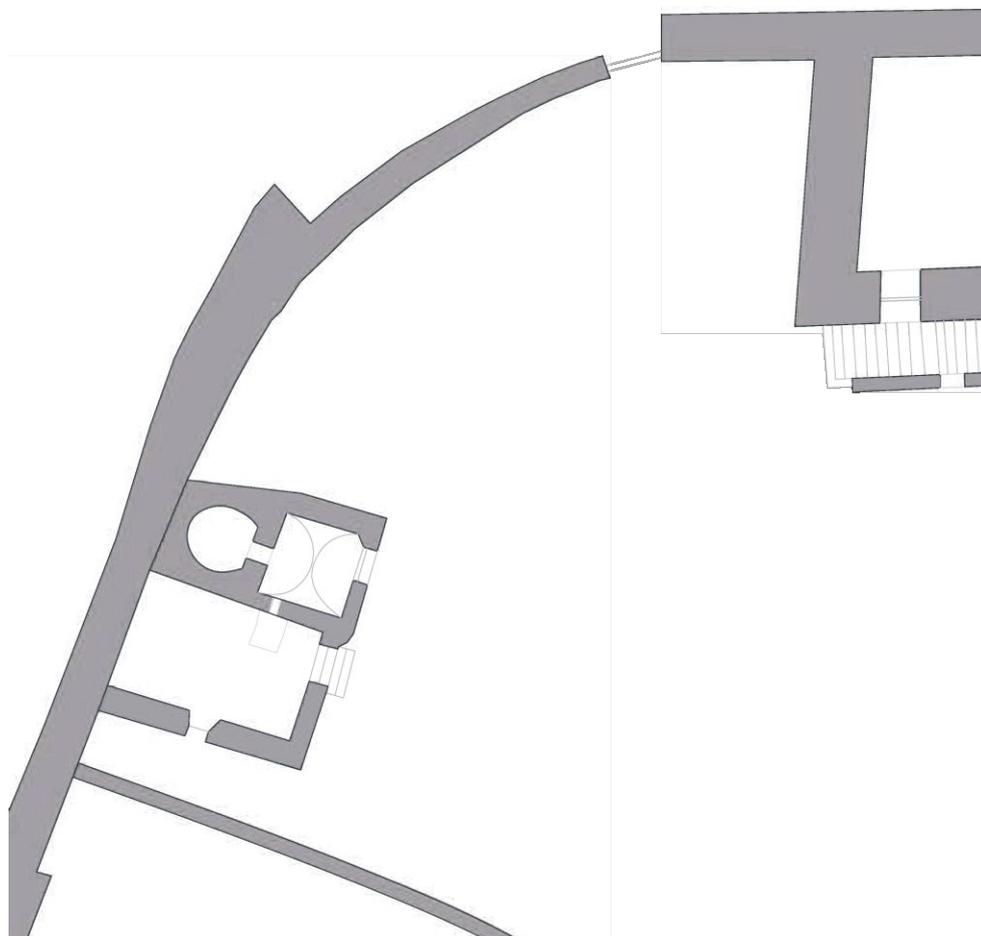


Abb.6: Grundriss M 1:200

# 3 Holz im Außenbereich

## 3.1 Allgemein

Holz als Baustoff wird schon seit Jahrhunderten genutzt. Vor allem in forstreichen Gegenden erfreute sich Holz einer großen Beliebtheit. Der Baustoff konnte ohne Verarbeitung genutzt werden. Ein weiterer Vorteil ist die hohe Zugfestigkeit, die Holz in Parallelrichtung zur Faser aufnehmen kann. Damit waren Geschossdecken, Fensterstürze und Dachkonstruktionen einfach zu bauen. Seit dem Zweiten Weltkrieg und ganz besonders seit 1954 verlor Holz immer mehr an Bedeutung in der Baubranche. Hauptsächlich durch die Erfindung des Betonmischers, im Jahr 1954 wurde Beton zum absoluten Verkaufsschlager. Dies hat mehrere Gründe, zum einen die hohen Druckfestigkeiten und zum anderen die freie Formgebung des Baustoffes. Zudem ist Beton günstig und wasserfest.

In den letzten Jahren ist Holz als Baustoff wieder stärker ins Bewusstsein gerückt. Dies verdankt er hauptsächlich seiner guten Ökobilanz.

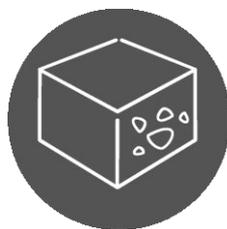
Nach dem heutigen wissenschaftlichen Stand ist der Vergleich der Ökobilanz zwischen Mauerwerksbauweise, Beton und Ziegel zum Holzbau schwierig. Der Hauptgrund dafür sind die verschiedenen Berechnungsmethoden. Die Berechnungen sind durch unterschiedliche Annahmen der Wissenschaftler schwer vergleichbar und ergeben eine große Toleranz bei den Ergebnissen. Dies hat zur Folge, dass die Berechnungen teilweise stark voneinander abweichen.

In die Lebenszyklusanalyse von Gebäuden, die für die Ökobilanz ausschlaggebend ist, wird nicht nur die Ökobilanz der Herstellung, bzw. Errichtung eingerechnet, sondern auch die Nutzungsbilanz. Dabei wird geschätzt 70 % der Co2 Emissionen in der Nutzung, also durch das

Heizen, entstehen. Die benötigte Heizenergie steht aber nur in einem geringen Zusammenhang mit der tragenden Konstruktion. Ausschlaggebend ist der Klimastandard des Gebäudes. Ein höherer Klimastandard wird hauptsächlich durch die Dämmung und die Dichtheit des Gebäudes erzielt. Bei einem Passivhaus darf der jährliche Heizwärmebedarf maximal  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  oder weniger betragen. Dadurch macht die Konstruktion 70 % des  $\text{CO}_2$  Ausstoßes aus. Bei immer besserwerdender Dämmung der Häuser macht die Konstruktion verhältnismäßig immer mehr aus. Dadurch wird der Holzbau vor allem in Zukunft immer attraktiver werden.

Vergleicht man grob die Baustoffe Holz, Ziegel und Beton in ihrer Produktion miteinander, erhält man ein gutes Bild von den  $\text{CO}_2$ -Emissionen.

### Co2 Äquivalente Bilanzvergleich



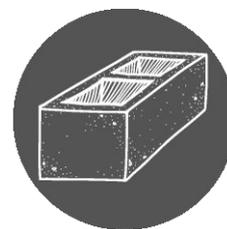
Zement

$590 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3$



Holz

$-916 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3$



Ziegel

$360 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3$

**Abb.7:** Co2 Bilanz verschiedener Baustoffe

Einen großen Unterschied in der Holznutzung von früher zu heute besteht im Außenbereich. Historisch wurde Holz oft im Außenbereich genutzt. Typische Beispiele dafür sind Blockhäuser. Dabei werden Holzstämmen übereinander gestapelt. In den Ecken erfolgt durch Einkerbungen eine Verbindung. Zwischen den Holzstämmen wurde Moos eingelegt. Dieses hat die Eigenschaft bei Feuchte aufzuquellen und wurde dadurch im Winter dichter. Im Sommer hingegen trocknet das Moos aus und schwindet. Dies lässt einen Luftzug durch das Gebäude

zu. Auch heute gibt es noch viele Blockbauten. Allerdings werden diese anders als früher nicht mehr als Wohngebäude genutzt, sondern nur als landwirtschaftliche Gebäude.

Holz ist anfällig für Witterung und Schädlinge. Deshalb müssen bei der heutigen Nutzung von Holz im Außenbereich diese Aspekte in Betracht gezogen werden. In den folgenden Kapiteln werden diese Punkte genauer beleuchtet.

## 3.2 Schutz von Holz

### 3.2.1 Allgemein

Holz ist verschiedenen Gefahren ausgesetzt, dabei handelt es sich um holzerstörende Pilze, holzverfärbende Pilze und Insekten. Diesen Gefahren kann man mit chemischen sowie konstruktiven Holzschutz begegnen. Dabei sollte immer versucht werden dem konstruktiven Holzschutz der Vorrang zu lassen. Chemischer Holzschutz sollte nur verwendet werden, wenn es keine Alternative gibt.

Pilze können sich bilden, wenn die Holzfeuchte über einen längeren Zeitraum bei über 20 % liegt. Deshalb liegt der Fokus des baulichen Holzschutzes darauf, eine Dauerfeuchte zu vermeiden bzw. die tragende Struktur komplett vor Wasser zu schützen. Ist das nicht möglich wie zum Beispiel bei Schindeln, die zur Dachdeckung genutzt werden, muss für eine ausreichende Hinterlüftung gesorgt werden, damit das Bauteil leicht abtrocknen kann. Auch die Wahl des richtigen Holzes ist ein entscheidender Faktor. Harte Hölzer haben eine höhere Dichte, deshalb sind sie resistenter gegen Wassereindringung. Kernholz ist immer härter als das darum liegende Holz und ist deshalb für Bauteile, die dem Regen ausgesetzt sind, besser geeignet. Die Norm unterscheidet zwischen verschiedenen Gefährdungsklassen. Über die Gefährdungsklassen lässt sich auch bestimmen, was das zu verwendende Holz für eine Güteklasse erreichen muss. Der beste Schutz gegen Insekten ist eine einfache Kontrolle der Bauteile. Tragende Bauteile sollten deshalb im Idealfall frei zugänglich und kontrollierbar sein.

### 3.2.2 Chemischer Holzschutz

Der aktuellen Normierung kann man klar entnehmen, dass der bauliche Holzschutz dem chemischen vorzuziehen ist. Dennoch kann ein

chemischer Holzschutz angebracht sein. Aber die DIN 68800 aus dem Jahr 2011 schränkt den Gebrauch von chemischen Holzschutzmitteln stark ein. Ein Beispiel, bei dem chemischer Holzschutz angebracht wäre, ist, wenn es sich um stark bewitterte Bauteile aus europäischen, aber dafür nicht so resistenten Hölzern handelt. Beim chemischen Holzschutz werden die Holzbauteile mit Bioziden behandelt. Diese verleihen den gewünschten Schutz vor Pilzen und Insekten. Die Biozide werden geprüft und erhalten ein Prüfzeichen. Seit 2020 dürfen nur noch von der BAuA zugelassene Holzschutzmittel eingesetzt werden. Dazu findet sich auf deren Homepage eine Übersicht. Prinzipiell werden chemische Holzschutzmittel in zwei Gruppen unterteilt. Es gibt wasserlösliche und ölige Schutzmittel. Bei den wasserlöslichen Schutzmitteln werden hochgiftige Salze in Wasser aufgelöst. Die Holzbauteile werden daraufhin mit den Schutzmitteln imprägniert. Das Wasser zieht in die Bauteile und nimmt die Salze mit. Der Trocknungsgrad des Holzes spielt dabei eine wichtige Rolle. Die Salze sind nicht flüchtig, wodurch sie für die Raumluft irrelevant sind. Nicht fixierende Salze können aber von Regen ausgespült werden. Bei fixierenden Salzen wandeln sich diese im Holz zu schwer wasserlöslichen Salzen um, dabei sind die Fixierzeiten zu beachten.

Die öligen Holzschutzmittel werden mittels Streichverfahren aufgebracht und sind nicht für den Erdkontakt geeignet. Mehrmaliges Auftragen des Schutzmittels kann notwendig sein, um den erforderlichen Schutz zu gewährleisten.

### **3.2.3 Baulicher Holzschutz**

Baulicher Holzschutz sind alle Maßnahmen, die Holzbauteile durch konstruktive Maßnahmen vor einer problematischen Feuchteänderung

schützen oder den Zugang von holzerstörenden Insekten verhindern. Von einer problematische Feuchteänderungen spricht man, sobald das Holz beginnt, zu quellen und zu schwinden. Das Ziel des baulichen Holzschutzes ist es, eine möglichst geringe Gefährdungsklasse zu erreichen. Baulicher Holzschutz kann auch eine geeignete Bauform sein. Satteldächer mit großem Vordach eignen sich sehr gut für den konstruktiven Holzschutz. Aber auch vorspringende Gebäudeteile können darunterliegende Balkone vor Regenwasser schützen.

Besonderen Schutz benötigt die Sockelzone eines Gebäudes. Dieser Bereich ist besonders stark gefährdet, da es zu einer erhöhten Belastung durch Spritzwasser kommt. Hierbei kann es helfen, den Sockel aus einem anderen Material zu errichten, aber auch Schutzbleche oder ähnliches können das Holz vor Spritzwasser schützen.

Bereits bei der Herstellung der Holzbauteile muss auf die Feuchte des Holzes geachtet werden. Die Feuchte des Holzes sollte der mittleren Umgebungsfeuchte des Einbauortes entsprechen. Ist es nicht möglich, die Feuchte des Einbauortes zu bestimmen, können die folgenden Richtlinien herangezogen werden:

- Allseits geschlossene Bauteile in einem beheizten Raum 9 +- 3 %
- Allseits geschlossene Bauteile in einem unbeheizten Raum 12 +- 3 %
- Überdeckte offene Bauteile 15+-3 %
- Allseits bewitterte Bauteile 18+-6 %

Müssen Bauteile verbaut werden, die einem Feuchtegehalt von über 20 % haben, müssen die Bauteile gut umlüftet sein, damit eine Austrocknung innerhalb weniger Monate garantiert werden kann. Es muss

sichergestellt werden, dass es durch das Schwinden nicht zu negativen Folgen für das Bauwerk kommt. Besonders muss darauf geachtet werden, dass ein mögliches Verziehen keine Schäden anrichtet und das durch das Schwinden der Querschnitt des Holzes nicht zu klein ausfällt

Der beste Schutz ist, die Bauteile trocken zu halten. Sei es von außen wie von innen. Im Außenbereich können Bauteile durch andere Bauteile oder durch Folien vor Regen abgeschirmt werden. Aber auch Holzbau- teile im Innenbereich können von starken Feuchteschwankungen be- troffen sein. Besonders in Bereichen wie Bad und Küche. Ist dies der Fall, gibt es zwei Möglichkeiten, damit umzugehen. Zum einen kann man die Feuchte daran hindern ins Bauteil einzudringen. Dabei kann man auf Dampfsperren setzen, die an der warmen Seite angebracht werden und somit das Eindringen der Feuchte verhindern. Zum ande- ren kann darauf geachtet werden, dass die Schichten von innen nach außen hin diffusionsoffener werden. Dadurch ergibt sich eine Abgabe der Feuchte nach außen hin.

### **3.2.4 Bestimmung der Gebrauchsklasse**

In der Abbildung 8 wird die Unterteilung in die 5 Gebrauchsklassen auf- gezeigt. Das Diagramm auf der folgenden Seite ermöglicht eine leichte Einteilung in die Gefährdungsklassen.

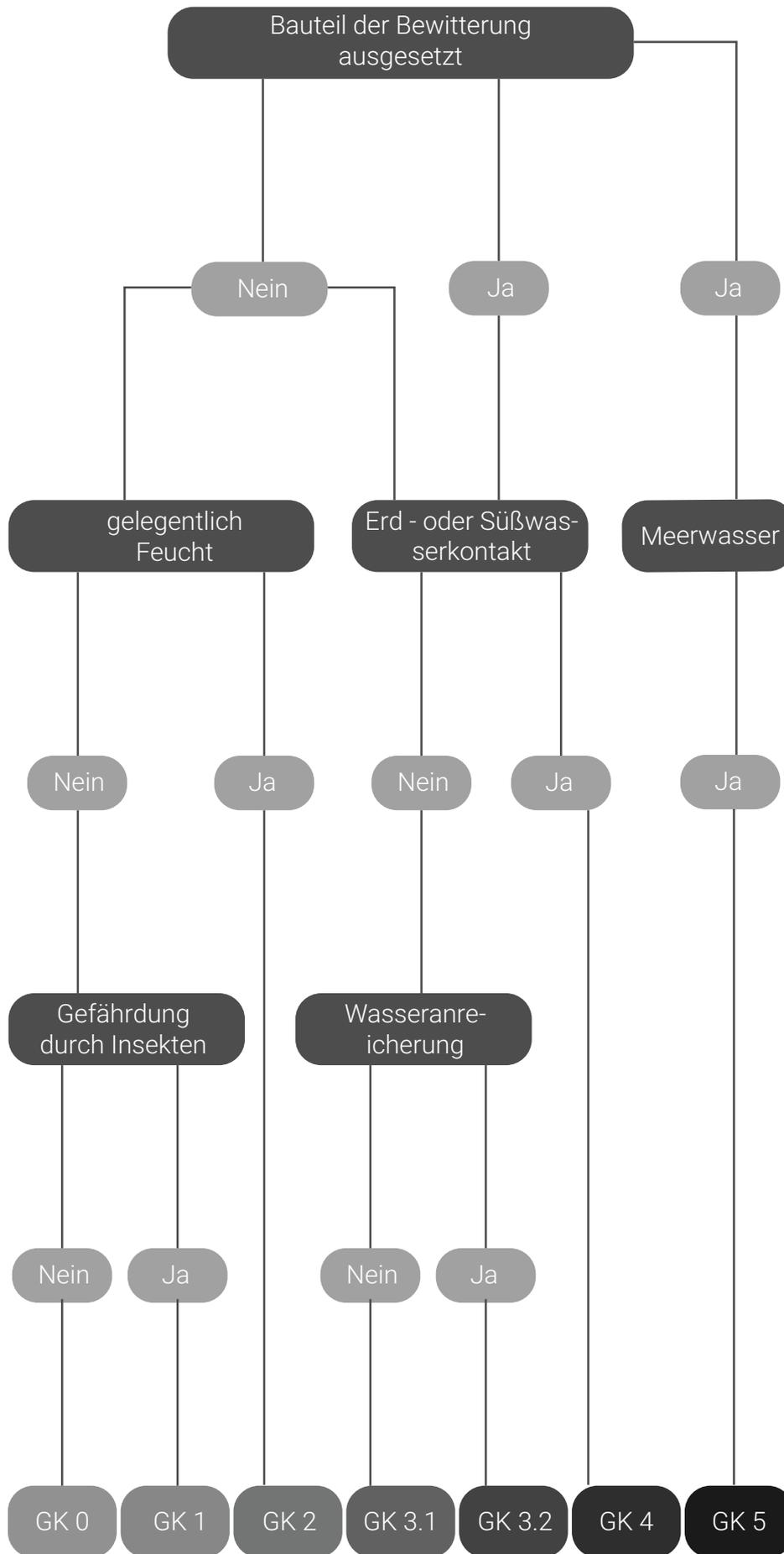


Abb.8: Tabelle zur Bestimmung der Gebrauchsklasse von Holz im Außenbereich

### 3.3 Einwirkungen auf Außenbauteile

Im Folgenden werden die wichtigsten Einwirkungen auf die Außenbauteile zusammengefasst. [vgl. Erler, 2002, S. 12]

#### 3.3.4.1 Sonne

Direkte Sonneneinstrahlung und die damit verbundenen UV-Strahlen bauen Lignin und Holzpolyosen ab. Dadurch kommt es zu einer Vergilbung des Holzes. Ist die Sonneneinstrahlung mit Regen verbunden kommt es zu einer Vergrauung des Holzes. Zu einer Vergrauung kommt es, da die abgebauten Lignine und Holzpolyosen vom Regen ausgewaschen werden. Dies verändert das Holz nur optisch.

#### 3.3.4.2 Niederschlag

Allgemein wird bei Regen zwischen Schlagregen und Spritzwasser unterschieden. Schlagregen trifft direkt auf das Bauwerk und betrifft meistens die Fassaden eines Gebäudes. Spritzwasser ist Regen der vom Boden, Gelände o. ä. auf das Gebäude zurückprallt. Am meisten betroffen davon ist die Sockelzone.

Die Niederschlagsmengen variieren sehr stark, bereits in Mitteleuropa gibt es große Unterschiede. Deshalb ist die Niederschlagsmenge für jedes Bauwerk einzeln zu ermitteln. Für Europa ist dies allerdings kein Problem, da sehr viele Wetterdaten gesammelt werden. Im Allgemeinen wird in drei verschiedene Beanspruchungsgruppen (BG) unterteilt. Diese sind in der Abbildung 9 zu sehen.



Abb.9: Tabelle zu Niederschlagsmengen

Der Niederschlag hat die folgende Auswirkungen auf das beanspruchte Bauwerk:

- 1.) hohe Holzfeuchte
- 2.) Pilzwachstum
- 3.) Mechanischer Abtrag
- 4.) Auswaschung

Jedes Bauwerk muss einzeln geprüft werden, da sich auch die Niederschlagsmengen lokal stark unterscheiden können. Ist ein Bauwerk geschützt kann die Beanspruchungsklasse niedriger ausfallen und umgekehrt. Ist es sehr exponiert und wird stark von Wind getroffen muss eine höhere Beanspruchungsgruppe gewählt werden.

#### 3.3.4.3 Wind

Starker Wind verstärkt die Schäden die Holz durch Regen erleidet. Eine Analyse an Gebäuden in Mitteldeutschland zeigt, dass hauptsächlich die Fassaden in Richtung der Hauptwindrichtungen Schäden aufweisen. Die Hauptwindrichtungen in Deutschland sind West und Süd-West. Die Verteilung der Schäden ist wie folgt.

65% Westseite

31% Südseite

4% Nordseite

0% Ostseite

Durch den starken Wind kann der Regen tiefer in das Holz eindringen.

Wind kann auch Sogkräfte auslösen, darauf ist vor allem bei Leichtbaukonstruktionen zu achten.

#### 3.3.4.4 Bestimmung der geeigneten Holzart

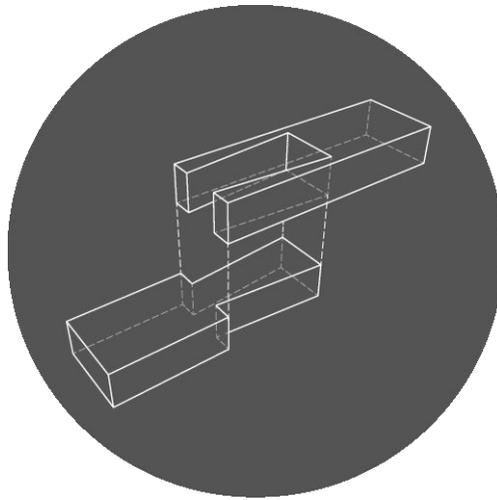
Bei der Bestimmung der geeigneten Holzart sind die vorher genannten Punkte ausschlaggebend. Das Erkennen der Gebrauchsklasse kann somit bereits zur Entscheidung über das zu wählende Holz führen, da es in den höheren Gebrauchsklassen weniger Holz auswahl gibt.

## 3.4 Knotenverbindungen

Knotenverbindungen sind eines der Kernthemen im Holzbau. Sie stellen immer eine Schwachstelle im Gesamtsystem dar. Holzverbindungen folgen keiner klaren Kategorisierung. Trotzdem werden im Folgenden verschiedene Verbindungsarten unterteilt. Die Unterteilung erfolgt über das Aufeinandertreffen der einzelnen Holzbauteile. Außerdem werden nur einfache Beispiele aus den einzelnen Kategorien gezeigt, um eine Übersicht zu möglichen Verbindungen zu geben. Jede Verbindungsart hat aber unzählige Verbindungsmöglichkeiten. Zusätzlich sind auch Kombinationen aus den verschiedenen Verbindungsarten möglich. Die wichtigsten wurden aus dem Buch „Holzverbindungen: Gegenüberstellungen japanischer und europäischer Lösungen entnommen“ [vgl. Graubner, Grunder, Oldenbourg, 2021]

### 3.4.1 Längsverbindung

Längsverbindungen sind Verbindungen die einen Holzbalken verlängern. Dies kann mehrere Gründe haben. Im frühen Japan wurden z.B Verbindungen in Bodennähe ausgeführt um einen späteren Austausch des bodennahen Stützteils zu ermöglichen. Dieser ist durch Spritzwasser anfälliger für Fäulnis. Im mittelalterlichen Europa wurde sehr viel mit Holz gebaut. Dies führte zu einer Holzknappheit, besonders aufgrund des beliebten Blockbaus, für den man schlankes und gerades Bauholz braucht.



**Abb.10:** Schwalbenschwanz

In Abbildung 10 sieht man eine typische Längsverbindung, eine sogenannte Schwalbenschwanzverbindung. Sie stellt eine stabile Zugverbindung her. Bei der Herstellung sollten vier Punkte beachtet werden:

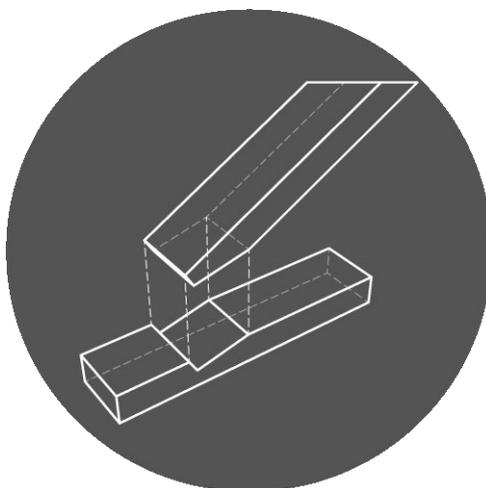
- 1.) Der Faserverlauf soll gerade sein.
- 2.) Die Schwalbe soll an der Zopfseite des Holzes ausgeführt sein.
- 3.) Die Jahresringe beider Hölzer sollen rechtwinklig zum Querschnitt verlaufen, um Ungenauigkeiten durch Schwund zu vermeiden.
- 4.) Es sollte kein frisches Holz verwendet werden.

Ein lotrechtes Verschieben wurde durch die Weiterentwicklung des Schwalbenschwanzes zu einem Schwalbenschwanz mit Blattstoß verhindert. Zu beachten ist, dass der Schwalbenschwanzeinschnitt eine

Schwächung des Holzquerschnittes darstellt.

### 3.4.2 Schrägverbindung

Schrägverbindungen sind Verbindungen von zwei Holzbalken die in einem Winkel unter 90 Grad aufeinandertreffen. Im europäischen Holzbau ist dies eine sehr wichtige Verbindung. Es wird neben vielen anderen Einsatzgebieten beim Brückenbau, im Ingenieurholzbau und bei Wandstreben angewendet. Das wohl bekannteste Beispiel für Schrägverbindungen sind Dachstühle. Hier werden die Sparren mit dem Schwellenholz durch eine Schrägverbindung zusammengefügt.



**Abb.11:** *Stirnversatz*

Der in der Abbildung 11 zu sehende Stirnversatz ist eine druckfeste Verbindung. Er ist die einfachste Form eines Versatzes. Dabei wird vor allem die Stirnseite des Versatzes auf Druck beansprucht. Auch bei dieser Verbindung sollte auf einige Punkte bei der Ausführung geachtet werden:

- 1.) Die Jahresringe sollen lotrecht zum Querschnitt sein, damit sichergestellt werden kann, dass die Druckkraft parallel zur Faser abgeleitet wird.
- 2.) Aus Einfachheit heraus, wird bei der Herstellung meist ein Winkel von 90 Grad zwischen vorderer und hinterer Versatzfläche gewählt. Statisch ideal wäre der selbe Winkel wie der, welcher zwischen den beiden Hölzern zu finden ist. Die Vorteile durch die einfachere Herstellung

überwiegen dabei aber den geringen Verlust an Tragfähigkeit.

### 3.4.3 Winkel und Kreuzverbände

Bei Winkel und Kreuzverbänden handelt es sich um rechtwinklige Stöße zwischen zwei Holzbalken. Diese Verbindungen finden sich in allen Kulturen wieder. Sie werden für verschiedenste Zwecke gebraucht. Ihre häufigste Aufgabe ist die Verbindung zwischen den Deckenbalken und den Stützen.

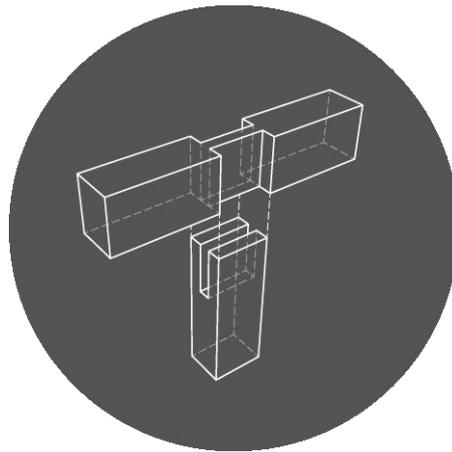


Abb.12: Einhalsung

Die meistgenutzte Winkelverbindung ist der Zapfen mit Zapfenloch. Wie wir ihn in Abbildung 12 sehen. Anwendung findet er häufig im Fachwerksbau, bei Pfosten, Schwellen, Riegeln und mehr. Bei der Herstellung einer Zapfenverbindung gilt:

- 1.) Der Zapfen sollte eine Breite von  $\frac{1}{3}$  der Holzbreite aufweisen. Inzwischen werden bedingt durch die gegebenen Werkzeuge meist 4cm Zapfen ausgeführt.
- 2.) Bei Zapfenverbindungen in den unteren Schwellen und Witterungseinfluss kann es zu stehendem Wasser kommen. Deshalb sollte die Nut durchgebohrt oder durchgestanzt werden. Dadurch kann das Wasser nach unten ablaufen.
- 3.) Das Zapfenloch sollte ein wenig tiefer sein als die Zapfenlänge, sonst kann es bei Schwund passieren, dass der Zapfen die komplette Last abtragen muss.

### 3.4.4 Flächenverbindungen

Bei Flächenverbindungen wird aus mehreren Brettern eine Fläche oder ein Körper geformt. Dies erfolgt durch das Zusammenfügen mehrerer, in der Länge nach, geschnittenen Hölzern. Diese werden an der langen Seite zusammengefügt. Dadurch entstehen flächige Verbindungen. Wichtig bei dieser Fügung ist, dass die verschiedenen Schwund- und Quellverhalten der Hölzer berücksichtigt werden.



**Abb.13:** *Spundung*

Eine typische Methode beim Verbinden von Hölzern ist das Nut und Feder System. Dabei wird eine Seite des Holzes eingefräst. In diese Einfräsung lässt sich ein passendes Gegenstück einschieben. Zu sehen in der Abbildung 13. Auch heute noch findet diese Technik Anwendung, zum Beispiel bei Parkettböden und auch außerhalb des Holzbaus, bei Spundwänden. Hier ist das Nut - Federprinzip weiterentwickelt worden, um eine wasserdichte Verbindung zu erreichen. Traditionell wurde die Verbindung unter anderem beim Blockbau verwendet. Dabei wurde zwischen die Holzbalken Moos eingelegt um eine Winddichtheit zu erhalten. Wie bereits beschrieben passte sich die Dichtheit der Temperatur an. Bei hohen Temperaturen im Sommer trocknete das Moos aus, wodurch der Wind das Gebäude kühlen konnte. Im feuchteren Winter quoll das Moos auf und dichtete somit besser.

# 4 **Faltwerke**

## 4.1 **Origami**

Unter der Kunst des Origamis gibt es viele Bereiche. Ursprünglich kommt Origami aus Japan und hat dort eine lange Tradition. Origami setzt sich aus den zwei japanischen Wörtern „Ori“ was so viel bedeutet wie Falten und „kami“ was Papier bedeutet zusammen. Inzwischen ist Origami ein weit gestreutes Gebiet und wird in den verschiedensten Bereichen als Inspirationsquelle genutzt.

Origami hat sich zu einem breiten Themengebiet entwickelt, in dem es viele Strömungen gibt, einige der Bekanntesten werden im Folgenden kurz erklärt:

### 4.1.1 **Action Origami**

Es werden zwei Arten von Origami als Action Origami angesehen. Entweder Faltungen bei denen zum Erreichen des fertigen Zustandes Energie aufgewendet werden muss. Wie zum Beispiel beim Faltmuster „Waterbomb“. Oder Faltungen die sich durch externe Energie bewegen können. Beispiele hierfür gibt es mehrere, wie der „Flapping Bird“. Diese Art der Faltungen dient oft als Spielzeug. Es gibt aber auch sehr komplexe Beispiele für diese Origami Art. Robert J. Lang, hat drei Musikanten gefaltet, die ihre Instrumente spielen können

### 4.1.2 **Modular Origami**

Bei modularen Origamis entsteht die Gesamtstruktur durch den Zusammenbau aus vielen Einzelteilen. Dies hat den Vorteil das große Strukturen geschaffen werden können. Bei Modular Origami kann Kleb-

stoff verwendet werden oder die Einzelteile zusammengenäht werden.

Ein Beispiele hierfür ist das Kusudama.

### 4.1.3 Wet-folding

Das Wet-folding wurde von Akira Yoshizawa erfunden. Dabei wird das Papier mit Wasser befeuchtet. Das Papier enthält einen Wasserlöslichen Leim. Bei der Trocknung des Papier erhärtet sich dieser. Durch die Nässe des Papiers ist es möglich weiche Falten zu erzeugen. Dabei wird meistens dickeres Papier verwendet damit es nicht so leicht reist. Dadurch wird aber auch das Handling schwieriger. Ein großer Vorteil ist, dass das Papier durch die weichen Falten in eine natugetreuere Form gebracht werden kann.

### 4.1.4 Pureland Origami

Von John Smith in den 70er Jahren entwickelt, stellt die „reinste“ Form des Faltens dar. Es dürfen nur einfache Berg und Talfalten verwendet werden. Außerdem soll nur ein quadratisches Papier verwendet werden. Deshalb können die Modelle leicht vervielfältigt werden. Diese Beschränkungen bieten aber auch eine besondere Herausforderung weshalb sie auch von erfahrenen Origamikünstlern verwendet wird

### 4.1.5 Origami tessellations

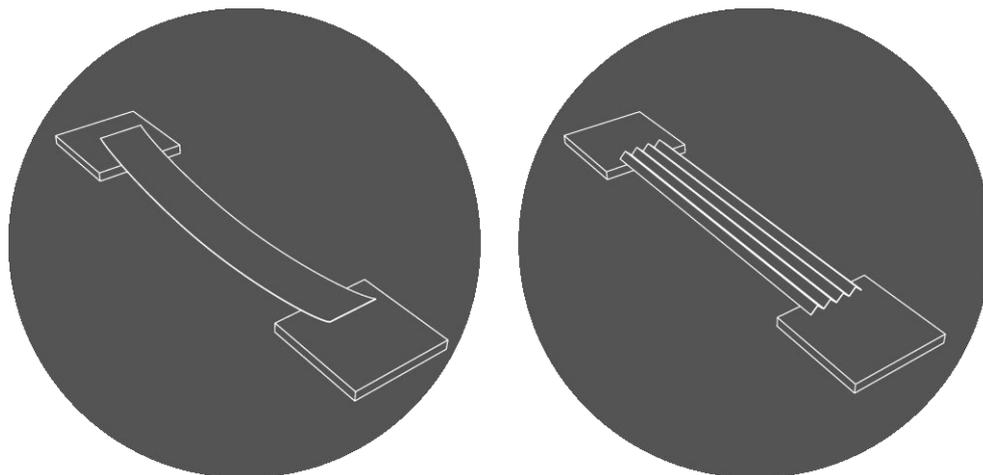
Bei der Origami Tesellationen werden wie bei einem Mosaik die selben Muster in alle Richtungen immer wiederholt. Das Muster welches sich wiederholt wird häufig „Molekül“ genannt es weist keine Lücken oder Überlappungen auf. Ähnlich wie bei modularem Origami. Der Unterschied der beiden liegt darin das bei Origami Tesellationen nur ein Blatt Papier benutzt wird.

Für Origami Architektur und den daraus folgenden faltwerken ist Origami Tessellation besonders interessant. Daraus gehen drei wichtige faltungen hervor. Das „Diagonal Pattern“, das „Diamond Pattern“ und das „Herringbone Pattern“. Wie im folgenden Kapitel 4.3.2 zu sehen ist sind diese gut geeignet für die Anwendung in der Architektur.

## 4.2 Tragverhalten von Faltungen

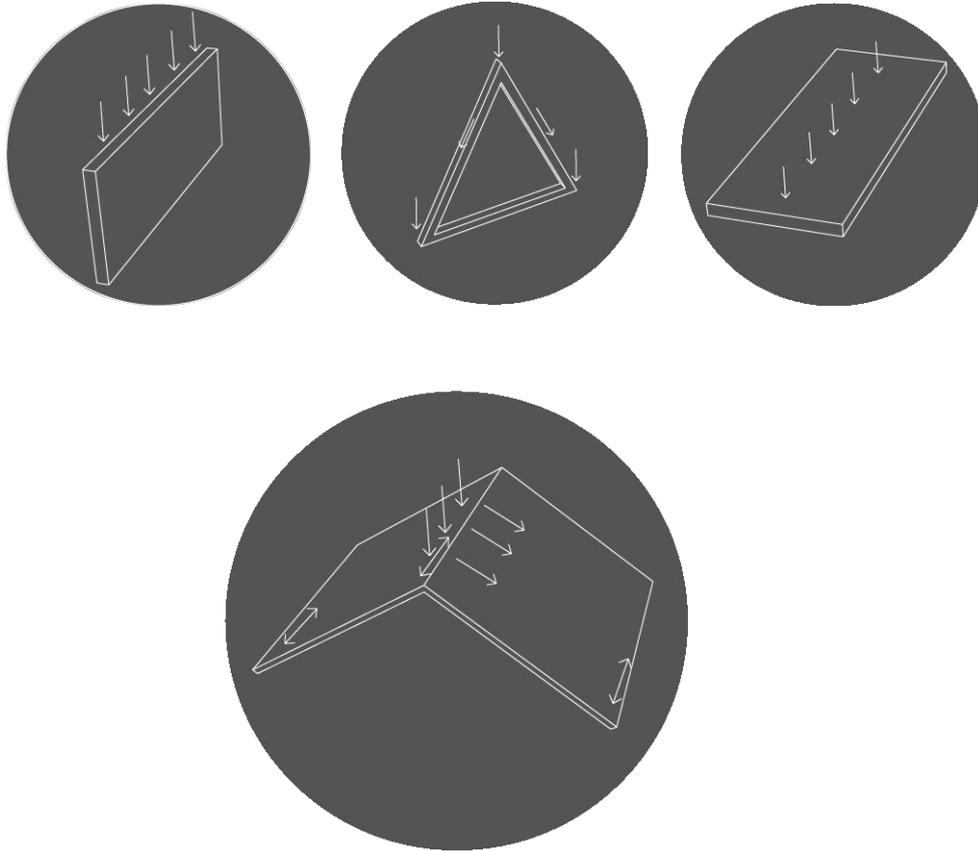
Im Grunde funktionieren Faltungen in der Architektur nach dem selben Prinzip wie Faltungen bei Papier. Dabei ist es augenscheinlich, dass ein Blatt Papier ungefaltet keine Stabilität bietet, während die Faltung das Papier stabilisiert. (Abbildung 14) Dies geschieht da die Faltung die konstruktive Höhe steigert, zudem steigert es die Steifigkeit des Papiers.

Gefaltete Bauwerke sind eng verbunden mit der Erfindung des Stahlbetons. Dabei war das Ziel das Eigengewicht der Konstruktion zu verringern, bei gleichbleibender Tragfähigkeit. Da bei Faltwerken die Tragfähigkeit durch die richtige Auslegung der Faltung erzeugt wird und weniger durch die Dicke des Materials.



**Abb.14:** Aussteifung von Papier durch eine Faltung

In der Abbildung 15 sehen wir die dreifache Tragwirkung einer einfach gefalteten Platte. Durch die Faltung übernimmt die Platte eine Kraftübertragung als Platte, als Scheibe und als Fachwerk.

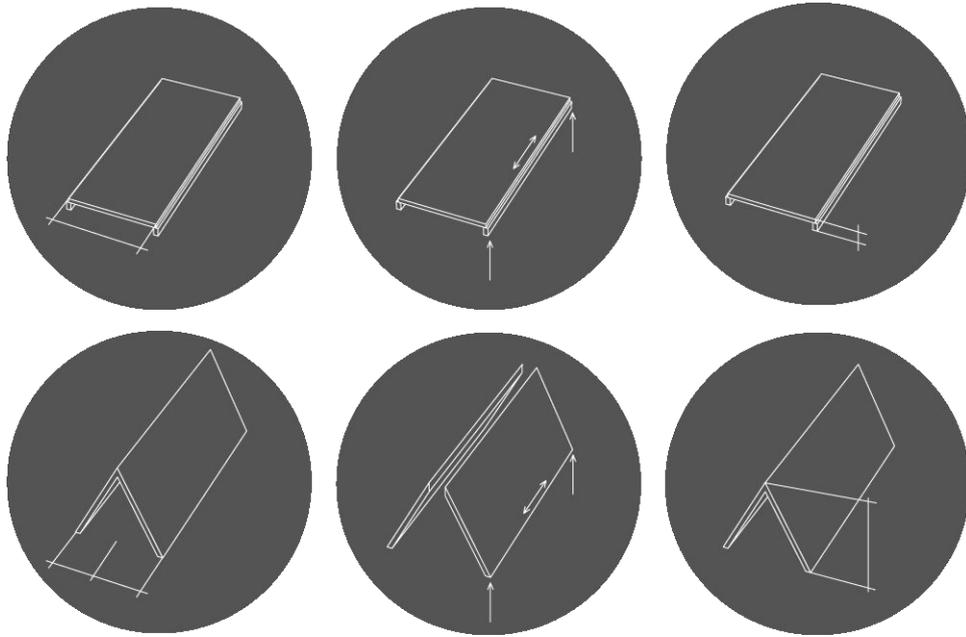


**Abb.15:** Tragverhalten von Faltungen

In der Abbildung 16 sind die Vorteile einer Plattenkonstruktion im Vergleich zu einer klassischen Konstruktion zu sehen.

Die Vorteile sind die Folgenden [vgl. Engel, 2018]:

- Durch die Faltung einer Platte halbiert sich die Spannweite des Systems. Das kommt daher, dass jede Falte als Auflager dient.
- Man braucht keine Rippen mehr, da die Platte gleichzeitig eine Rippenfunktion einnimmt.
- Man erhöht die konstruktive Höhe des Systems.



**Abb. 16:** Vorteile eines Faltradwerks im Vergleich zu herkömmlichen Baumethoden.

Ein frühes Beispiel für Plattentragwerke ist der Flughafen in Orly, geplant von Ingenieur Eugene Freyssinet im Jahr 1923. Die ersten Plattenkonstruktionen wurden aber immer in Beton ausgeführt. Die ersten Versuche mit Holz wurden 1970 gemacht. Allerdings wurden sie nicht weiter verfolgt. Zum Teil auch da anders als bei Beton Holzkonstruktionen meistens aus vielen kleinen Einzelteilen bestehen. Bereits im 16. Jahrhundert skizzierte Philibert de l'Orme Holzkonstruktionen aus vielen kleinen Einzelteilen. Seine Ideen wurden aber nicht umgesetzt, da die Herstellung sehr arbeitsintensiv war und dadurch sehr teuer. In der heutigen Zeit hat aber die computergesteuerte Holzverarbeitung Einzug gehalten und wodurch eine Konstruktion aus vielen Kleinteilen kostengünstiger gefertigt werden kann. Deshalb habe ich in dieser Arbeit davon abgesehen, Betonfaltwerke in den Entwurf mit aufzunehmen.

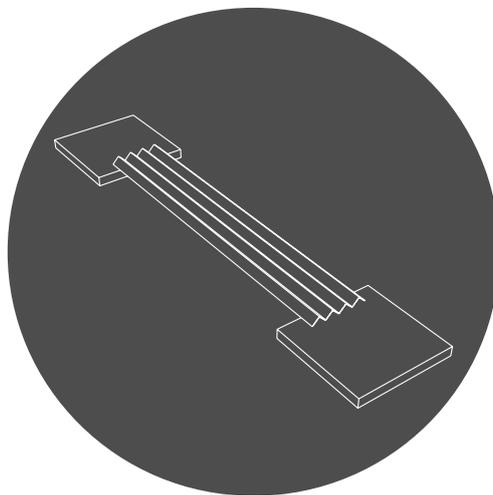
## 4.3 Faltungen

### 4.3.1 Grundfaltungen

Mit dem Buch „Von der Fläche zur Form“ [vgl. Jackson, 2011, S. 55-79] will Paul Jackson Designern die Faltkunst näher bringen. Es bietet einen guten Überblick zu verschiedenen, sehr praktischen Grundfaltungen und gibt gute Ansätze, wie man das Buch und Origami nutzen kann. Im Folgenden werde ich die Grundfaltungen, die im oben genannten Buch vorkommen, zusammengefasst aufzeigen.

#### 4.3.1.1 Ziehharmonikafalten

Die ersten Grundfalten sind die Ziehharmonikafalten. Zu sehen in der Abbildung 17. Sie sind eine Abfolge von Berg und Talfalten. Die sich in den immer selben Abständen wiederholen. Die Falten können sich linear oder radial wiederholen. Diese Faltung ist sehr einfach und bildet das Grundgerüst der folgenden Faltungen.

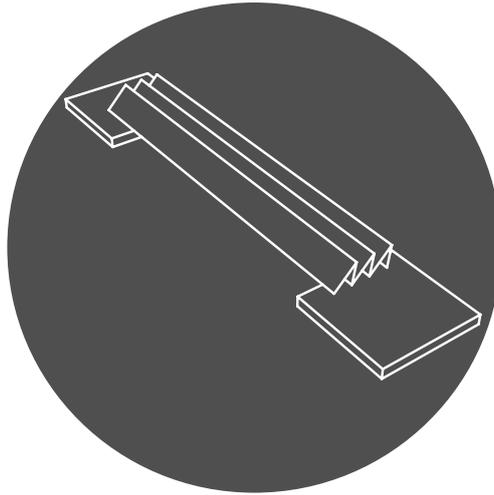


**Abb.17:** Die Ziehharmonikafaltung

#### 4.3.1.2 Messerfalten

Auch bei der Messerfaltung haben wird abwechselnd Berg und Talfalten und auch bei den Messerfalten können sich die Falten linear oder radial wiederholen. Der Unterschied zwischen den Ziehharmonikafalten und den Messerfalten besteht darin das bei den Messerfalten die

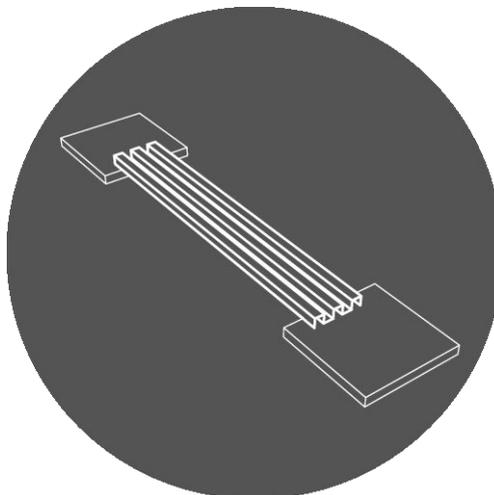
Abstände nicht die selben sind. Zu sehen in der Abbildung 18.



**Abb.18:** Die Messerfaltung

#### 4.3.1.3 Kastenfaltten

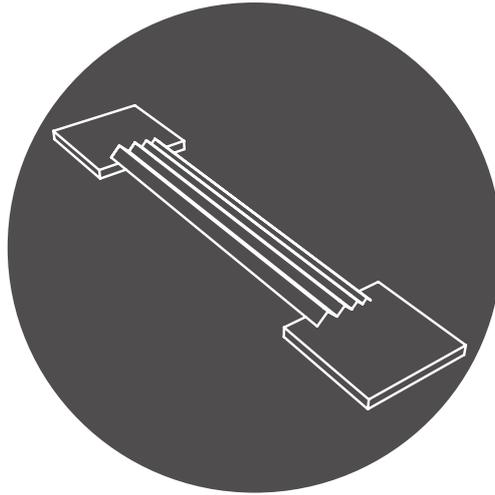
Bei der Kastenfalte handelt es um eine Abfolge aus zwei aufeinander liegender Bergfaltten auf zwei hintereinander liegender Talfaltten. Wie in den vorher gegangten Beispielen kann die Wiederholung linear oder radial stattfinden.



**Abb.19:** Die Kastenfaltung

#### 4.3.1.4 Verlaufsfaltten

Bei Verlaufsfaltten haben wir wieder eine Abfolge von Berg- und Talfaltten, der Abstand zwischen den Falten wird aber von Falte zu Falte kleiner oder größer. Durch geschickt gewählt Abstände zueinander können sehr ästhetische Faltungen entstehen.



**Abb.20:** Die Verlaufs-faltung

### 4.3.2 Eingrenzung der Faltungen

Die bisher genannten Faltungen sind sehr einfache Faltungen, eben Grundfaltungen. Sie bieten einen Überblick, grenzen aber die Faltungen die für die Architektur interessant sein könnten, ein wenig ein. Ein wichtiger Aspekt der vorhergegangenen Faltungen ist, dass es alles Umkehrfaltungen sind, das bedeutet, dass es eine Aneinanderreihung eines Musters aus gleich vielen Berg wie Talfalten gibt. Trotzdem ist eine weitere Eingrenzung notwendig. Aus den vorangegangenen Arbeiten von Hani Buri und durch die Studenten von Josef Albers und Frank Zeier wurde eine gute Grundlage geschaffen. Frank Zeier verfolgte einen praktischen Ansatz bei der Architekturlehre und lies seine Studenten viel handwerklich Arbeiten. Dabei sollten sie auch durch das Falten von Papier neue Formen finden. Hani Buri stützt sich auf diese Arbeiten [vgl. Zeier, 2013] und überprüft die Faltungen weiter [vgl. Buri, 2010, S. 20] auf folgende Aspekte:

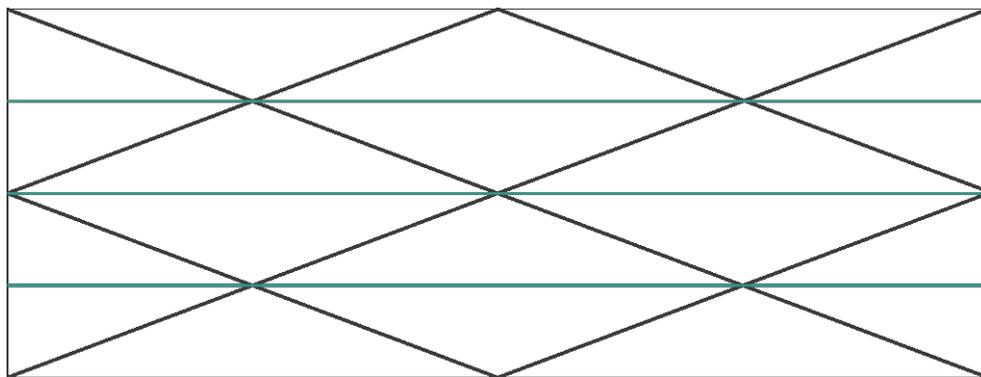
- Die Fähigkeit einen geschlossenen Raum zu formen
- Die Verwendbarkeit von Holzbauteilen in der späteren Realisierung
- Das Verwandlungspotenzial der Faltung
- Die Einfachheit der Faltung
- Die Ästhetik der Faltung

Aus dieser Analyse ergeben sich die folgenden drei Faltungen, sie alle sind simple Ziehharmonika und Umkehrfaltungen:

- Yoshimura Pattern (Diamond Pattern)
- Miura Ori Pattern (Herringbone Pattern)
- Diagonal Pattern

#### 4.3.2.1 Yoshimura Pattern (Diamond Pattern)

Die Abbildungen 21, 22 und 23 zeigen die Faltmuster der eben genannten Muster, dabei stellen die türkisen Linien die sogenannte Talfalte und die grauen Linien die Bergfalte dar. Das Yoshimura Pattern hat seinen Namen von einem japanischem Wissenschaftler der beobachtet hat, dass sich ein ähnliches Muster ausbildet, wenn man einen Zylinder axial zusammenstaucht. Sind die Talfalten immer Parallel und die Rauten immer gleichmäßig, erhält man einen Zylinder. Umso größer der Winkel zwischen der Diagonale der Raute und Ihrem Rand, desto flacher wird die Biegung der Kurve.



**Abb.21:** Faltmuster des Diamond Patterns

#### 4.3.2.2 Miura Ori Pattern (Herringbone Pattern)

Wie auch das Yoshimura Pattern wird das Miura Ori Pattern mit einer Aneinanderreihung von Umkehrfaltungen gefaltet. Dabei wird die Hauptfaltlinie (In der Abbildung 22 abwechselnd in Grau und Türkis dargestellt) so angeordnet, das sie ein Zickzack Muster formt. Ein gro-

Der Vorteil dieses Faltmusters ist die Kompaktheit, die die Faltung erreichen kann. Sie lässt sich in allen Richtungen zusammenstauchen. Sie wurde von der NASA benutzt. Dabei wurden Satelliten mit Solarpaneelen in die Exosphäre geschossen. Die Paneele waren nach diesem Faltmuster gefaltet und konnten ausgeklappt werden, als keine Gefahr auf Beschädigung mehr bestand.

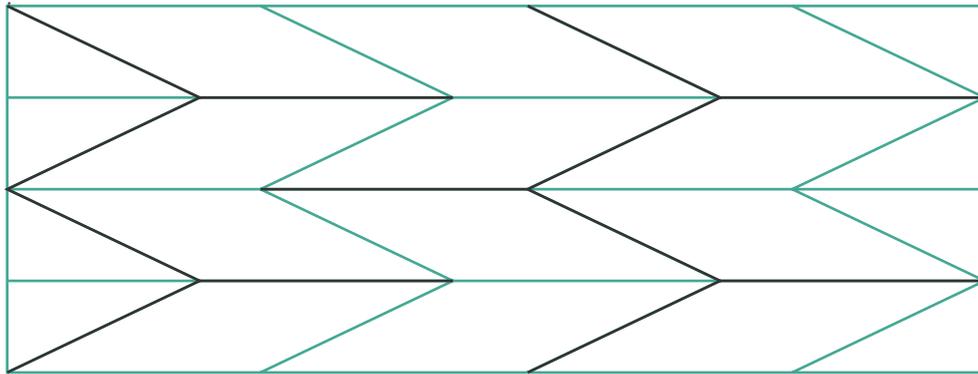


Abb.22: Faltmuster des Herringbone Patterns

#### 4.3.2.3 Diagonal Pattern

Die Grundlage dieser Faltung bildet ein in der diagonalen zusammengefaltetes Parallelogramm. Das Faltmuster ergibt eine schraubenförmige verzerrte Faltung. Das Yoshimura Pattern und das Diagonal Pattern sind sich sehr ähnlich und unterscheiden sich nur darin, dass das Yoshimura Pattern zusammengefaltete einen normalen Zylinder ergibt und dass Diagonal Pattern einen verzerrten.

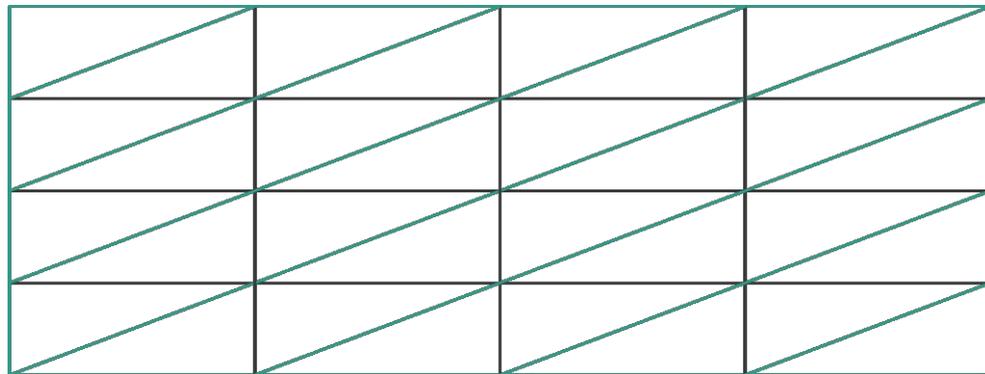


Abb.23: Faltmuster des Diagonal Patterns

# 5 Referenzen

Um die Referenzen möglichst wertbefreit zu beurteilen, werden die einzelnen Projekte in klar definierte Kategorien unterteilt.

Die drei Kategorien sind:

- Ästhetik
- Ressourceneffizienz
- Funktionalität

Die Kategorien sind so gewählt, dass sie für den späteren Entwurf brauchbare Erkenntnisse bringen. Die Kategorien stehen für die Potenziale von Faltungen, die im Entwurf überprüft werden sollen. Aus diesem Grund sind die Kategorien dieselben wie die Potenziale. Dadurch erhält man einen Überblick.

Da der Entwurf in drei verschiedene Eingriffe unterteilt ist, sind auch die Referenzen in verschiedenen Themen unterteilt. Sie unterteilen sich in:

- Plattformen
- Feste Faltwerke
- Mobile Faltwerke

Jedes der drei Referenzthemen ist für unterschiedliche Bereiche des Entwurfs entscheidend. Die Faltwerke unterteilen sich nochmals unter mobile und feste Faltwerke. Dabei unterscheiden sich diesen darin, ob ein Zusammenfallen möglich ist oder nicht.

Im Folgenden werden die zu untersuchenden Punkte aufgezeigt.

Plattformen:

Bei den Plattformen wird die Ästhetik untersucht, dabei spielt bei einer Plattform das Tragwerk eine große Rolle. Im Entwurf ist das Ziel für die Plattform, den schmalen Grat zu finden zwischen Extravaganz und Zurückhaltung. Das ist wichtig, um die Wanderer auf die Plattform zu locken und gleichzeitig das Gesamtbild von Schloss Braunsberg nicht zu stören. Um nicht zu stark aufzufallen ist es wichtig, dass das passende Tragwerk gewählt wird.

Feste Faltwerke:

Bei den festen Tragwerken liegt das Hauptaugenmerk auf der Ressourceneffizienz der Gebäude. Die gewählten Objekte sind, wie auch der Entwurf, Holzfaltwerke. Durch die Faltung ist auch die Optik der Gebäude besonders. Die Faltungen bringen gute statische Eigenschaften mit sich, wodurch die Materialstärke verringert werden kann.

Mobile Faltwerke:

Die mobilen Faltwerke werden besonders auf ihre Funktionalität überprüft. Dabei werden verschiedene mögliche Faltmechanismen untersucht. Einen großen Unterschied macht die Größe der Konstruktion. Das höhere Gewicht einer größeren Konstruktion verringert die Auswahlmöglichkeiten der Scharniere.

# 5.1 Plattformen

## 5.1.1 Top of Tyrol , Stubai, AT



Abb.24: Top of Tyrol

		
<p>Die Plattform besteht aus einer relativ einfachen und geprüften Stahlkonstruktion. Die Stahlträger sind mittels Betonfundament und Gewindeankern im Fels befestigt. Das Tragwerk ist unscheinbar, da die Träger an der Vorderkante dünner sind als an der Hinterkante</p>	<p>Die Aussichtsplattform besteht hauptsächlich aus Stahlträgern. Stahl ist ein langlebiges Material und durch die hohe Tragfähigkeit wird nicht viel Material gebraucht. Gute Eigenschaften für den Stahlbau. Der extrem hohe Energieverbrauch bei der Herstellung von Stahl darf aber nicht vergessen werden.</p>	<p>Der Cortenstahl der Plattform versucht sich in die Landschaft einzupassen. So ganz gelingt es nicht. Dafür ist der Bauplatz zu exponiert. Der gewählte Bodenbelag ist ein Streckmetall dieses ist lichtdurchlässig es ist aber engmaschig.</p>

## 5.1.2 Stegastein, Aurland, NOR



Abb.25: Stegastein



Optisch erscheint Stegastein eine Holzkonstruktion zu sein. Tatsächlich ist die Plattform eine Stahlkonstruktion, die durch Lärchenholz verkleidet ist. Die Stahlkonstruktion übernimmt aber die Lasten. Daher haben wir auch bei dieser Plattform eine Stahlkonstruktion.



Da bei der Plattform zwei verschiedene Materialien genutzt wurden ist sie Ressourcentechnisch nicht optimal genutzt. Die Stahl ist die Verbindung aus Holz und Stahl nicht sehr gut. Da damit ein zusätzliches Material verbraucht wurde.



Optisch passt sich die Holzverkleidung gut in die umgebende Natur ein.

Die Absturzsicherung der Plattform ist durchgängig mit Holz verkleidet und wirkt dadurch sehr massiv. Die Vorderseite des Geländers ist eine Glasscheibe und soll den Besuchern einen ungestörten Ausblick bieten.

## 5.2 Feste faltwerke

### 5.2.1 Timber Pavillon of the Vidy Lausanne Th., Lausanne, CH



Abb.26: Faltwerk, Vidy Lausanne Theater

		
<p>Bei diesem Theater wurde Wert auf Innovation gesetzt. Die komplette Konstruktion besteht aus einem Faltwerk, bei dem bis 20 m mit nur 45 mm starken Holzplatten überspannt werden. Die Holzplatten wurden ohne Metall miteinander verbunden und im Werk vorgefertigt um eine schnelle Montage zu erlauben.</p>	<p>Das Gebäude ist äußerst ressourceneffizient, die komplette Tragkonstruktion besteht aus Holz. Durch die Faltwerkkonstruktion können die Querschnitte auf ein Mindestmaß reduziert werden. Auch die Dämmung besteht aus Holz, es wurde Zellulose genutzt.</p>	<p>Die Optik der Faltung sieht man bereits von außen wie auch innen. Im Innenbereich kommt sie besonders zu tragen. Dabei wurde das Holz komplett sichtbar gelassen, auch die Steckverbindungen sind sichtbar.</p>

## 5.2.2 Kapelle Saint Loup, Pompaples, CH



Abb.27: Faltwerk, Kapelle Saint Loup



Die Kapelle St. Loup ist eine vorübergehende Kapelle. Gleich wie beim Theater ist auch hier die Tragstruktur gleichzeitig die Hülle des Gebäudes. Die Tragstruktur hat nur eine Stärke von bis zu 60 mm. Die Falten wurden aber mit Metall verstärkt.



Der Materialaufwand wurde sehr gering gehalten, da die Materialstärken sehr gering sind. Die Kapelle ist fast ausschließlich aus Holz und ist deshalb sehr ressourcenschonend.



Optisch ist die Kapelle durch ihre vorgegraute Außenhaut, der Einfachheit und gleichzeitigen Verspieltheit der Faltung hervorragend gelöst. Die Erhöhung der Faltung am Ende des Raumes erinnert an einen Altarraum. Zudem gliedert die Faltung den Innenraum.

## 5.3 Mobile Falwerke

### 5.3.1 Origami Shelter



Abb.28: Origami Shelter



Diese zeltähnliche Konstruktion soll einen transportablen Schutz bieten. Sie ist groß genug, dass zwei Erwachsene Personen nebeneinanderliegen können. Der Aufbau ist sehr einfach. Wenn die zusammengefaltete Konstruktion am Boden liegt, kann ein Ende in einer Halbkreisbewegung angehoben werden.



Die Konstruktion besteht aus Sperrholz, dem Gewebe „Ripstop“ und Baumwolle. Die Falten sind nicht direkt Falten, sondern Stoffscharniere. Die Materialien sind ressourceneffizient und bis auf das Ripstop ist alles recycelbar.



Die Optik ist von Außen eine klassische Origamioptik. Einfach, aber schön. Die Besonderheit dieses Konstrukts ist die Transluzenz der Außenhaut. Durch die Faltungen überlagern sich teilweise die Stoffe, wodurch sich ein immer wechselndes Lichtspiel im Inneren ergibt.

### 5.3.2 Development of a Foldable Mobile Shelter System

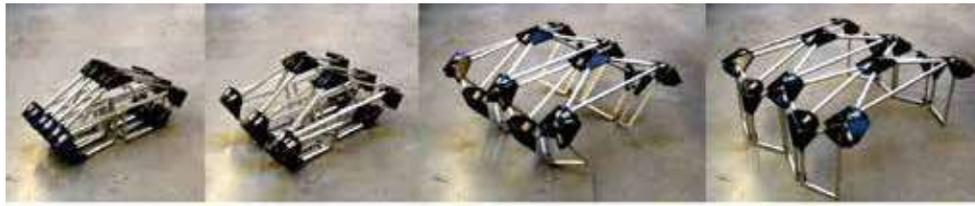


Abb.29: Study: Development of a Foldable Mobile Shelter System

		
<p>In einer Studie [vgl. Temmerman, 2007, S. 166] wurde ein faltwerk in ein Fachwerk umgewandelt. Es stellte sich heraus, dass die Falten den Großteil der Last aufnehmen. Daraus liess sich ein Fachwerk ableiten. Die Konstruktion bleibt dabei faltbar.</p>	<p>Auch wenn die Tragstruktur aus Stahl besteht, ist die Konstruktion sehr materialschonend. Das Fachwerke stellt eine sehr optimierte Konstruktion dar, da wenig Material aufgewendet werden muss, um große Spannweiten zu überwinden.</p>	<p>Die Studie beschreibt das Tragverhalten der Struktur. Daher ist die Optik schwer zu bewerten. Die Möglichkeiten, die diese Art der Konstruktion bietet, sieht man aber im vorher genannten Beispiel.</p>

Die Erkenntnisse werden im Folgenden erläutert. Es wird auf die unterschiedlichen Stärken, Schwächen, Chancen und Gefahren eingegangen, die die Referenzobjekte bieten:

Plattformen:

Aus der Analyse der Plattformen hat sich ergeben, dass sich ein Tragwerk aus Stahl anbietet, da es schlanker ausgeführt werden kann als ein Holztragwerk. Dadurch kann der Einfluss des Tragwerks auf die Optik verringert werden. Die Gefahr besteht trotzdem, dass die Plattform nicht gut in die Umgebung passt. Es wird darauf zu achten sein, dass die Plattform aus transparenten Materialien besteht. Das erste Referenzobjekt „Top of Tyrol“ hat ein Metalnetz als Bodenmaterial. Dieses hat allerdings eine enge Maschung. Durch eine größere Maschung des Streckmetalls besteht die Chance, eine leichtere Wirkung zu erzeugen. Auch das Glasgeländer von „Stegastein“ bietet die Chancen. Um unnötiges Material zu sparen, wird von einer Mischung aus Stahl und Holz abgesehen.

Feste Faltwerke:

Die beide Referenzobjekte der festen Faltwerke sind sich ähnlich. Beides sind ressourcensparende Gebäude, bei denen die Vorzüge von Faltwerken zum Tragen kommen. Die Verbindung zwischen den Holzteilen wurde bei der „Kapelle von St. Loup“ mit Metal gelöst. Beim Timber Pavillon of the Vidy-Lausanne Theatre“ wurden die Holzteile durch innovative Steckverbindungen verbunden. Beide Gebäude Nutzen die Faltungen und haben dünne Platten, die das Tragwerk darstellen. Diese sollen als Referenz für den Entwurf dienen.

Mobile Falwerke:

Die beiden Beispiele für die mobilen Tragwerke unterscheiden sich sehr stark. Auch wenn sie das gleiche Ziel haben. Beides sind schnell aufbaubare Schutzzelte. Diese Nutzung wurde bereits unter Beweis gestellt und wird aus diesem Grund im Entwurf nicht weiter verfolgt. Die Scharniere des „Origami Shelter“ bestehen aus Stoff, was für eine kleine leichte Konstruktion gut geeignet ist. Für größere Konstruktionen sind sie aber nicht nutzbar. Die lichtdurchlässige transparente Ausfachung zwischen den Dreiecksflächen bietet aber Chancen für den Entwurf. In der Studie [vgl. Temmerman, 2007, S. 166] „Design and Analysis of a Foldable Mobile Shelter System“ geht es um die Entwicklung von größeren Zelten. Die Ergebnisse dieser Studie werden in den Entwurf aufgenommen. Sie beschreibt die zwei möglichen Faltungen und die Knotenpunkte mit den Scharnieren.

# 6 Entwurf

## 6.1 Konzept Erklärung

### 6.1.1 Graf. Rupert Strachwitz

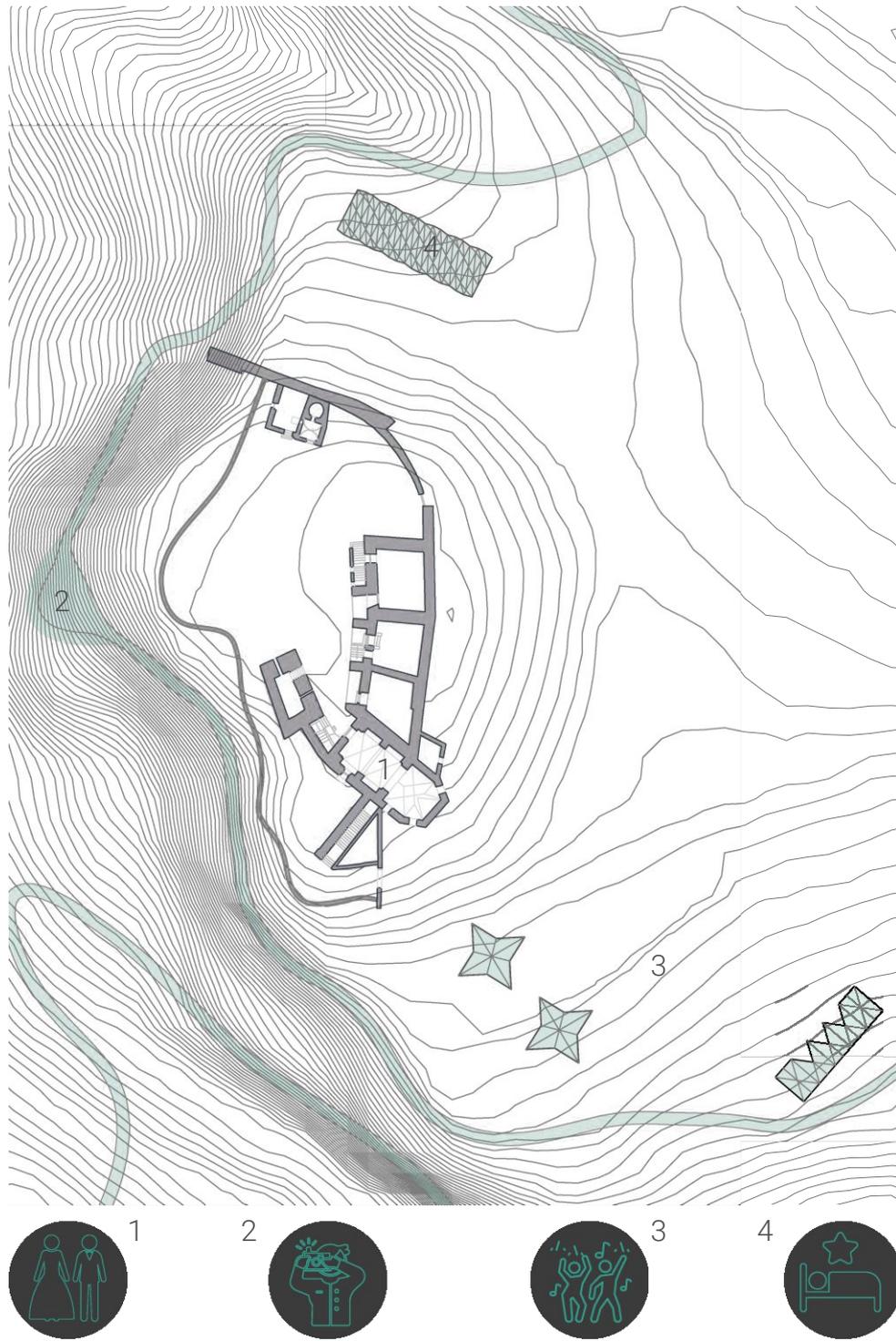
An den Anfängen der Arbeit stand die Idee Schloss Braunsberg, dass auf mehreren Homepages als Wahrzeichen von Lana angepriesen wird, näher an die Bewohner von Lana heranzubringen. Da es selbst Bewohner von Lana noch nie zum Schloss geschafft haben, bestand das Ziel darin, etwas daran zu ändern.

Schnell wurde klar, dass es sich beim Schloss Braunsberg um ein Wohnschloss handelt. In einem Treffen mit Rupert J. Graf Strachwitz, der offen für eine Masterarbeit über Schloss Braunsberg war, besprachen wir verschiedene Ideen. Nach einem Rundgang im Schloss und der Durchsicht der Unterlagen kam es zu einer Unterhaltung. Während des Gesprächs kam auf, dass sich auch die Gemeinde bereits dafür interessiert hatte das Schloss ein wenig zugänglicher zu machen. Ein Wanderweg, welcher einige Jahre gesperrt war wurde gesichert und wieder geöffnet. Dieser befindet sich in unmittelbarer Nähe des Schlosses und startet vom Dorf aus. Er führt über Braunsberg zum darüber liegenden Vigiljoch, dem Hausberg von Lana. Zudem war es ein Anliegen des Tourismusvereines eine Aussichtsplattform zu realisieren. Dies hätte zweierlei Vorteile, einerseits hätten die Touristen eine bessere Sicht auf das Schloss und andererseits würden sie nicht durch den Privatgrund zum Schloss laufen.

Außerdem erzählte Herr Strachwitz, dass die Instandhaltungskosten des Schlosses enorm hoch wären und es zu begrüßen sei, sollte sich eine zusätzliche Einnahmequelle für das Schloss finden lassen. Dabei

wurde besonders auf den derzeitig kaum genutzten Parkplatz vor dem Schloss und einer kleinen Lichtung zwischen Bäumen und Gestrüpp hinter dem Schloss hingewiesen. Für beides gab es bereits Überlegungen wie diese genutzt werden konnten, es kam aber nie zu einer Umsetzung. Aus mehreren Ideen, die Graf Strachwitz unterbreitete, ist es besonders spannend, beide Plätze gemeinsam zu nutzen, in Form eines außergewöhnlichen Hochzeitsangebotes. Dabei würde die Kapelle des Schlosses genutzt werden um die Trauung durchzuführen und auf der Aussichtsplattform würden sich Hochzeitsfotos machen lassen. Der Festplatz würde als Partylocation dienen und zum Schluss könnte das Brautpaar eine romantische Nacht im abgeschiedenen Hotelzimmer verbringen.

Ein weiterer Vorteil hierbei wäre auch, dass die Partylocation zusätzlich für Dorffeste und Theateraufführungen genutzt werden könnte. Dies wären einmalige Events, bei denen die Bewohner von Lana die Möglichkeit hätten, Schloss Braunsberg aus der Nähe zu sehen. Den Ablauf einer Hochzeit sieht man in der Abbildung 30. Unterteilt ist sie in vier Schritte, die Hochzeit in der Kapelle, Hochzeitsfotos auf der Plattform, das Essen und die Übernachtung im Hotelzimmer.



**Abb.30:** Konzeptklärung

### 6.1.2 Origami

Origami hat in Japan eine lange Tradition, in den vergangenen Jahren wurde Origami auch immer beliebter in Europa. Längst füllen Lampen, Tassen und andere Gegenstände in Origami Optik die Schaufensterläden. Auch in der Architektur gibt es Beispiele von Gebäuden, die von Origami beeinflusst wurden. Dabei sind Plattentragwerke, die durchaus an Origami erinnern können, besonders hervorzuheben. Pioniere dieser Architektur wie der Ingenieur Eugene Freyssinet plante aber hauptsächlich in Beton, es war das Material seiner Zeit. Im heutigen Umfeld und im Bezug auf den Klimawandel ist ein Umdenken nötig geworden, ein Materialwechsel weg vom Beton.

In meiner Arbeit will ich versuchen, die Potenziale von Origami in der Architektur aufzuzeigen. Außerdem soll die Optik dem Projekt einen Zusammenhalt geben.

Das im vorherigen Kapitel beschriebene Konzept unterteilt sich in drei verschiedene Bauvorhaben einer Aussichtsplattform, einem Hotelzimmer und einer Bühnenkonstruktion. Die unterschiedlichen Bauvorhaben weisen im ersten Moment wenig Gemeinsamkeiten auf, es kann schnell passieren, dass die Zusammengehörigkeit verloren geht. Darum ist eine Formensprache, die sich durch das gesamte Projekt zieht, entscheidend, um eine Zusammengehörigkeit zu erzeugen.

Gleichzeitig sollen die jeweiligen Bauvorhaben auf verschiedene Potenziale von Origami überprüft werden. Die Aussichtsplattform soll auf den optischen Aspekt hinweisen. Das Hotel soll auf die Ressourceneffizienz hin überprüft werden und die Bühnenkonstruktion soll auf die Funktionalität hinweisen.

## 6.2 Denkmalschutz

Die gelben Bereiche in der Abbildung 31 zeigen denkmalgeschützte Bereiche in Lana. Dabei ist hohe Dichte an denkmalgeschützten Bereichen auffällig. Besonders der lange gelbe Streifen, der sich in das Natura 2000 Schutzgebiet der Gaulschlucht hinein zieht. Das Natura 2000 Schutzgebiet wird in der Abbildung grün dargestellt. Beim gelben Bereich handelt es sich um ein archäologisches Gebiet. Es befindet sich ein beliebter Spazierweg entlang dieses Bereiches, der bis in die Gaulschlucht reicht. Über eine Abbiegung dieses Weges gelangt man auf den Weg, der in der Abbildung 30 im unteren Bereich dargestellt ist..

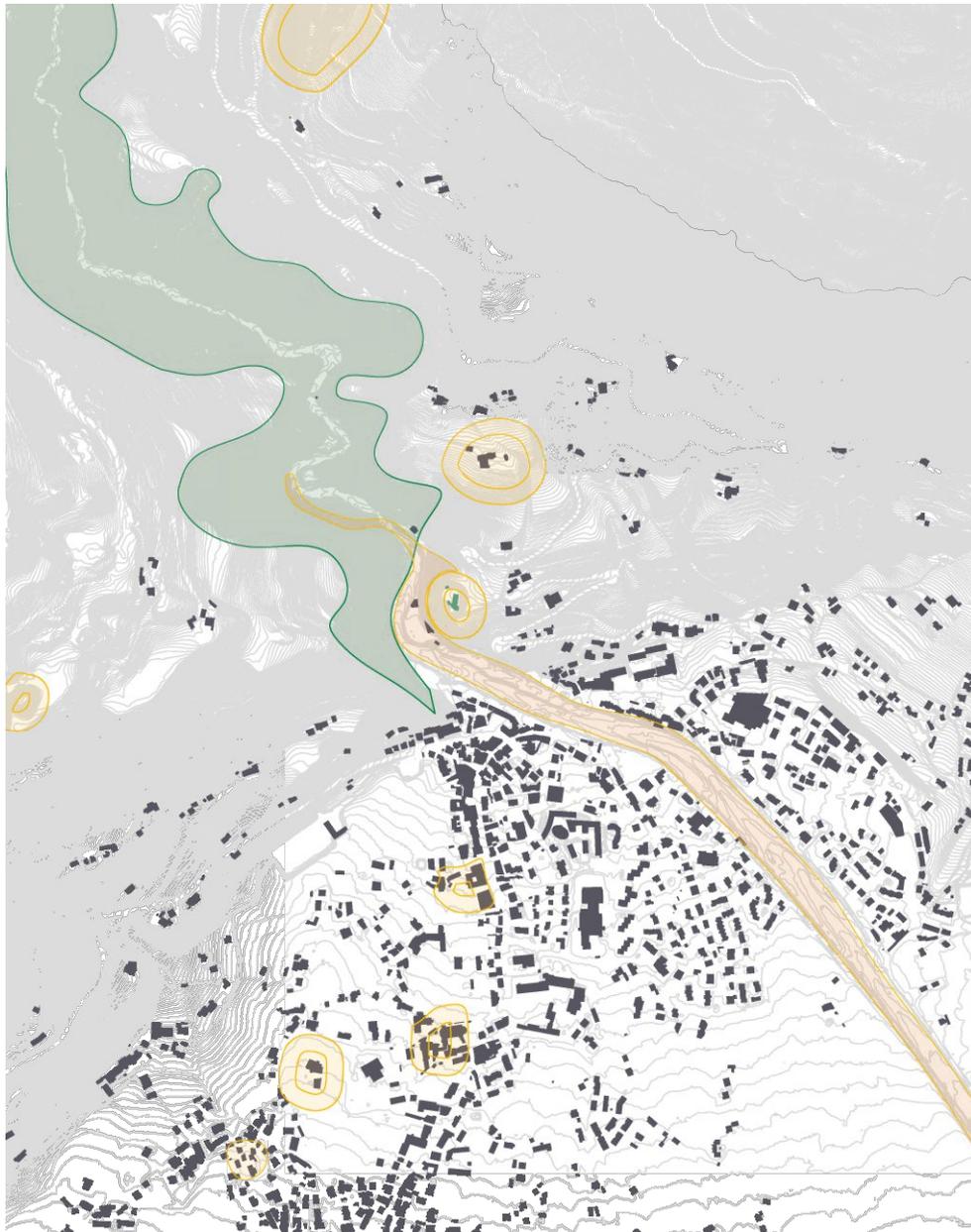
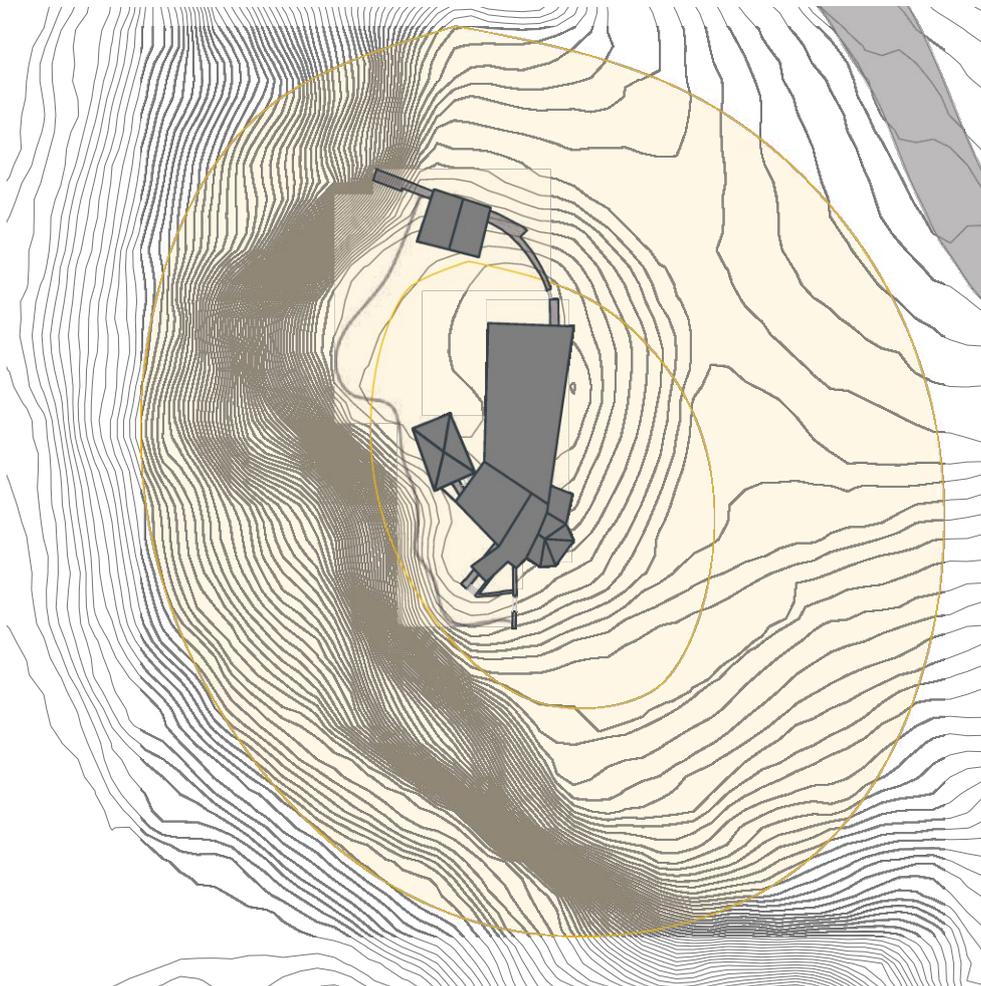


Abb.31: Übersicht über Denkmalgeschützte Orte in Lana

Wie in der Abbildung 32 zu sehen ist Schloss Braunsberg, in einen denkmalgeschützten Bereich. Auch Schloss Braunsberg selbst ist denkmalgeschützt. Einer der wichtigsten Aspekte der Denkmalpflege ist die Erhaltung von schützenswerten Gebäuden. Da Schloss Braunsberg aber bewohnt wird, ist das Schloss vor dem Verfall bestens geschützt. Auf der anderen Seite ist eine sachkundige Modernisierung und Erhaltung des Schlosses sehr kostspielig. Diese zwei Gründe waren ausschlaggebend für die weiteren Entwurfs Entscheidungen und haben die Grundlagen gelegt für das weitere Vorgehen. Zum einen bin ich zum Entschluss gekommen, dass ich Schloss Braunsberg nicht zu in den Entwurf miteinbeziehen möchte. Sondern die Eingriffe sollten sich ausschließlich um das Schloss herum abspielen. Zum anderen sollen die Eingriffe dabei helfen, das nötige Geld für die Instandhaltung des Schlosses einzubringen.



**Abb.32:** Denkmalgeschützter Bereich um Schloss Braunsberg

## 6.3 Vermessung

Die Aufnahme des Bauplatzes erfolgte am 30.09.2021. Dabei wurde besonderer Wert auf den Außenbereich vor dem Schloss gelegt, dieser beinhaltet auch den Bauplatz der Bühnenkonstruktion.

Die Vermessung wurde durchgeführt bevor mit der Arbeit am Projekt begonnen wurde. Zu einem späteren Zeitpunkt wurden die Geländedaten, die von der Provinz zur Verfügung gestellt werden, ausgewertet. Beim Vergleich der beiden Geländedaten wurde schnell klar, dass sich große Teile des Geländes sich kaum verändert haben. Der größte Unterschied zwischen den beide Geländedaten besteht im Bereich vor dem Schloss. Dabei stellt die Vermessung einen neueren Stand der Daten dar. In diesem ist klar ersichtlich das sich vor dem Schloss ein größerer Platz befindet. In den älteren Geländedaten der Provinz ist dieser Bereich noch eine Fläche mit relativ gleichbleibender Neigung. Daraus lässt sich schließen, dass sich der Bereich relativ einfach verändern lässt und nicht direkt darunter Fels zum Vorschein kommt.

Auch wenn die Daten der Provinz älter sind, wurden diese als Referenz hergenommen. Der Vorteil darin besteht das man nicht nur einen kleinen Ausschnitt mit Vermessungsdaten hat, sondern das gesamte Gebiet. Daher, dass die Daten nicht stark voneinander abweichen, sind die Daten der Provinz ausreichend.



Abb.33: Vermessung

## 6.4 Umgebungsanalyse

### 6.4.1 Geschichte von Lana

Der gewählte Bauplatz befindet sich in Lana, einer Marktgemeinde im Norden Italiens, in der Autonomen Provinz Bozen Südtirol. Die Autonome Provinz Bozen Südtirol, im Folgenden nur noch Südtirol genannt, kam erst nach dem Ersten Weltkrieg vom österreich-ungarischen zum italienischen Staatsgebiet.

Lana weist eine lange Geschichte auf, die im Folgenden grob aufskizziert wird und für einen groben Überblick dienen soll. Die ersten urgeschichtlichen Siedlungen entwickelten sich auf verschiedenen Hügeln rund um Lana, unter anderem auf Braunsberg. Die erste urkundliche Nennung Lana lässt sich auf 990 n. Ch. datieren. Damals wurde Lana noch Lenon genannt. Der Name kommt wahrscheinlich von einer römischen Vorsiedlung. Einer Theorie zufolge soll ein Veteran Names Leo ein Land zugewiesen bekommen haben. Durch die Lautänderung von Leonianu über Leonan und Lenon kam es schlussendlich zu Lana. Am Anfang des 13. Jh. werden die Burgen Brandis, Lanaburg, Braunsberg, Mayenburg und Werrenburg gebaut. Ab dem Ende des 14 Jh. steigt der Einfluss der Kirche immer mehr und prägt die Bevölkerung bis in die heutige Zeit. Das Kreuz des Deutschen Ordens ist bis heute im Wappen von Lana enthalten. Eine starke Wendung nahm die Geschichte nach der Regulierung der Etsch und der Trockenlegung des Sumpfgebietes sowie dem Bau der Eisenbahn. Dadurch wurde Lana zu einem wichtigen Verkehrs- und Handelszentrum. Der Obstbau ist nach wie vor das wichtigste wirtschaftliche Standbein. Aber seit 1970 steigt der Tourismus stark. 2021 verbuchte Lana 515.769 Übernachtungen und verfügte über 4.000 Gästebetten.

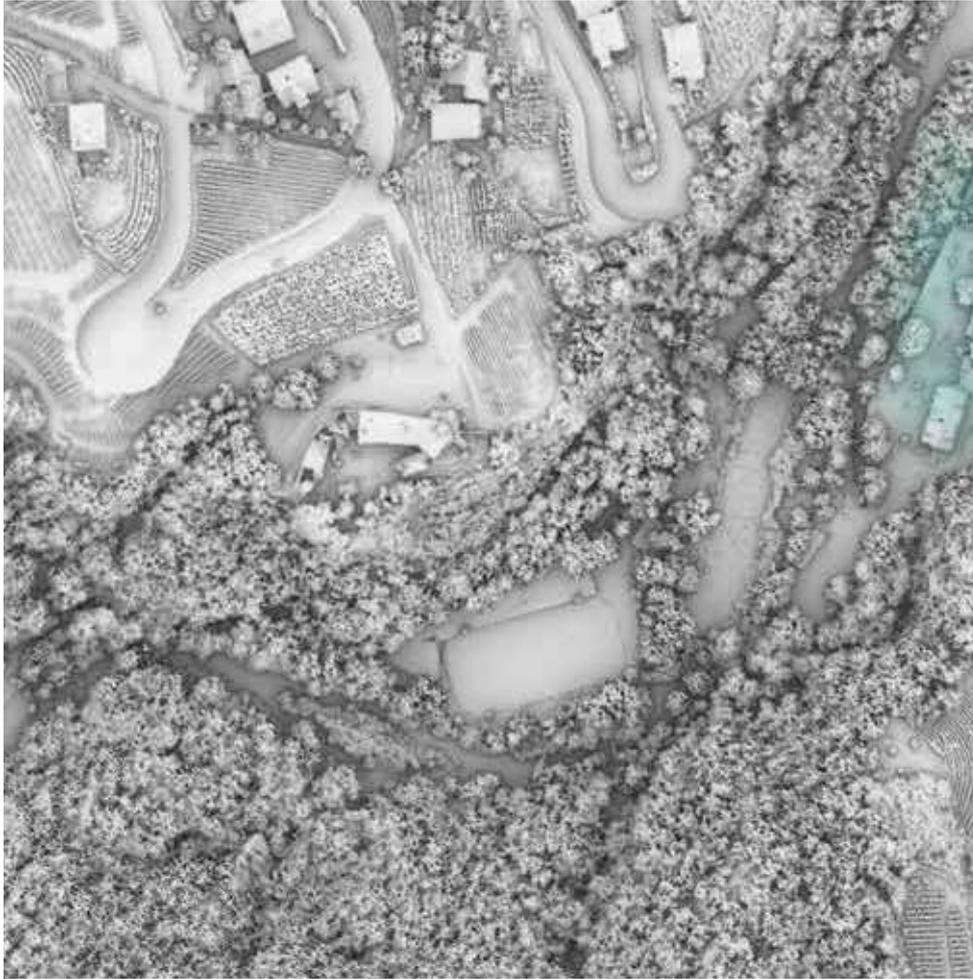
## 6.4.2 Bauplatz

Der gewählte Bauplatz befindet sich am Schloss Braunsberg. Dieses liegt wie bereits beschrieben direkt an der Gaulschlucht und ist ca 200 Meter höher als Lana auf einem Hügel. Dies ermöglicht eine ausgezeichnete Aussicht über das Etschtal bis hin zur Kurstadt Meran, wie in den folgenden Fotos zu sehen sein wird. Durch die folgenden Fotos soll ein Eindruck der Umgebung um den Bauplatz herum gegeben werden. Die Fotos wurden am 10.07.21 gemacht und zeigen den Weg vom Dorf hoch zu Schloss Braunsberg.

Der Weg führt von Lana über die Gaulschlucht, durch die der Falschauer Bach fließt, zu einer Abzweigung. An dieser Abzweigung gibt es zwei Möglichkeiten weiterzugehen. Eine führt weiter in die Gaulschlucht. (Abbildung 36), die andere führt und zu einem kleinen, erst vor kurzem wieder eröffneten Weg der in die Nähe von Schloss Braunsberg führt. Dieser zweite Weg dient als Grundlage des Themenweges. Im folgenden Kapitel wird das Hauptproblem des bestehenden Weges noch genauer beleuchtet. (Abbildung 52)



**Abb.34:** Sicht auf Braunsberg von Lana



**Abb.35:** Die Anfänge von Lana



**Abb.36:** Die Gaulschlucht ein Natura 2000 Schutzgebiet und beliebter Spazierweg



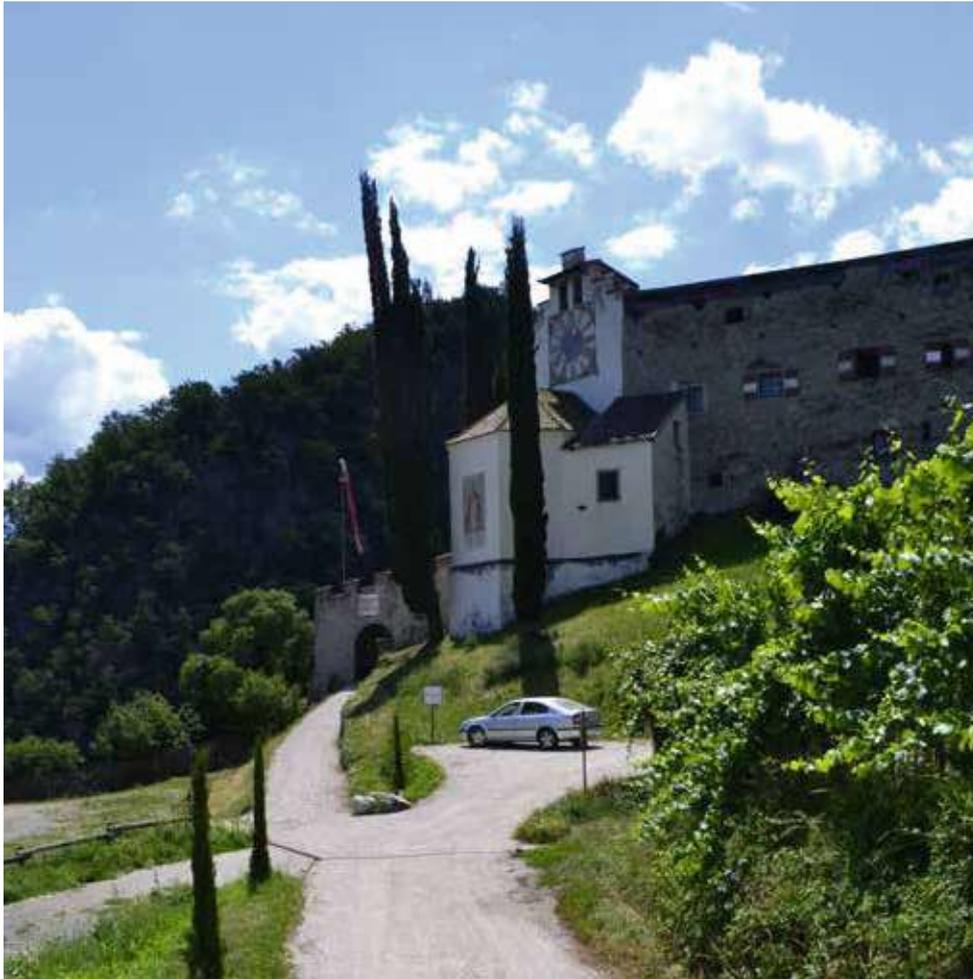
**Abb.37:** Die Falschauer, ein kühlender Fluss als Startpunkt für den Themenweg



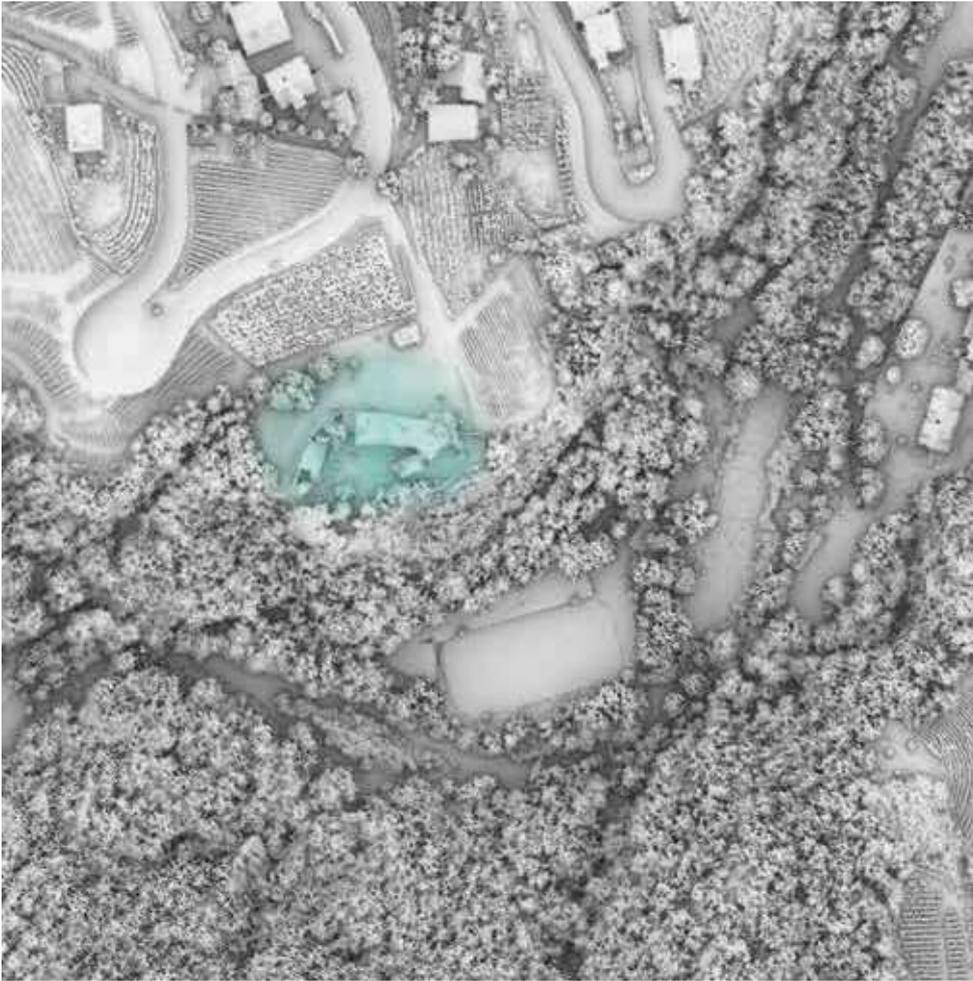
**Abb.38:** Dieser bestehende Weg soll zu einem Themenweg ausgebaut werden



**Abb.39:** *Themenweg*



**Abb.40:** *Einfahrt zum Schlossgelände*



**Abb.41:** *Schloss Braunsberg*



**Abb.42:** Ungenutzter Platz, im Moment Parkplatz

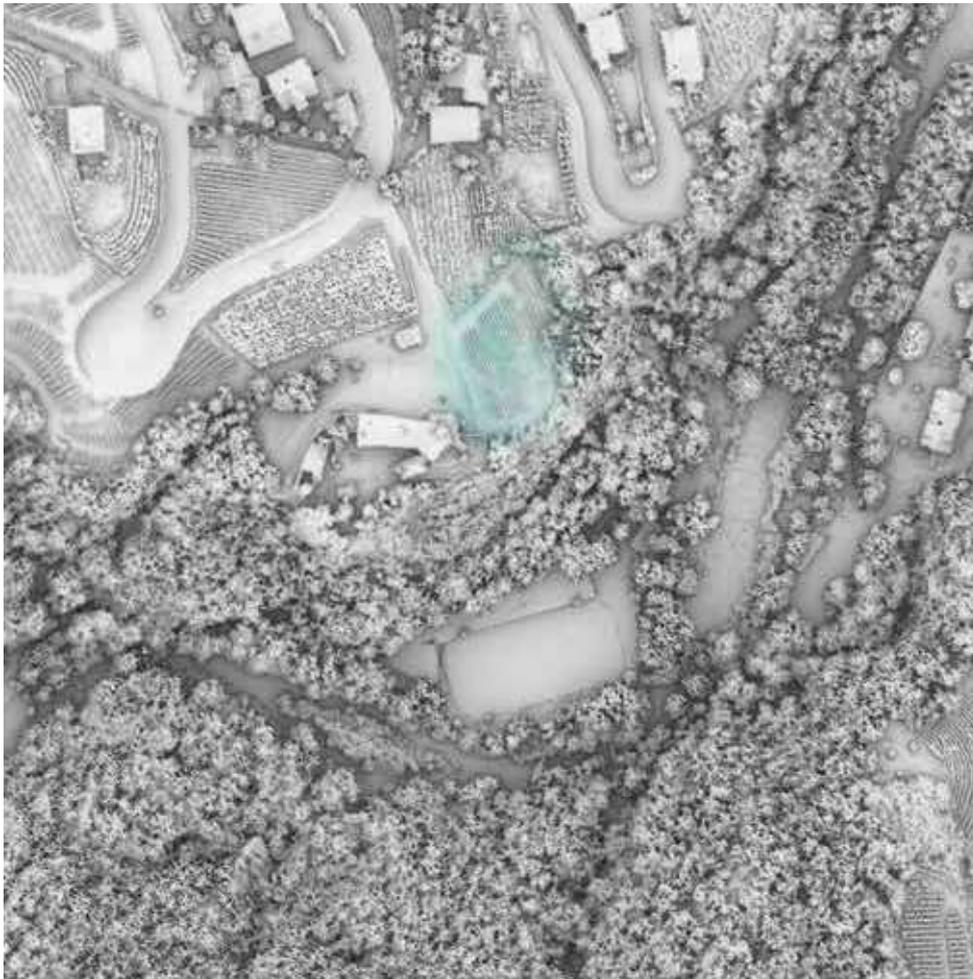


Abb.43: Bauplatz



Abb.44: Schwarzplan mit Höhenschichtenlinien M1:1000

Im Schwarzplan, Abbildung 44, sieht man die Lage des Schlosses im Verhältnis zu Lana. Am mittigen, linken Rand in Türkis dargestellt, sieht man Schloss Braunsberg. Nördlich davon kann man an den Höhen-schichtenlinien den Verlauf der Zufahrtsstraße ablesen.

## 6.5 Themenweg

### 6.5.1 Allgemein

Der Tourismus ist ein steigender Wirtschaftsfaktor in Südtirol. Das bringt Probleme, aber auch Möglichkeiten mit sich. Eine Lenkung des Touristenstroms weg vom Auto hin zu Wanderungen, die direkt an der Talsohle starten, kann helfen die immer größere Verkehrsbelastung auf den Südtiroler Straßen zu reduzieren. Auch die Verteilung der Touristen ist wichtig, damit nicht nur einzelne Hotspots überrannt werden.

Lana liegt in der Nähe von Meran, circa 7 km entfernt. Meran ist einer dieser beliebten Urlaubsorte, mit 863.480 Übernachtung im Jahr 2021. Zwischen Meran und Lana liegen die Dörfer Marling und Tschermms. Die drei Dörfer und Meran sind durch einen sogenannten Waalweg verbunden. Waalwege sind typische flache Wege, die neben einen Bewässerungskanal herlaufen. Sie sind beliebte Wanderwege bei Familien, aber auch Touristen nutzen diese gerne, da die Wege einen guten Ausblick bieten und keine Wandererfahrung benötigen.

Der Tourismusverein von Lana hegt die Idee, mehrere Plattformen zu errichten, um den Waalweg aufzuwerten und Besucherströme aus Meran in die kleineren Dörfer zu lenken. Hierbei spielt auch Braunsberg eine große Rolle, da es als Ziel der Wanderung angesehen werden kann. Daher ist eine Plattform an diesem Standort als sehr sinnvoll zu betrachten.



Abb.45: Lage des Waalweges zwischen Meran und Lana

In Lana gibt es bereits ein ausgebautes Wegesystem. Unter anderem den historischen Brandiswaalweg, den Aichbergweg oder den zeitgenössischen Skulpturenwanderweg.

Der vor kurzem ausgebaute und gesicherte Weg, welcher hin zu Schloss Braunsberg führt und Hauptbestandteil des neuen Themenweges werden soll, ist verbunden mit einem Weg, der in die Gaulschlucht führt. Die Gaulschlucht ist ein Natura 2000 Schutzgebiet und eine Promenade durch Felsschluchten die links und rechts um die 200 Meter in die Höhe ragen.

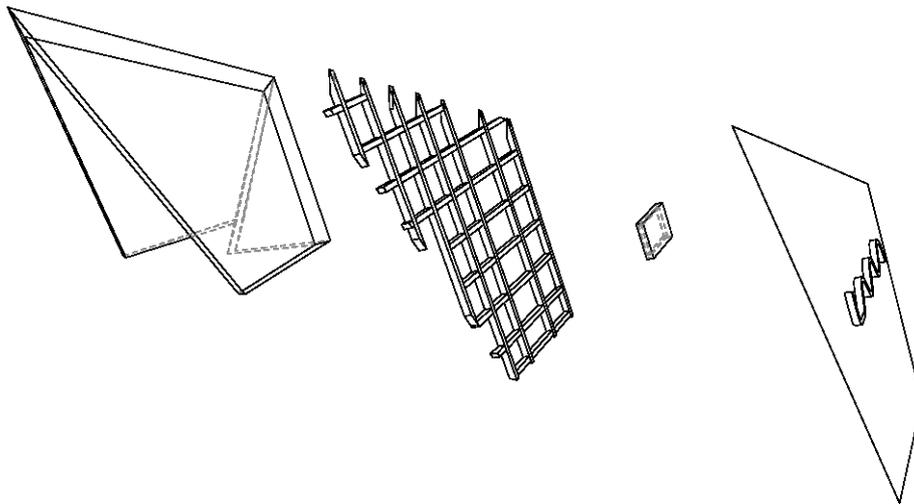


Abb.46: Wegenetz durch Lana

## 6.5.2 Infoscreen und Hinweisschilder

Alle Wege lassen sich leicht zu Fuß vom Zentrum von Lana aus erreichen. Dort findet deshalb auch der erste Eingriff statt. Um dem Themenweg mehr Aufmerksamkeit zu geben, wird dort ein Infoscreen errichtet. Dieser kann auch für Informationen zum Dorf genutzt werden und enthält einen Bildschirm. Wie alle Teile des Projektes soll auch der Infoscreen als Origamiform gestaltet werden. Die Form erinnert an die typischen Pultdächer der Tiroler Landschaft.

Die Konstruktion sollte so einfach wie möglich gestaltet werden. Mit einer Unterkonstruktion aus 6 cm dicken Holzbalken und einer Verkleidung aus Cortenstahl.



**Abb.47:** Konstruktion des Infoscreens

Der bestehende Weg zum Schloss ist außerdem unzureichend beschildert. Es gibt nur ein Schild, das auf den Weg hindeutet, auch viele Bewohner von Lana kennen diesen Weg nicht. Zudem gibt es entlang des Weges eine Kreuzung, wo sich vier Wege treffen. Da kein Schild die Richtung weist, muss man raten, welche Abzweigung die Richtige ist.

Durch die Platzierung einiger Hinweisschilder wird gezielt auf den Weg hingewiesen und die Aufmerksamkeit gesteigert.

Auch die Schilder sind aus Cortenstahl. Cortenstahl wurde als Material gewählt, da es auch später beim Weg zum Hauptmaterial wurde. Der Stahl erhält durch die vorgerostete Optik bereits eine Patina und dadurch ist er langlebig. Zudem erinnert die Rostoptik an alte Objekte und passt dadurch zum Schloss.

Die Position der Hinweisschilder wird in der Abbildung 48 dargestellt und wird hauptsächlich an den Kreuzungspunkten der bereits bestehenden Wege angebracht.

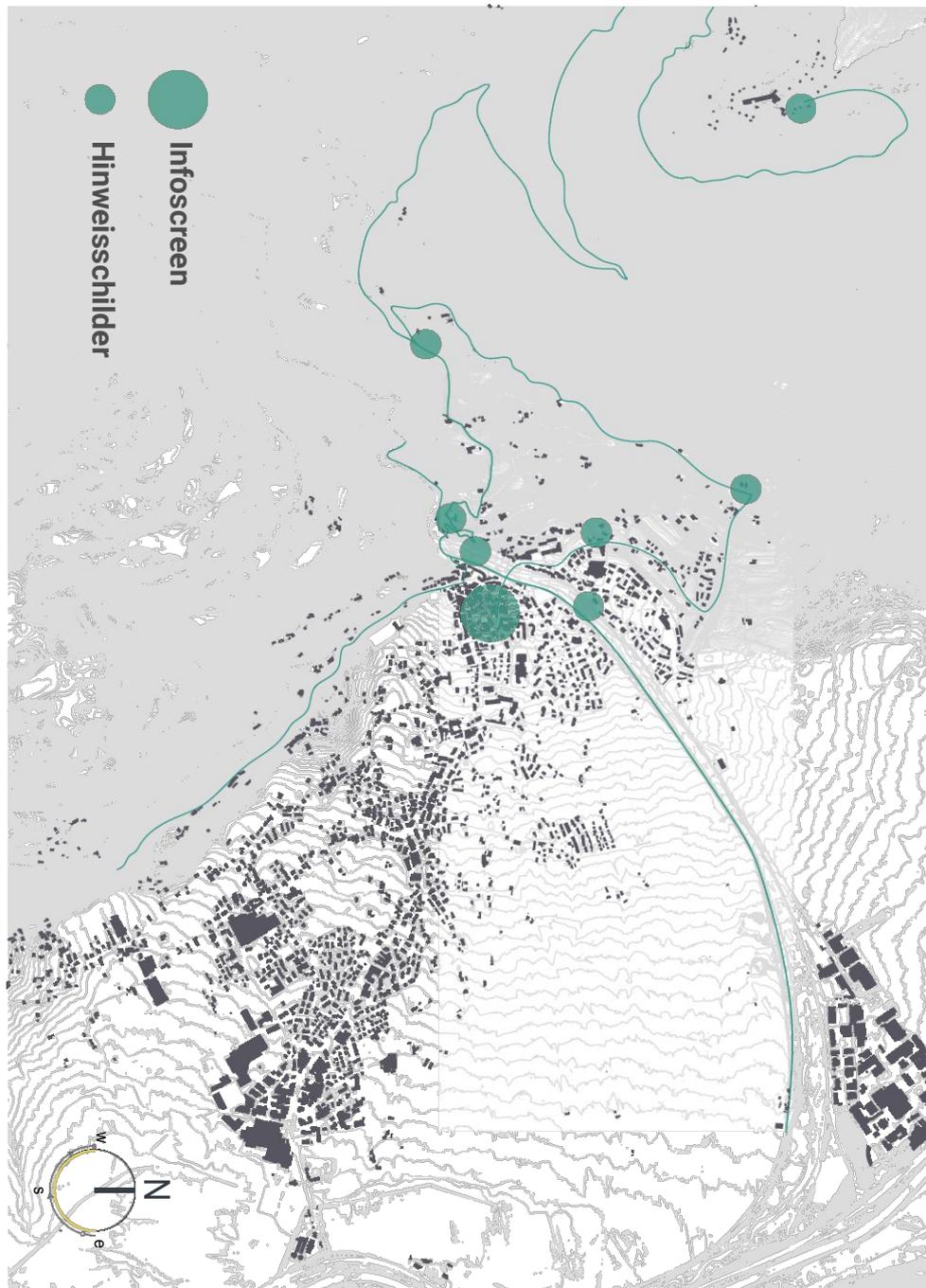


Abb.48: Platzierung des Infoscreens und der Wegweiser

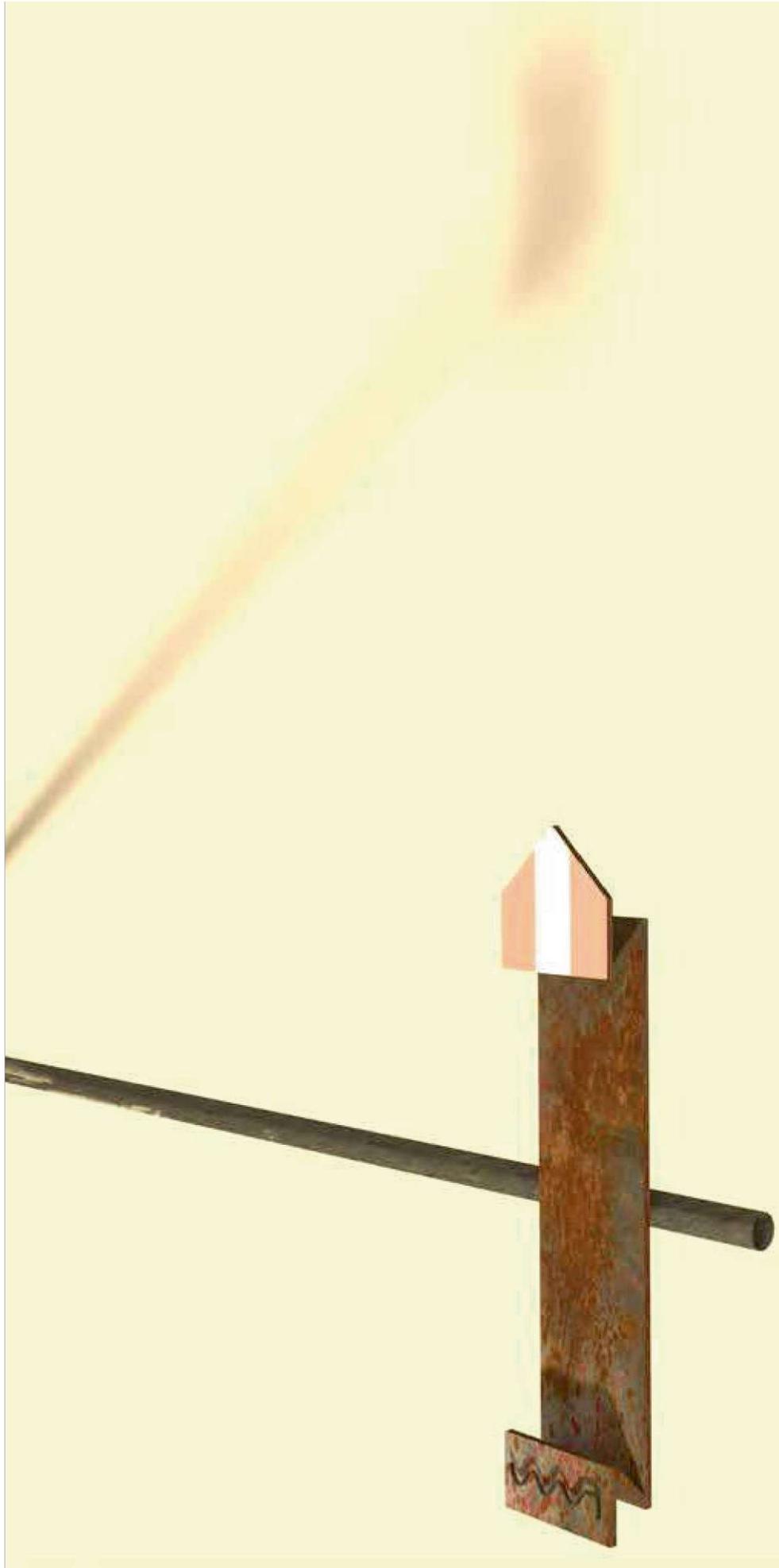


Abb.49: Visualisierung Wegweiser aus der Nähe



Abb.50: Visualisierung Wegweiser



Abb.51: Visualisierung Infoscreen

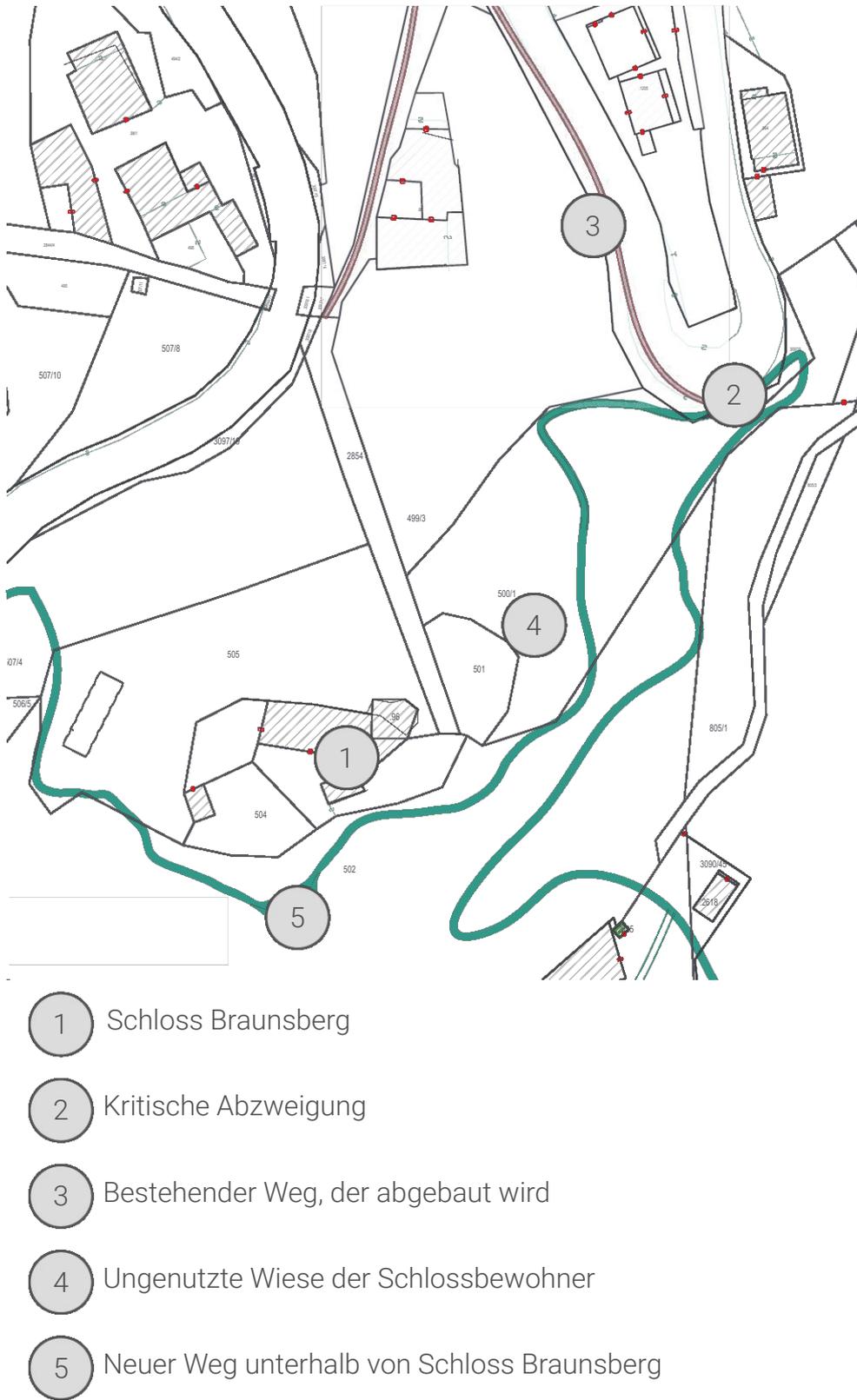
### 6.5.3 Verbesserung des Weges

Nachdem man den Weg von der Gaulschlucht in Richtung Braunsberg hochgewandert ist, lässt der bestehende Weg die Wanderer ein wenig verunsichert, an einer Straße stehen. (Abbildung 52). Das Ziel ist bereits in Sicht, aber der Weg führt die Wanderer entlang der Straße weiter weg vom Schloss. Laut Graf Strachwitz laufen aus diesem Grund viele Wanderer dann quer durch die Wiese, die zum Schloss führt. Sehr zum Ärgernis der Besitzer der Wiese. Die Wanderer gehen auch ungehindert auf das Privatgelände des Schlosses. Um den Besucherstrom besser zu lenken, soll der Weg umgelenkt werden und eine Aussichtsplattform soll als Ziel angelegt werden. (Abbildung 53) Dadurch sollen alle Beteiligten Vorteile erhalten. Die Wanderer kommen näher an das Schloss, ohne die Privatsphäre der Bewohner zu stören.



**Abb. 52:** Sicht auf Schloss Braunsberg am Ende des bestehenden Weges

Die Umleitung soll wie in Abbildung 52 abgebildet erfolgen. Der neue Teil des Weges soll durch den ungenutzten Teil der Wiese des Bauherren gehen, aber dann rasch an die Klippe unter das Schloss führen. Da der Weg weiter unterhalb des Schlosses verläuft, wird die Familie nicht von den Wanderern gestört. Dargestellt in der Abbildung 54.



**Abb.53:** Erneuerung des Weges

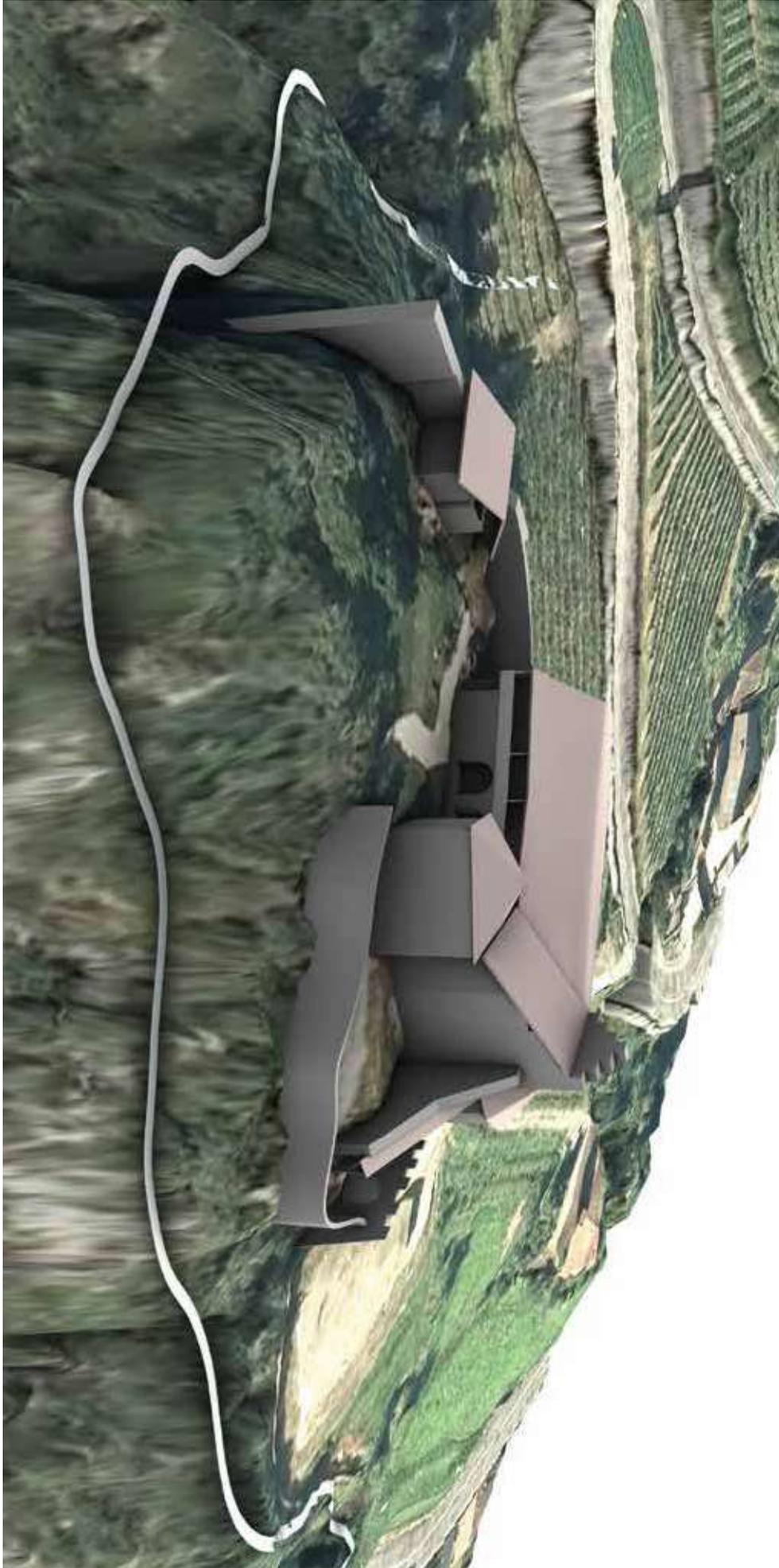
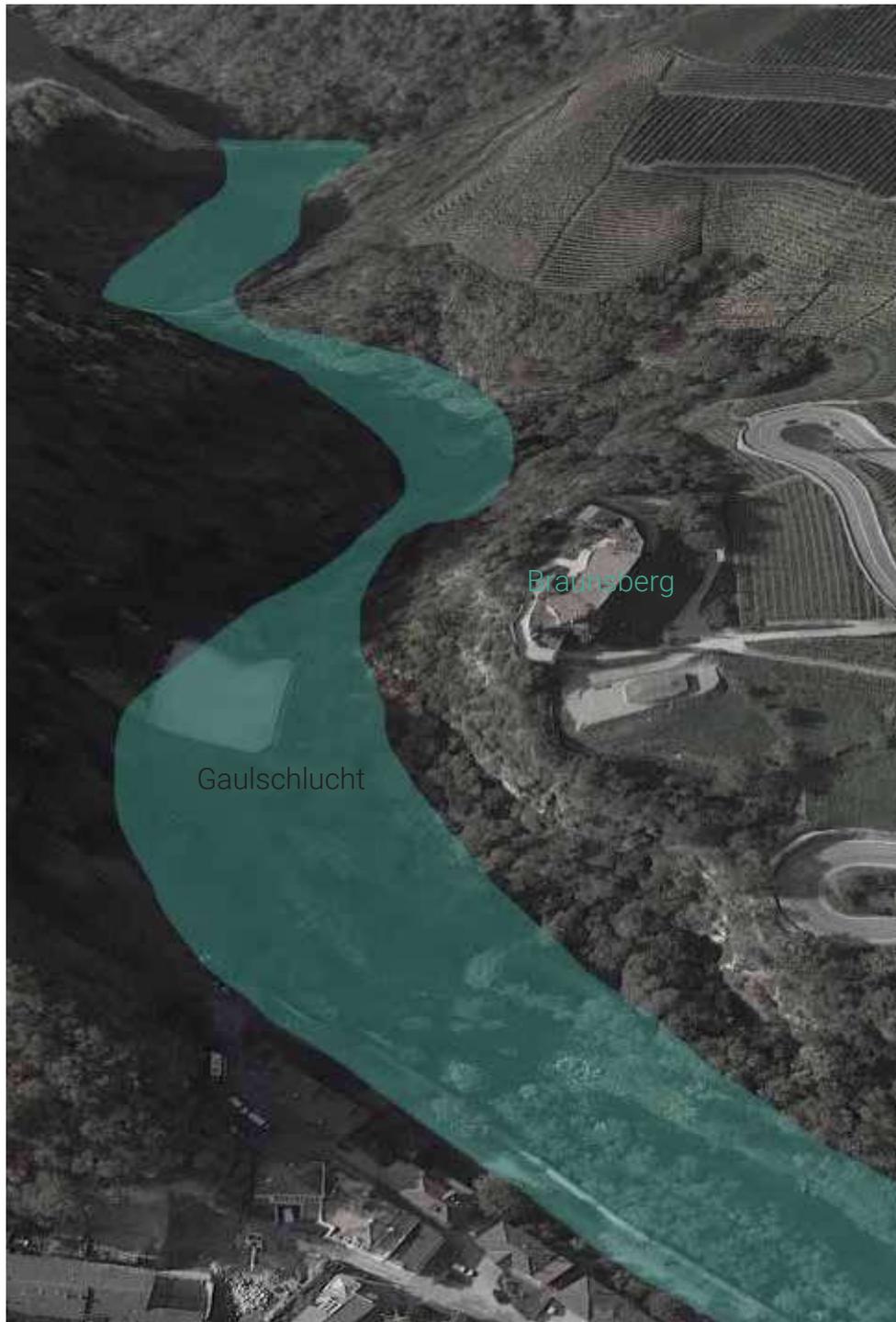


Abb.54: Lage des Weges unterhalb des Schlosses

## 6.5.4 Die Gaulschlucht



**Abb.55:** Die Gaulschlucht

Die Abbildung 55 zeigt die unmittelbare Nähe von Schloss Braunsberg zur Gaulschlucht. Die Burg direkt an der Klippe zu bauen war aus strategischen Gründen optimal. Das Schloss hat eine lange Geschichte, die mit der Gaulschlucht verbunden ist. Der bestehende Weg führt vom Eislaufplatz, der in der Gaulschlucht liegt, hoch zum Schloss. Ein weiterer Weg führt tiefer in die Gaulschlucht.

### 6.5.5 Materialkonzept

Der kurz erwähnte Weg in die Gaulschlucht führt bis zur Abzweigung des Themenweges. Damit sich der Themenweg gut in den Bestand einfügt, sollte er in die bestehende Wegstruktur integriert werden. Um dies zu schaffen wurde an die Optik sowie der Konstruktionsweise des Gaulweges angeschlossen. (Abbildung 56) Diese beruht hauptsächlich auf Cortenstahl. Konstruktiv wurde auf Betonanker gesetzt.

Wie auf der Abbildung 57 zu erkennen ist, wird der Bodenbelag, in diesem Fall Holzbohlen, von zwei Stahlträgern getragen. An den Stellen, wo der Weg in der Luft hängt, wird entweder mit Hängeseilbrücken oder mit Auskragungen gearbeitet. Bei den Auskragungen wurde ein Gewindeanker in den Fels getrieben. Der nach außen stehende Teil wurde einbetoniert, um einen ebenen Anschluss zu erreichen. Darauf wurde eine Kopfplatte befestigt, um einen Stahlträger daran zu schweißen. Dieser wiederum trägt die zwei oberen Stahlträger.

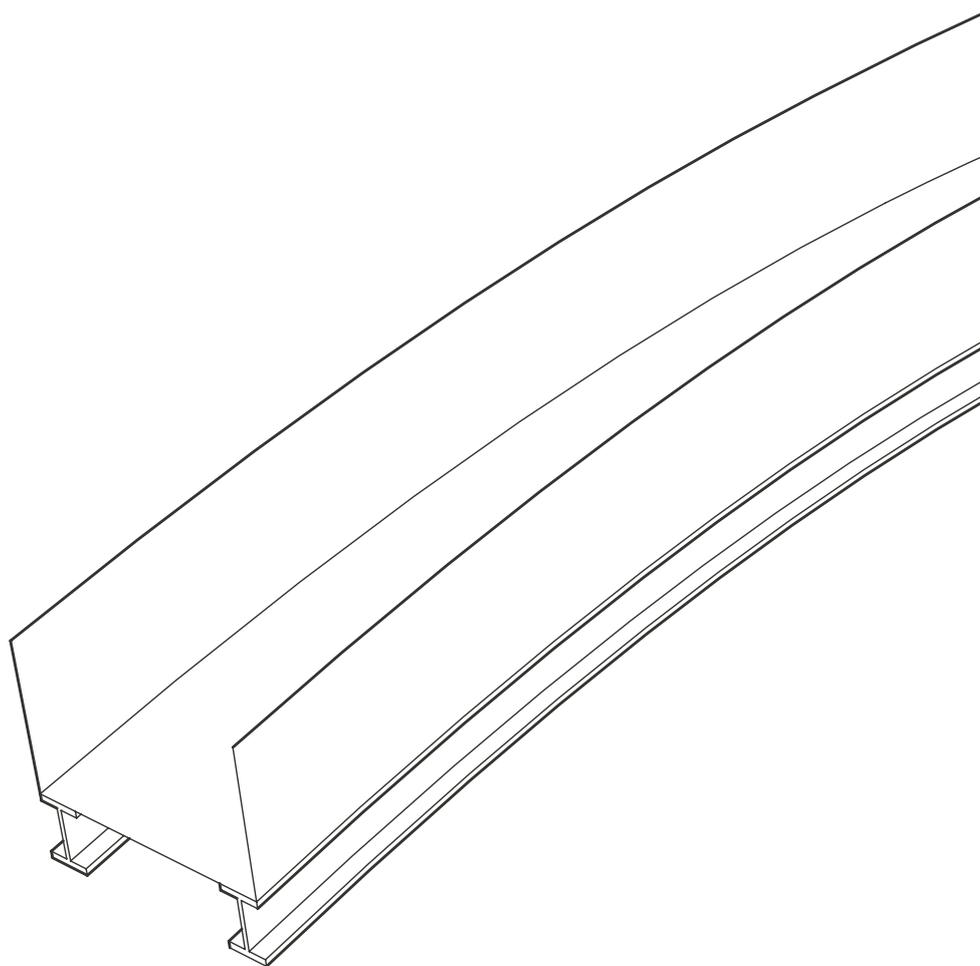
Die Geländer sind dünne, zufällig angeordnete Stahlstäbe, die sich durch ihre Unordnung gut in die Natur einpassen. Den oberen Abschluss des Geländers bildet ein rechteckiger, 4 cm x 4 cm, Handlauf.



Abb.56: Ausschnitte aus dem Weg in die Gaulschlucht

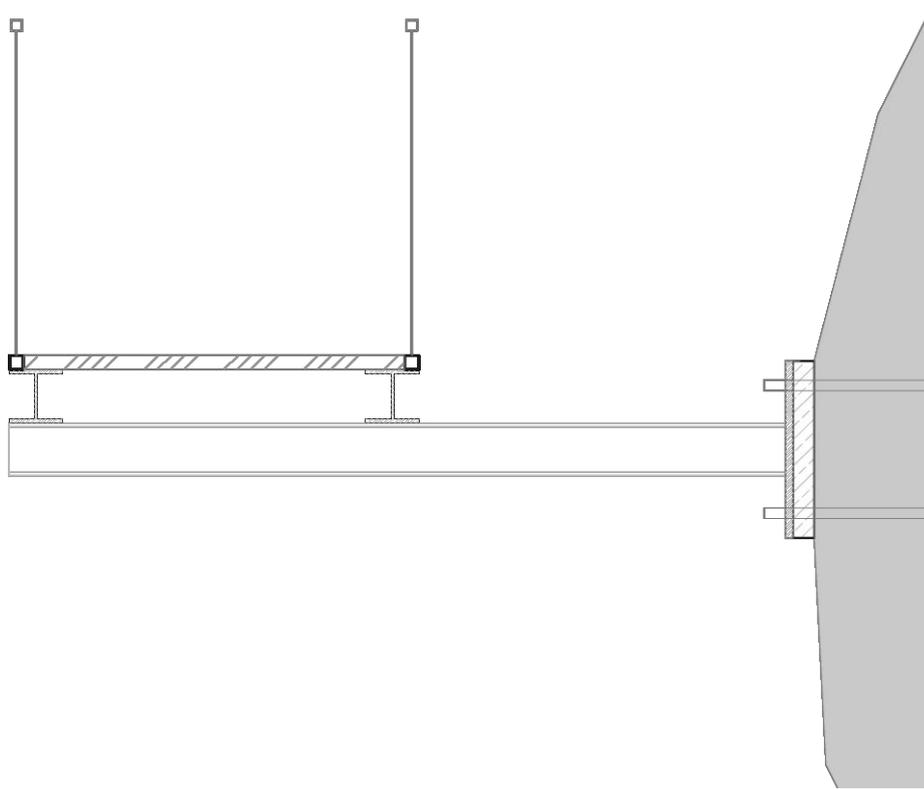
## 6.5.6 Konstruktion des Weges

Analog zur Konstruktion des Weges in die Gaulschlucht wird auch der neue Weg unter dem Schloss ausgeführt. In Abbildung 57 sieht man die Grundkonstruktion, dabei werden entlang des Weges zwei Stahlträger mit Holzbohlen belegt. An den Stahlträgern wird das Geländer befestigt.



**Abb.57:** Konstruktion des Weges

Der schematische Schnitt in der Abbildung 58 zeigt den Aufbau des Weges an der Klippe unterhalb von Braunsberg. Auch hier wurde eine einfache Konstruktion gewählt. Die beiden Stahlträger, welche die Holzbohlen halten, werden von einem weiteren Stahlträger gehalten. Dieser ist mit Gewindeankern in der Felswand verankert. Der detaillierte Aufbau kann der Abbildung 60 entnommen werden.



**Abb. 58:** Schematischer Schnitt des Weges

Bei der Konstruktion des Weges wurde auf Einfachheit und Sicherheit geachtet. Die Konstruktion wurde vom bereits beschriebenen Gaulweg übernommen. Auch bei der Optik wurde nicht stark vom bestehenden Weg abgewichen. Die Abbildung 59 zeigt die Optik des Weges wenn man von unten kommt.

Aus der Konsequenz, dass der Weg zum Teil mehrere hundert Meter über dem Abgrund entlangführt, wurde unter den Holzbohlen eine weitere Stahlplatte eingeführt. Auf dieser befinden sich die Holzbohlen lediglich aus optischen Gründen. Die Stahlplatte soll ein plötzliches Nachgeben einzelner Holzbohlen vorbeugen. Durch die Witterung grauen die Holzplatten aus, statisch bleiben sie jedoch durch die Stahlplatte intakt. Dadurch garantiert die Stahlplatte die Sicherheit der darüber laufenden Menschen. Das Gelände wurde leicht verändert um zu Verhindern das Gegenstände nach unten fallen können.



Abb.59: Untersicht auf den Wanderweg



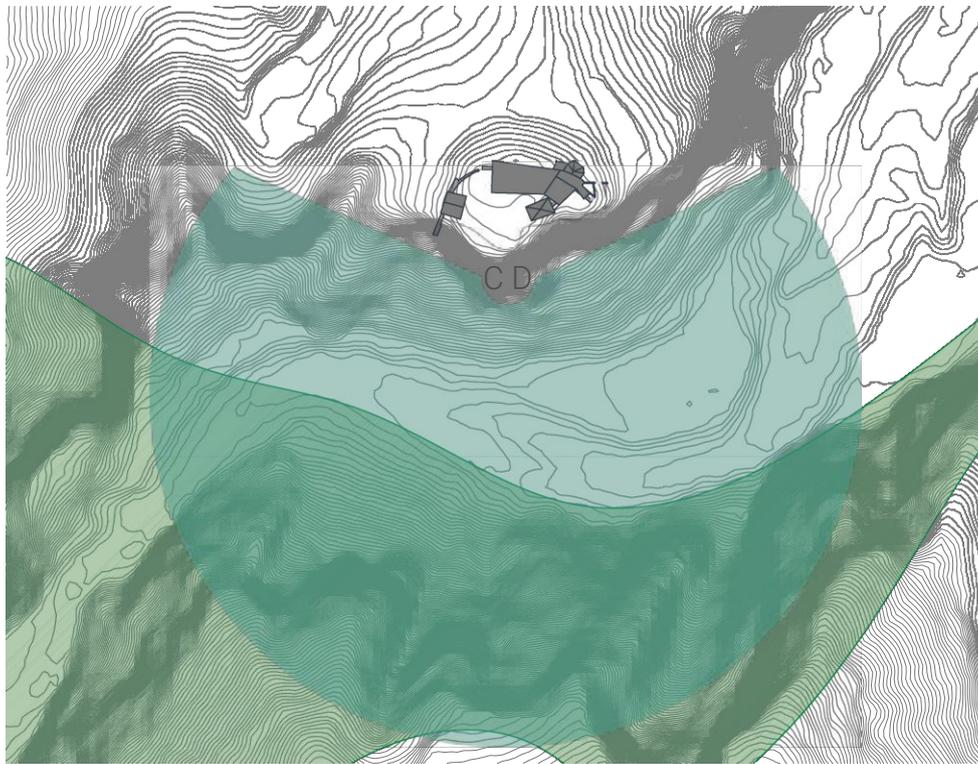


## 6.6 Plattform

### 6.6.1 Allgemein

Um den Wanderern ein Ziel zu geben, auf das sie zusteuern können, wird eine Plattform direkt unterhalb von Braunsberg errichtet. Diese wird durch den neuen Themenweg erschlossen und bietet eine ausgezeichnete Aussicht über das Naturschutzgebiet der Gaulschlucht. Durch die Auskrugung und der unmittelbaren Nähe zum Schloss gibt die Plattform zudem neue, noch unbekannte Einblicke auf das Schloss. Dabei wurde immer der Fokus auf die Privatsphäre der Schlossbewohner gelegt. Da der Weg unter dem Schloss vorbeiführt, sieht man nicht in den Hof des Schlosses. Aber durch die Höhe des Burgfrieds erhält man einen guten Ausblick darauf wie in Abbildung 62 zu sehen ist.

Da in einem zweiten Schritt das Schlossgelände als Hochzeitslocation dienen soll, kann die Plattform auch für Brautpaare genutzt werden, um einmalige Hochzeitsfotos auf der Plattform zu machen.



**Abb.61:** Blickfeld von der Plattform



**Abb.62:** Aussicht auf den Burgfried

## 6.6.2 Standort

Für den Standort der Plattform gab es verschiedene Möglichkeiten, wie auf der Abbildung 63 zu sehen ist.

Im ersten Moment wurden alle Punkte auf dem Themenweg, die sich in der Nähe des Schlosses befinden und an denen sich das Gelände nach außen beult, in Betracht gezogen. Durch die Ausbeulung des Geländes gewinnt man den benötigten Abstand zum Schloss, um es wieder in den Blickwinkel zu bekommen. Die Plattform verstärkt diesen Effekt weiter.

Im zweiten Schritt wurden die Punkte miteinander verglichen. Dabei waren zum einen, die Sicht auf das Schloss maßgebend, zum anderen aber auch die Aussicht auf die Gaulschlucht. Die Aussicht über das Etschtal wurde dabei nicht so stark in die Beurteilung aufgenommen, da man darauf bereits vom Themenweg aus einen sehr guten Ausblick bekommt.

Die Standorte C und D erwiesen sich am Ende als die ausgewogensten zwischen Schloss und Gaulschlucht. Da sich beide am äußersten Punkt des Geländes befinden, bieten sie ein enorm großes Blickfeld. Zu sehen auf der Abbildung 61.



Abb.63: Mögliche Standorte für die Plattform

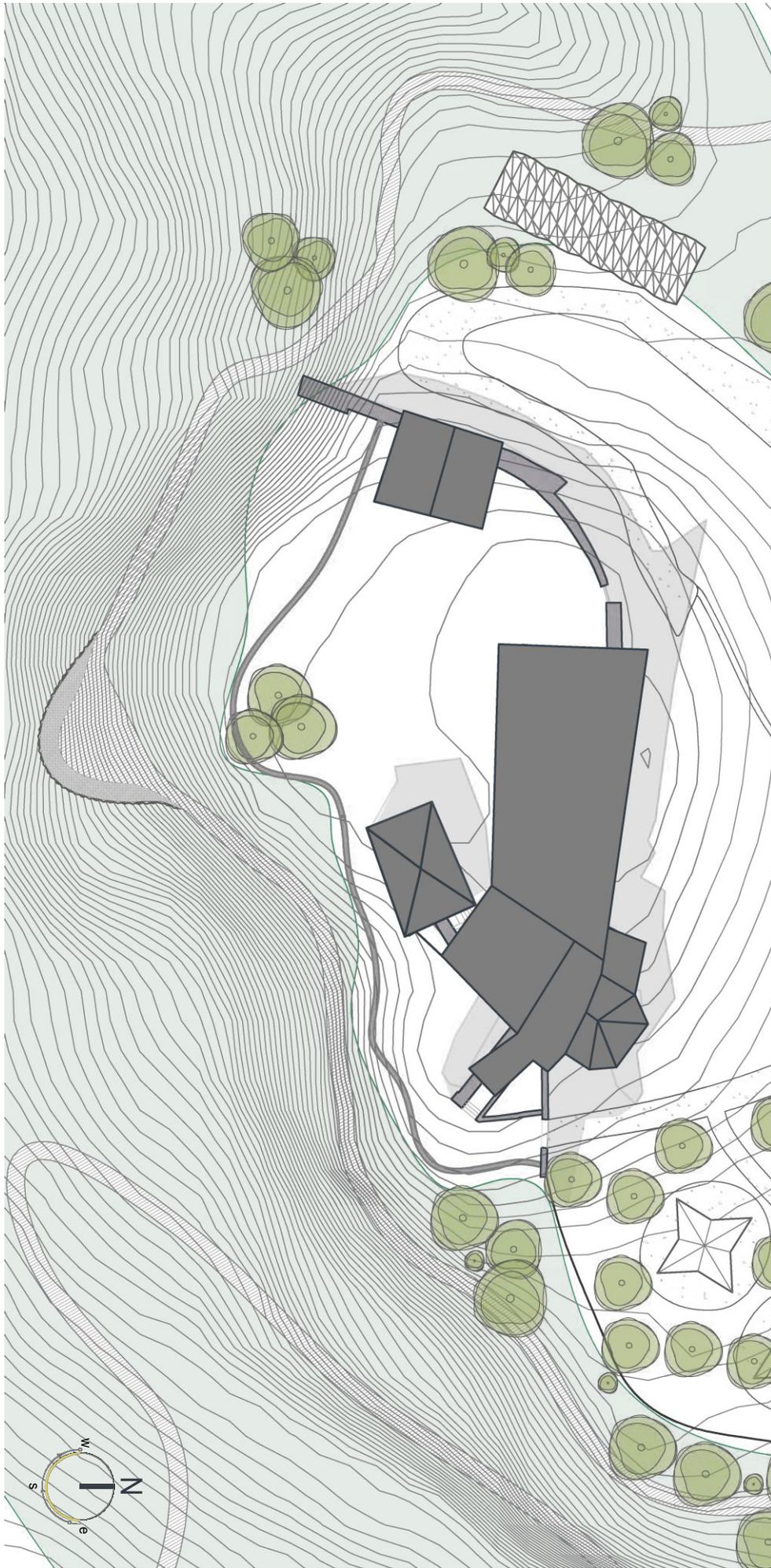
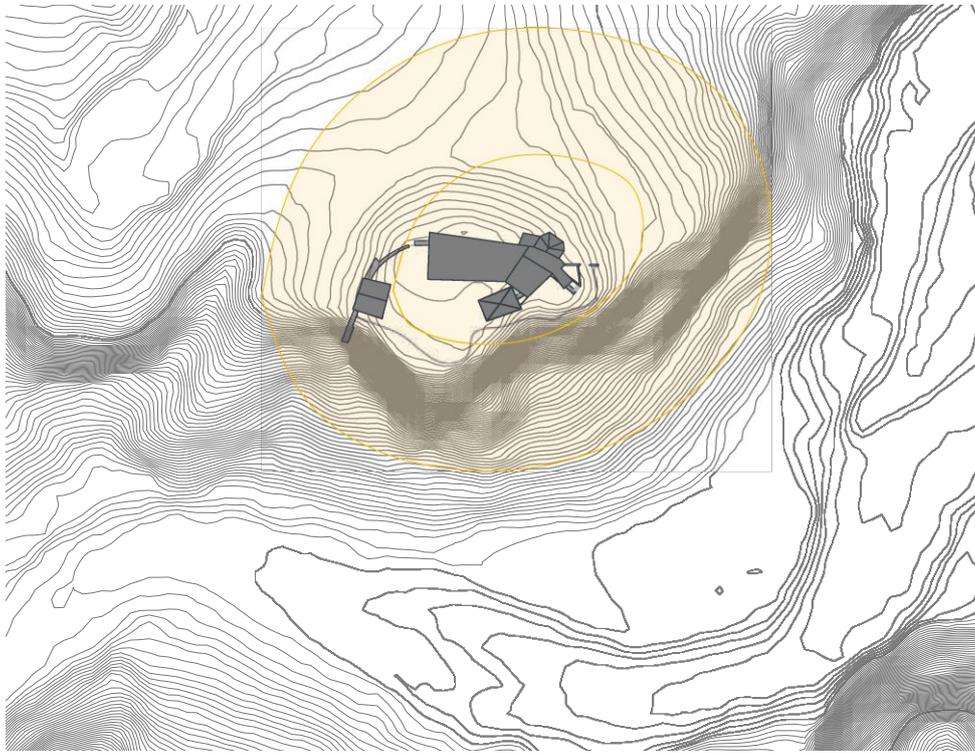


Abb.64: Lageplan



**Abb.65:** Denkmalgeschützter Bereich um Schloss Braunsberg

### 6.6.3 Denkmalschutz

Da die Plattform in einem denkmalgeschützten Bereich errichtet wird, wurde darauf geachtet, dass sich die Plattform optisch vom Bestand abhebt, aber gleichzeitig nicht stark auffällt. Vom Dorf aus sollte einem die Plattform nicht ins Auge stechen. Aus diesem Grund wurde ein Geländer aus Glas gewählt. Außerdem wird der Belag des äußeren Randes der Plattform in Streckmetall ausgeführt. Zu sehen im Grundriss auf Abbildung 66. Durch die Lichtdurchlässigkeit soll die Plattform den visuellen Charakter des Schlosses nicht beeinträchtigen.

Das Streckmetall soll auch an Steinschlagnetze erinnern. Dies soll auf die bewegte Geschichte von Schloss Braunsberg erinnern. So soll es an die Legende hindeuten, in der 1520 Teile der Burgmauer in die Gaulschlucht gefallen sind.

Auch eine zweite Geschichte handelt vom Fall in die Gaulschlucht, hierbei warf sich Isolde von Braunsberg in die Schlucht und überlebte wie durch ein Wunder.

Für die Mutigen unter den Besuchern gibt es außerdem den Nerven-

kitzel, sich auf das Streckmetall zu trauen und einen Blick in die Tiefe zu wagen.

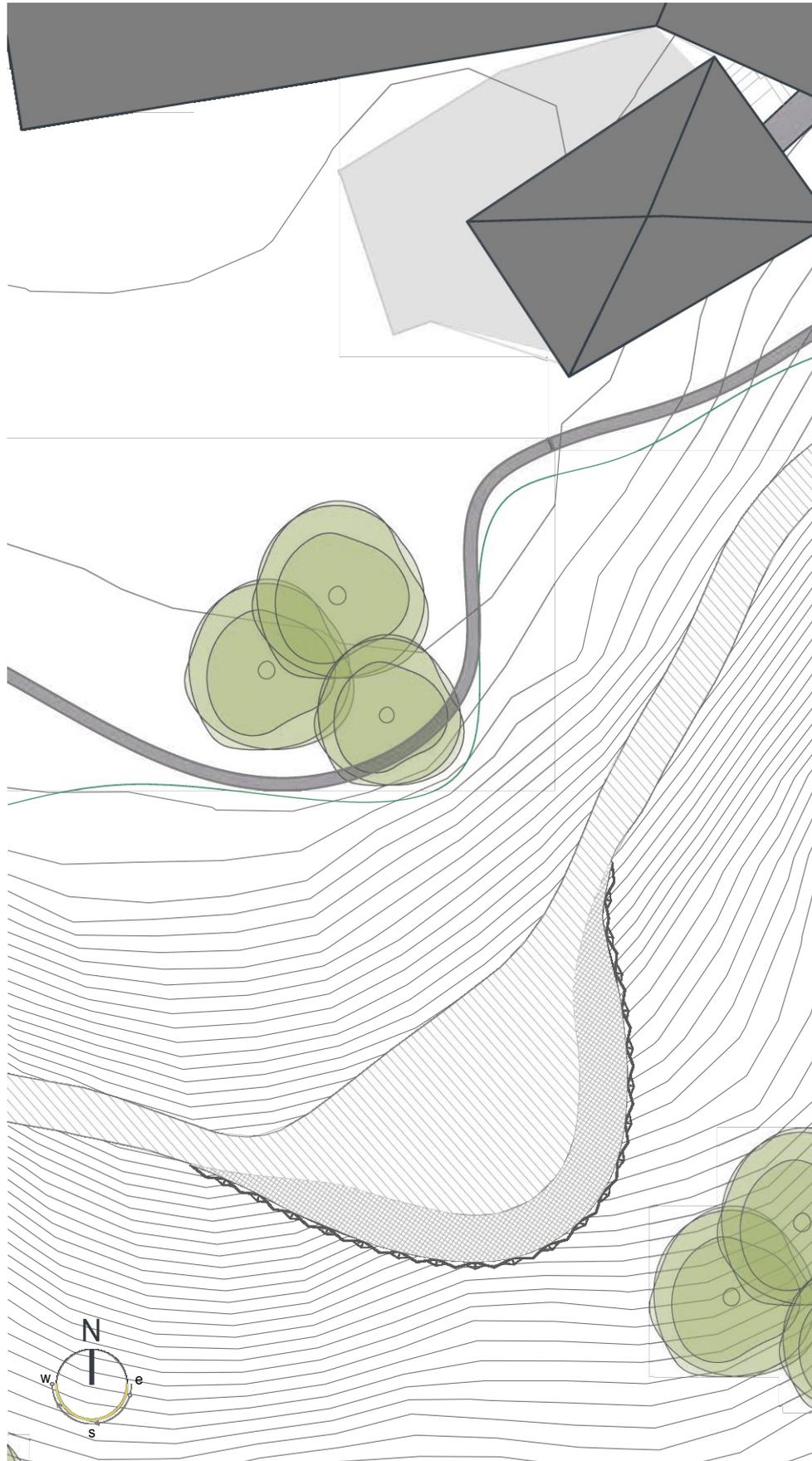
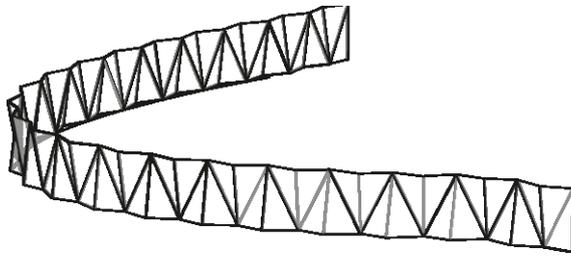
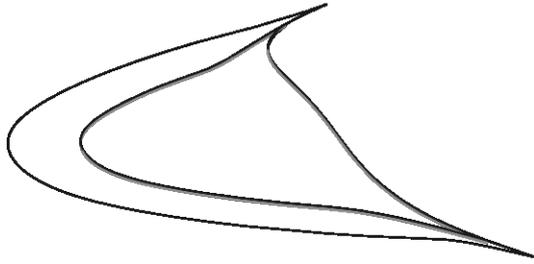


Abb.66: Grundriss

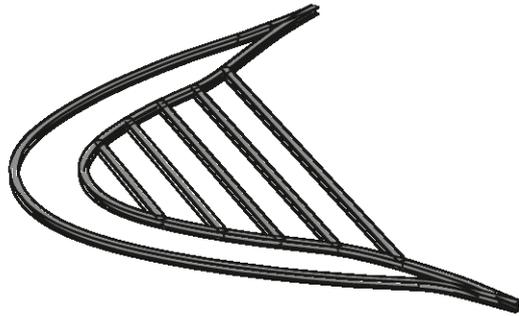




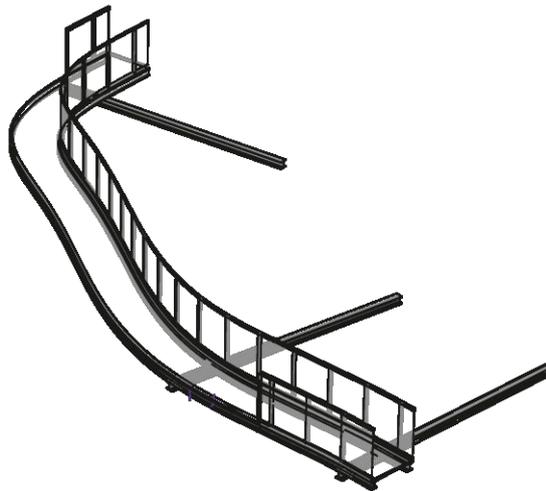
Absturzsicherung,  
"gefaltetes Glas"



Beplankung aus  
Lärchenholz  
Streckmetallblech,  
Maschenbreite 10mm



Unterkonstruktion,  
HEB 180



Tragwerk,  
HEB 300-800 Träger

Abb.68: Explosionsaxonometrie

### 6.6.5 Geländer

Um die Plattform in das Gesamtprojekt einzubinden, wurde ein Origamigeländer entwickelt. Trotz eine der einfachsten Faltungen entfaltet sich die besondere Optik von Origamifaltungen.

Befestigt werden die Glasscheiben durch Punkthalterungen. (Abbildung 69) Diese stellt gleichzeitig einen Handlauf dar und soll die Besucher davon abhalten, direkt an die Glasscheiben anzulehnen. Der Handlauf wird an das darunterliegende Tragwerk geschweißt. An die horizontalen Steher werden die Punkthalterungen angeschweißt. (Abbildung 70)

Die Punkthalterung z.B der Firma Schüco, bieten genug Spielraum beim Befestigungswinkel, um die Glaspanelle im gewünschten Winkel zu befestigen. Jede Glasscheibe wird durch drei Punkthalterungen gehalten.

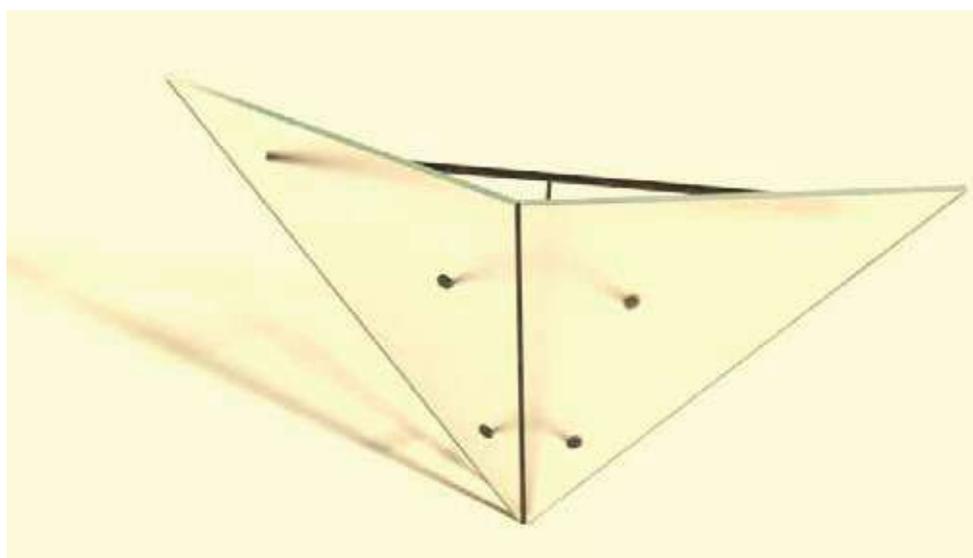


Abb.69: Visualisierung des Geländers



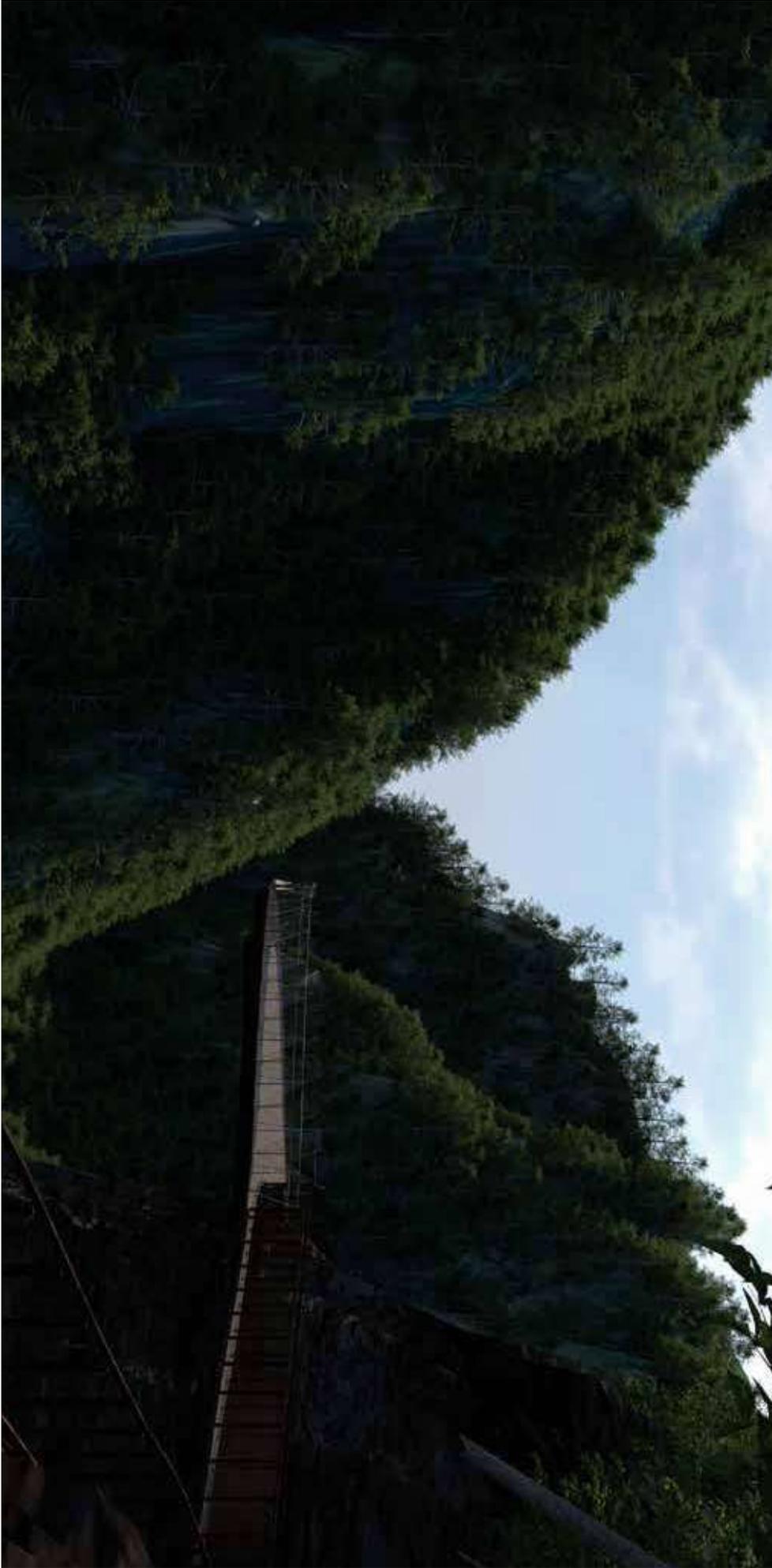
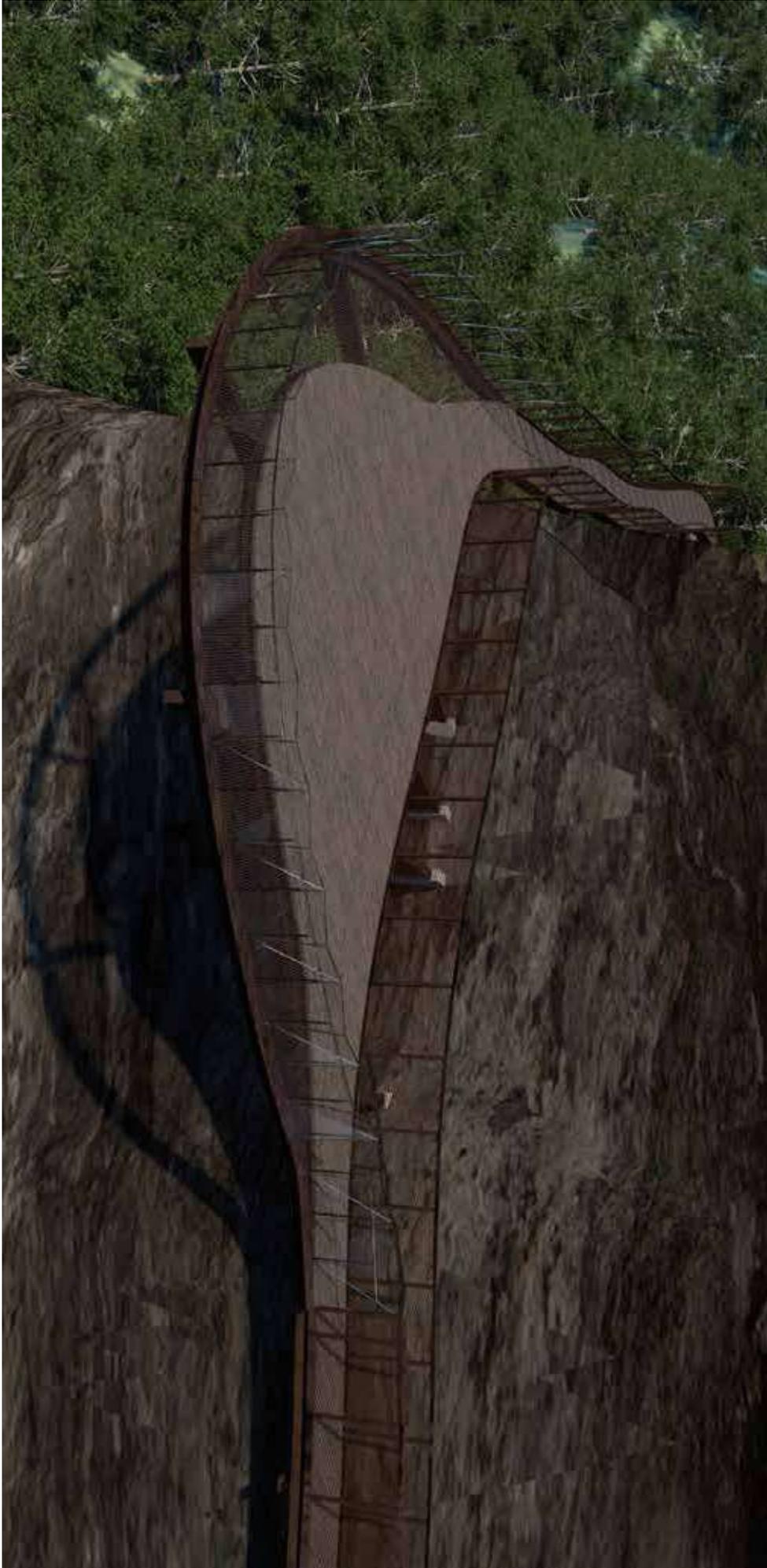


Abb.71: Visualisierung der Plattform vom Weg aus



**Abb.72:** Visualisierung der Plattform von oben



**Abb.73:** Visualisierung der Plattform von Lana aus



## 6.7 Hotelzimmer

### 6.7.1 Lage

Graf Strachwitz's Wunsch ist eine Übernachtungsmöglichkeit in der Nähe, oder im Schloss. Dabei gab es zwei mögliche Plätze die zur Auswahl standen. Direkt im Schlosshof gibt es einen Zubau, der früher wahrscheinlich eine Backstube oder Ähnliches gewesen ist, da sich darin ein Ofen befindet.

Der Vorteil dieses Bauplatzes ist, dass bereits eine alte Struktur besteht und dadurch das Feeling eines Schlossurlaubes stärker ausgeprägt ist.

Nachteil dieses Platzes ist, dass er im jetzigen Zustand nur über den Privathof des Schlosses zugänglich ist. Dies hat zur Folge, dass die Privatsphäre gestört wird, wenn die Hotelgäste durch den Hof spazieren würden. Alternativ müsste durch die Burgmauer von außen ein Zugang in das Gebäude gemacht werden. Beides Punkte die meines Erachtens nicht tragbar sind.

Der zweite Platz befindet sich in unmittelbarer Nähe, ist aber außerhalb der Burgmauer auf einer Lichtung direkt an der Klippe zur Gaulschlucht. Durch die Lage bietet dieser Bauplatz einen guten Ausblick. Der Bauplatz ist schonender zur Bestandsstruktur, da in das Schloss nicht eingegriffen werden würde und sich das Hotelzimmer zwischen Bäumen versteckt. Der Nachteil ist, dass es einen Neubau braucht und das Schlossfeeling nicht so ausgeprägt ist. Aber nach einiger Überlegung bin ich zum Entschluss gekommen, den zweiten Bauplatz zu nehmen und die Struktur des Schlosses im Hinblick auf die Denkmalpflege nicht zu berühren. Zudem bietet ein Neubau die Möglichkeit, eine klare

Grenze zum Bestand zu ziehen und sich dadurch klar vom Bestand abzugrenzen. Das Verstecken zwischen den Bäumen erlaubt außerdem eine Art des Baumhauses. Dabei ist das Haus nicht direkt auf dem Baum, aber durch Stützen vom Untergrund abgehoben und befindet sich dadurch in der Mitte von Baumkronen. Im darauffolgenden Lageplan sieht man die gewählte Position westlich des Schlosses. (Abbildung 74)

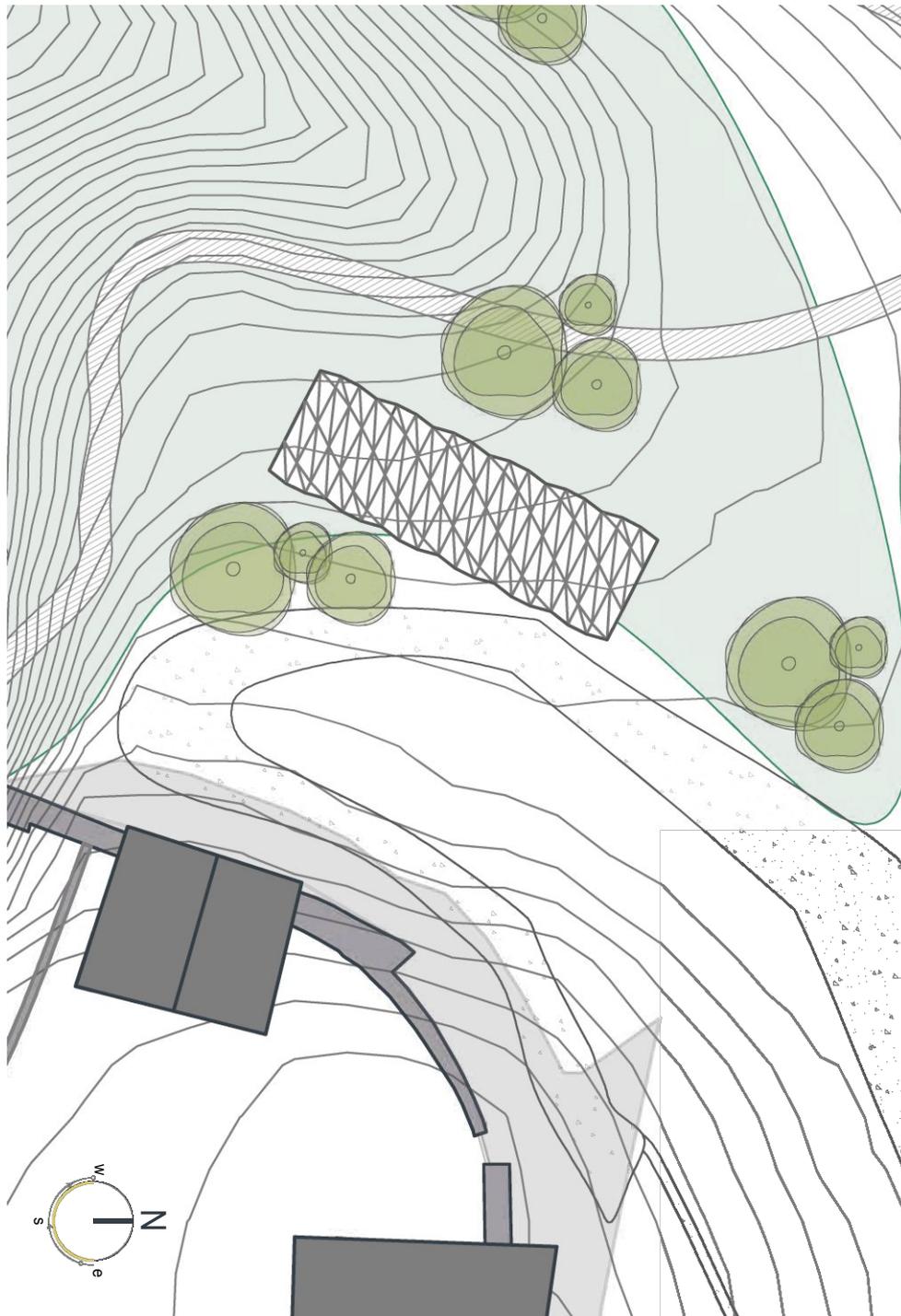


Abb.74: Lageplan

## 6.7.2 Materialität

Aus der Recherche hat sich ergeben, dass sich kreuzverleimte Holzpaneele ausgezeichnet für gefaltete Bauwerke eignen. Eine Kette bricht am schwächsten Glied. Ein System nicht, es behält seine Tragfähigkeit auch wenn das schwächste Glied gebrochen ist. Holzzeugnisse wie kreuzverleimte Platten, bei denen mehrere Schichten übereinander geleimt werden, folgen diesem System. Zudem homogenisiert die Verleimung den Baustoff Holz, was bei immer wieder wechselnder Richtung der Holzplatten, ein entscheidender Vorteil ist. Holzpaneele sind zudem in allen beliebigen Größen erhältlich.

Holz lässt sich leicht bearbeiten, was ebenfalls ein entscheidender Faktor bei der Materialwahl war. Da die Paneele in unterschiedlichen Winkeln aufeinander stoßen, muss eine individuelle Anpassung der Paneele möglich sein. Durch eine CNC Fräse ist dies bei Holz leichter und kostengünstiger zu bewerkstelligen als bei Metall oder Betonplatten. Im Gegensatz zu Metall und Beton ist Holz auch ein ökologischer Baustoff. Er kann vollständig recycelt werden und bindet CO<sub>2</sub>. Zudem ist das Eigengewicht von Holz geringer als bei Beton und Metall.

Ein weiterer Punkt bei der Materialwahl war die wohnliche Atmosphäre von Holz im Innenbereich. Die wird schon seit Jahrhunderten genutzt, wie zum Beispiel bei der bäuerlichen „Stube“. Die Stube ist ein Wohnzimmer mit Holzverkleidung. Da im Hotel hauptsächlich Touristen aus dem Ausland beherbergt werden, fand ich auch das Anlehnen an die alte Tradition, einen wichtigen Punkt bei der Materialwahl. Die Abbildung 75 zeigt eine traditionelle Stube während die Abbildung 76 eine Innenansicht des Hotels zeigt.



Abb.75: „Traditionelle Südtiroler Stube“



Abb.76: Innenverkleidung des Hotels

### 6.7.3 Grundriss

Aus der Referenzrecherche haben sich typische Hotelgrundrisse ergeben. Dabei wird von einer Schottenbauweise und einer Gangerschließung ausgegangen. Die Schottenbauweise hat zur Folge, dass die Seitenwände keine Fenster haben und die Zimmer nur von der Front belichtet werden. Viele klassische Hotelzimmer haben direkt nach dem Eingangsbereich eine Nasszelle und dahinter öffnet sich das Zimmer. Hinter der Nasszelle befindet sich das Bett und meist eine Teeküche sowie ein Balkon.

Bei den meisten luxuriöseren Hotelzimmern gibt es auch eine Möglichkeit im Freien zu baden, sowie eine Sauna oder Ähnliches. Auch der Raum ist großzügiger gestaltet.

Durch die gefaltete und dadurch geschlossene Außenhaut ergibt sich bei diesem Entwurf eine ähnliche Situation wie bei der Schottenbauweise. Das Zimmer kann nur von der Front belichtet werden. Aus diesem Grund wurde versucht, einen Grundriss zu gestalten, der soviel Licht wie möglich durch den Raum lässt. Die Innenseite des Zimmers soll aus Holz bestehen und die Faltung, die sich auf der Außenhaut befindet, sollte sich auch an der Innenseite widerspiegeln. Der Anschluss der Innenmauern hin zur Außenmauer gestaltete sich optisch aber als schwierig. Die geraden Innenwände passten nicht zur geknickten Außenwand. Aus diesen beiden Gründen wurden die Anschlüsse zur Außenwand in Glas ausgeführt, dadurch kann viel Licht durch den Raum strömen und das Glas stört das Erscheinungsbild des Innenraumes nicht. Die ist im Grundriss (Abbildung 77) dargestellt.

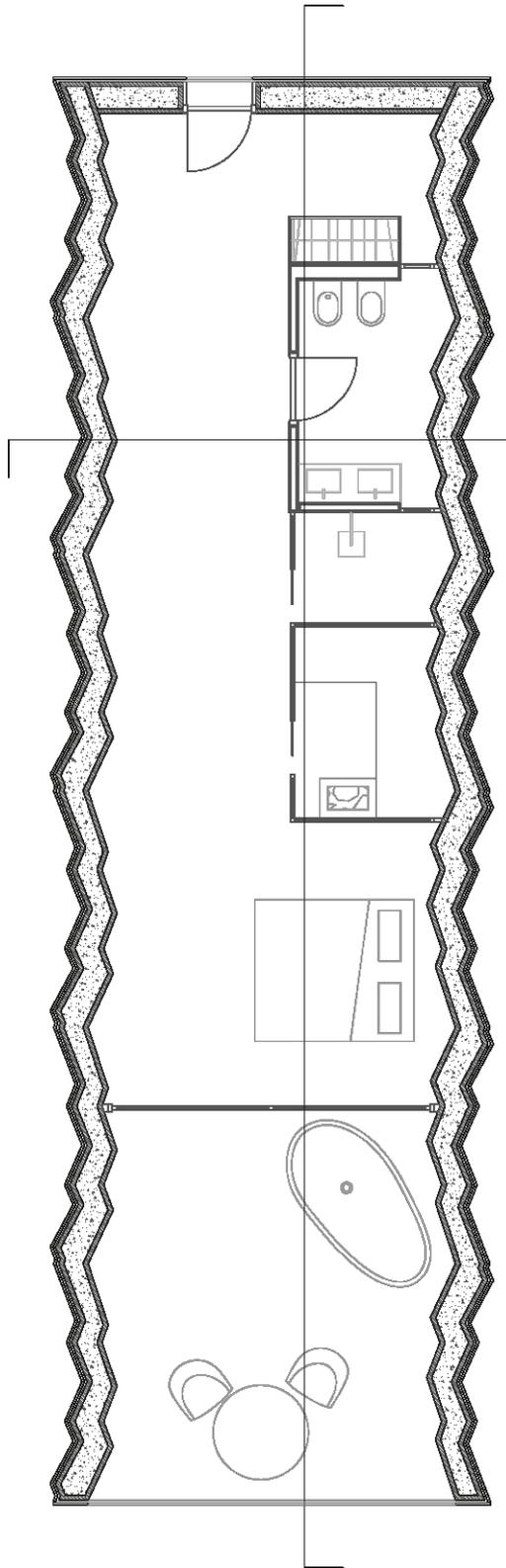


Abb.77: Grundriss

## 6.7.4 Entwurf

Im Laufe dieser Arbeit hat es sich als hilfreich herausgestellt, das Arbeiten mit Faltungen in vier aufeinanderfolgende Schritte zu unterteilen:

- Wahl der Faltung
- Auflösen der Faltung
- 3D Modellierung
- Optimierung der Faltung

### 6.7.4.1 Wahl der Faltung

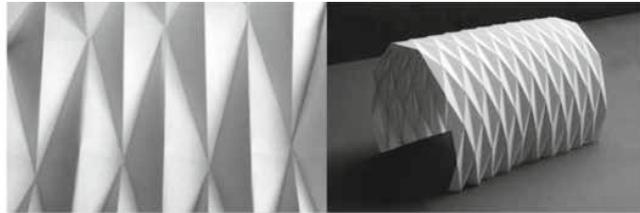
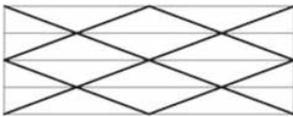
Hier eine kurze Wiederholung zum Kapitel „Faltungen eingrenzen“. Im ersten Schritt muss eine geeignete Faltung gefunden werden, dabei können Bücher wie „Von der Fläche zur Form“ [vgl. Jackson, 2011] von Paul Jackson helfen. Diese bieten eine große Vielzahl von verschiedenen Faltungen, die bereits geprüft wurden. Auch die Arbeiten von Hani Buri [vgl. Buri, 2010] und Franz Zeier [vgl. Zeier, 2013] geben einen Einblick in die verschiedenen Möglichkeiten. Dabei ist aber darauf zu achten, was für das gesetzte Ziel eine geeignete Faltung darstellt.

Das wichtigste um ein Gespür für das Verhalten der Faltungen zu erlangen ist aber das Falten selbst. Dabei können in kürzester Zeit viele Varianten angefertigt werden und man erhält eine Idee, wie sich verschiedene Faltmuster auf das Endresultat auswirken. Dieser Schritt ist wichtig und sollte nicht unterschätzt werden. Durch die richtige Wahl der Faltung vereinfachen sich die weiteren Schritte. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die Faltung die richtige Komplexität aufweist, damit sie der gewünschten Optik, aber vor allem auch der Realisierbarkeit gerecht wird.

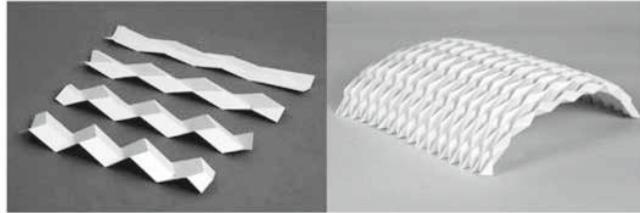
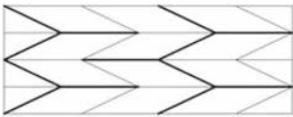


Abb.78: Josef Albers und Studenten

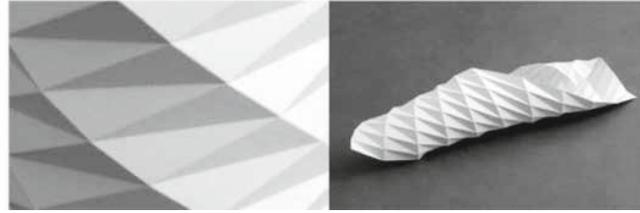
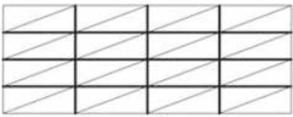
*Diamond pattern*



*Herringbone pattern*



*Diagonal pattern*



— mountain folds  
— valley folds

Abb.79: Drei vielversprechende Faltungen aus den Arbeiten von Hani Buri



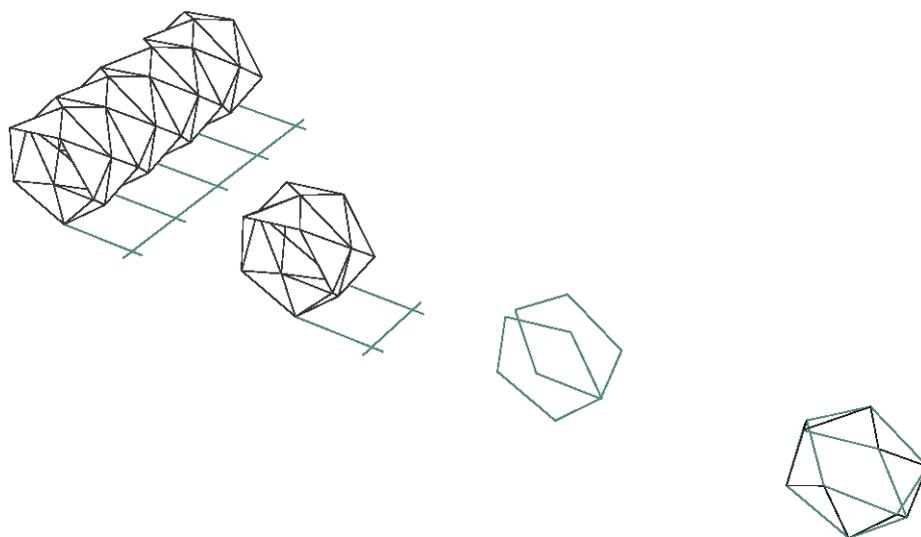
Abb.80: Variationen von Faltungen mit dem „Diagonal Pattern“

### 6.7.4.2 Auflösen der Faltung

Den zweiten Schritt stellt das Auflösen der Faltung dar. Dieser Schritt ist wichtig, um ein virtuelles Model erstellen zu können. Dabei ist ein genaues Analysieren der Faltung nötig.

Es gilt die Hauptlinien der Faltung zu finden. Bei den meisten Faltungen beschreiben zwei Linien die Faltung. [vgl. Buri, 2010, S. 239] Diese gilt es zu finden.

Eine sich wiederholende Faltung weist oft gleiche Teile auf. Das kann eine starke Vereinfachung der Faltung zur Folge haben. Nicht nur in der Hinsicht auf die folgenden Schritte, sondern auch aus statischer Sicht. Im folgenden Beispiel gibt es einen Ring oder Abschnitt, der sich immer wiederholt. Aus statischer Sicht ein optimaler Fall, da nur die Statik für einen Ring berechnet werden muss. Auch die Produktion kann dadurch stark vereinfacht werden.



**Abb.81:** Auflösen der Faltung

### 6.7.4.3 3D Modellierung

Ein entscheidender Punkt in der Planung mit Falterwerken sind 3D Modelle. Da die Formen durch 2D Zeichnungen nicht leicht vorstellbar sind und bei Modellen aus Papier der Maßstab und die Materialstärke fehlen. Ein Modellieren ohne Hauptlinien ist möglich, hat sich meiner Erfahrung nach aber als schwierig herausgestellt. Das größte Problem dabei ist, dass das Modellieren ohne Hauptlinien sehr zeitintensiv ist.

Durch die Hauptlinien lassen sich einfach 3D Modelle erstellen. Dabei müssen die Hauptlinien nur richtig verbunden werden, oder eine entlang einer anderen extrudiert werden. Unterschiedliche Faltungen ergeben unterschiedliche Hauptlinien und unterschiedliche Anwendungen, auch diese sind nötig, um zum Ziel zu gelangen.

Sobald man am Punkt angelangt ist, an dem man die Faltung verstanden und in die Hauptlinien zerlegt hat, kann man damit beginnen, Variationen der gewünschten Faltung anzufertigen. Hier kann sehr schnell herausgefunden werden, ob die Faltung essenzielle Punkte erfüllt. Kann sie einen Raum erschaffen, der den Bedürfnissen entspricht? Wie groß wird das Bauwerk? Etc. Durch die schnelle Modellierung können so sehr viele Variationen gefertigt werden, bis man die geeignete Variante findet.

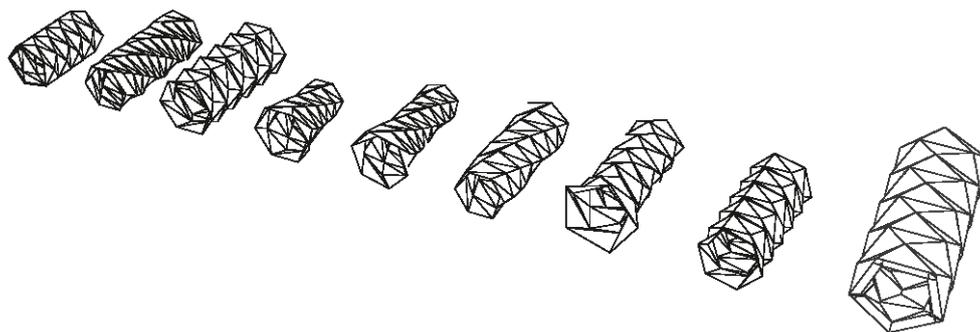


Abb.82: Digitale Variationen der Faltung

#### 6.7.4.4 Faltung optimieren

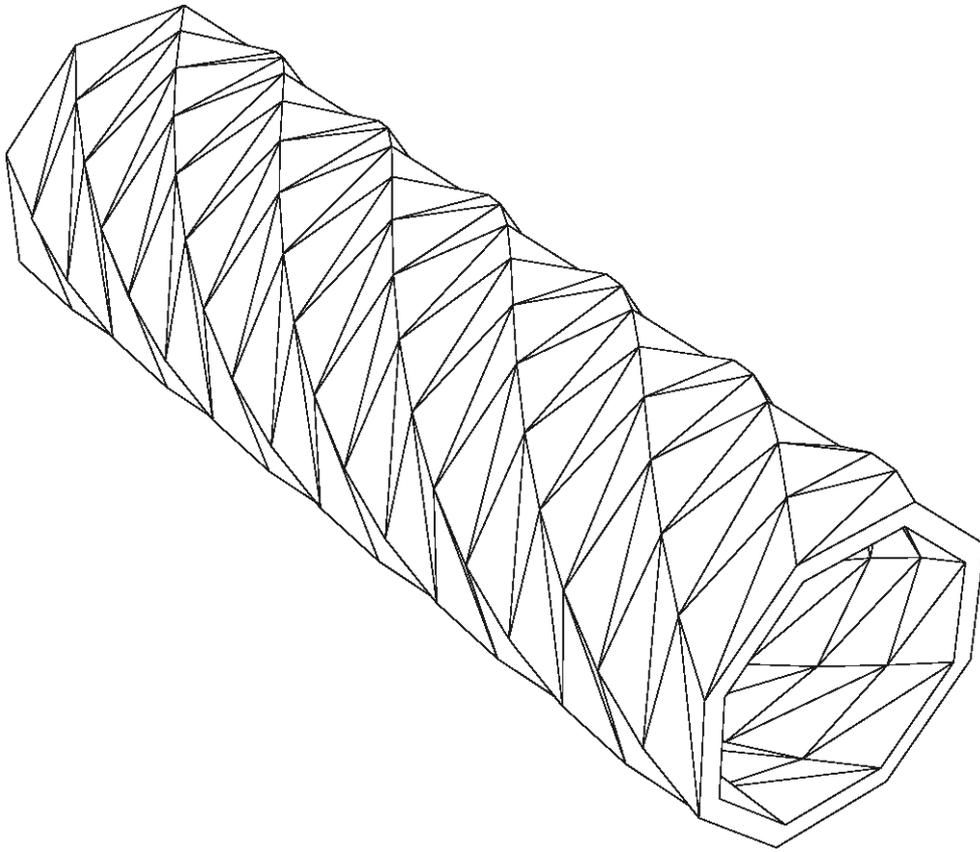
Nachdem man mehrere Variationen angefertigt hat und sich für eine davon entschieden hat, kommt man zum letzten Schritt. Dabei kann die gewählte Faltung genau untersucht und auf verschiedene Aspekte optimiert werden.

Dieser Punkt ist sehr individuell. Er ist abhängig von vielen Aspekten, Zum Beispiel der gewählten Faltung, der Nutzung des Endprodukts, dem Material, in welchem das Endprodukt hergestellt wird, die Größe des Produktes und vieles mehr. Deshalb werde ich in diesem Schritt nur die Punkte beschreiben, die für mich relevant waren.

Die für ausschlaggebende Punkte waren:

- Allgemeine Größe der Dreiecke
- Alle Dreiecke müssen gleich groß sein
- Der Innenraum darf nicht zu klein und die Umrisse nicht zu groß werden.
- Abschnitte sollten sich wiederholen.

Eine sehr spannende Erkenntnis dabei war, dass die Dreiecke nur gleich groß werden können, wenn sie von einem Polygon mit gerader Seitenanzahl generiert werden.



**Abb.83:** Optimierte Faltung

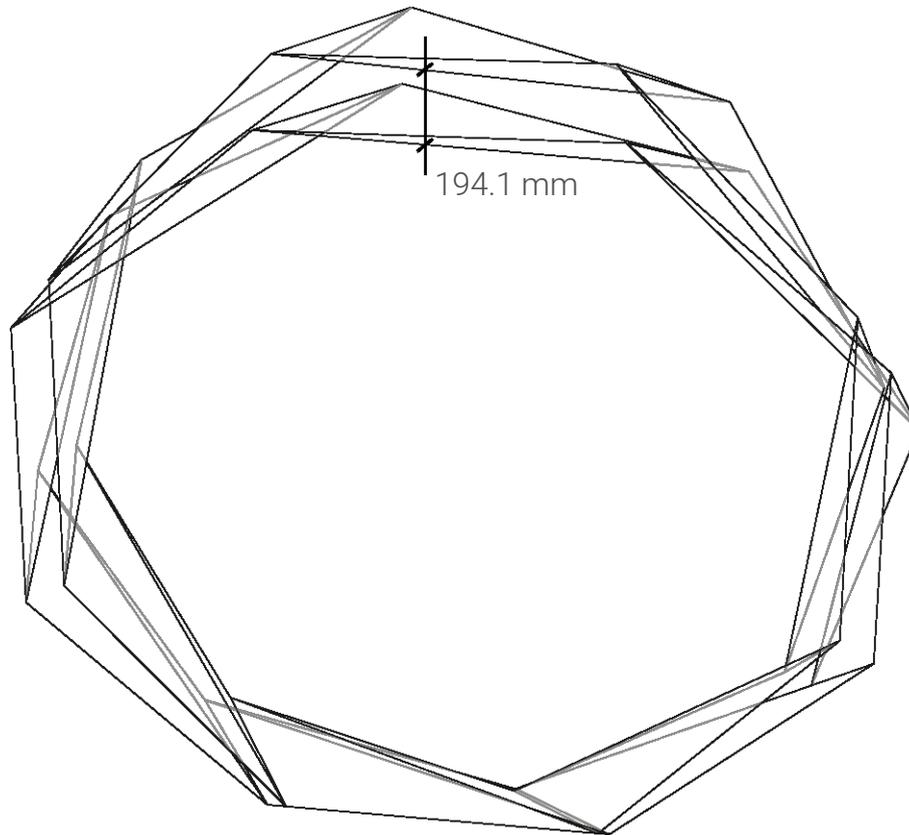
- Alle Dreiecksflächen sind gleich groß.
- Jeder "Abschnitt" ist derselbe und wird nur weitergedreht.
- Der Innendurchmesser wird nur geringfügig eingeschnürt und beträgt minimal 4,05 m.
- Die Länge beträgt 18,00 m, wobei jeder Abschnitt 1 m lang ist.
- Die Breite beträgt an der breitesten Stelle 5,75 m.

#### 6.7.4.5 Tragwerksentwurf

Bei den ersten Ansätzen war die Idee, dass sich der Ring selbst trägt. Dabei wären die Holzpaneele gleichzeitig Gestaltungselement und Tragwerk. Die Arbeiten Yves Weinand [vgl. Weinand, 2017, S. 18] haben gezeigt, dass solche Bauwerke möglich sind. Sie sind dadurch äußerst effizient. Bei den Berechnungen zu deren Tragwerken sind Sie darauf gestoßen, dass die Holzpaneele bloß eine Materialstärke von 6 cm aufweisen müssen, um eine Fläche von 14 Metern zu überspannen.

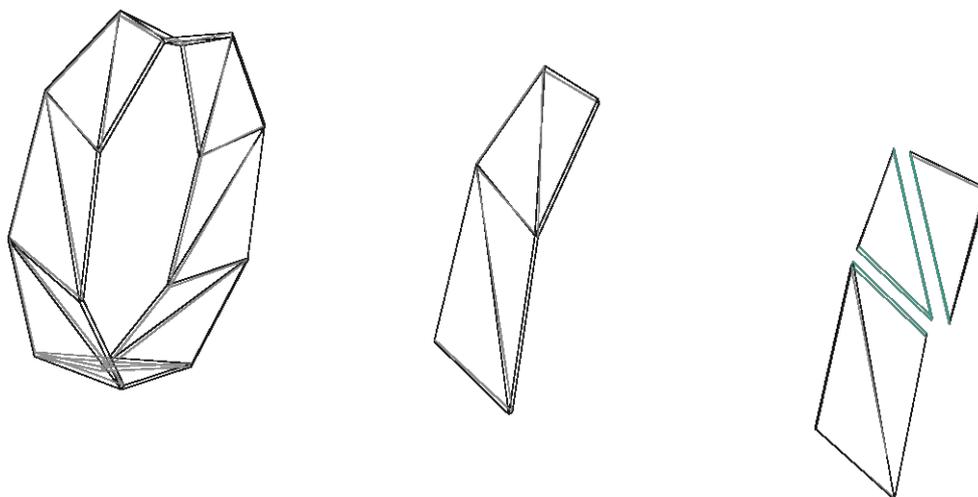
Bei Yves Weinand handelte es sich aber um eine Kapelle, einen unbeheizten Raum. Deshalb war keine Dämmung und dadurch auch kein zweischaliges System nötig. Beim vorliegenden Entwurf handelt es sich aber um einen beheizten Raum, deshalb benötigen wir eine Außen- und eine Innenschicht, um die Dämmung ausreichend zu schützen. Aus diesem Grund und daher das die Verformungen zu groß gewesen wären, zu sehen in der Abbildung 84, ergibt sich, dass eine zusätzliche Unterkonstruktion zwischen den Ringen nötig wird. Diese ist in der Abbildung 86 zu sehen. Das Gebäude ist zudem aufgeständert und die Ringe bieten eine gute Angriffsfläche für die Stützen des Gebäudes.

Bei der Vorbemessung wurden das Eigengewicht und Schnee als Lastfälle angenommen. Schnee bleibt zwar durch die Form kaum Liegen, allerdings wurde er mitberechnet, um Ausnahmefälle mit einzukalkulieren z.B eine Revision.

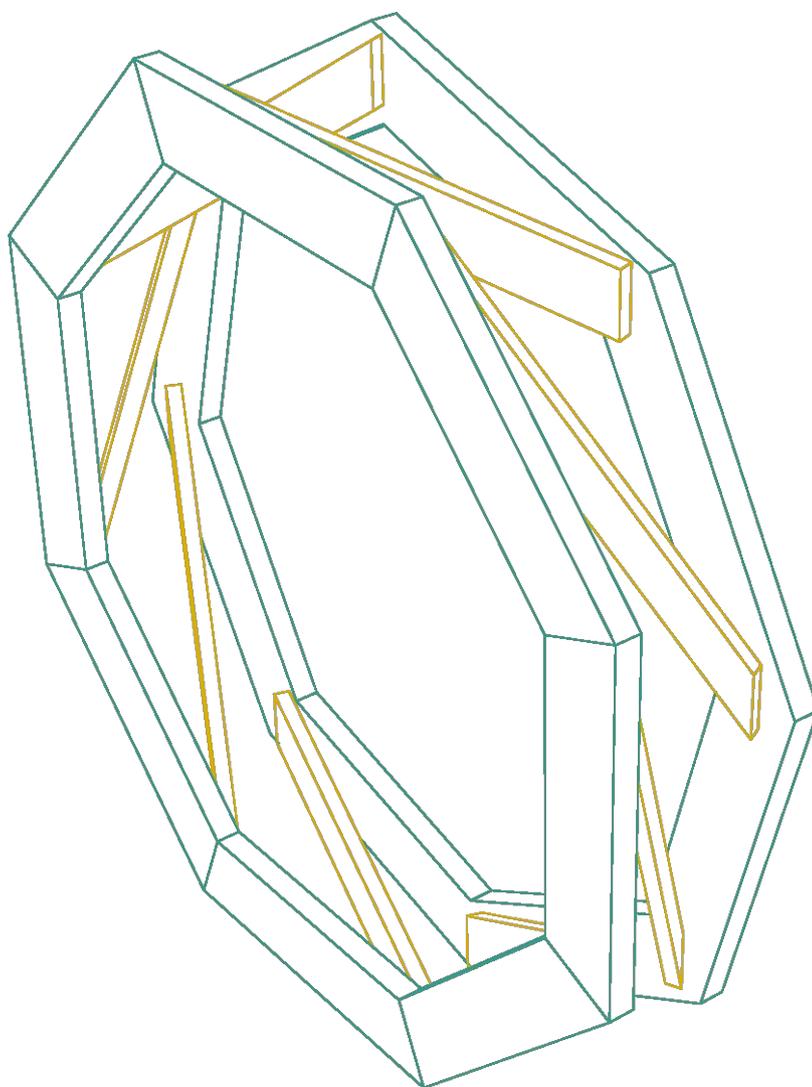


**Abb. 84:** Verformungen der Schalenstruktur

Die Berechnung nur der Außenschale hat eine Verformung von 194.1 mm ergeben, die zu hoch ist, weshalb eine Unterkonstruktion eingeführt wurde. Diese ist in der Abbildung 86 zu sehen. Ein weiteres Problem ist die geringe Materialstärke (Abb. 85) und die daraus resultierende Schwierigkeit, die einzelnen Elemente kraftschlüssig zu verbinden. Dies wäre aber durch Metallplatten machbar. Ein Beispiel hierfür ist wiederum die Kapelle in St. Loup. Bei dieser Konstruktion sind die Faltkanten aber länger. Dies hat zur Folge, dass die Metallplatten günstiger sind und leichter zu verbauen sind.



**Abb.85:** Außenschale



**Abb.86:** Statische Konstruktion

Die Unterkonstruktion dient gleichzeitig als Tragwerk. Aus der statischen Vorbemessung des Entwurfs ergaben sich Träger aus Brettsperrholz (GL24c) mit einer Höhe von 44 cm und einer Breite von 16 cm. Zur Aussteifung der „Ringe“ in der Abbildung 86 die türkis dargestellten Träger, die das Haupttragwerk darstellen, braucht es zusätzliche Träger. Auch diese Träger, in der Abbildung 86 gelb dargestellt, werden in Brettsperrholz (GL24c) ausgeführt. Sie haben eine Höhe von 40 cm und eine Breite von 10 cm.

Den Schichtenaufbau kann man den Abbildungen 88 entnehmen, dabei sind die Schichten von innen nach außen, die unterste Schicht ist dabei die innerste. Die Abbildung 89 zeigt die einzelnen „Ringe“ also die sich jeweils wiederholenden Teile der Konstruktion.

Um die Knotenpunkte zu verschieben und die Verbindung der Nebenträger mit den Hauptträgern leichter zu machen, werden die Hauptträger nicht an den Eckpunkten miteinander verbunden, sondern an den geraden Seiten des Polygons. Die Verbindung wird mittels einer Schwalbenschwanzverbindung gemacht. An den Eckpunkten befinden sich Zapfenlöcher für die Nebenträger. (Abbildung 87)

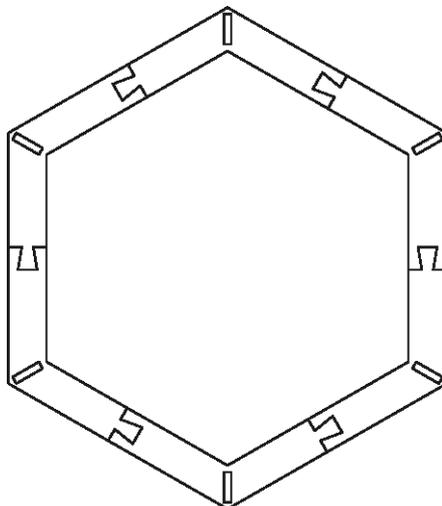


Abb.87: Zusammenbau

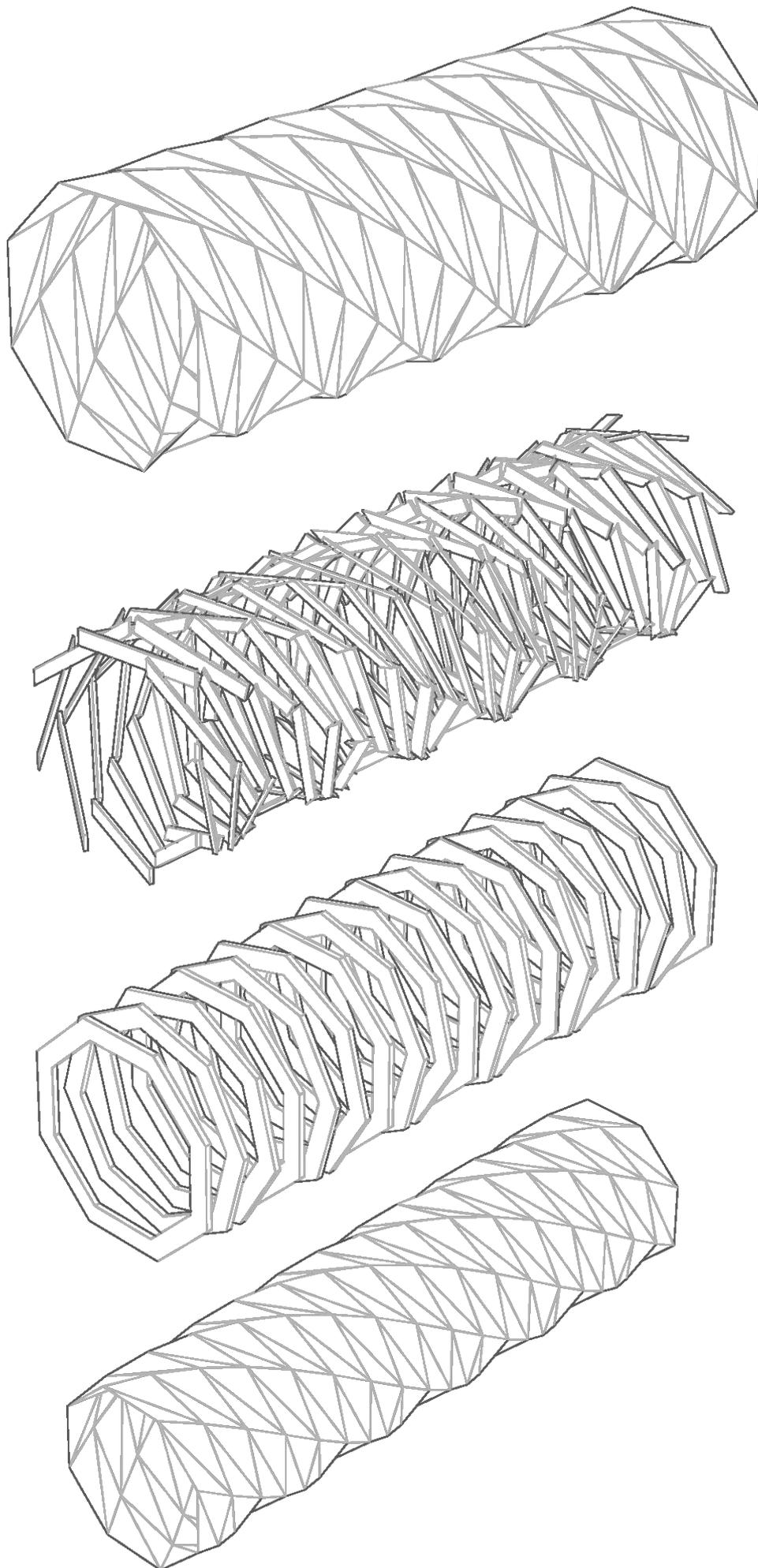


Abb.88: Axonometrie

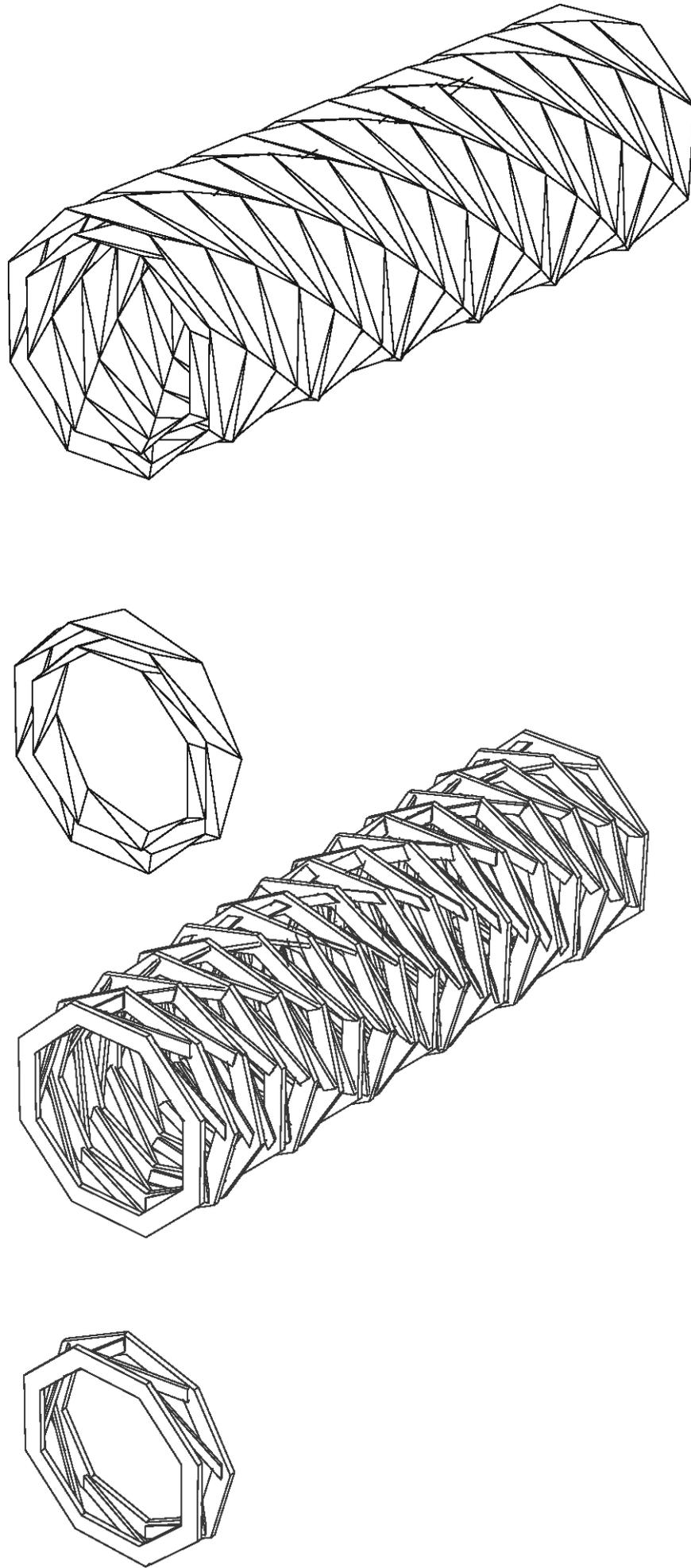


Abb.89: Axonometrie

Wie bereits beschrieben, handelt es sich bei der Außenwand um ein mehrschaliges Element mit einer Unterkonstruktion, welche die innere und die äußere Schale miteinander verbindet und den Abstand hält. Zwischen den Hauptträgern wird eine Dämmschüttung eingeblasen. Hierfür werden an der oberen und der unteren Seite jeweils ein Loch gemacht. Man beginnt an der oberen Seite die Dämmung einzublasen, sobald auf der anderen Seite die Dämmung wieder herauskommt, weiß man, dass der Hohlraum vollständig mit Dämmung gefüllt ist.

Das gesamte Bauwerk ist auf Stützen gebaut. Dies hat mehrere Gründe. Da es sich auch außen um eine Holzkonstruktion handelt, ist ein Spritzschutz wichtig. Bei Regen kann das zurückspritzende Wasser bis zu 30 cm hochspritzen. Um der Dauerfeuchte und der verstärkten Verwitterung entgegenzuwirken, wird das Gebäude aufgeständert. Es hat aber auch andere Gründe. Auch Holz direkt auf den Boden zu stellen birgt die Gefahr der Dauerfeuchte. Zu guter Letzt erscheint es mehr den Effekt des Baumhauses zu haben, wenn das Gebäude auf Stützen steht. Die Stützen setzen immer direkt an den Hauptträgern des Bauwerks an.

An den Schnitten kann man gut erkennen, dass unter dem Bodenaufbau ein großer Luftraum besteht. Dieser Luftraum entsteht, da die Gesamtform an einen Zylinder erinnert, was statisch gesehen eine ausgezeichnete Form darstellt. Damit eine Raumfläche entsteht, die groß genug ist, muss der Boden eher mittig eingebaut werden. Dadurch erhält man unter dem Boden einen großen Luftraum. Dieser wird dazu genutzt, Rohre und Kabel zu verlegen. Zudem dient der Boden als aussteifendes Element.

Die Außenhaut einer Holzkonstruktion wird besonders stark vom Regen angegriffen, da sie direkt der Witterung ausgesetzt ist. Um einen baulichen Holzschutz des Tragwerks zu gewährleisten, muss es vor direkten Regen abgeschirmt werden. Dies gelingt durch eine vorge setzte Haut. Diese kann in Holz ausgeführt werden. Dabei ist allerdings darauf zu achten, dass sie ausreichend hinterlüftet ist, damit sie nach Regen wieder austrocknen kann. Die äußere Schale ist leicht auf Schäden zu kontrollieren und sollten Schäden entdeckt werden, kann die äußere Schale leicht gewartet werden. Die äußere Holzverkleidung schützt auch die darunterliegende Abdichtung vor direkter Sonneneinstrahlung.

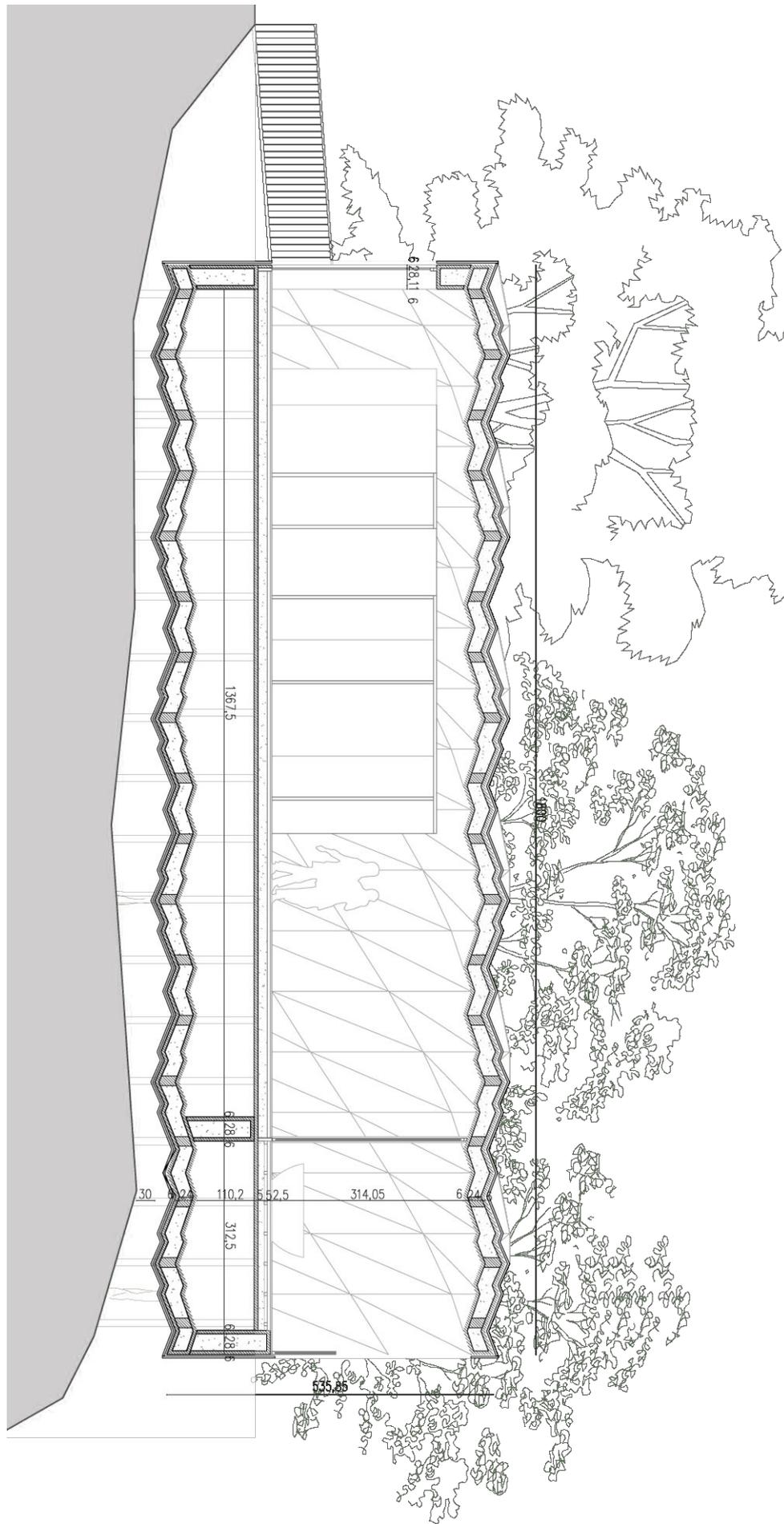
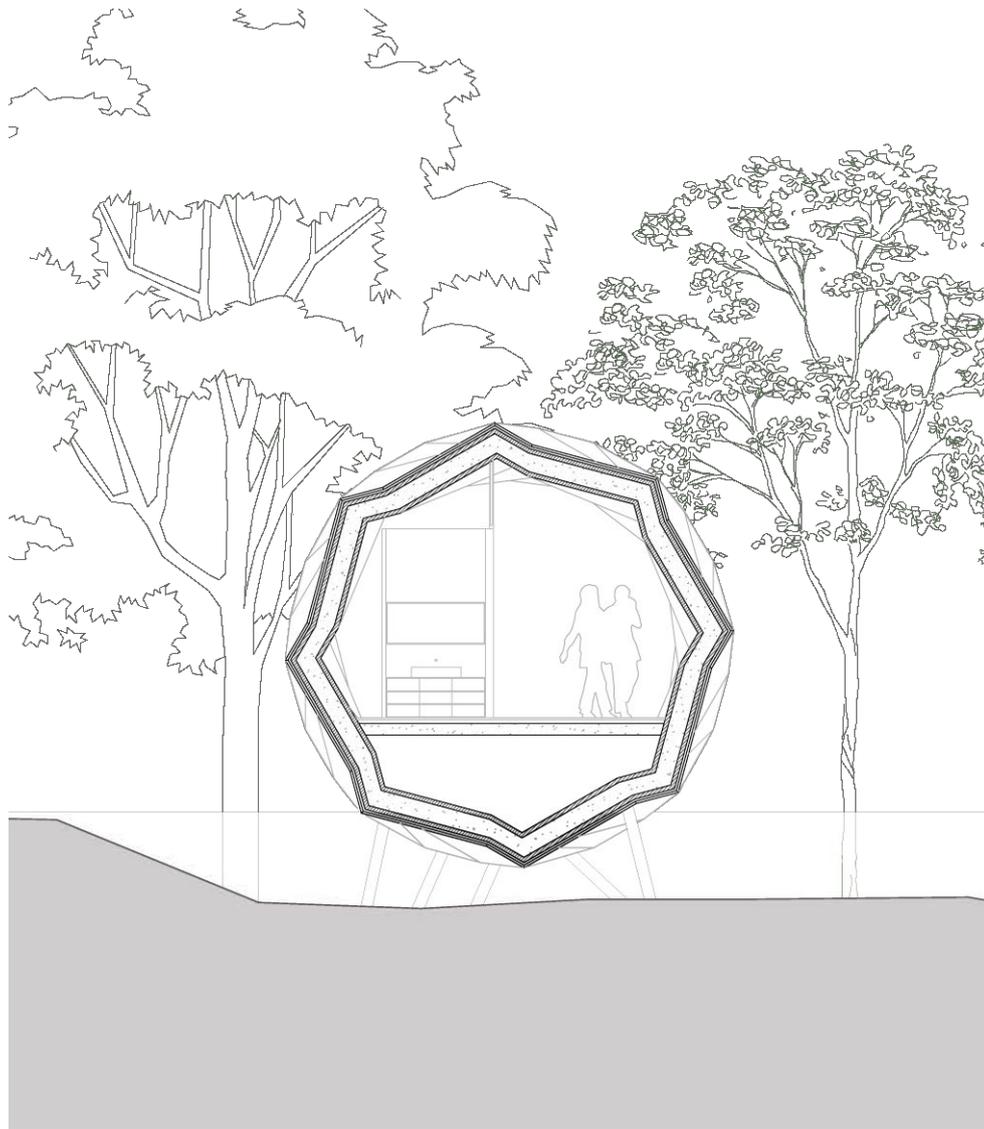


Abb.90: Längsschnitt



**Abb.91:** Querschnitt

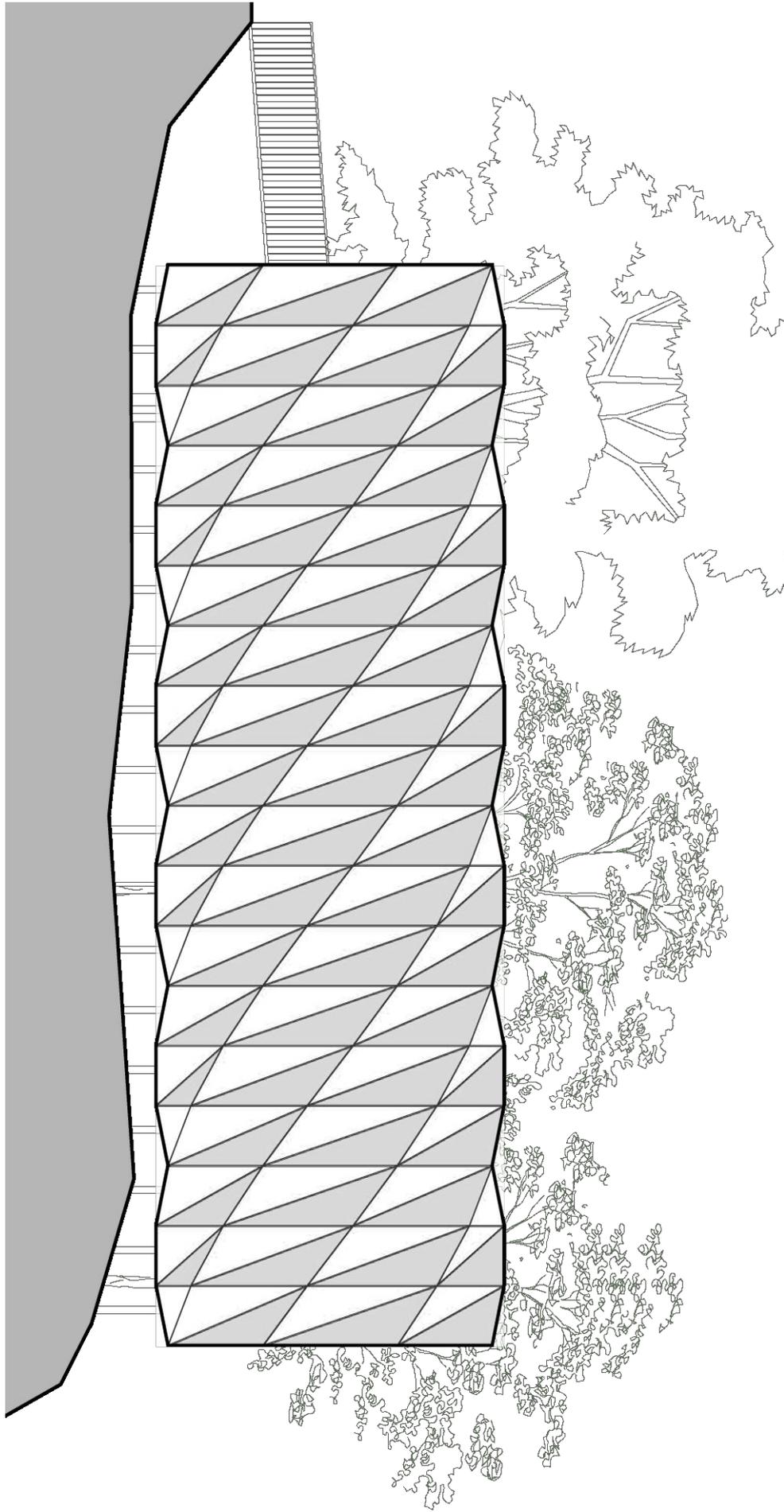
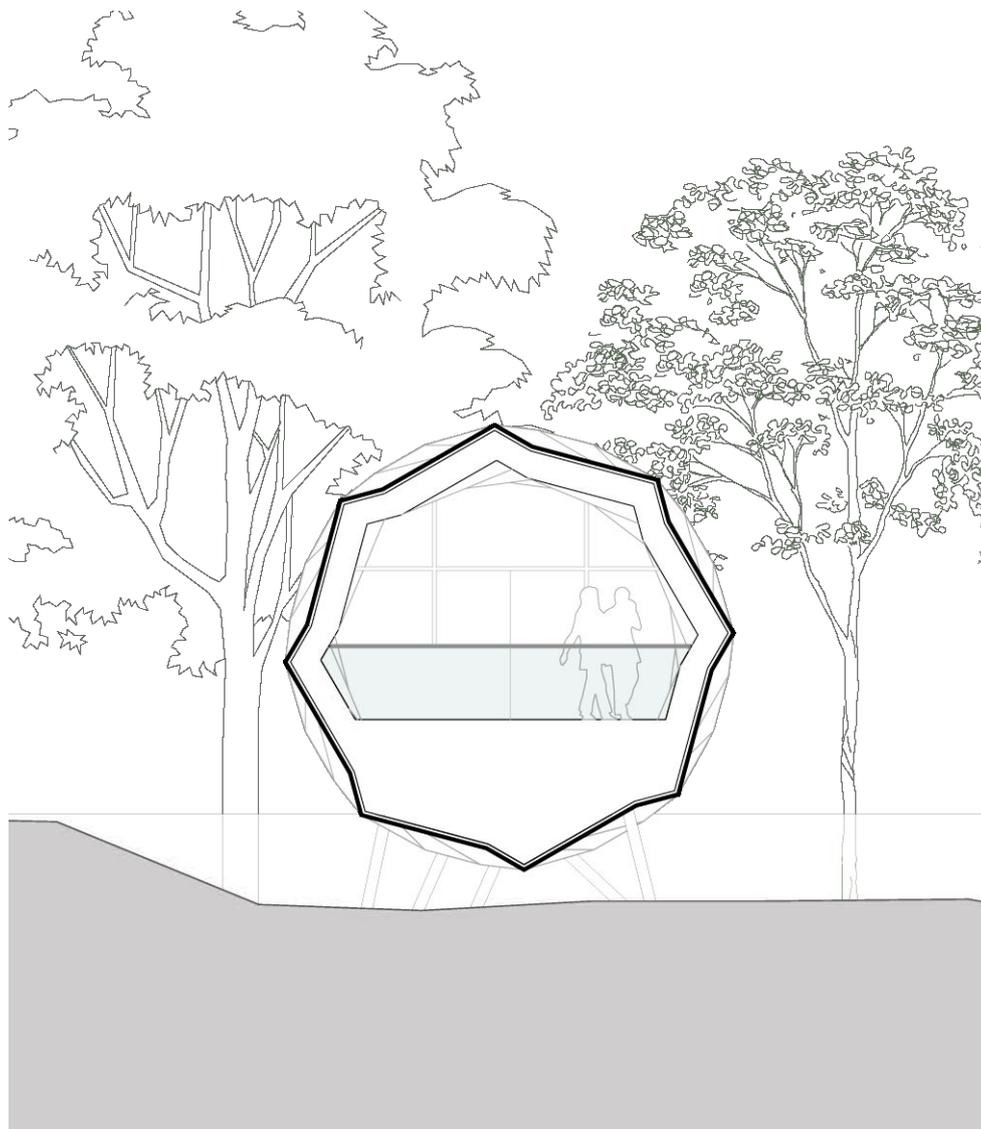


Abb.92: Westansicht



**Abb.93:** Südansicht

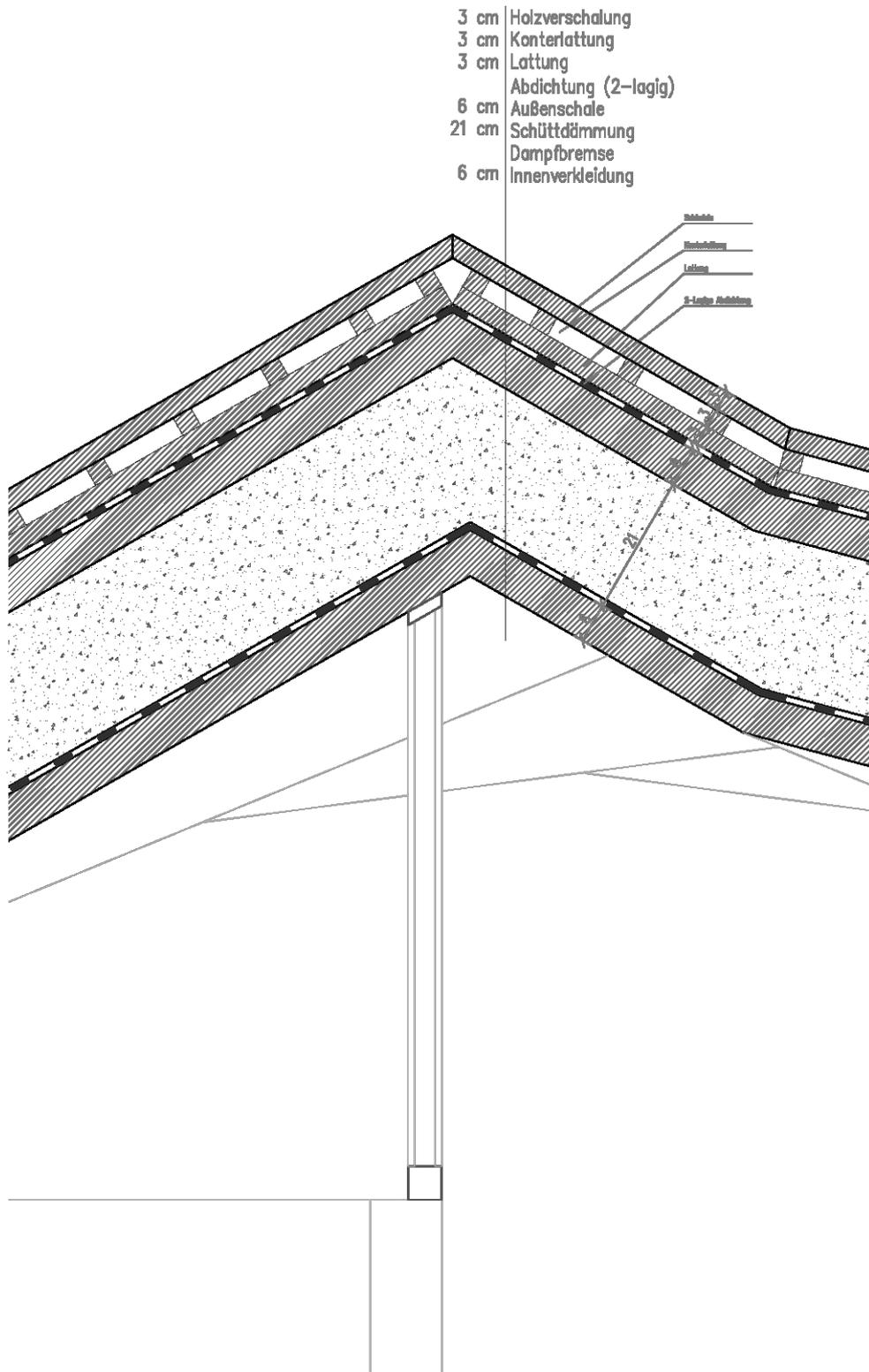


Abb.94: Detail der Außenwand M 1:10

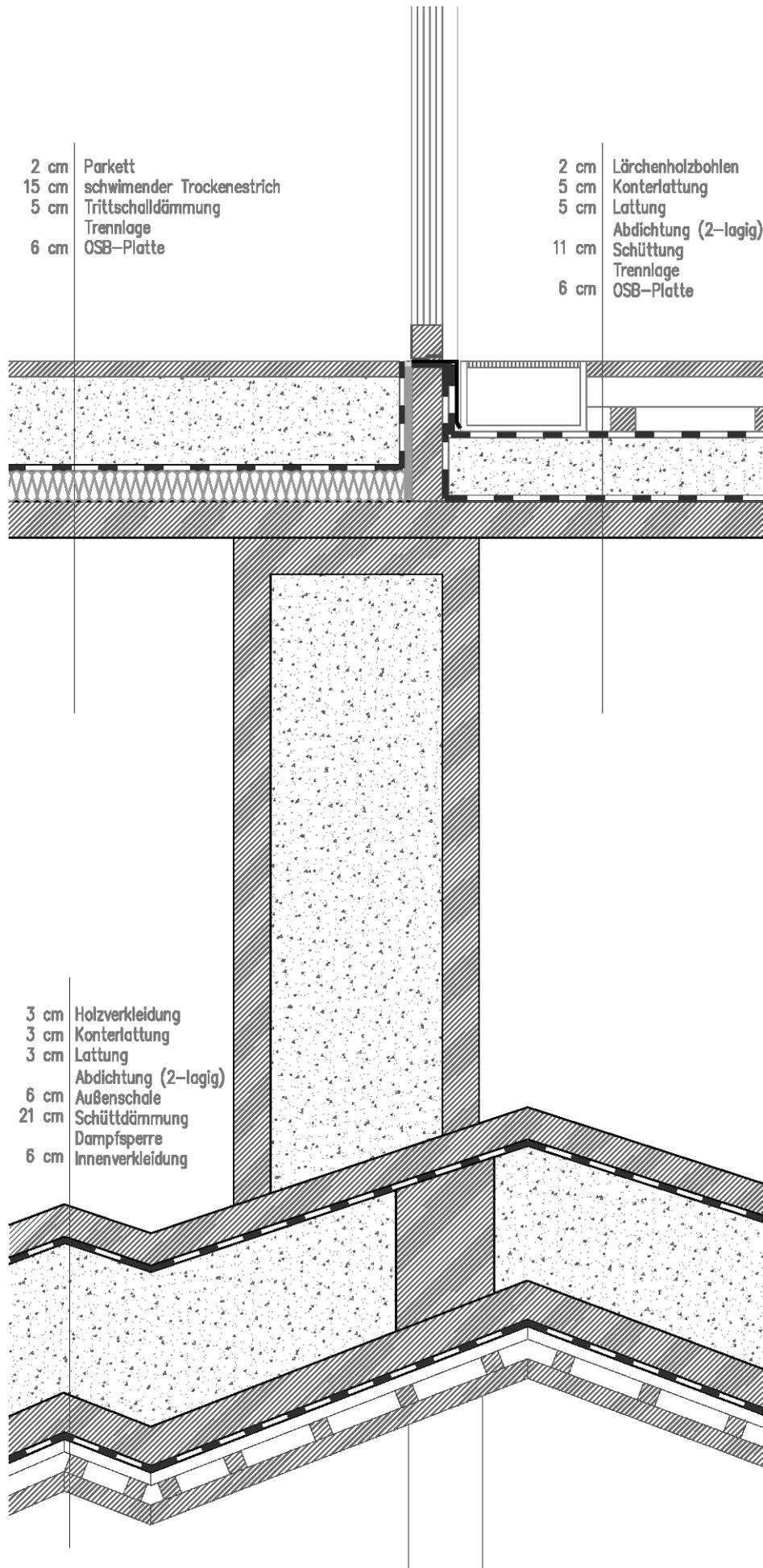


Abb.95: Detail Außen und Balkonanschluss M1:10



Abb.96: Visualisierung Hotel



Abb.97: Visualisierung Hotel



Abb.98: Visualisierung Innenraum Hotel



## 6.8 Festplatz

### 6.8.1 Allgemeines

Die Idee des Weges war es, die Menschen näher an Schloss Braunsberg heran zu bringen. Der Weg wird wahrscheinlich viel von Touristen genutzt werden, aber auch die Bewohner von Lana sollen vom Projekt profitieren. Dadurch soll die Zustimmung im Dorf gestärkt werden. Um dies zu erreichen sollen Festtage wie der sogenannte „Kirchtig“ auf dem Schlossgelände gefeiert werden. Der „Kirchtig“ wird bereits in der Gaulschlucht gefeiert. Die Gaul liegt, wie bereits beschrieben, direkt unter dem Schloss. Der Weg hoch zum Schloss wäre nicht mehr weit aber auch andere Feste könnten im Schlossgarten gefeiert werden. Eine sehr beliebte Theateraufführung, die „Freilichtspiele“ können vor der Schlosskulisse aufgeführt werden und auch die Dorfkapelle könnte dort Konzerte geben.

Der Festplatz soll aber mehrere Funktionen miteinander verbinden. Die Hochzeitsgäste sollen die Möglichkeit haben ein Fest zu feiern. Dabei ist es wichtig, einen vor Regen geschützten Raum zu gewährleisten. Während für das Theater eine Bühnenkonstruktion benötigt wird, in denen Requisiten verstaut werden können.

Da es keine Parkplätze auf dem Gelände gibt, wird der Parkplatz der Seilbahn auf das Vigiljoch, am Anfang der Ultnerstraße, genutzt. Von dort aus sind es wenige Fahrminuten und die Gäste können einfach durch einen Shuttle zum Schloss gebracht werden. (Abbildung 99)



### Shuttle



1,1 km  
2 min

### Catering



Abb.99: Erreichbarkeit

### 6.8.1.1 Sitzbänke

Schloss Braunsberg liegt auf einem Hügel. Deshalb fällt das Gelände zum Dorf hin ab und bietet ein geeignetes Gelände, um eine Amphitheater anzulegen. Dadurch kann durch wenig Aufwand eine bühnenartige Situation geschaffen werden.

Aufgrund der vorher genannten Situationen können die Besucherzahlen abgeschätzt werden. Die Freilichtspiele haben sicher den größten Bedarf an Sitzplätzen. Die aktuelle Bühne bietet Platz für ca 330 Personen. Diese Personenanzahl war Ausgangspunkt, um die benötigte Fläche abzuschätzen.

In der Abbildung 100 kann man gut erkennen, dass sich südlich der Sitzreihen, zwischen den Bäumen, auch Stände befinden. Diese können je nach Bedarf genutzt werden. Für die Dorffeste und die Freilichtspiele können sie als Bar genutzt werden und für die Hochzeit als „Absperrung“, eine Tradition, bei der Hochzeitspaare auf dem Weg von der Kapelle zum Essen aufgehalten werden und verschiedene Aufgaben gestellt bekommen.

Aufgrund des Denkmalschutzes sollten die Bühne und die Stände abgebaut werden können. Somit bleibt der Familie eine schöne Fläche vor dem Schloss, die sie für private Zwecke nutzen kann. Da im Moment die Fläche ungeschützt von der Sonne ist, wird sie nicht genutzt, da sie im Sommer zu warm ist. Das Projekt sieht vor, viele neue Bäume im südlichen Bereich zu pflanzen, was auch bei einem Fest für eine angenehme Temperatur sorgen kann.

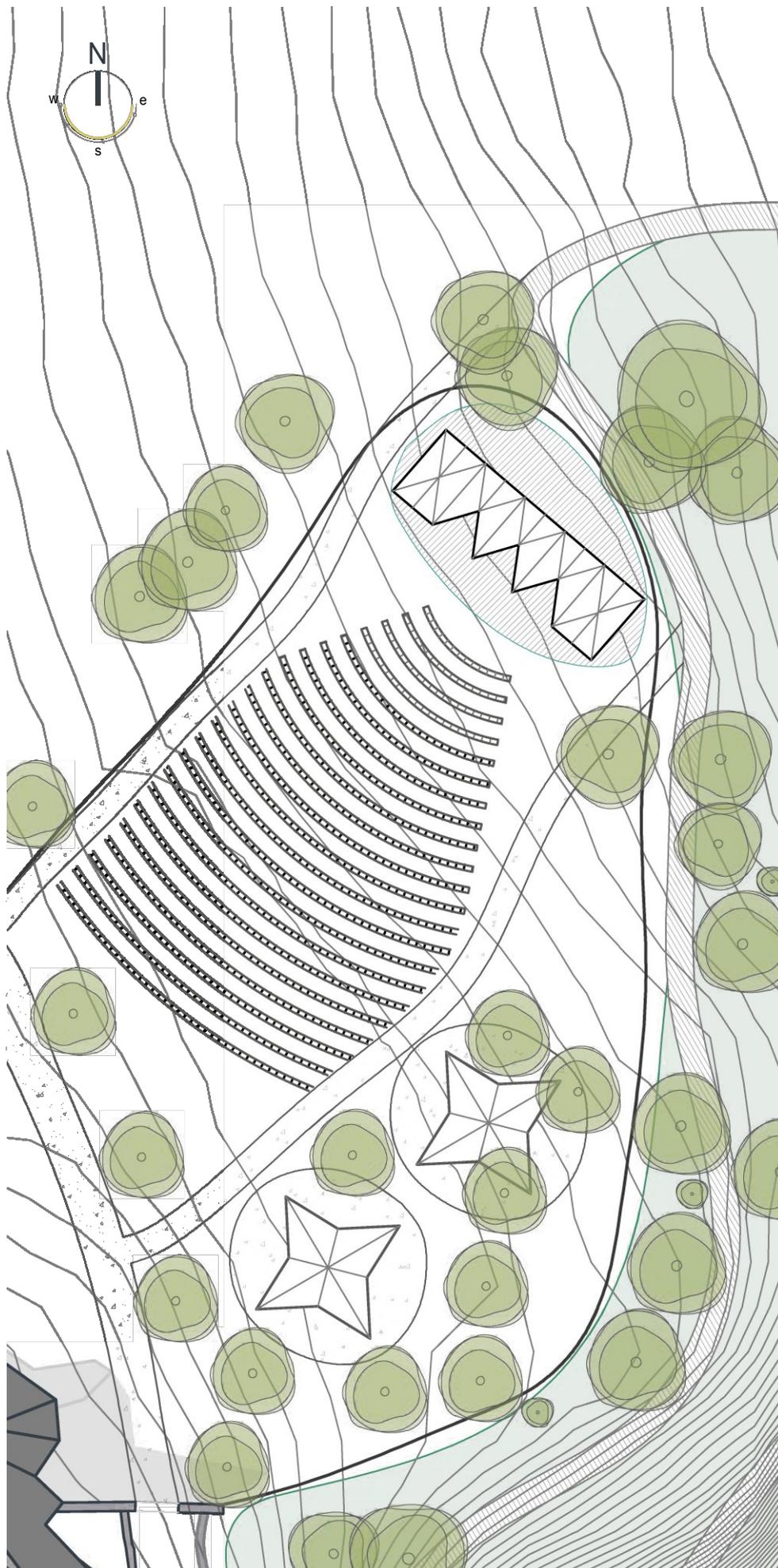
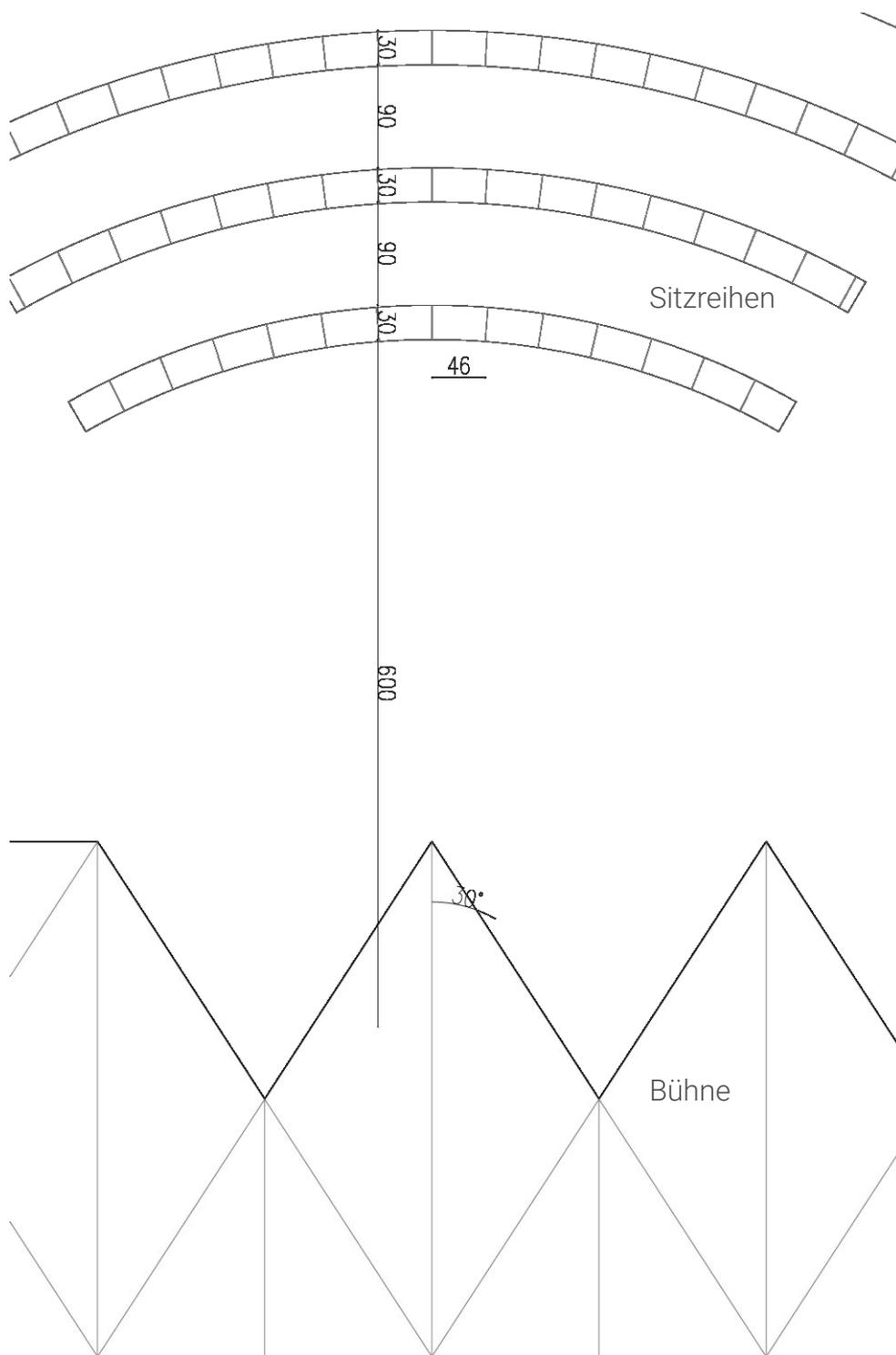


Abb.100: Lageplan

Um eine optimale Schallverbreitung zu garantieren, sind die Sitzreihen in einer bestimmten Anordnung positioniert. Dazu hat sich eine Planungshilfe der „Boy Scouts of America“ [vgl. Boy Scouts of America, 2008, S. 1] als sehr hilfreich herausgestellt. In dieser wurden Grundsätze zur Planung von Amphitheatern aufgestellt.

- Die erste Sitzreihe soll einen Abstand von 6 Metern zur Bühne haben.
- Die Tiefe der Sitzreihen soll 30 Zentimeter betragen.
- Die Breite soll 46 Zentimeter betragen.
- Zwischen den Sitzreihen soll ein Abstand von 90 Zentimetern sein.
- Vom Mittelpunkt der Bühne aus sollen die Sitzreihen bei einem Winkel von links und rechts maximal 30 Grad enden.
- Der Anstiegswinkel der Sitzreihen soll 26 Grad betragen.

Schlüsselpunkte stellt werden in Abbildung 101 dargestellt.



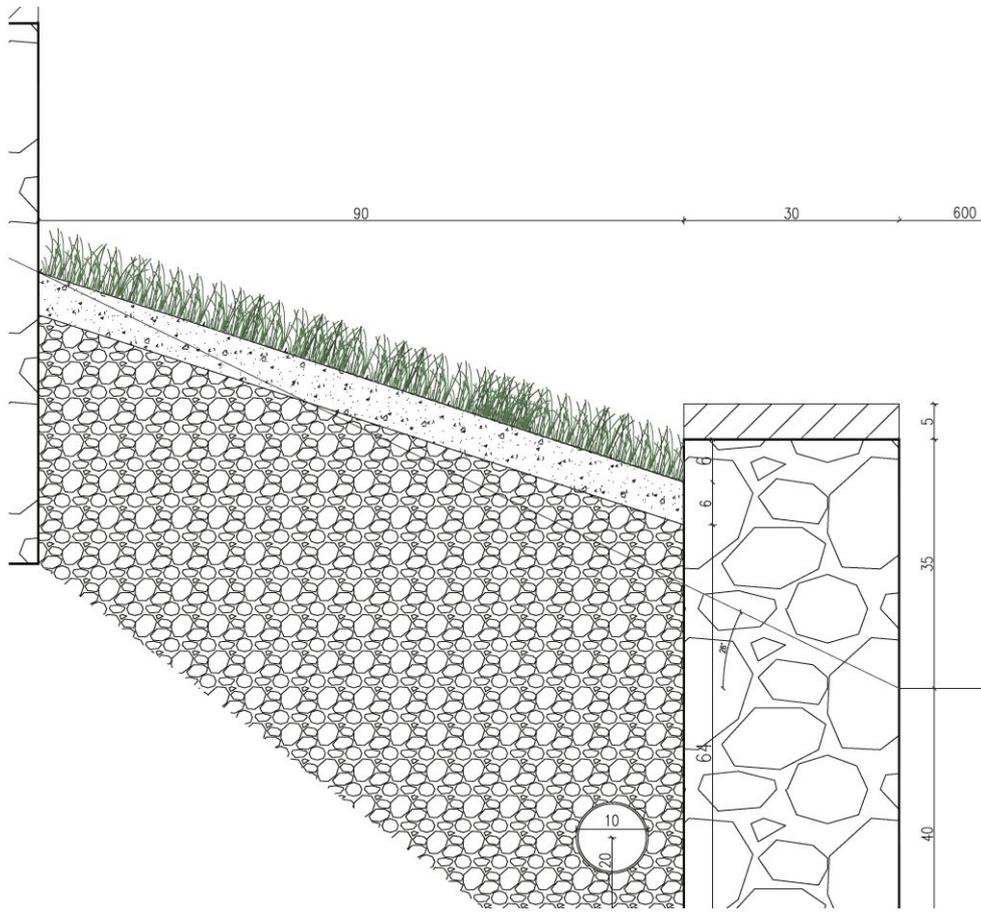
**Abb.101:** Planungsrichtlinien

### 6.8.1.2 Material

Bei der Materialwahl der Sitzbänke musste davon ausgegangen werden, dass die Bänke dauerhaft bleiben und nicht abgebaut werden. Deshalb war ein Material notwendig, das sich reibungslos in das restliche Erscheinungsbild des Schlossgeländes einbindet. Die Wahl fiel auf ein Natursteinmauerwerk, das mit Mörtel verstärkt wird, um den Druck des Erdreiches standzuhalten. Zudem werden dadurch die Luft Räume zwischen den Steinen ausgefüllt. Abgedeckt wird die Mauer mit einer Schicht aus Holz. Da es sich um eine Holzfläche, die dem direkten Regen ausgesetzt ist, fiel die Wahl auf Lärchenholz. Lärchenholz ist ein hartes Holz, das sich auch im Außenbereich bewährt hat. Zudem ist es ein regionales Holz und damit ökologischer als internationale, die sonst oft für den Außenbereich verwendet werden.

Um Staunässe vorzubeugen und daraus folgenden Hangabbrüchen, wird die Fläche zwischen den Sitzbänken mit einer Drainage ausgeführt. Das Kiesbett lässt das Wasser einsickern, gesammelt wird es am unteren Ende und durch ein Drainagerohr abgeführt.

Die Sitzhöhe beträgt 40 Zentimeter, während die Mauer für die Stabilität um weitere 40 Zentimeter vergraben ist. [vgl. Boy Scouts of America, 2008, S. 2]



**Abb. 102:** Detail: Sitzbänke

## 6.8.2 Stände

Während die Sitzbänke einen dauerhaften Eingriff darstellen, sollen die Stände abbaubar sein und aus ökologischen Materialien bestehen. Die Stände dienen verschiedenen Zwecken, die an das gerade stattfindende Event angepasst werden können.

Die Form sollte einfach sein und einen vor Regen geschützten, freien Raum bieten. Damit die Stände leicht verstaut werden können, sollen sie sich klein zusammenfalten lassen und die Formensprache sollte sich an das restliche Projekt anpassen, um eine Zusammengehörigkeit zu schaffen. Dank der Öffnung auf allen vier Seiten ist eine Nutzung als Bar ideal. Ein Tresen dient zusätzlich als Aussteifung der Konstruktion.

Die Position wurde an der südlichen Seite des Geländes angeordnet. Dabei war die Idee, dass sie auch in der Nähe des Wanderweges liegen. Dieser ist aber durch einen Zaun von den Ständen getrennt. Bei Interesse kann der Zaun geöffnet werden und die Stände können als Raststation genutzt werden.

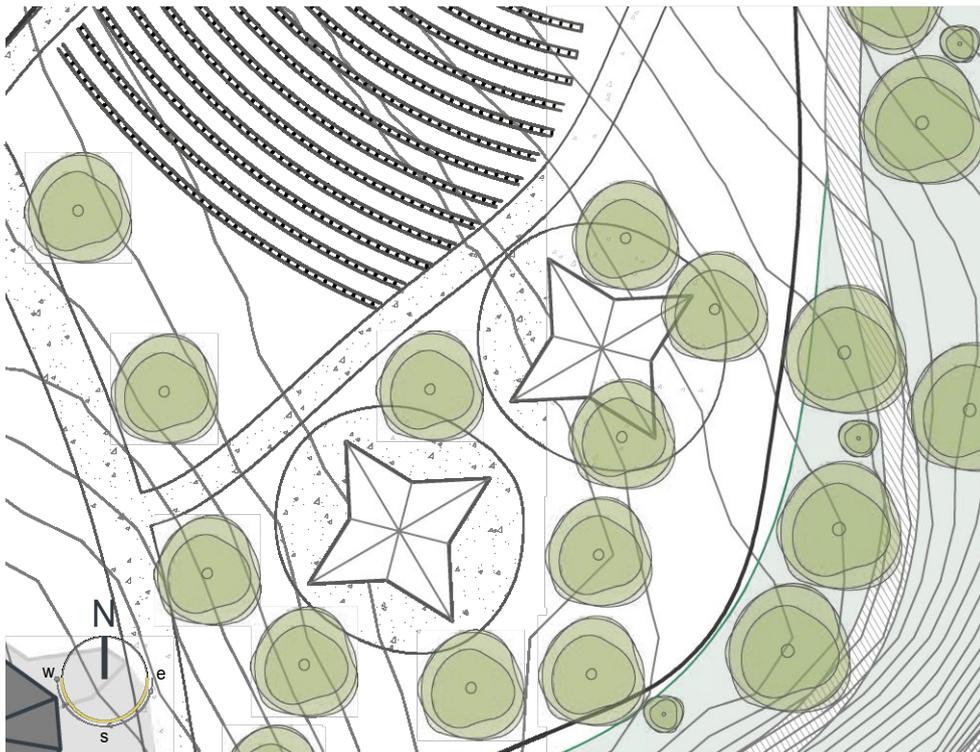
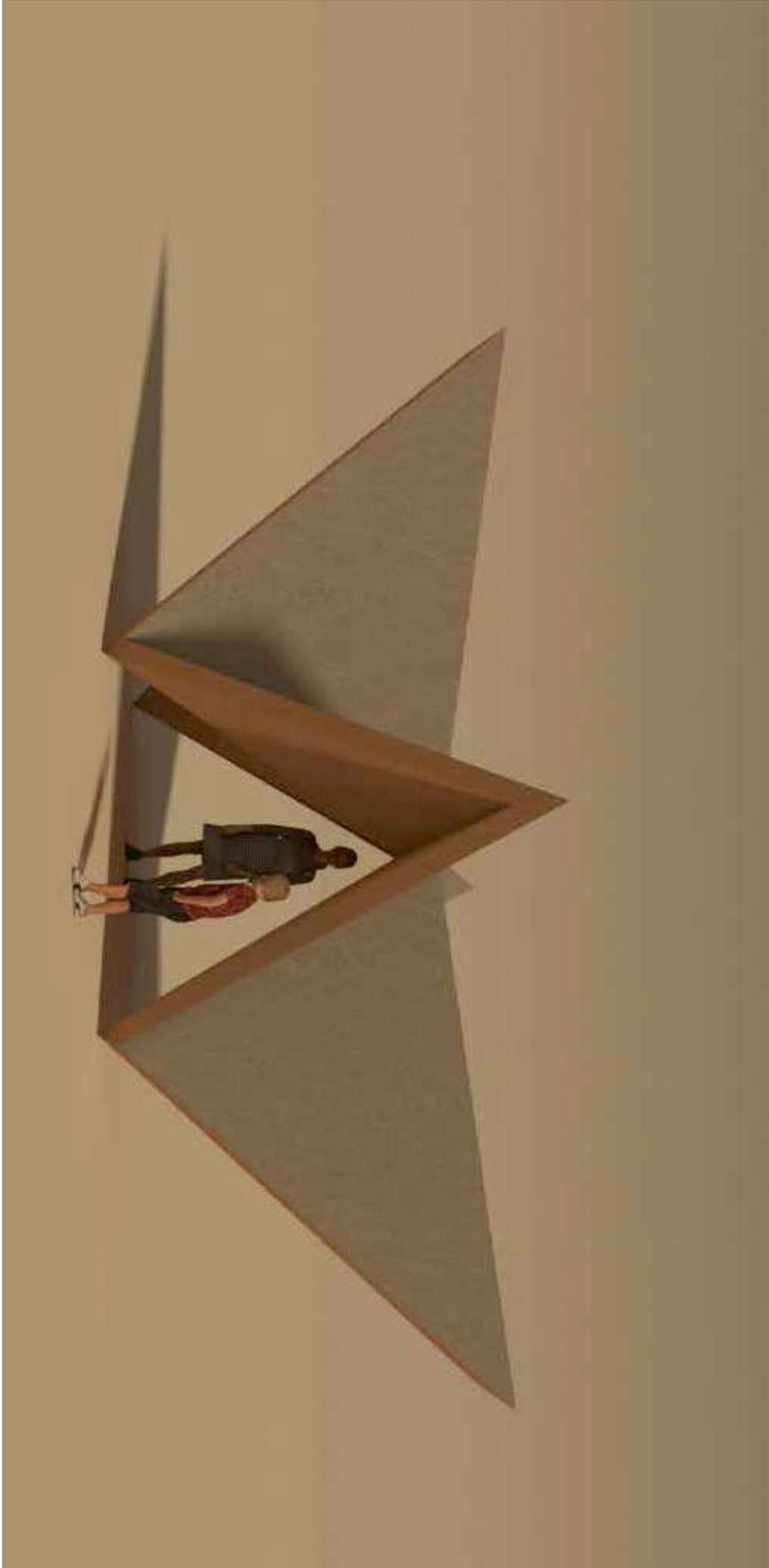


Abb.103: Lageplan



**Abb. 104:** Visualisierung: Stände

### 6.8.2.1 Konstruktion

Wie bereits beschrieben, sollen die Stände zusammenfaltbar sein. Aus der Grundfaltung der Stände ergaben sich aber sehr ungeschickte Formen, bei denen die äußeren Spitzen niedriger waren als die innere Seite. Dadurch hätten die Stände sehr hoch werden müssen, um an der Außenseite die nötige Höhe zu bekommen.

Die Lösung dazu besteht darin, die Stände in vier Teile zu teilen. Dadurch können sie zwar nicht gefaltet werden aber behalten die Origami-optik und können leicht verstaut werden. Die Verbindung zwischen den vier Elementen besteht aus einem Stecksystem.

Zum Aufbauen der Stände benötigt es eine vorübergehende Mittelstütze. Daran können die einzelnen Elemente befestigt werden, bevor sie alle miteinander verbunden werden. Sobald die vier Elemente miteinander verbunden sind, kann die Mittelstütze wieder entfernt werden, da sich die vier Elemente gegenseitig stützen.

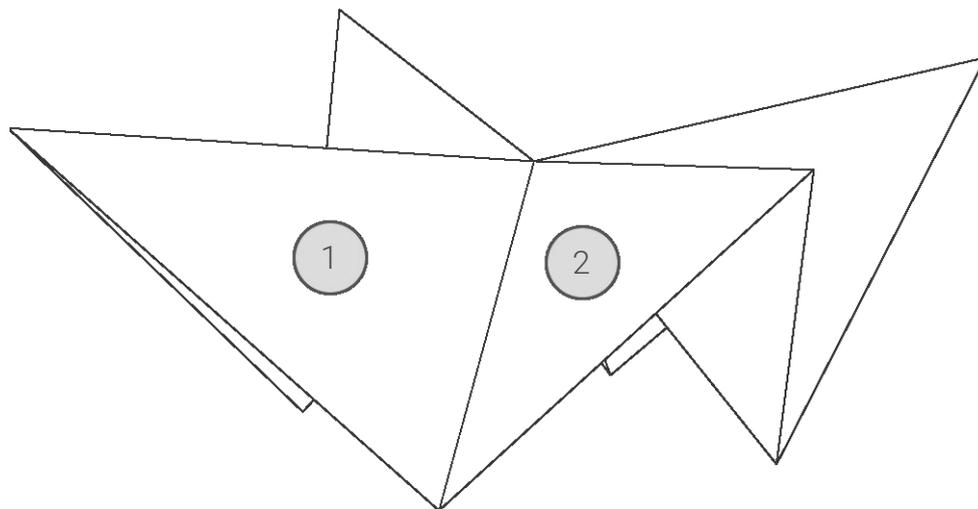
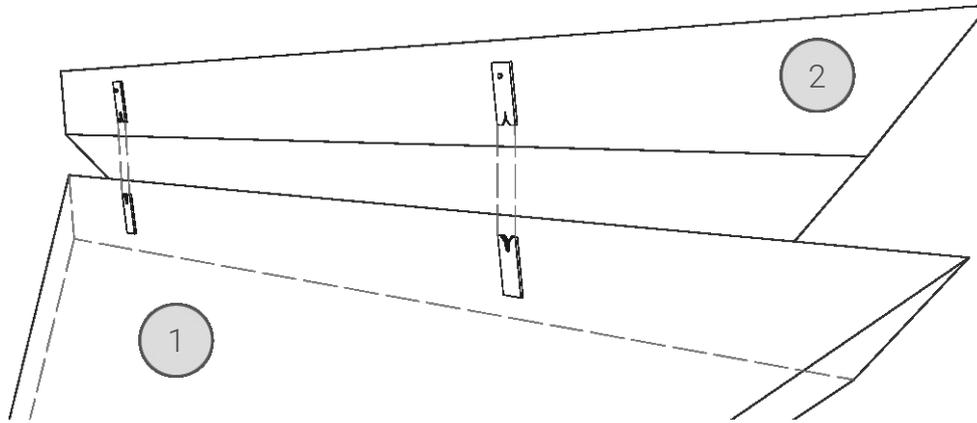


Abb.105: Flügel der Stände



**Abb.106:** Verbindung zwischen den Flügeln

In der Abbildung 105 wird veranschaulicht, dass jeder „Flügel“ ein einzelnes Teil ist. An beiden Kanten, an denen die Flügel miteinander verbunden werden, sind Stecksysteme angebracht. Abbildung 106 veranschaulicht dies für eine obere Kante. Das Klippsystem wird in vorgefräste Löcher eingeschraubt und ist im zusammengesteckten Endzustand nicht sichtbar. Es gibt mehrere verwendbare Klippsysteme. Zum Beispiel Klippsysteme der Firmen „Knapp“ oder „Rothoblaas“. Der Zusammenbau der Einzelteile erfolge auf der Baustelle von ausgebildeten Fachkräften.

In der Abbildung 107 Sieht man die Steckverbindung der Firma Rothoblaas im Detail.



**Abb.107:** Steckverbindung der Firma Rothoblaas

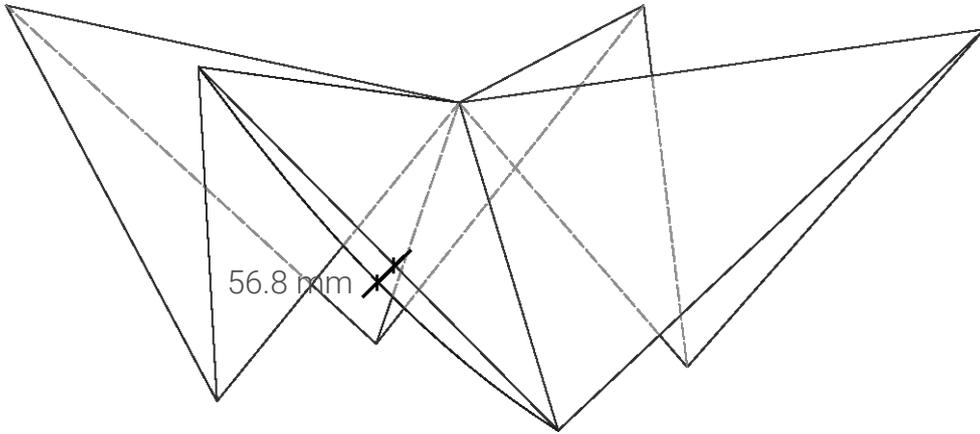
### 6.8.2.2 Tragwerksentwurf

Die statische Berechnung wurde mit gelenkigen Verbindungen gerechnet, um die Faltbarkeit zu simulieren. Die Statik wurde auch ohne Mittelstütze gerechnet, die, falls nötig zur Hilfe beim Aufbau aufgestellt werden kann.

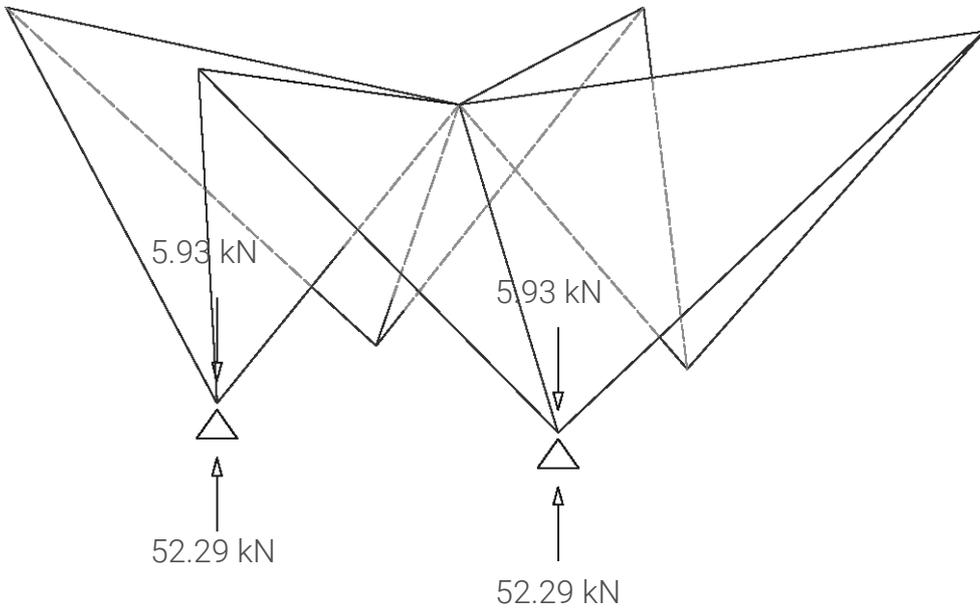
Es wurden die Lastfälle Eigengewicht und Wind angenommen, da die Stände nur im Sommer aufgebaut sind, zudem sind die Dachflächen so stark geneigt, das sich kein Schnee darauf sammeln kann. Die Auflagerreaktionen betragen 52.29 kN. Zusehen in der Abbildung 109, dabei wurden nur zwei der vier Auflager dargestellt, da alle Auflager die gleichen Kräfte aufnehmen, da die Konstruktion symmetrisch ist. Die entstehenden Zuglasten kommen von der Sogkraft des Windes. Wie man in der Abbildung 108 sehen kann, ergeben sich die größten Verformungen an den Außenkanten. Diese betragen bis zu 56,8 mm an den äußeren Kanten, was aber im Rahmen bleibt.

Berechnet wurde die Vorbemessung mit Brettschichtholz. Die Berechnung kommt zu dem Ergebnis, das kreuzverleimte Holzplatten mit einer Stärke von 120 mm benötigt werden. Dadurch ergibt sich ein Gesamtgewicht von 1800 kg. Das bedeutet, jeder „Flügel“ wiegt 225 kg. Durch das Teilen der Konstruktion in die einzelnen Flügel wird das Gewicht beim Aufbauen reduziert. Dadurch können die Stände ohne Kran aufgebaut werden.

Eine andere Möglichkeit zum Sparen von Gewicht könnte auch die Verwendung eines anderen Materials sein. Zum Beispiel könnte durch Aluminium die Materialstärke verringert werden und dadurch das Gewicht gesenkt werden. Hierfür wären aber weitere Berechnungen nötig.



**Abb.108:** Verformungen der Stände



**Abb.109:** Auflagerreaktionen

## 6.8.3 Bühne

### 6.8.3.1 Lage

An der östlichen Seite liegt der tiefste Punkt des Grundstücks. An diesem Ort ist der ideale Platz für die Bühne. Hinter der Bühne eröffnet sich ein grandioses Panorama über das Etschtal, wie in Abbildung 110 zu sehen ist. Umrahmt wird die Bühne von Bäumen, die als Sonnen- und Windschutz dienen, damit im Sommer bei Festen die Bühne nicht zu stark aufgeheizt wird.

Um für die Bühne einen festen Untergrund zu schaffen, oder auch wenn die Bühne nicht aufgebaut ist, aber auch um einen angenehmen Ort für die Schlossbewohner zu schaffen, soll dort ein ovale Fläche gebaut werden, die mit Holzplanken befestigt wird. Die Ausmaße der Fläche betragen ungefähr 18 x 12 Meter. Aus konstruktiven Gründen muss die Unterkonstruktion der Holzplanken aus Beton sein. Da die Betonfundamente gebraucht werden um die Bühne anzuschrauben.

Wie auch die anderen Teile des gesamten Entwurfs, wird sich die Bühne optisch an Origami anlehnen. Die mittleren Spitzen sind frei stehende Überdachungen, während die äußeren Teile geschlossene Räume sind und vor allem für die Requisiten gedacht sind.



Abb.110: Panorama

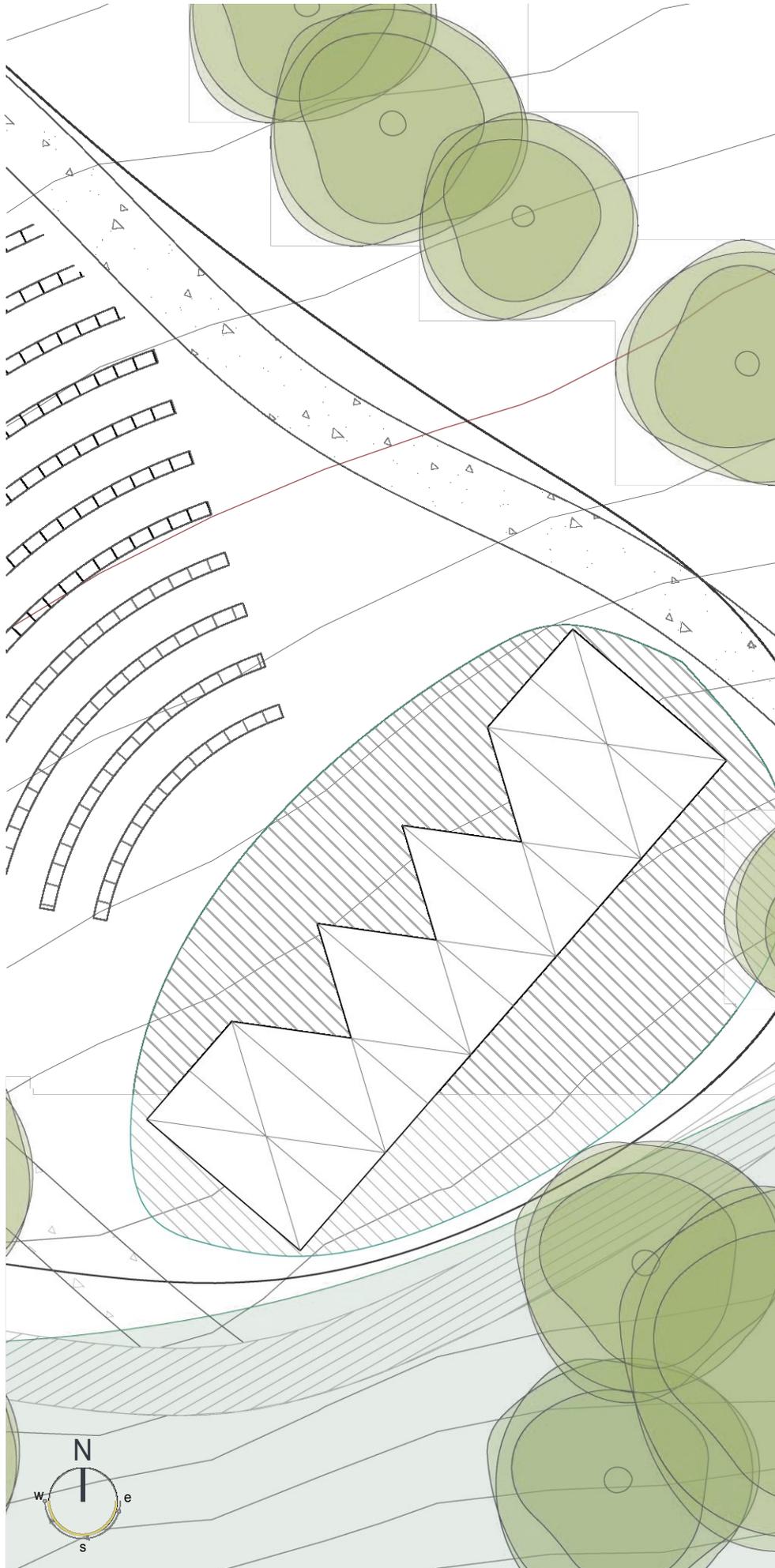


Abb.111: Lageplan

### 6.8.3.2 Faltung Schritt 1

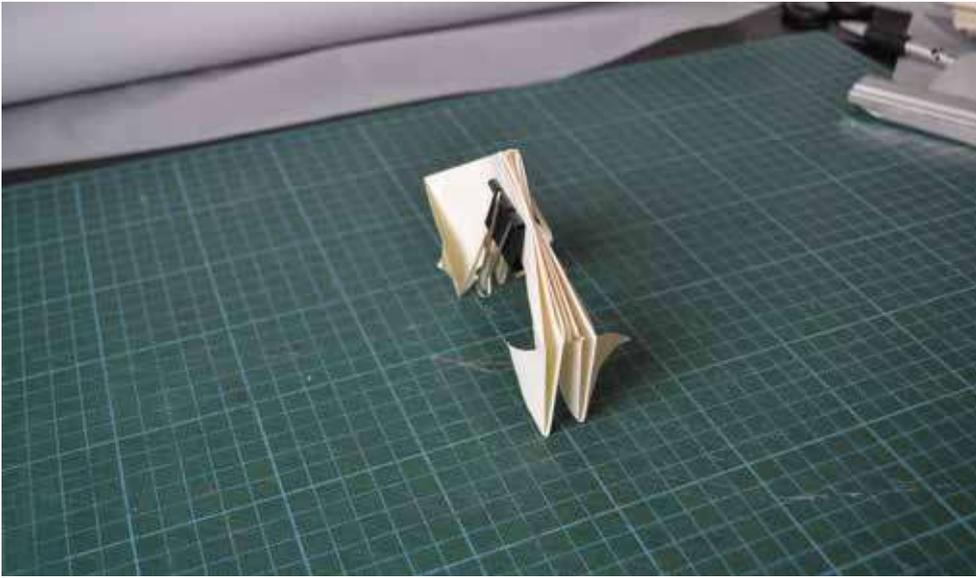
Da die Bühne für mehrere Einsatzmöglichkeiten gebraucht wird, muss sie ein weites Spektrum an verschiedenen Aufgaben gewährleisten.

Durch den Denkmalschutz muss sie abbaubar sein, da sie sonst einen zu starken Eingriff in den denkmalpflegerischen Bereich darstellt. Auch wenn sie optisch stark vom Schloss abweicht und klar ersichtlich ist, dass sie im Nachhinein gebaut wurde. Um einen schnellen Auf- und Abbau ermöglichen zu können soll die Bühne faltbar sein.

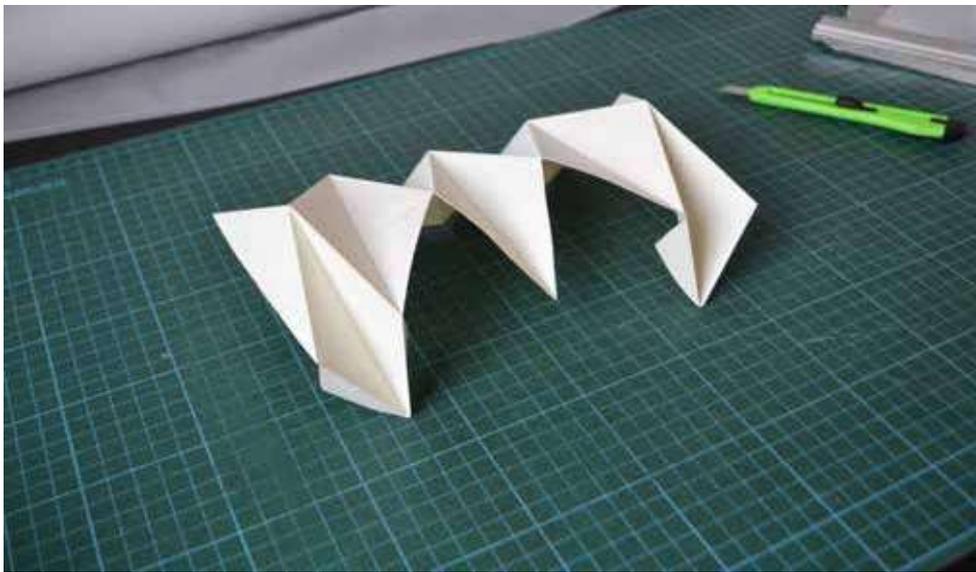
Es muss also eine Bühne geschaffen werden, die für vorher genannten Events gewappnet ist. Es muss möglich sein, Theaterstücke aufzuführen und die Musikkapelle muss genug Platz haben, um zu musizieren.

Auch für die Hochzeitsgäste, die Feiern möchten, muss sie einen Raum bieten. Hierbei ist vor allem wichtig, dass der Raum auch geschlossen werden kann, ansonsten ist es nicht möglich, bei Regen zu feiern. Ein Problem, was schon zu vielen Hochzeitsabsagen auf dem Schloss geführt hat.

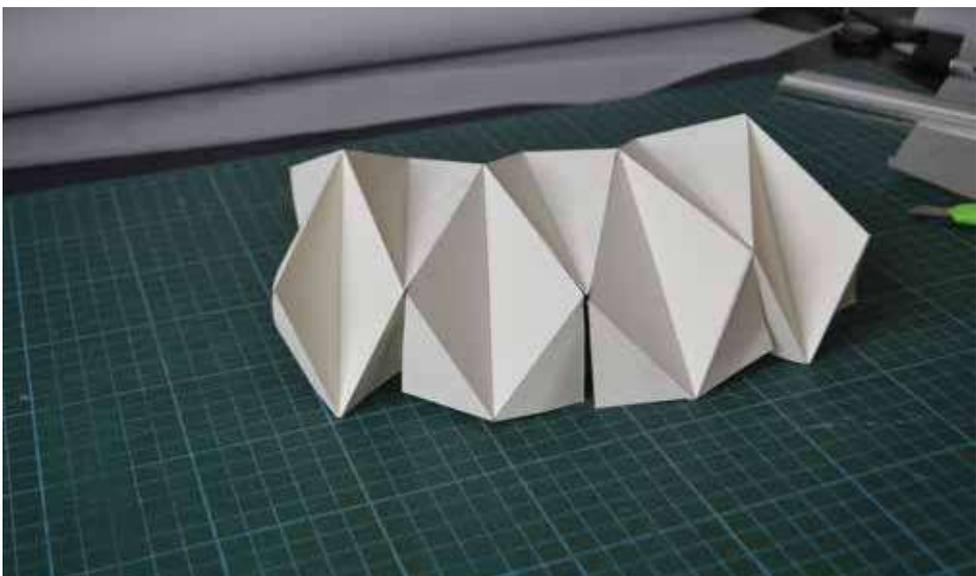
Wie auch beim Entwurf für das Hotel, wurden für die Bühne die selben vier Schritte durchgegangen. In diesem Kapitel werden diese aber nicht einzeln beschrieben.



**Abb.112:** *Faltung im zusammengefalteten Zustand*



**Abb.113:** *Faltung im offenen Zustand*



**Abb.114:** *Faltung im geschlossenem Zustand*

Auch bei dieser Faltung wurde darauf geachtet, dass sich die Elemente wiederholen. Das ist eine wichtige Grundvoraussetzung, damit die Faltung auch zusammenfaltbar war.

Hier war besonders wichtig, dass das Gebäude nicht stark von der Faltung aus Papier abweicht. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass die fertige Konstruktion faltbar ist.

Wie bei den Ständen zu sehen war, ist durch eine starke Abwandlung der Faltung die faltbarkeit nicht mehr gegeben.

Bei der Optimierung der Faltung wurde besonderes Augenmerk auf die Größe der Bühne gelegt. Die Bühne muss eine ausreichende Höhe aufweisen. Dies erwies sich als schwierig. Da die Höhe direkt an die Größe der restlichen Bühne gekoppelt ist. Es musste das richtige Verhältnis aus Höhe und Größe gefunden werden.

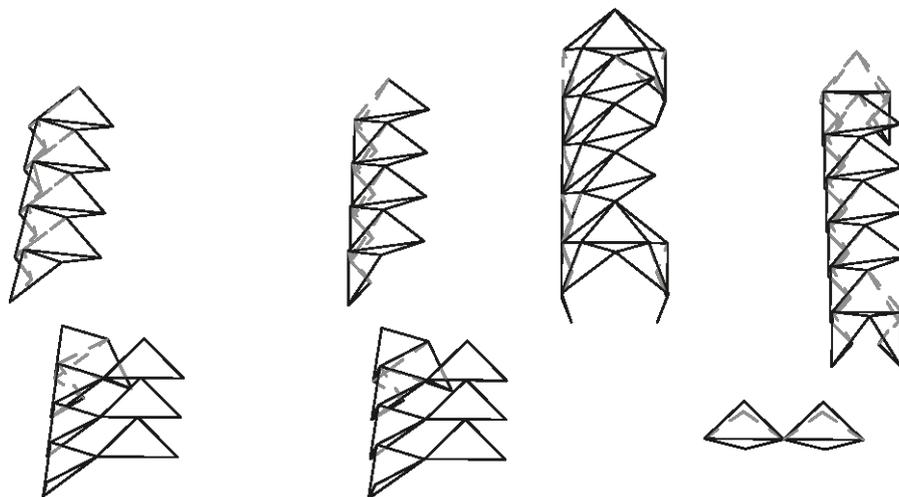


Abb.115: Modellierung

### 6.8.3.3 Auflösen der Faltung in ein Fachwerk

Die Bühne sollte abbaubar sein. Damit dies möglich ist, wird versucht, eine zeltähnliche Konstruktion zu schaffen. Deshalb wird nach der Optimierung der Faltung diese wieder zerlegt. Wie im Kapitel 4.2 „Tragverhalten von Faltungen“ beschrieben, übertragen gefaltete Plattentragwerke an den Kanten einen großen Teil der Kräfte. Aus diesem Grund können diese Tragwerke auch in Fachwerke umgewandelt werden. Nimmt man die Flächen weg und ersetzt die Knicklinien mit Fachwerksstäben, erhält man ein Fachwerk.

Die Knotenpunkte sind hierbei der wichtigste Aspekt. Sie haben nicht nur die Aufgabe, die Stäbe miteinander zu verbinden, sie müssen auch das Knicken ermöglichen, mit dem es möglich wird, die Bühne zusammenzufalten.

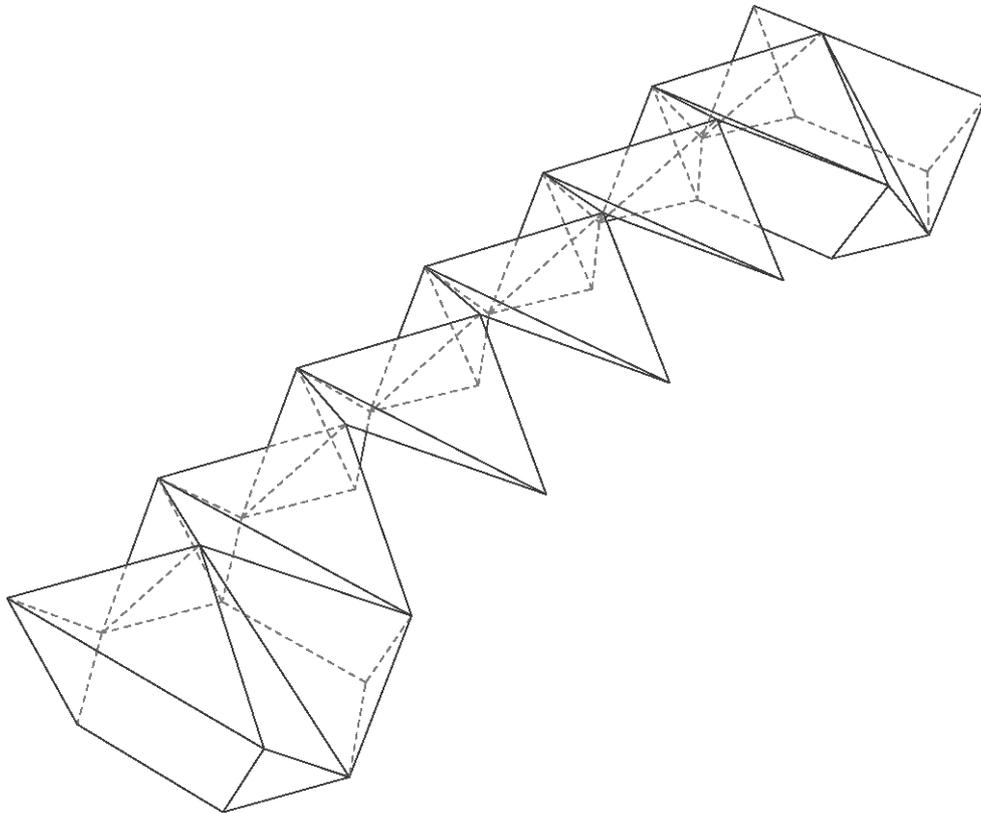
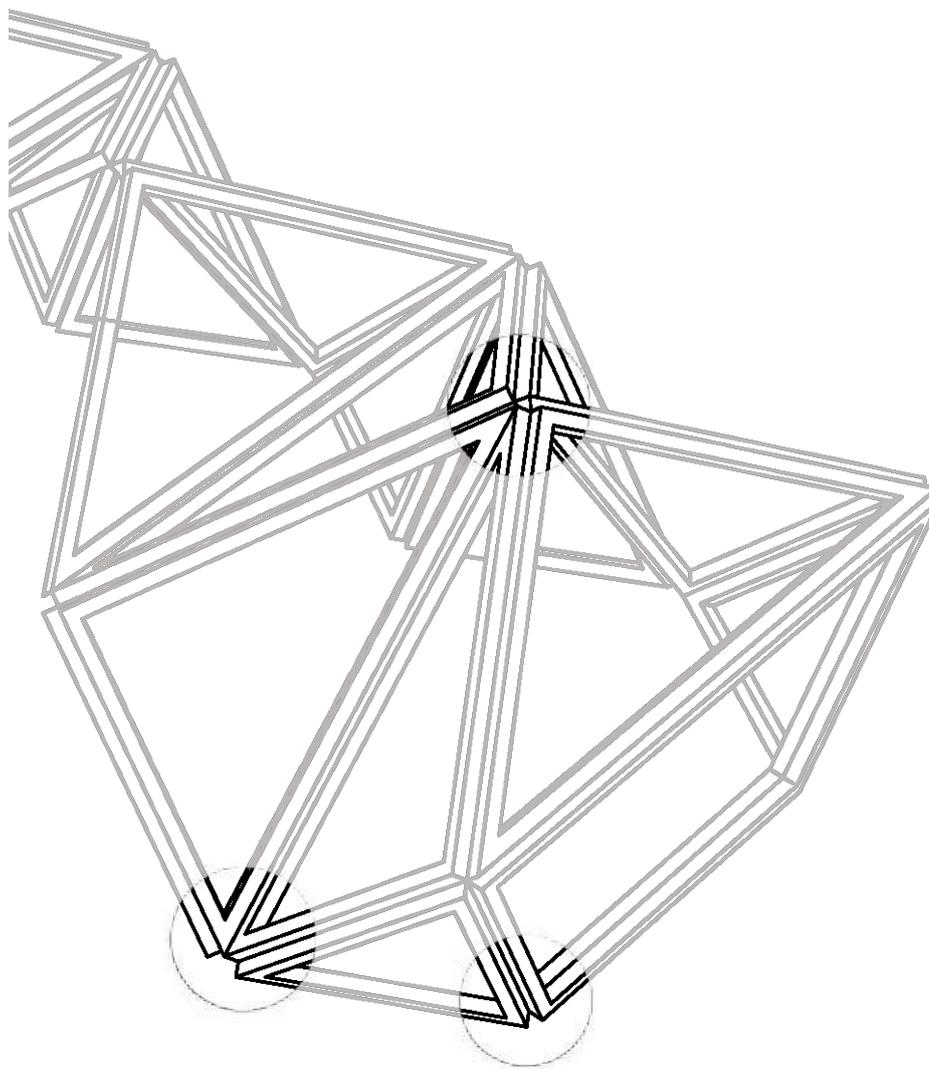


Abb.116: Optimierte Faltung

### 6.8.3.4 Knotenpunkte

Der Entwurf lehnt sich an bereits getestete Strukturen an. Eine Studie [vgl. Temmerman, 2007, S. 166] hat gezeigt, dass sich diese Art der Faltung in Fachwerke umwandeln lässt und diese Fachwerke auch faltbar sind.

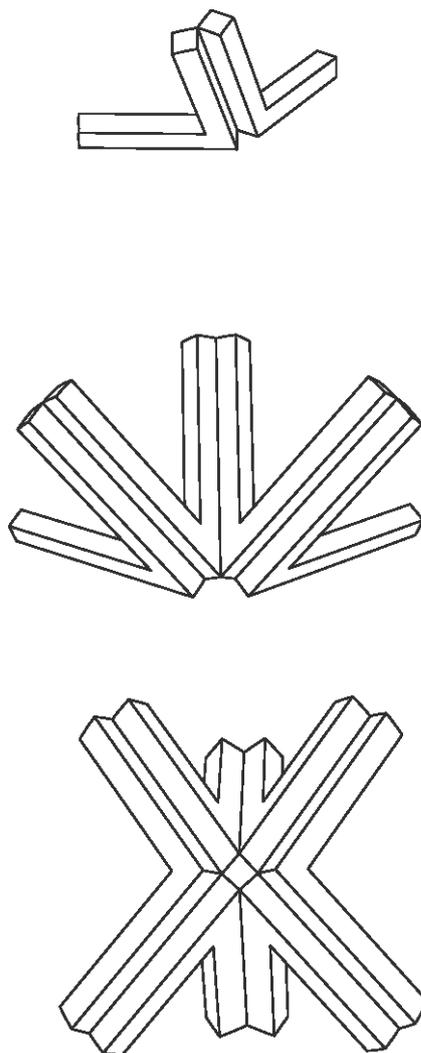


**Abb.117:** Knotenpunkte

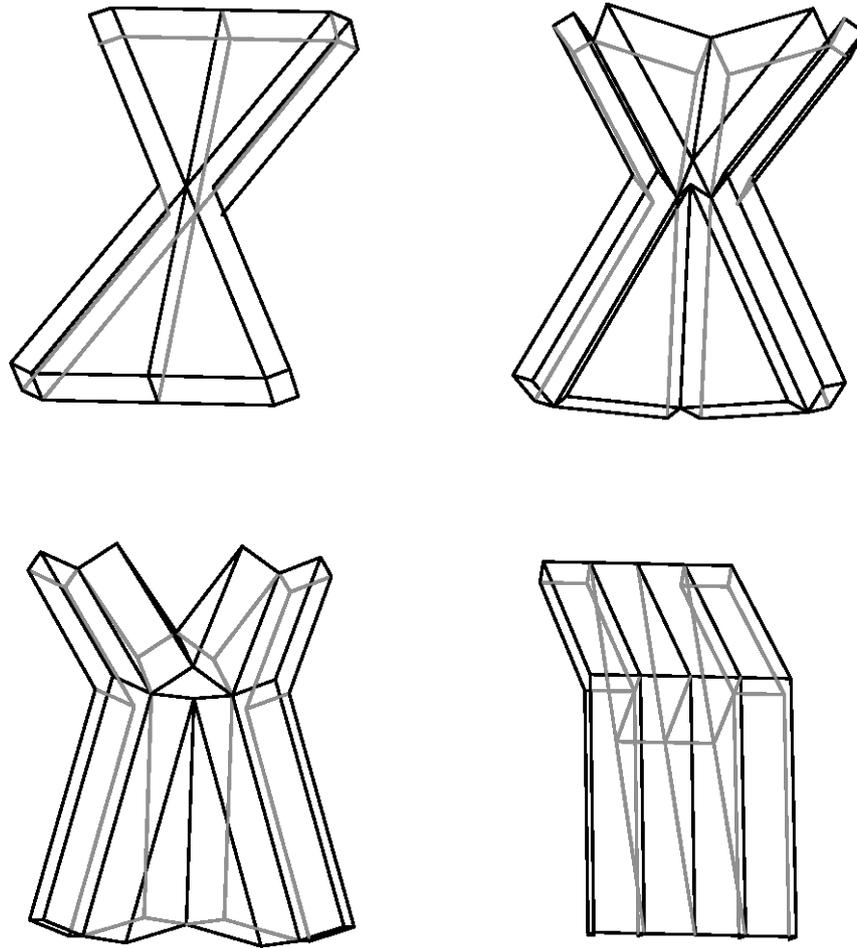
In der Abbildung 117 sieht man eine Zeichnung der Bühnenkonstruktion, bei der bereits die richtigen Faltungsrichtungen konstruiert wurden, sowie die dazugehörigen Knotenpunkte. In der Abbildung 118 sieht man 3 Knotenpunkte genauer. Der Rest der Knotenpunkte verfolgt dieselbe Faltungsmechanik dabei ändern sich lediglich die Winkel der Träger zueinander.

In der Studie „Design and Analysis of a Foldable Mobile Shelter System“ [vgl. Temmerman, 2007, S. 166] werden zwei Möglichkeiten aufgezeigt, wie die Knotenpunkte ausgeführt werden können. Dabei wurde darauf geachtet, dass die selben Freiheitsgrade beibehalten werden und sich dadurch dasselbe Faltverhalten ergibt.

In der ersten Methode wurden solange Teile aus der Mitte der Platte weggeschnitten, bis nur noch die äußeren Stäbe übrig bleiben. An den Faltlinien in der Mitte bleiben dabei 2 Stäbe nebeneinander übrig. Danach erfolgt die Verbindung der einzelnen Stäbe mittels eines Scharnierknotens. Dieser ist in der Abbildung 120 zu sehen. Durch diese Art des Knotens kann er unabhängig von der Dicke der Stäbe eingesetzt werden. Da sich die Stabstruktur direkt aus der Plattenstruktur entwickelt, bleibt das kinetische Verhalten der Faltung dasselbe.



**Abb.118:** Knotenpunkte



**Abb.119:** *Faltverhalten des Knotenpunktes*

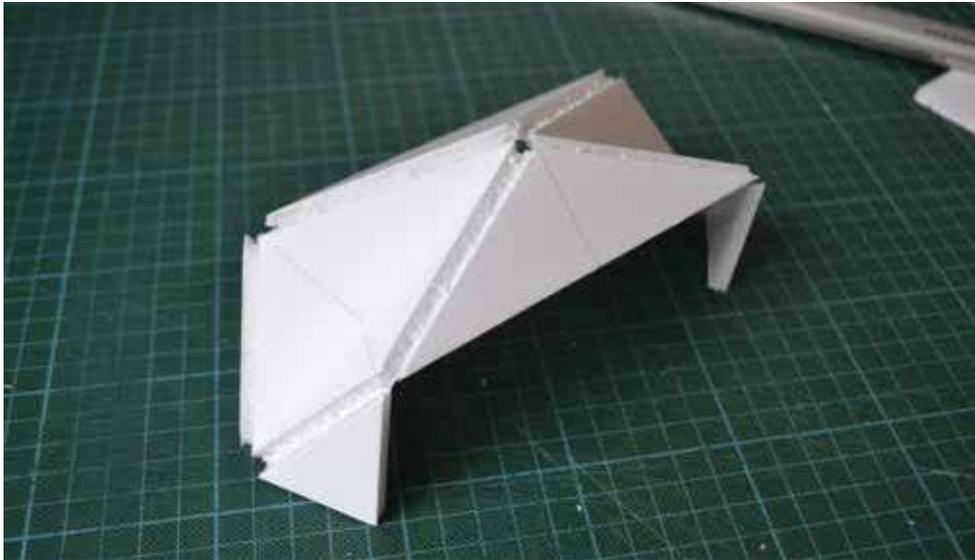
Bei der zweiten Variante wird jede Falte durch einen Stab ersetzt, daran sind die Knotenpunkte angebracht. In der Abbildung 121 sieht man das Gelenk, das die benötigte Bewegungsfreiheit zulässt. [vgl. Temmerman, 2007, S. 166]



**Abb.120:** *Gelenkiger Knotenpunkt*

Für den Entwurf wurde die erste Variante der Knotenausbildung gewählt. Da sich mit dieser Methode schnell überprüfen lässt, wie sich

die gewählte Faltung bei der Faltung verhältet. Die einfachste Methode, sich die Knotenpunkte zu visualisieren, ist ein Model. Dabei eignen sich Sandwichplatten sehr gut, da eine Seite angeritzt werden kann, während die andere zum Scharnier wird.



**Abb.121:** Model des Faltwerks, aufgeklappt und eingeklappt

Nachdem sichergestellt wurde, dass sich die Faltung ohne Probleme Falten lässt, auch wenn es eine Materialstärke gibt, man geht bei Papier von einer unendlich dünnen Materialstärke aus, kann mit dem Ausformen der am Ende bestehenden bleibenden Stäben begonnen werden. Wie vorher beschrieben, werden dazu die Mitten der Platten ausgeschnitten, bis nur noch die Stäbe übrig bleiben. Das Model dazu ist in der Abbildung 122 zu sehen.

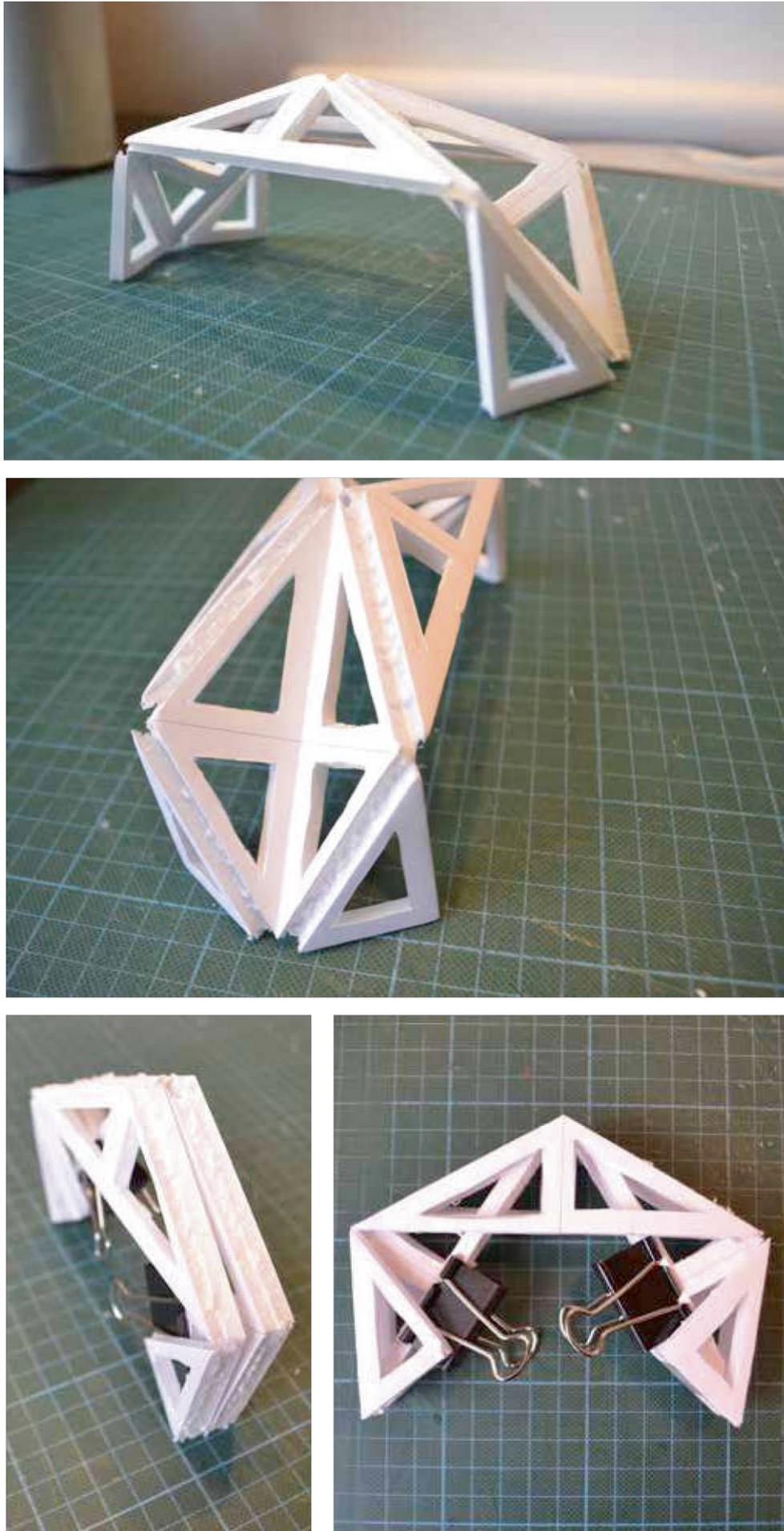


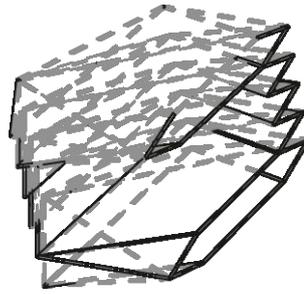
Abb.122: Model der Knoten

6.8.3.5 Aufbau der Bühne

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.



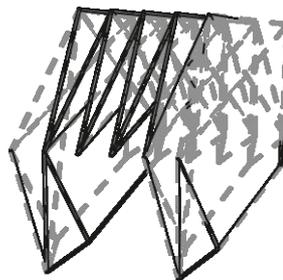
Abb.123: Aufbau der Bühne



**Abb.124:** Schritt Eins:

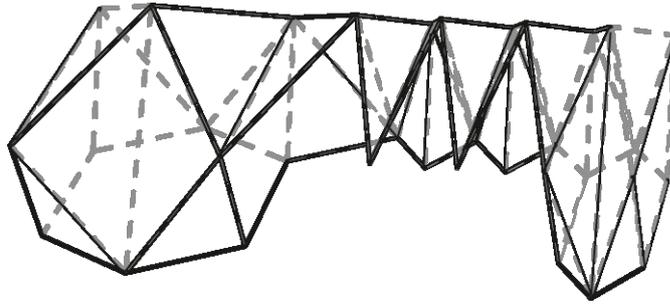
Der Aufbau der Bühne erfolgt in vier Schritten. Die Bühne wird durch einen Laster angeliefert, da es sich um ein hohes Gewicht handelt (ca 2100 kg) ist ein Autokran nötig. Mit dem Autokran wird die Bühne an Ihren Platz gehoben. Durch das Gewicht und des großen Hebelarmes (ca 45 Meter) braucht es einen Autokran vom Typ Liebherr Ltm 100 4.2. Ein Unternehmen in Lana verfügt über einen solchen. Der benötigte Platz hierfür ca 10 x 10 Meter ist auf dem Schlossgelände gegeben.

Der komplette Aufbau der Bühne erfolgt an einem Tag.



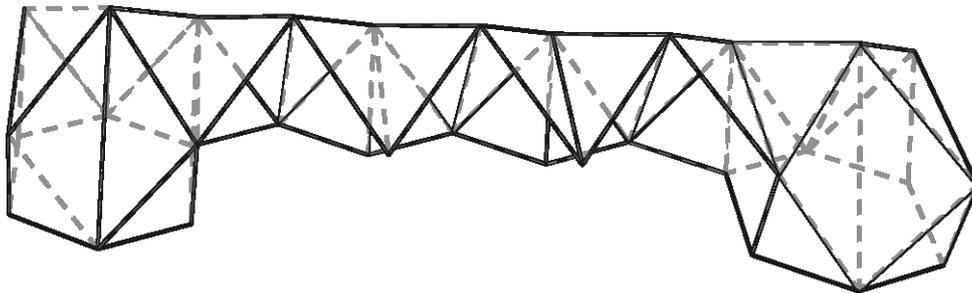
**Abb.125:** Schritt Zwei

Im zweitem Schritt wird die Bühne aufgerichtet, das Ziel dabei ist nicht mehr als drei Arbeitskräfte beim Aufbau zu benötigen. Durch den Autokran kann die Bühne in die horizontale Lage gebracht werden. Daraufhin erfolgt die Fixierung des ersten Knotens an der darunterliegenden Tragstruktur.



**Abb.126:** Schritt Drei

Nach der Fixierung des ersten Knotenpunktes kann mit dem Auffalten der Bühnenkonstruktion begonnen werden. Nach dem Auffalten jedes einzelnen Abschnittes der Faltung können die aufgefalteten Knotenpunkte am darunterliegenden Fundament angeschraubt werden. Das verhindert, dass die Konstruktion unkontrolliert herumschleift.



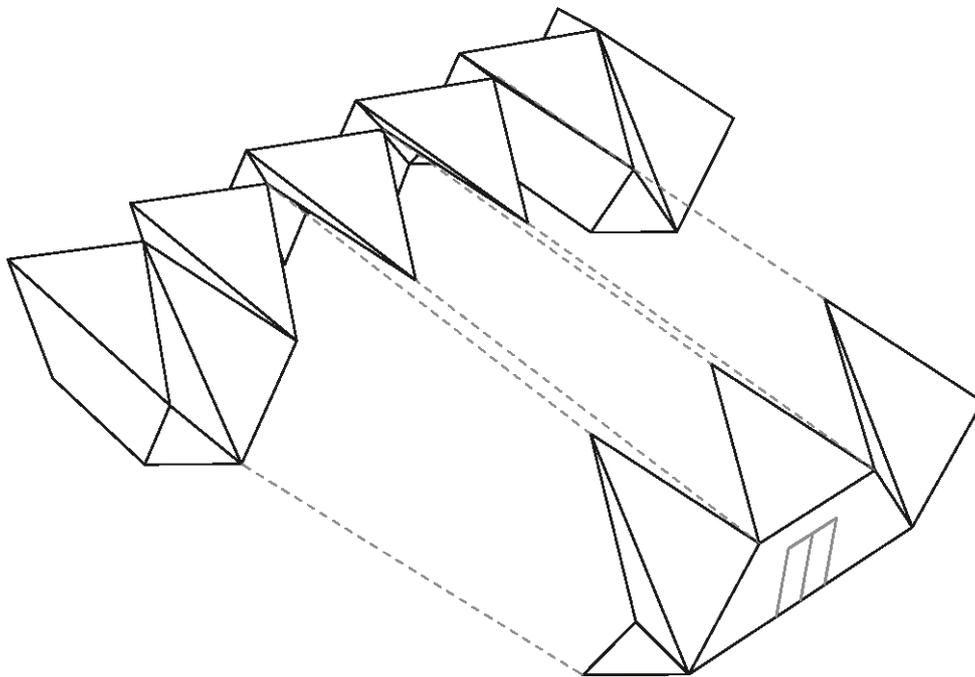
**Abb.127:** Schritt Vier

Nach der vollständigen Öffnung der Faltung müssen alle Knotenpunkte mit dem Fundament verschraubt sein. Nach dem Verschrauben mit dem Fundament können die Verblendungen über den Faltnicken angebracht werden. Für die Nutzung als Bühne ist damit der Aufbau abgeschlossen. Für die Nutzung als geschlossener Raum muss noch das Gegenstück zur Bühne aufgebaut werden. Dieses wird im folgenden Kapitel genauer erklärt.

### 6.8.3.6 Verschließbarkeit der Bühne

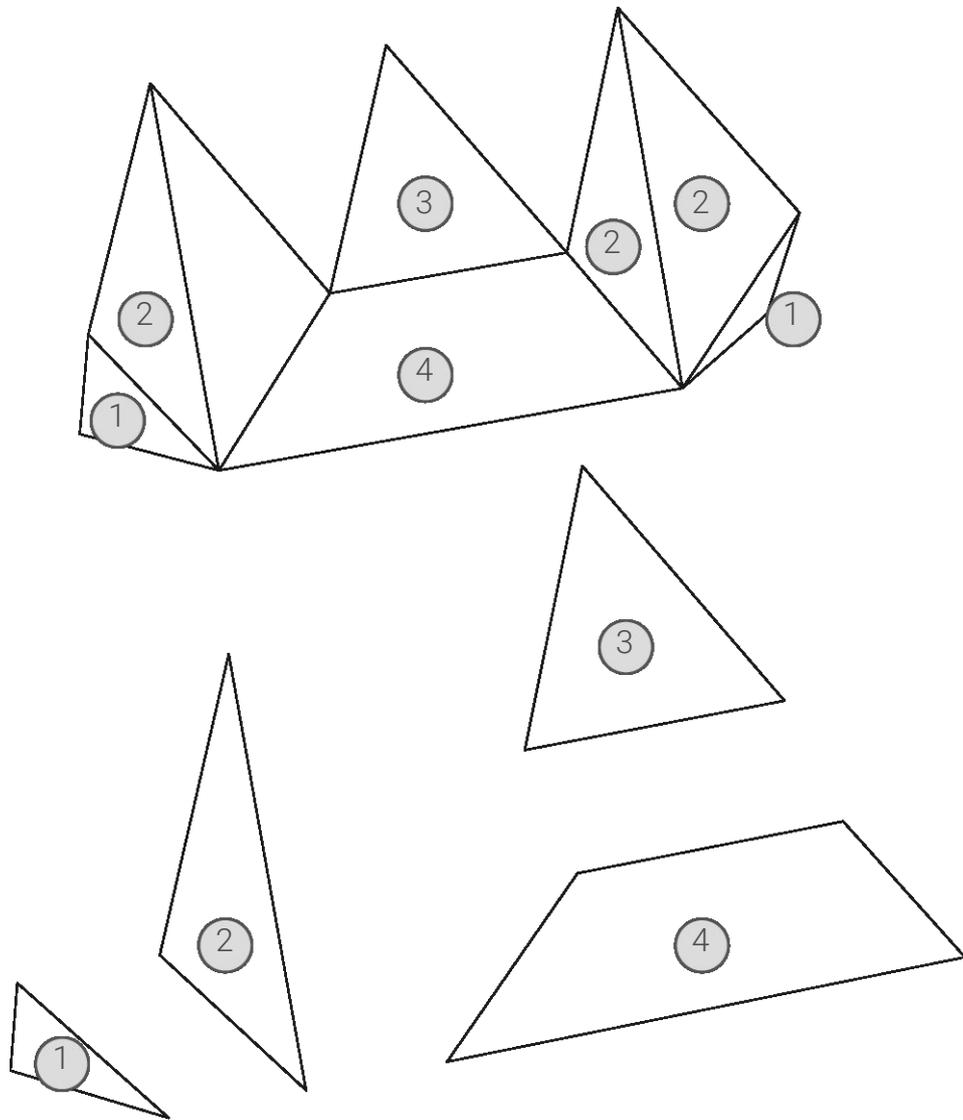
Um die Bühne verschließbar zu machen, wurden zwei Varianten entworfen. Eine Variante besteht aus Einzelstücken, um eine Verschließbarkeit auch auf kleinem Raum und ohne Kran zu ermöglichen. Die zweite Variante besteht aus einem faltbaren Gegenstück zur Bühnenkonstruktion.

Variante Eins:



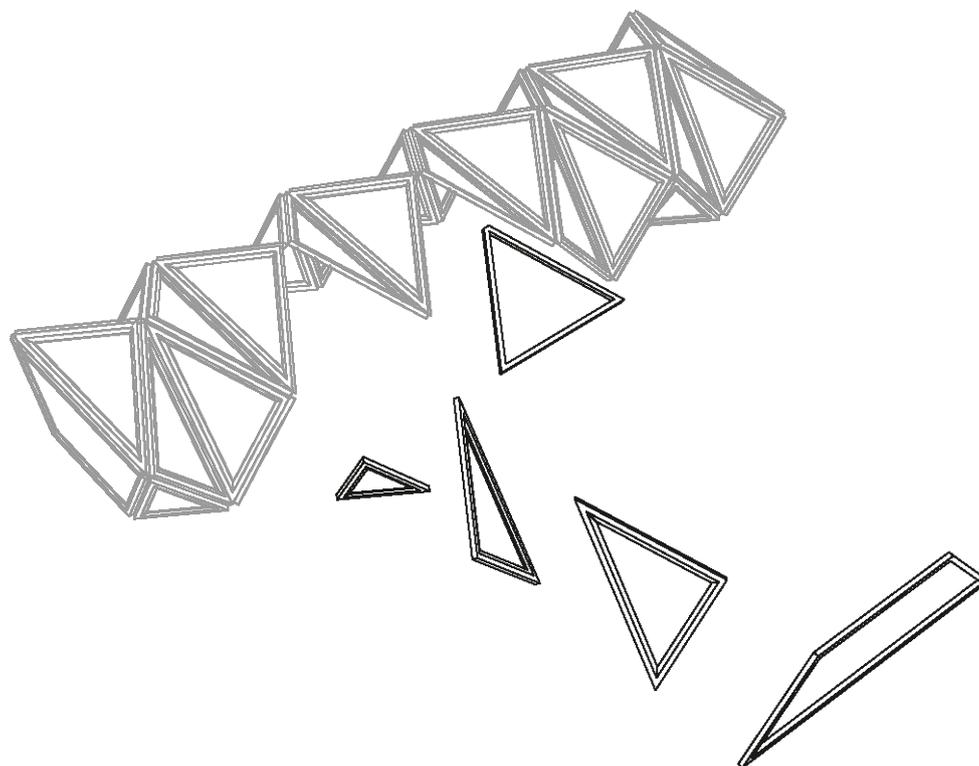
**Abb.128:** Variante eins

Bei der Variante eins handelt es sich um die Variante aus mehreren Einzelstücken. Sie ist platzsparender, da sie sich nicht falten lassen kann. Der Aufbau kann auch in einem zweiten Moment erfolgen, sich sollte wenige Tage vor einem Event die Wetterlage ändern. Der Aufbau kann von wenigen ausgebildeten Fachkräften ausgeführt werden. Es wird wenig zusätzliches Material gebraucht, um diese Variante aufzubauen.



**Abb.129:** Zerteilung des „Zwillings“

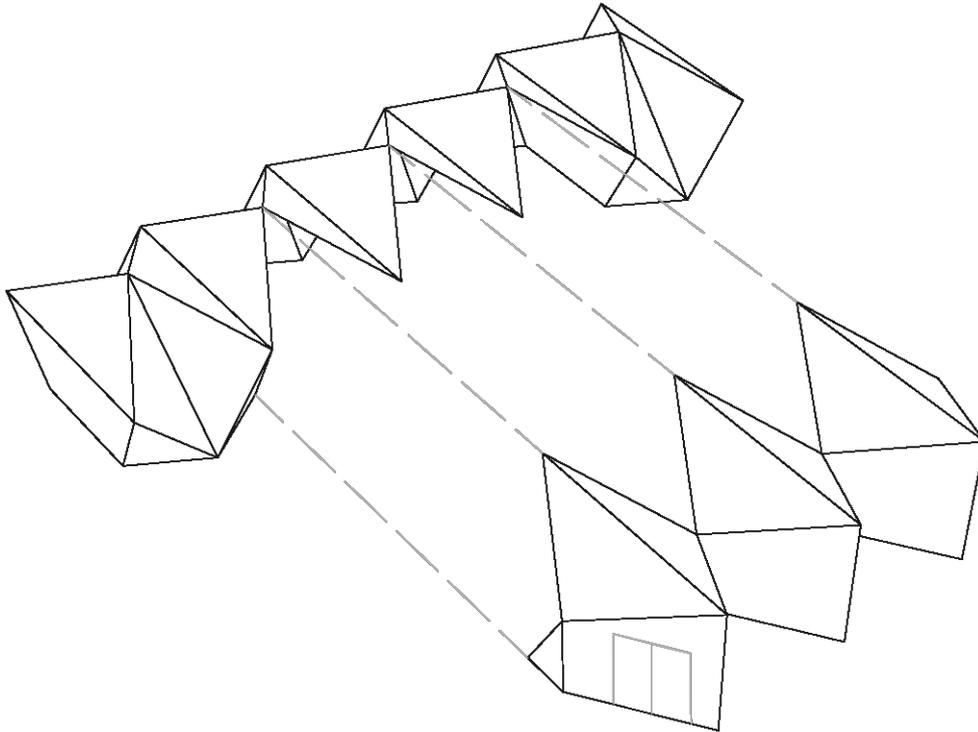
Um eine leichtere Handhabung zu ermöglichen, wird das Gegenstück in Einzelteile zerteilt. Da der Aufbau der Hauptbühne durch einen Auto- kran erfolgt. Wird diese über mehrere Monate im Sommer aufgebaut bleiben. Eine Anpassung an das Wetter muss aber auch kurzfristig erfolgen können. Daher wird bei der ersten Variante von einer Faltbarkeit des Gegenstücks abgesehen. Da eine Faltung des Gegenstücks das Stück als Gesamtes benötigen würde. Dadurch würde das Element sehr groß und schwer werden. Durch eine Zerteilung erhält man viele Einzelstücke, die einfacher durch eine kleine mobile Hebebühne gehandhabt werden können. Bis auf das Einzelstück Nummer 4 sind alle Teile dieselben wie bei der Hauptbühne. Dieses Teil enthält auch den Eingang zum Raum.



**Abb.130:** Rahmenform der Einzelteile

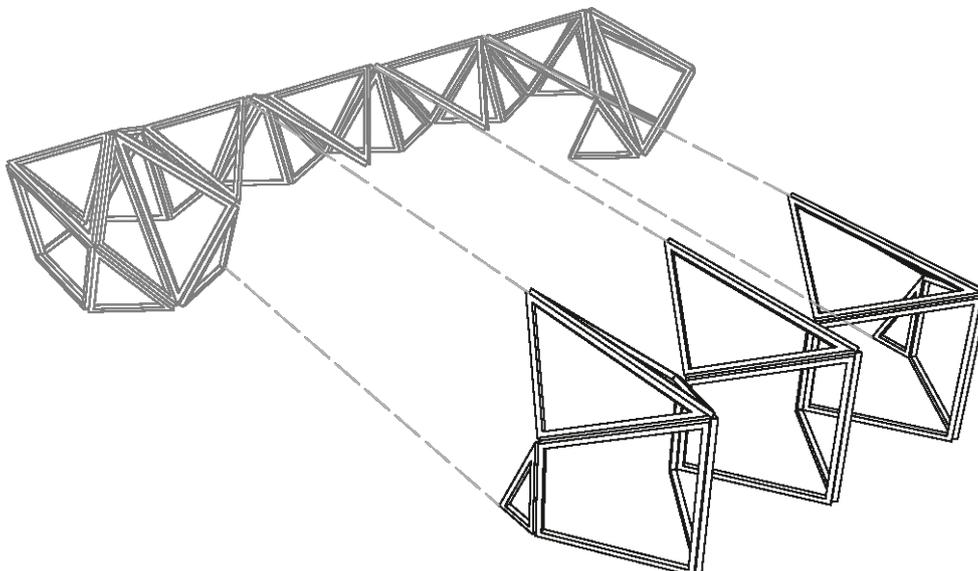
Wie auch die Bühne selbst bestehen die Einzelteile aus Rahmen, die mit einer Membran ausgefacht sind. Die Einzelstücke werden an den Rahmen miteinander verschraubt und werden Teil für Teil aufgebaut. Insgesamt sind 8 Einzelteile in 4 verschiedenen Formen nötig, um die Bühne zu schließen.

Variante Zwei:



**Abb.131:** Variante Zwei

Die zweite Variante ist ein zweites Falwerk, das sich als Passform in die Hauptbühne einsetzen lässt. Der Aufbau erfolgt dabei mit einem Autokran oder ähnlichem, analog dem System der Hauptbühne. Zuerst wird das Gegenstück zusammengeklappt an Ort und Stelle gebracht. Ist es an der richtigen Position, kann es auseinandergefaltet und mit der Hauptbühne verschraubt werden.



**Abb.132:** Faltform der Zweiten Variante

Die Faltform orientiert sich an der Bühne. Das Gegenstück kann aber nicht eine genaue Spiegelung sein, da es nötig ist, Ein und Ausgänge zu schaffen. Dafür sind gerade horizontale Flächen nötig. Statisch sind Dreiecke besser, aber eine Auskreuzung der viereckigen Flächen würde die Fläche zu stark verringern, um eine Tür einzubauen.

In der Abbildung 133 ist der Grundriss der Bühne im geschlossenen Zustand mit der ersten Variante zu sehen.

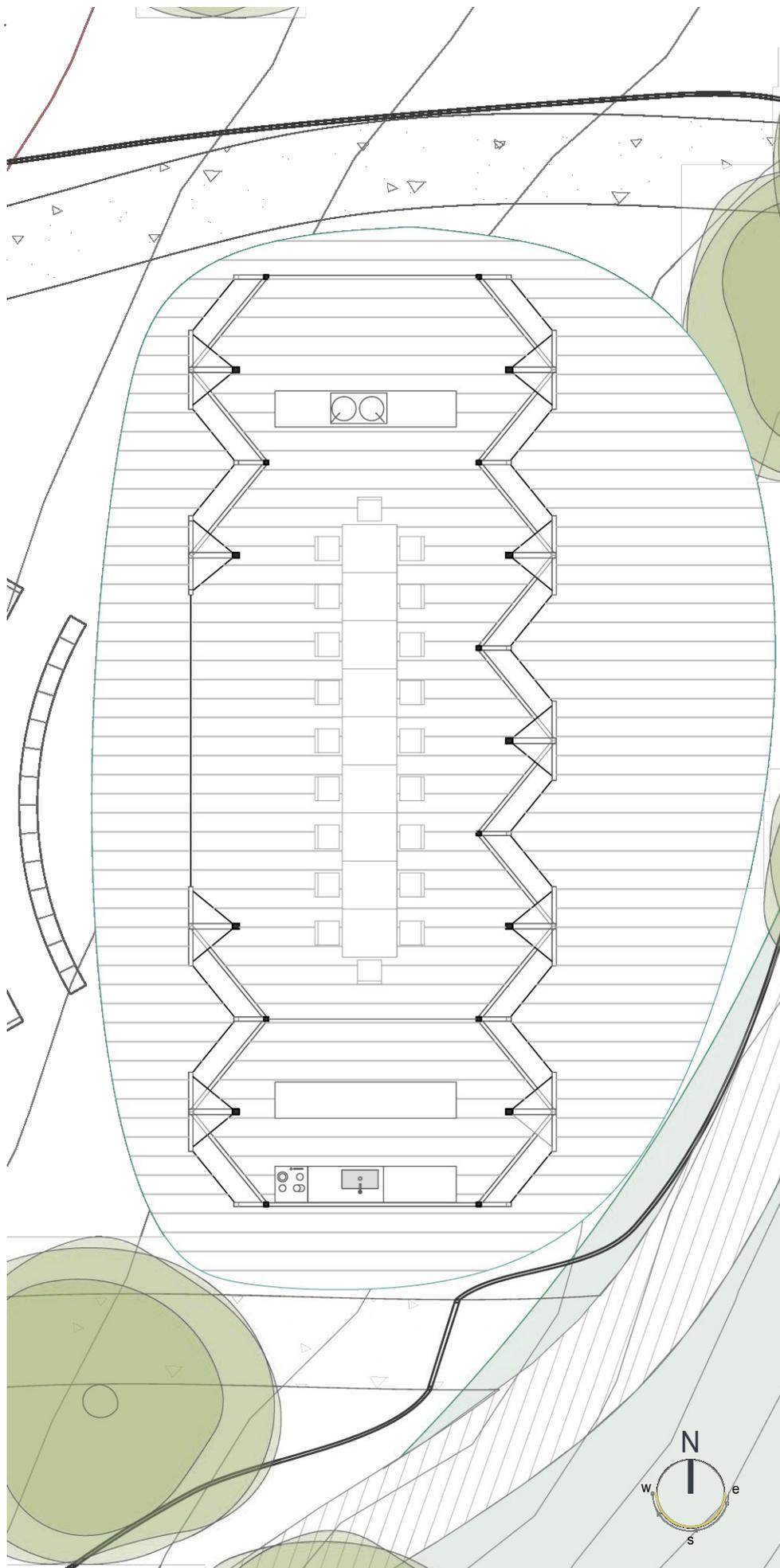


Abb.133: Grundriss, geschlossene Bühne

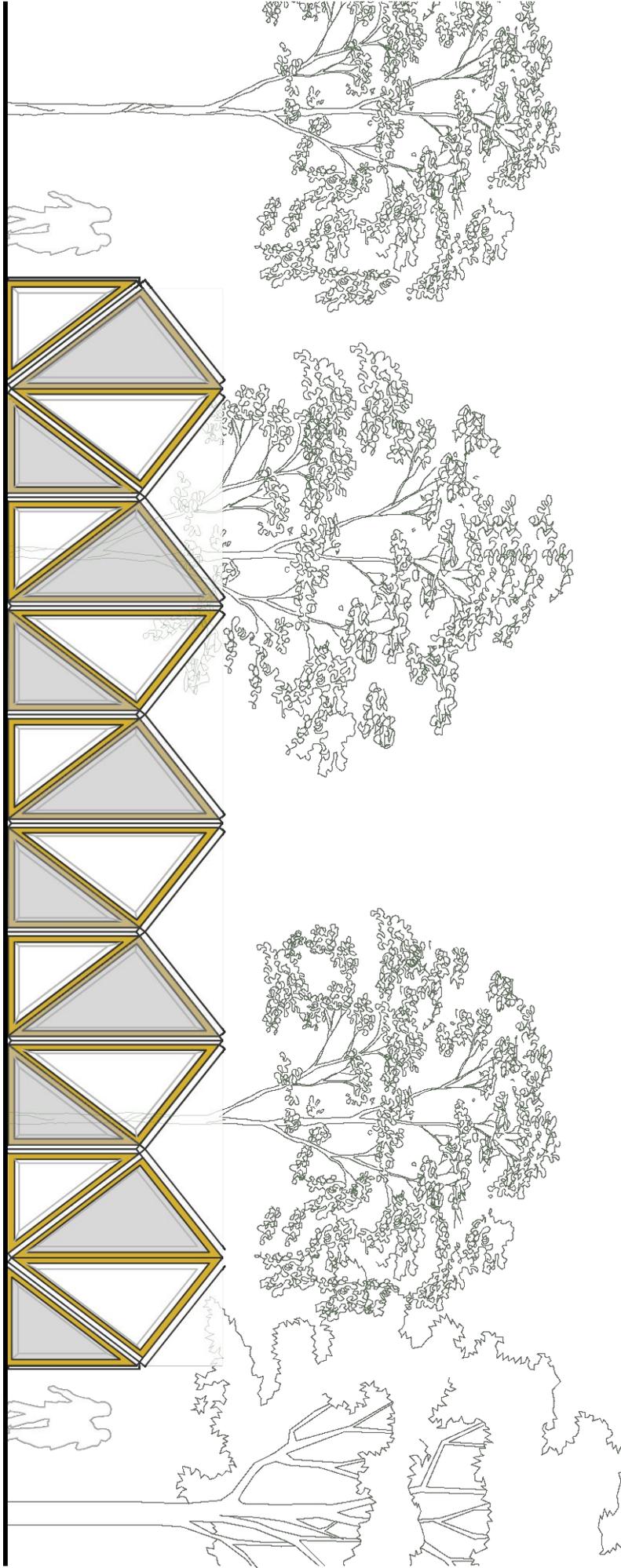


Abb.134: Südansicht M 1:100

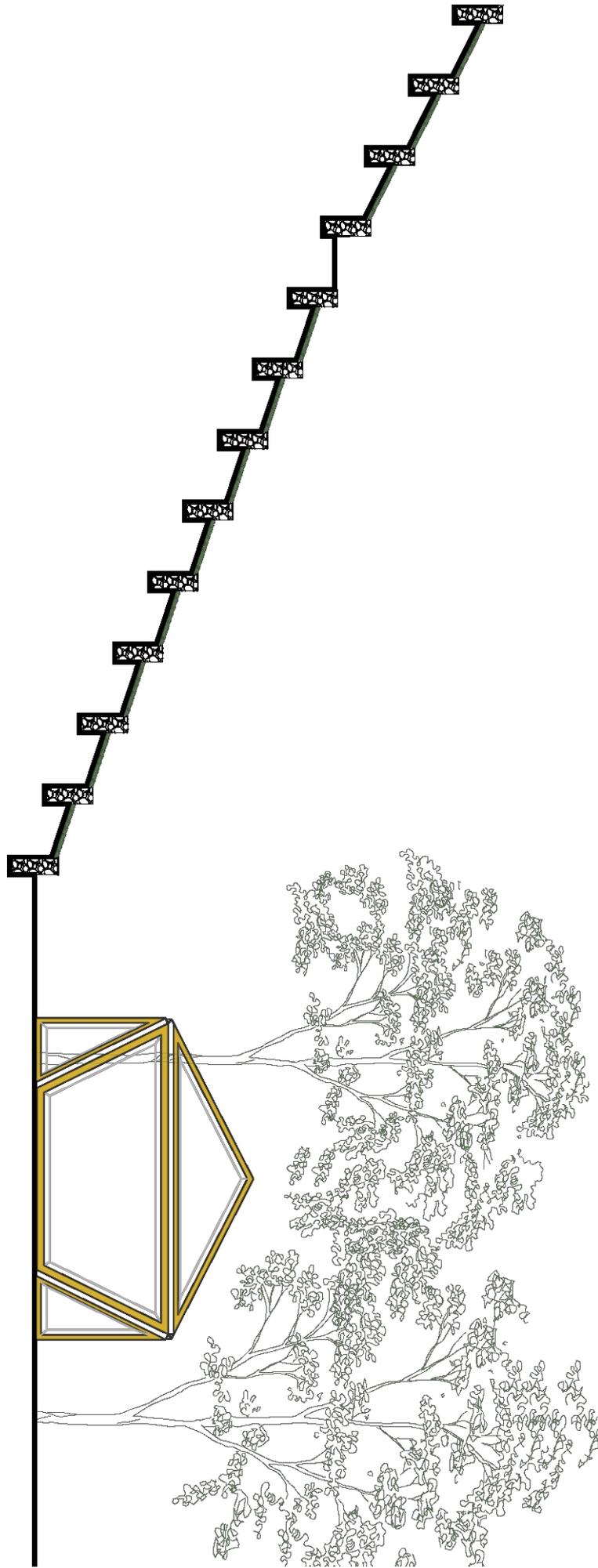


Abb.135: Westansicht M 1:100

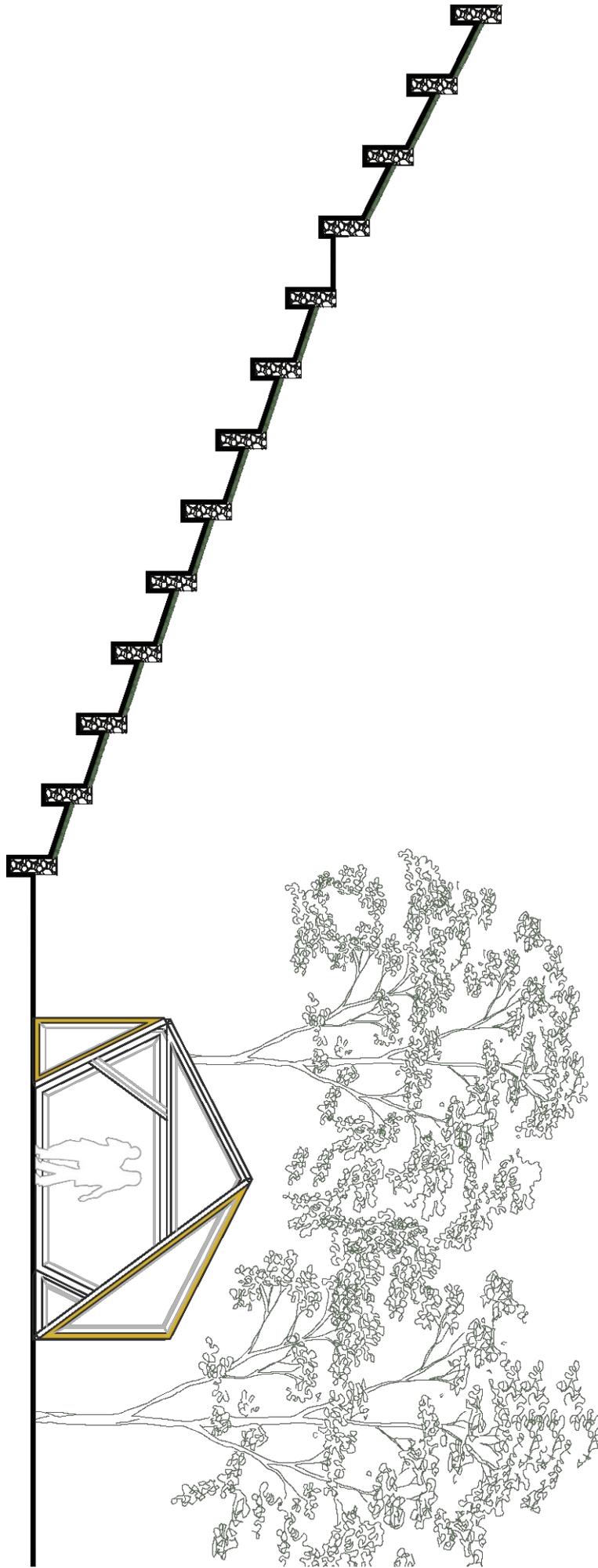


Abb.136: Schnitt M 1:100

### 6.8.3.7 Tragwerksentwurf

Aus der Statik geht hervor, dass die größten Verformungen an den überhängenden Spitzen zu finden sind, diese aber relativ gering sind. Wie auch beim Hotel, wird hier von den Dreiecksflächen profitiert, eine stabile statische Form. Ein weiterer Vorteil der Dreiecksflächen ist, dass sie immer planar sind. Das heißt, sie verfügen über keine Krümmung, während hingegen viereckige Flächen über Krümmungen verfügen können.

Die Statik wurde einmal mit einer knickbaren Konstruktion aus Holz berechnet. Dabei würden die dreieckigen Flächen komplett aus Holz bestehen und wären gefüllt. Hier ergab die Vorbemessung, dass kreuzverleimte Holzplatten mit einer Stärke von 120 mm ausreichen. An den vorderen Spitzen der Konstruktion müssten möglicherweise Verstärkungen angebracht werden. Dabei wäre an ein Metallblech zu denken, welches verschraubt werden würde. Die Konstruktion würde aber ein extrem hohes Gewicht haben und ist aus diesem Grund schwer transportierbar und auf bzw. abbaubar.

Die zweite Variante der Vorbemessung wurde als Fachwerk gerechnet. Kaum überraschend, wirken auch hier die größten Kräfte auf die vorderen beiden Spitzen. Deshalb finden wir hier auch die größten Querschnitte der Stäbe wieder. Rechteckprofile mit einer Abmessung von 140 mm x 80 mm x 3 mm (zu sehen in der Abbildung 138). Ein sehr positiver Punkt ist, dass in den Seitenwänden, den einzigen Vierecksflächen der Konstruktion, keine Zwischenstäbe nötig sind. Die Aussteifung durch die Stäbe am Boden der Konstruktion ist ausreichend. Dadurch entstehen keine Probleme, sollte man eine Tür in die Bühnenkonstruktion einbauen wollen.

In der Abbildung 137 sind die Kräfte (in kN), die auf die Auflager wirken, zu sehen. Es wurden zur besseren Übersicht nicht alle Auflager beschriftet. Die größten Kräfte wirken auf das mittlere Auflager und zwar in Zug sowie Druckbelastung. Die maximale Zugbelastung beträgt 138 kN und die Druckbelastung beträgt 78 kN. Die Kräfte links und rechts sind ident, da die Bühne symmetrisch ist.

Während die Vorbemessung, die bei den Druckkräften auf das Gebäude keine unerwarteten Erkenntnisse gebracht hat, sieht es bei den Zugkräften anders aus. Da der mittlere Teil des Tragwerks überhängend ist, entstehen an der Rückseite der Bühne sehr große Zuglasten. Das Gebäude versucht nach vorne zu kippen.

Diese Kräfte belaufen sich auf 138 kN. Daher ist eine Verankerung nach unten notwendig. Die einfachste Methode dies zu bewerkstelligen, ist der Einbau von Gewindeankern welche sich in den Streifenfundamenten unter den Holzbalken der Bühne befinden. Dadurch können die Zugkräfte leicht aufgenommen werden. An den Gewindeankern werden Kopfplatten mit Ösen montiert und daran wird die Bühne befestigt.

Auch beim Aufbau helfen die Befestigungen am Boden, denn damit kann die Bühne bereits während des Aufbaus befestigt werden und sich weniger bewegen.

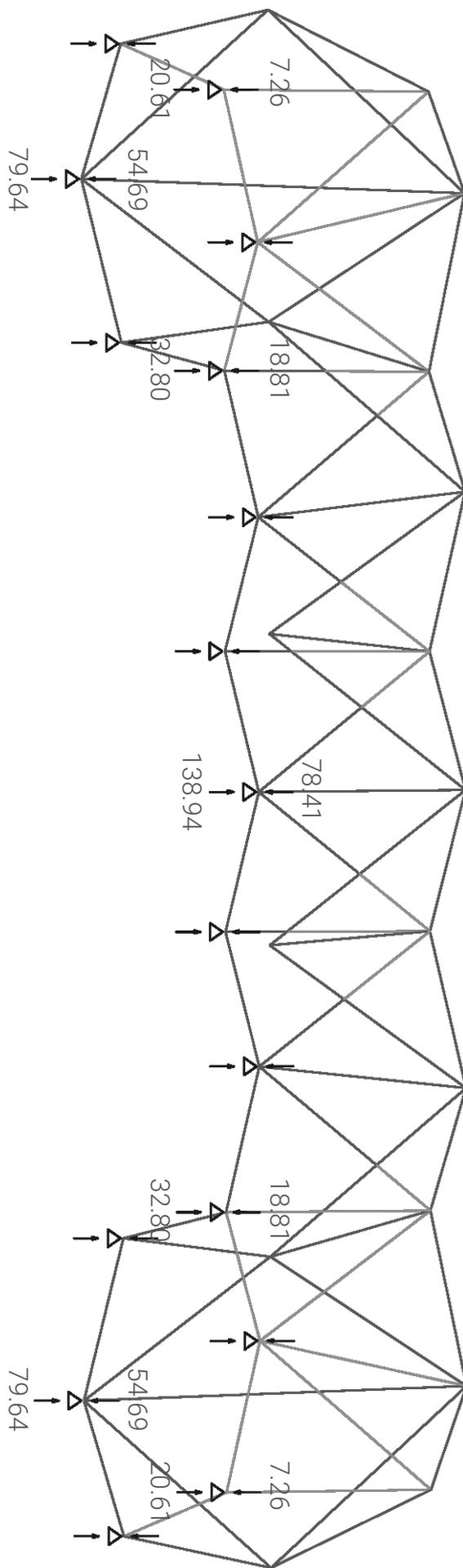
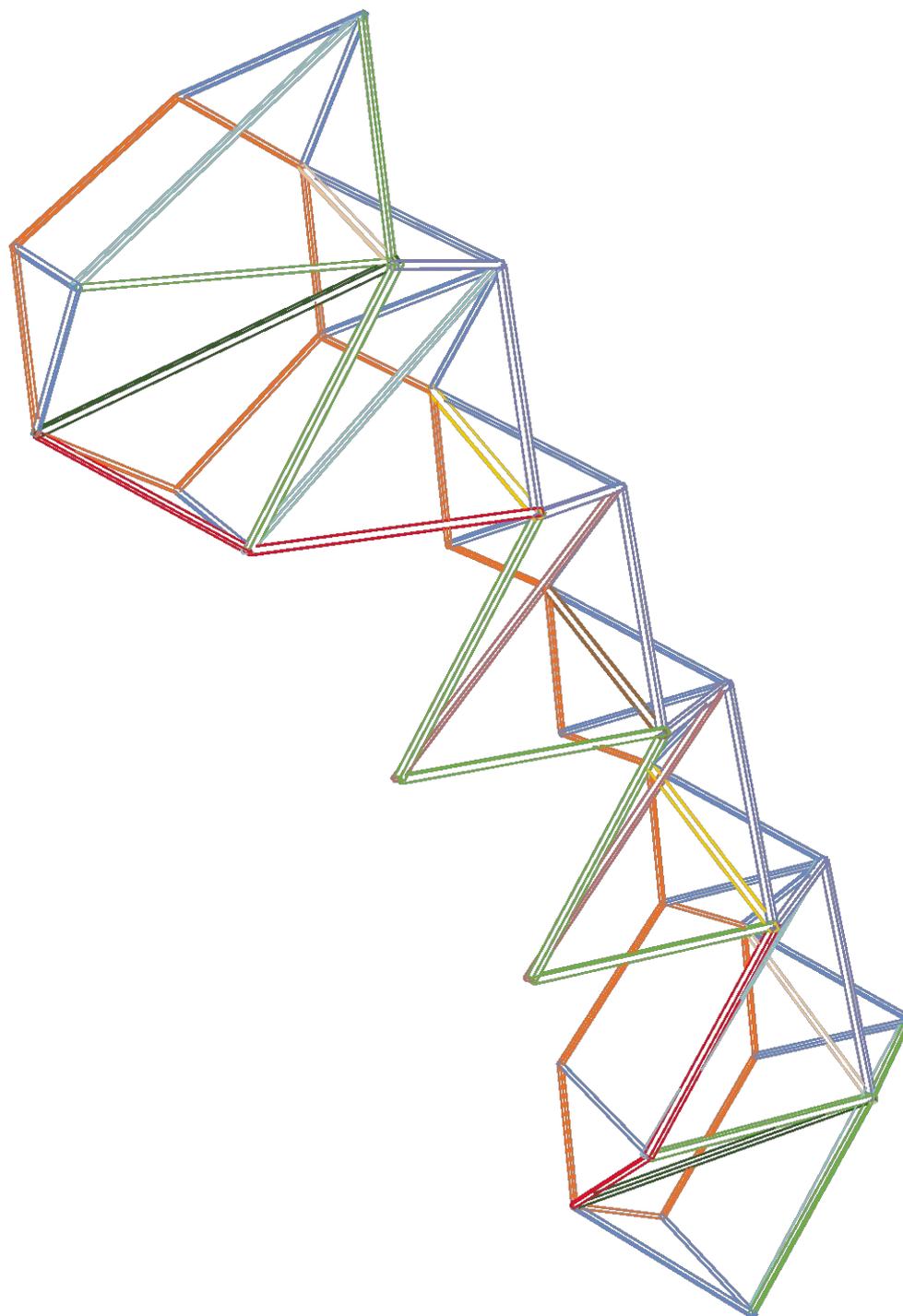
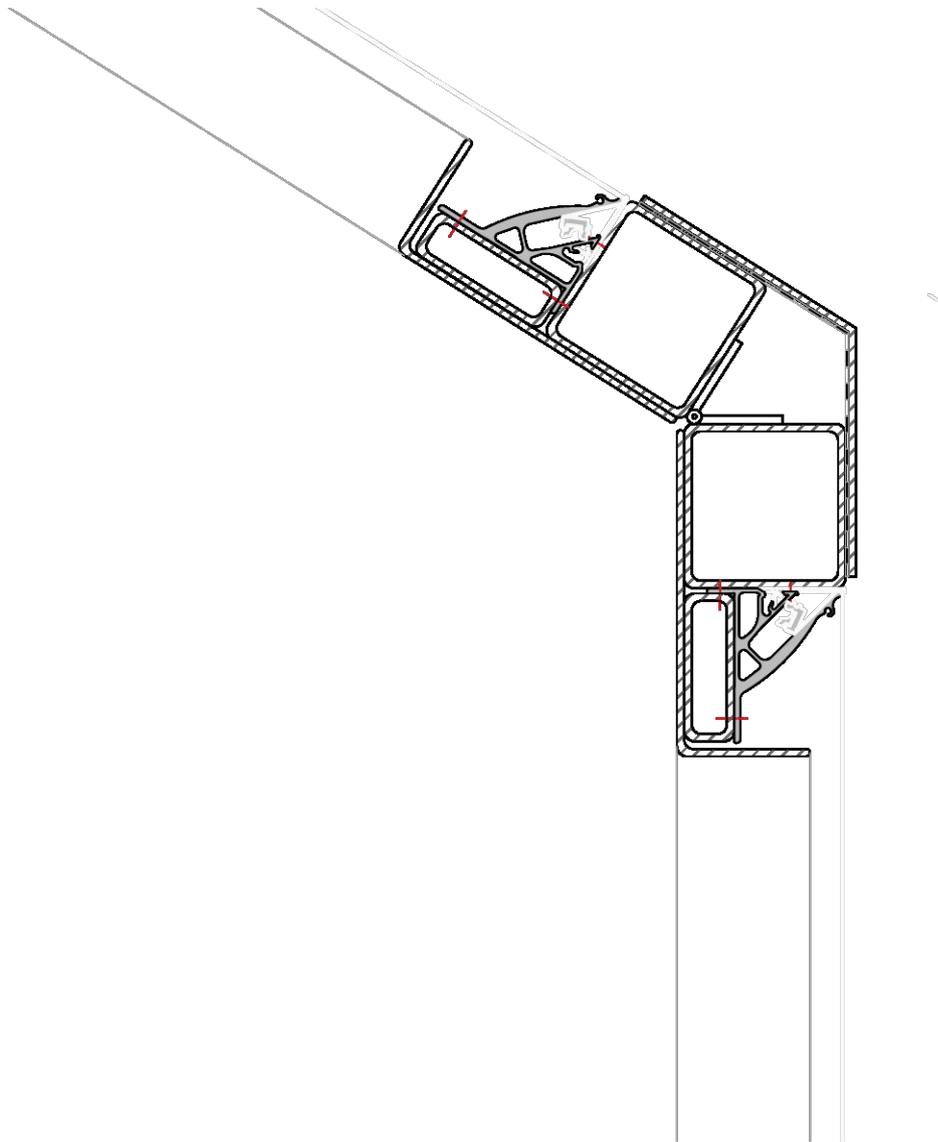


Abb.137: Kräfte welche auf die Auflager wirken



	QRO 70x3,2 (warmgef.)		QRO 120x5 (warmgef.)
	QRO 120x3 (kaltgef.)		QRO 120x3 (kaltgef.)
	RRO 140x80x3 (kaltgef.)		QRO 90x3 (kaltgef.)
	QRO 70x3,2 (warmgef.)		RRO 120x60x4 (warmgef.)
	QRO 90x3 (kaltgef.)		QRO 60x2,5 (kaltgef.)
	QRO 80x4 (warmgef.)		

**Abb.138:** Profile



**Abb.139:** *Detail Eckausbildung*



**Abb.140:** *Referenzbild*



Abb.141: Visualisierung der Bühne



Abb.142: Visualisierung Bühne



**Abb.143:** Visualisierung der Bühne von oben



## 7 Fazit

Die Fragestellung der vorliegenden Diplomarbeit war die Untersuchung der Ästhetik, Ressourceneffizienz und Funktionalität von Origamifaltungen in der Architektur.

Dazu wurde ein Bauplatz, Schloss Braunsberg in Lana, gewählt. Um die verschiedenen Fragestellungen zu untersuchen, wurden drei Bauaufgaben ausgewählt. Für die Ästhetik wurde eine Aussichtsplattform entworfen, für die Ressourceneffizienz ein Hotelzimmer und für die Funktionalität eine Bühnenkonstruktion.

Bei der Ästhetik wurde in erster Linie auf die Optik der Aussichtsplattform in Bezug auf das denkmalgeschützte Schloss geachtet.

Bei der Ressourceneffizienz wurden Faltungen genutzt, um ein Hotelzimmer materialsparend zu gestalten.

Bei der Funktionalität wurde eine faltbare, leicht auf-und abbaubare, flexibel nutzbare Bühnenkonstruktion entworfen.

In Bezug auf die Ästhetik war eine optische Abgrenzung vom Schloss wichtig. Durch transparente Materialien sollte sich die Plattform zurücknehmen. Mit Glaselementen als Origamifaltung ausgeführt, konnte die gestellte Aufgabe gelöst und die Transparenz mit einer außergewöhnlichen Optik verbunden werden.

Bei der Ressourceneffizienz sollten die Faltungen dazu genutzt werden, ein materialsparendes Tragwerk aus Holz zu entwerfen. Die Faltungen wurden optimiert, um möglichst viele gleiche Elemente zu erhalten und dadurch die Fertigungskosten zu senken. Die gewählte Bauaufgabe hat sich als nicht optimal herausgestellt, da der gegebene Innenraum

eine größere Neigung der Faltung nicht zugelassen hat.

Die Funktionalität wurde durch die Faltbarkeit einer Bühnenkonstruktion unter Beweis gestellt. Dabei wurde ein Stahlbau genutzt, um die Querschnitte der Profile zu reduzieren. Die Bühne ist durch Scharniere faltbar und erlaubt dadurch einen schnellen Auf und Abbau sowie eine einfache Transportierbarkeit.

Origami hat viele Potenziale, die in Zukunft ausgeschöpft werden können. Besonders spannende Anwendungsbereiche sehe ich in großen hallenartigen Gebäuden und bei der Nutzung als Notunterkünfte in Krisengebieten.

# Abbildungsverzeichnis

Abb.11: Stirnversatz

erstellt von Philipp Oberkofler, nach Vorlage von:

Graubner, W., Grunder, W., Oldenbourg, L., 2021. Holzverbindungen: Gegenüberstellungen japanischer und europäischer Lösungen

Abb.12: Einhälsung

erstellt von Philipp Oberkofler, nach Vorlage von:

Graubner, W., Grunder, W., Oldenbourg, L., 2021. Holzverbindungen: Gegenüberstellungen japanischer und europäischer Lösungen

Abb.13: Spundung

erstellt von Philipp Oberkofler, nach Vorlage von:

Graubner, W., Grunder, W., Oldenbourg, L., 2021. Holzverbindungen: Gegenüberstellungen japanischer und europäischer Lösungen

Abb.14: Aussteifung von Papier durch eine Faltung

erstellt von Philipp Oberkofler, nach Vorlage von:

Weinand, Y., 2017. Neue Holztragwerke: Architektonische Entwürfe und digitale Bemessung

Abb.15: Tragverhalten von Faltungen

erstellt von Philipp Oberkofler, nach Vorlage von:

Engel, H., 2018. Tragsysteme: = Structure systems

Abb.16: Vorteile eines Faltragwerks im Vergleich zu herkömmlichen Baumethoden.

erstellt von Philipp Oberkofler, nach Vorlage von:

Engel, H., 2018. Tragsysteme: = Structure systems

Abb.24: Top of Tyrol

<https://www.archdaily.com/12781/top-of-tyrol-astearchitecture>

(angesehen am 09.12.22)

Copyright: LAAC Architekten

Abb.25: Stegastein

<https://www.norwaysbest.com/things-to-do/bus-services/stegastein-viewpoint/>

(angesehen am 10.12.22)

Abb.26: Faltwerk, Vidy Lausanne Theater

<https://www.archdaily.com/925521/timber-pavilion-of-the-vidy-lausanne-theatre-yves-weinand-architectes-sarl-plus-atelier-cu>

be (angesehen am 10.12.22)

Copyright: Ilka Kramer

Abb.27: Faltwerk, Kapelle Saint Loup

<https://www.archdaily.com/9201/temporary-chapel-for-the-deaconesses-of-st-loup-localarchitecture>

(angesehen am 11.12.22)

Copyright: Milo Keller

Abb.28: Origami Shelter

<https://www.hannahimlach.com/Origami-Shelter>

Copyright: Hannah Imlach

Abb.29: Study: Development of a Foldable Mobile Shelter System

De Temmerman, Ir. arch. N., Mollaert, M., Van Mele, Ir. arch. T.,

De Laet, Ir. arch. L., 2007. Design and Analysis of a Foldable Mobile Shelter System

Abb.45: Lage des Walweges zwischen Meran und Lana

bearbeitet von Philipp Oberkofler,

Google Earth

Abb.55: Die Gaulschlucht

bearbeitet von Philipp Oberkofler,

Google Earth

Abb.75: „Traditionelle Südtiroler Stube“

erstellt von Philipp Oberkofler, nach Vorlage von:

<https://www.merano-suedtirol.it/de/partschins-rabland-und-toell/natur-kultur/land-leute/unser-wasserfall-blog/41-die-stube-das-herz-eines-suedtiroler-bauernhofs.html>

Abb.78: Josef Albers und Studenten

Zeier, F., 2013. Papier: Versuche zwischen Geometrie und Spiel

Abb.79: Drei vielversprechende Faltungen aus den Arbeiten von

Hani Buri

Buri, H.U., Weinand, Y., 2010. Origami - Folded Plate Structure

Abb.107: Steckverbindung der Firma Rothoblaas

<https://www.rothoblaas.de/produkte/verbindungstechnik/holz-bauverbinder/verdeckte-verbinder/uv-t> (angesehen am 27.12.22)

Abb.119: Faltverhalten des Knotenpunktes

erstellt von Philipp Oberkofler, nach Vorlage von:

De Temmerman, Ir. arch. N., Mollaert, M., Van Mele, Ir. arch. T.,

De Laet, Ir. arch. L., 2007. Design and Analysis of a Foldable Mobile

Shelter System

Abb.120: Gelenkiger Knotenpunkt

De Temmerman, Ir. arch. N., Mollaert, M., Van Mele, Ir. arch. T.,

De Laet, Ir. arch. L., 2007. Design and Analysis of a Foldable Mobile

Shelter System

# Literaturverzeichnis

Andreatta, R., 1990. 1000 Jahre Lana. Lana Festschrift der Gemeinde.

Andritschke, S., Dünisch, O., Herres, T., 2012. Verwendung von Holz im Außenbereich, 1. Aufl. ed. Dt. Verl.-Anst, München.

Aste, K., Ludin, F., 2009. Pressemappe - Top of Tyrol.

Auf historischen Wegen zum Schloss Braunsberg und zurück über die Gaulschlucht, n.d. . Outdooractive. URL <https://www.outdooractive.com/de/route/wanderung/meraner-land/auf-historischen-wegen-zum-schloss-braunsberg-und-zurueck-ueber-die/125596018/#dmdtab=oax-tab1> (accessed 8.12.22).

Bauer, J., 2017. Schloss Braunsberg, Lanas Wahrzeichen.

Betonherstellung und Klimaschutz, n.d. . Baunetz\_Wissen\_. URL <https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/herstellung/betonherstellung-und-klimaschutz-7229519> (accessed 8.12.22).

Binker, G., Brückner, G., Flohr, E., Huckfeldt, T., Noldt, U., Parisek, L., Rehbein, M., Wegner, R. (Eds.), 2014. Praxis-Handbuch Holzschutz: beurteilen, vorbereiten, ausführen. R. Müller, Köln.

Bitschnau, M., Obermair, H., Tiroler Landesmuseen (Eds.), 2009. Die Urkunden zur Geschichte des Inn-, Eisack- und Pustertales, Tiroler Urkundenbuch. Universitätsverlag Wagner : Tiroler Landesmuseen, Innsbruck.

Bowen, L.A., Grames, C.L., Magleby, S.P., Howell, L.L., Lang, R.J.,  
2013. A Classification of Action Origami as Systems of Spherical  
Mechanisms. *Journal of Mechanical Design* 135, 111008. [https://  
doi.org/10.1115/1.4025379](https://doi.org/10.1115/1.4025379)

Boy Scouts of America, 2008. Design guidelines: The amphitheater.

Bühler, J., Niedermeyer, J., 2015. Holzschutz, Bauliche Maßnahmen.  
Holzbau Deutschland-Institut e.V.

Buri, H.U., Weinand, Y., 2010. Origami - Folded Plate Structure. Pre-  
sented at the World conference of timber engineering.

Buri, H.U., Weinand, Y., 2006. Origami: Faltstrukturen aus Holzwerk-  
stoffen. *Bulletin Holzforschung Schweiz* 8–12.

De Temmerman, Ir. arch. N., Mollaert, M., Van Mele, Ir. arch. T., De  
Laet, Ir. arch. L., 2007. Design and Analysis of a Foldable Mobi-  
le Shelter System. *International Journal of Space Structures* 22,  
161–168. <https://doi.org/10.1260/026635107782218868>

Dureisseix, D., 2012. An Overview of Mechanisms and Patterns  
with Origami. *International Journal of Space Structures* 27, 1–14.  
<https://doi.org/10.1260/0266-3511.27.1.1>

Engel, H., 2018. Tragsysteme: = Structure systems, 6. Auflage. ed.  
Hatje Cantz, Berlin.

Erler, K., 2002. Holz im Außenbereich Anwendungen, Holzschutz, Schadensvermeidung ; mit 40 Tabellen. Birkhäuser, Basel.

Fusè, T., 2009. Unit origami: multidimensional transformations, 14. Pr. ed. Japan Publications, Tokyo.

Garibi, I., Schearz, F., 2018. Origami tessellations for everyone: 30+ original designs. Ilan Garibi, Erscheinungsort nicht ermittelbar.

Gemeinde Lana, n.d. Marktgemeinde Lana. Die Gemeinde Lana. URL [https://www.gemeinde.lana.bz.it/de/Gemeindeleben/Wissenswertes/Die\\_Gemeinde\\_Lana](https://www.gemeinde.lana.bz.it/de/Gemeindeleben/Wissenswertes/Die_Gemeinde_Lana) (accessed 8.12.22).

Gemeinde Meran, n.d. merano. Idyllische Spaziermöglichkeiten an uralten Bewässerkanälen. URL <https://www.merano-suedtirol.it/de/meran/aktiv-entspannen/spazieren-wandern/waalwege.html> (accessed 8.12.22).

Genetti, P., 2019. In Ober- und Mitterlana. Die BAZ. URL <https://www.diebaz.com/2019/03/13/ober-mitterlana/> (accessed 12.5.22)

Götsch, A., 2020. Die Stube – Das Herz eines Südtiroler Bauernhofes. URL <https://www.merano-suedtirol.it/de/part-schins-rabland-und-toell/natur-kultur/land-leute/unsere-wasserfall-blog/41-die-stube-das-herz-eines-suedtiroler-bauernhofes.html> (accessed 8.12.22).

Graubner, W., Grunder, W., Oldenbourg, L., 2021. Holzverbindungen: Gegenüberstellungen japanischer und europäischer Lösungen, 5. Auflage. ed. Deutsche Verlags-Anstalt, München.

Gufler, C., n.d. ARX 2/2005, 27. Jahrgang.

Herzog, T., Natterer, J., Schweitzer, R., Volz, M., Winter, W., 2003. Holzbau Atlas: DE GRUYTER. <https://doi.org/10.11129/de-tail.9783034614580>

Holz: Konstruktiver Holzschutz, n.d. . Baunetz\_Wissen\_. URL <https://www.baunetzwissen.de/fassade/fachwissen/materialien/holz-konstruktiver-holzschutz-2458197> (accessed 8.12.22).

Hubel, A., Bock, S., Drewello, R., Geisenhof, J., Göhner, W.K., Martin, D.J., Mast, R., Schuller, M., 2019. Denkmalpflege: Geschichte, Themen, Aufgaben: eine Einführung, [4.,] Aktualisierte und erweiterte Ausgabe, [Nachdruck] 2021. ed, Reclams Universal-Bibliothek. Reclam, Ditzingen.

Imlach, H., n.d. Origami Shelter. Origami Shelter. URL <https://www.hannahimlach.com/Origami-Shelter> (accessed 6.11.22).

Institut für Wirtschaftsforschung, 2016. Economy in Figures.

Jackson, P., 2011. Von der Fläche zur Form: Faltechniken im Papierdesign. Haupt, Bern Stuttgart Wien.

Jackson, P., 2015. Faltechniken: die Grundlagen für Papierdesign, Mode und Architektur. Haupt, Bern.

Jörg, M., 2015. Holz und Klimaschutz, 2. überarbeitete Auflage 2015, 15.000 Stück. ed, Edition / ProHolz Austria. proHolz Austria, Wien.

Kapelle Saint-Loup, n.d. . Pro:Holz Austria. URL <https://www.proholz.at/holzbauten/architektur/kapelle-saint-loup> (accessed 10.6.22).

Kirchlehner, S., Ladurner, J., 2021. Jahresbericht || Relazione annuale.

Lana. Gaulpromenade wieder geöffnet, n.d. . bgs.news. URL <https://www.buongiornosuedtirol.it/2018/10/lana-gaulpromenade-wieder-geoffnet/> (accessed 8.12.22)

Lang, R.J., 1997. Origami in action: paper toys that fly, flap, gobble, and inflate!, 1st St. Martin's Griffin ed. ed. St. Martin's Griffin, New York.

Lang, R.J., 1988. The complete book of origami: step-by-step instructions in over 1000 diagrams: 37 original models. Dover, New York.

Obermair, H., 2005. Bozen Süd: Schriftlichkeit und urkundliche Überlieferung der Stadt Bozen bis 1500 = Bolzano Nord: scritturalità e documentazione archivistica della città di Bolzano fino al 1500. Stadt Bozen, Bozen.

Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige, Ripartizione Natura, paesaggio e sviluppo del territorio - Autonome Provinz Bozen -Südtirol, Abteilung Natur, Landschaft und Raumentwicklung, 2019.  
NATURA 2000 - STANDARD DATA FORM.

Rincón Borrego, I.I., 2019. Landscape architectures in Norway: The influence of AHO masters on the National Tourist Routes of Norway. Cuad. notas 89. <https://doi.org/10.20868/cn.2019.4263>

Robinson, N., n.d. Origami. Britannica.  
URL <https://www.britannica.com/art/origami/History-of-origami> (accessed 3.1.22)

Robinson, N., n.d. Wet Folding. British Origami. URL <https://www.britishorigami.org/cp-resource/wet-folding/> (accessed 3.1.23b).

Scheublin, F., Pronk, A., 2006. ADAPTABLES 2006: proceedings of the joint CIB, Tensinet, IASS International Conference on Adaptability in Design and Construction. Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands.

Sekularac, N., Ivanovic-Sekularac, J., Cikić-Tovarović, J., 2012. Folded structures in modern architecture. Facta Univ Arch Civ Enge 10, 1–16. <https://doi.org/10.2298/FUACE1201001S>

Tourismusverein Lana und Umgebung, n.d. Lana. Merano-Südtirol. URL <https://www.merano-suedtirol.it/de/region-lana/aktivurlaub/wandern-bergsteigen/wandergebiete-touren/wandern-in-lana.html> (accessed 8.12.22).

Trapp, O., n.d. Tiroler Burgenbuch. 2. Band: Burggrafenamt. Bozen  
Verlagsanstalt Athesia.

Umwelt Bundesamt, 2000. ProBas, Prozessorientierte Basisdaten  
für Umweltmanagementsysteme. Prozessdetails: Steine-ErdenZie-  
gel-Mauer-DE-2000.

Vyzoviti, S. (Ed.), 2006. Folding architecture: spatial, structural and  
organizational diagrams, repr. ed. Gingko, Corte Madera, Calif.

Wehlte, K., 1996. Werkstoffe und Techniken der Malerei: mit einem  
Anhang über Farbenlehre, 4. Aufl; Unveränderter Nachdruck der 4.  
Aufl. Ravensburg 1981. ed. Maier, Ravensburg.

Weinand, Y., 2017. Neue Holztragwerke: Architektonische Entwürfe  
und digitale Bemessung. Birkhauser, Basel.

Weinand, Y. (Ed.), 2016. Advanced Timber Structures: Architec-  
tural Designs and Digital Dimensioning. De Gruyter. [https://doi.  
org/10.1515/9783035604900](https://doi.org/10.1515/9783035604900)

Weinand, Y., n.d. Timber Pavilion of the Vidy-Lausanne Theatre  
/ Yves Weinand Architectes sàrl + Atelier Cube. ArchDaily. URL  
[https://www.archdaily.com/925521/timber-pavilion-of-the-vidy-lau-  
sanne-theatre-yves-weinand-architectes-sarl-plus-atelier-cube](https://www.archdaily.com/925521/timber-pavilion-of-the-vidy-lau-<br/>sanne-theatre-yves-weinand-architectes-sarl-plus-atelier-cube)  
(accessed 6.11.22).

Wolf, T., Untergutsch, A., Wensing, C., Mittelbach, H., Lu-Pagenkopf,  
F., Kellenberger, D., Kubowitz, P., 2020. Potenziale von Bauen mit  
Holz.

Yoshizawa, A., Kikugawa, T., 2016. Akira Yoshizawa, Japan's greatest origami master: featuring over 60 models and 1000 diagrams by the master. Tuttle Publishing, an imprint of Periplus Editions (HK) Ltd., Rutland, Vermont.

Zeier, F., 2013. Papier: Versuche zwischen Geometrie und Spiel, 6. Aufl. ed. Haupt, Bern.