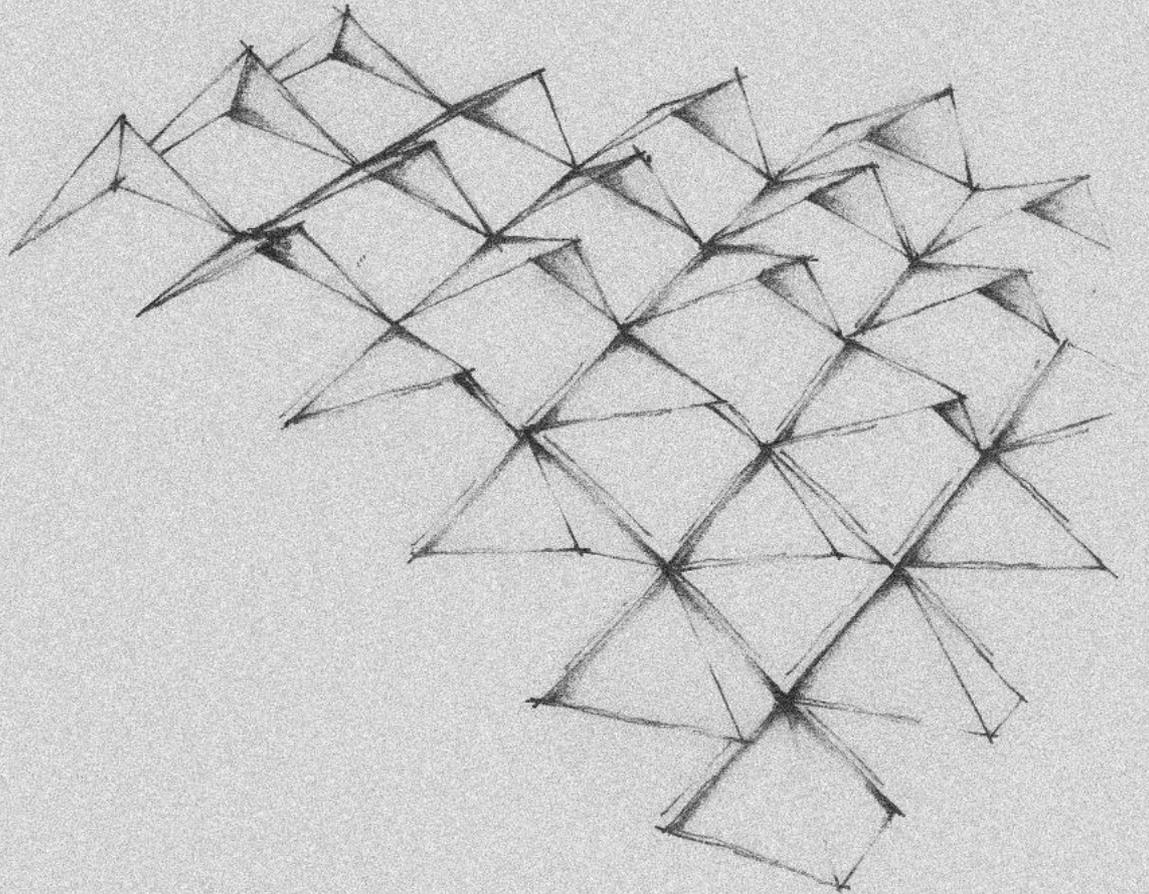


Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



# Diplomarbeit







MASTER-/DIPLOMARBEIT

# Entwicklung von Verschattungs- modulen für eine Holzgitterschale

Development of shading  
elements for wooden grid shell

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

**Manfred Berthold**

Prof. Arch. DI Dr.

unter Mitbetreuung von

**Christoph Müller**

Univ. Lektor DI Dr.

und

**P. Michael Schultes**

DI

E253 - Institut für Architektur und Entwerfen

**eingereicht an der Technischen Universität Wien**

Fakultät für Architektur und Raumplanung

**Nikias Schachinger**

Matr. Nr. 1130869

A 1040 Wien

Karlgasse 13/1

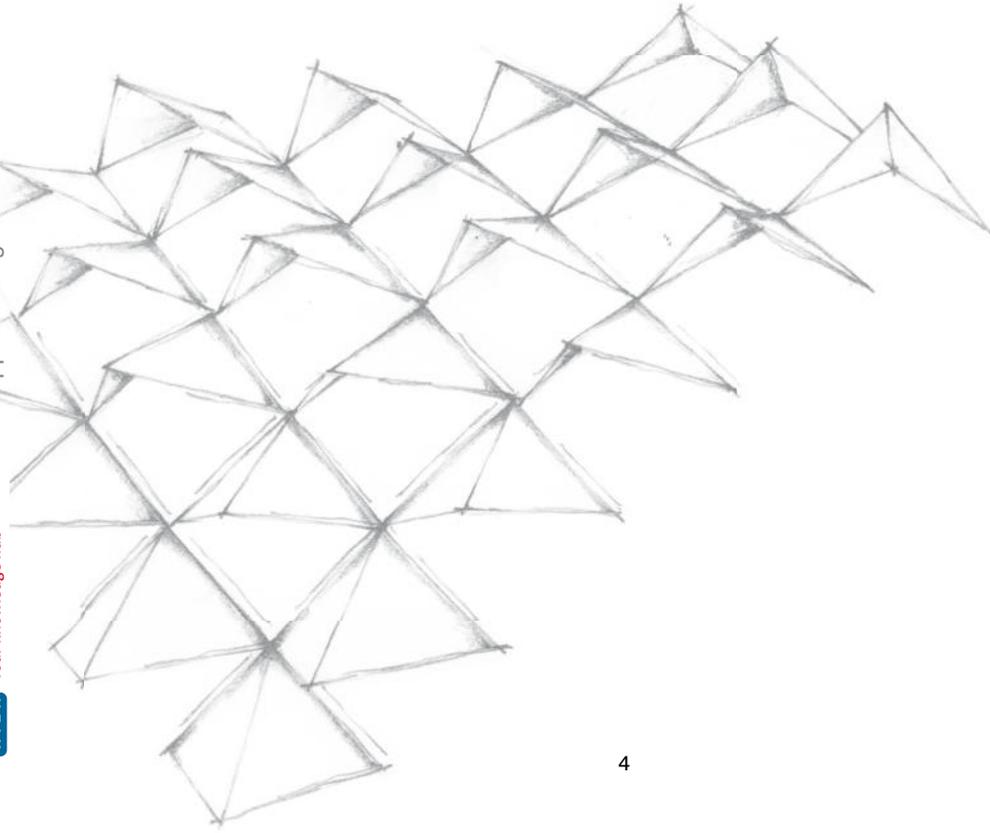
+43 664 2829575

n.schachinger@hotmail.com

Wien, am \_\_\_\_\_

Datum

  
\_\_\_\_\_  
Unterschrift



Der Umgang mit solaren Emissionen in der Gebäudearchitektur wird in Zeiten der Klimaerwärmung immer wichtiger. Vor allem innerstädtische Stadtzentren sind besonders stark davon betroffen. Der allgegenwärtige Diskurs beschäftigt sich längst nicht nur mehr mit baulichen Maßnahmen, sondern umfasst auch Konzepte zur Kühlung und Verschattung von Gebäuden und öffentlichen Flächen. Die vorliegende Arbeit widmet sich der Frage, wie die Sonneneinstrahlung kontrolliert und reguliert werden kann, um einer Aufheizung entgegenzuwirken und bietet gleichzeitig einen Lösungsvorschlag eines modularen Verschattungskonzepts, welches vielseitig anwendbar ist. Je nach geografischem Einsatzgebiet und vorherrschendem Sonnenstand sollen sich die Verschattungselemente mechanisch öffnen und schließen lassen, um der zu verschattenden Fläche ein angenehmes Aufenthaltsklima zu ermöglichen. Auf empirischem Wege wurden dazu eine Reihe an Versuchsmodellen angefertigt und auf ihre Praxistauglichkeit untersucht. Entscheidend dabei waren vor allem die Materialwahl, das Gewicht, der Nachhaltigkeitsaspekt und die serielle Herstellbarkeit der Konstruktion. Als Teil einer Kooperationsarbeit stehen am Ende seriell hergestellte Prototypen eines Verschattungsmoduls, welche zu Demonstrationszwecken auf eine Holzgitterschale montiert werden. Erklärtes Ziel ist es, eine räumliche Gebäudehülle für eine Gitterschale zu schaffen, wobei die formale Erscheinungsform der einzelnen Verschattungsmodule ein Resultat der funktionalen Anforderungen darstellt. Das heißt, die Funktion der Verschattung einer ausgewiesenen Fläche soll gewährleistet werden.

Der Autor dieser Arbeit erhofft sich damit einen Beitrag zur Frage nach universell einsetzbaren Verschattungskonzepten zu leisten, um eine höhere Aufenthaltsqualität in Städten, die besonders stark von der Klimaerwärmung betroffen sind, zu ermöglichen.

Given a continuous temperature increase which can be measured in city centres in particular and its undeniable rise of awareness amongst the population, there is an omnipresent call for action; a proper handling of solar emissions is becoming more and more important. But how to contain this seemingly uncontrollable heat issue? Nowadays, construction measures are hardly sufficient anymore; cooling and shading concepts for buildings are becoming increasingly essential. Addressing the issue of such heat problems the following dissertation offers a possible solution; an adaptable shading system, controlling and regulating solar radiation in order to counteract heat build-up. Depending on the geographical area and its sun position the shade providing elements can be opened and closed mechanically to enable a comfortable atmosphere. To that end several test models were produced empirically and thoroughly tested for their practical usability. What proved to be significant were a critical choice of material, weight, sustainability issues and the possibility of serial production. As part of cooperation work those previously mentioned shading devices are being installed on wooden lattice girders for demonstration purposes. The declared aim of this thesis is to create a spatial building envelope for a lattice structure, while it is of importance to understand the optical appearance of the shadesails being the result of its functional needs. The shading functionality of an identified area should be provided.

The author of this thesis hopes to contribute to the still - for the most part - unanswered question of universally applicable shading systems to provide a higher quality of stay in urban areas, especially those badly affected by climate change.



A	Einleitung.....	9
	I. Vorwort	
	II. Ausgangssituation	
	III. Echinoid	
B	Situationsanalyse.....	19
	I. Verschattung in der Architektur	
	II. Textile Architektur	
	1. Historische Vorbilder	
	2. Renaissance der Zeltarchitektur	
	3. Bauen mit Textilien, Membranen und Pneus	
	4. Anwendungen textiler Technologien	
	5. Textile Materialien im Innenraum	
	III. Materialien textiler Architektur	
	1. Textilien	
	2. Folien	
	3. Textile Materialien - Eine Auswahl	
	IV. Konstruktionsprinzipien im Membranbau	
	1. Spannkonstruktionen	
	2. Tragwerksgestützte Konstruktionen	
	3. Luftgestützte Konstruktionen	
	V. Recycling textiler Werkstoffe	
C	Ziel der Arbeit.....	59
D	Methodik und Arbeitsprogramm.....	61
	I. Öffnungsmechanismus und Verschattung	
	II. Applikationsmöglichkeiten	
	III. Mechanik	
	1. Mechanische Bauteile - Scharniere	
	2. Montagemöglichkeiten	
	IV. Konstruktive Ausführung	
	1. Konstruktion mit eigener Statik	
	2. Konstruktion mit Unterkonstruktion	
	V. Materialauswahl	
	1. Vorauswahl an Textilien	
	2. Belastungstests	
	3. Materialwahl für die Segel	
	VI. Fertigung des Verschattungsmoduls	
	1. Montage der Segel	
	2. Unterkonstruktion	
	3. Fertigung der Segel	
	4. Zusammenbau des ersten Prototypen	
E	Bewertung.....	165
F	Resümee.....	167
	Ausblick.....	169
	Danksagung.....	171
	Quellen.....	173
	Verzeichnisse.....	177



## A EINLEITUNG

Die allgegenwärtigen Prognosen der Klimaerwärmung deuten auf einen enormen Temperaturanstieg im Laufe der nächsten Jahrzehnte hin, wodurch sich auch unsere Lebensgewohnheiten nachhaltig verändern werden. Es wird erwartet, dass die Temperatur vor allem in den Städten massiv ansteigen wird, sollten keine ausreichenden Maßnahmen dagegen unternommen werden. Neben einer Erweiterung an Grünraumkonzepten, Entsiegelungen horizontaler Flächen und baulichen Maßnahmen spielt vor allem auch die Kühlung und die Verschattung im öffentlichen Raum eine zunehmend wichtige Rolle, um sogenannte Urban-Heat-Islands zu verhindern. Die Architektur hat daher heute längst nicht mehr nur den Mindestansprüchen einer banalen Behausung zu genügen, sondern widmet sich verstärkt dem Thema der globalen Klimaerwärmung und welchen Beitrag Gebäude zur Eindämmung des kontinuierlichen Temperaturanstiegs leisten müssen. Es geht dabei nicht nur um Fragen der Wiederverwendbarkeit, der Nachhaltigkeit und der Ressourcenschonung, sondern auch darum, die Aufenthaltsqualität in Gebäuden konstant hoch zu halten, die aufgrund sich ändernder klimatischer Umstände ihrer Außenwelt zunehmend extremeren Temperaturen ausgesetzt sind. Neben bautechnischen Maßnahmen, die zur Verbesserung der Dämmeigenschaften der

Außenhaut eines Gebäudes beitragen, stellt vor allem der Umgang mit der direkten Sonneneinstrahlung ein Problem dar. Einerseits ergeben sich dadurch höhere Leistungsanforderungen an die Fassade selbst, andererseits mindert eine zu starke Reflexion der Solarstrahlung die Aufenthaltsqualität davor. Adaptierbare Verschattungsmodule wären nicht nur eine wirksame Möglichkeit zur Reduktion direkter Einstrahlung, sondern können einer Gebäudehülle ein völlig neues Erscheinungsbild verleihen. In ihrer extremsten Form wird die Hülle selbst zum Gebäude. Man denke beispielsweise an mobile Freiluftkonstruktionen, die für eine zeitlich begrenzte Nutzungsdauer ausgelegt sind, um Freiluftveranstaltungen, Konzerte oder Zeltfeste zu veranstalten. Vor dem Hintergrund, dass temporäre Anwendungsmöglichkeiten von Gebäuden im öffentlichen Raum immer mehr an Bedeutung gewinnen, erfüllt der Gebäudetypus eines Pavillons die Funktion der Verschattung subjektiv gesehen wohl am ehesten. Bei der Entwicklung für dessen Hülle in Form einzelner Verschattungsmodule werden dabei nicht nur gestalterische Aspekte aufgegriffen, vor allem die vielseitige Einsetzbarkeit sowie die Adaptierbarkeit der Konstruktion sollen berücksichtigt werden.



Die vorliegende Arbeit nahm ihren Anfang im Rahmen einer Lehrveranstaltung an der technischen Universität Wien. Die Teamaufgabe bestand darin, einen Pavillon in Holz-Membran-Bauweise zu entwerfen und in weiterer Folge einen eins-zu-eins Prototypen zu bauen. Auf experimentelle Art und Weise sollten dabei verschiedenste Materialien ausprobiert, miteinander kombiniert und ihre anwendungsspezifische Eignung überprüft werden. Erklärtes Ziel war es, konstruktive Denkprozesse anzuregen, um sich zukünftig auch komplexeren bautechnischen Aufgaben annehmen zu können. Es galt, ein logisches Verständnis für die Verwendung von Materialien und ihre konkreten Anwendungsmöglichkeiten zu entwickeln. Die Freiheit nach individueller Kreativität war dabei ausdrücklich erwünscht, um innovative Lösungen zu fördern. Im Ergebnis bedeutete eine erfolgreiche Umsetzung, Theorie und Praxis schlussendlich in Einklang gebracht zu haben, wobei das Resultat der praktischen Tauglichkeitsüberprüfung standhalten musste.

Da die Architektur stets nach Lösungen für individuelle Problemstellungen sucht und dies auch meinem persönlichen Verständnis dieser Disziplin entspricht, stellt die vorliegende Aufgabe eine besondere Herausforderung dar. Nicht zuletzt da mir die Entwurfsaufgabe und vor allem die praktische Umsetzung im

## I. Vorwort

Zuge der angesprochenen Lehrveranstaltung große Freude bereitete, sondern auch weil die bisherige Zusammenarbeit sehr gut harmonierte, wurde beschlossen, die Aufgabenstellung zur Entwicklung eines Pavillons in Holz-Membran-Bauweise in zwei eigenständigen Diplomarbeiten auszubauen. Die getroffenen Annahmen hinsichtlich des Materials, der Statik und der Konstruktion führten damals nicht zu dem gewünschten Ergebnis eines funktionierenden Prototypen. Dies war letztlich auch der ausschlaggebende Grund, die Aufgabe neu aufzurollen. Unter dem gemeinsamen Arbeitstitel „Entwicklung einer Holzgitterschale mit Verschattungsmodulen“ erfolgte eine thematische Trennung in zwei separate Arbeiten; während sich ein Teil mit der Entwicklung der Gitterschale in Holzbauweise befasst, widmet sich die vorliegende Arbeit den Verschattungsmodulen.



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



## II. Ausgangssituation

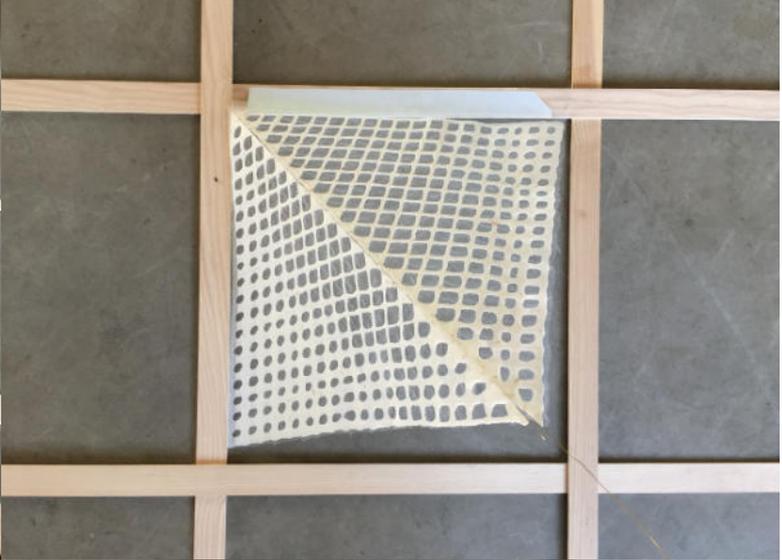
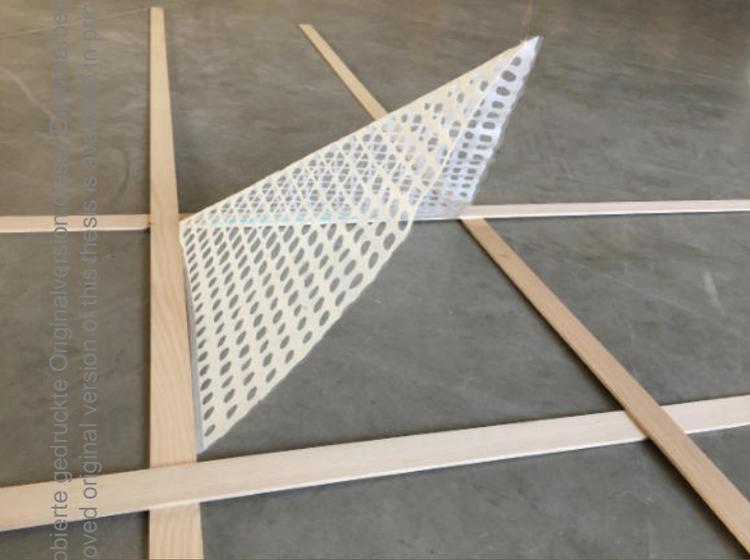
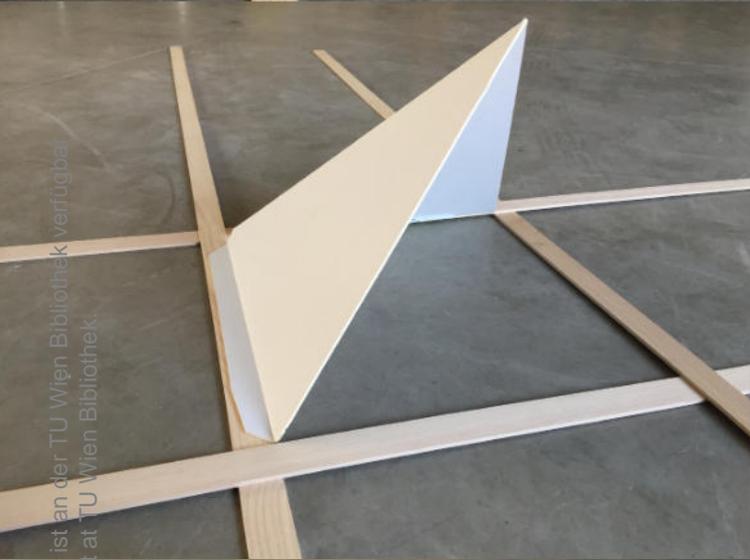
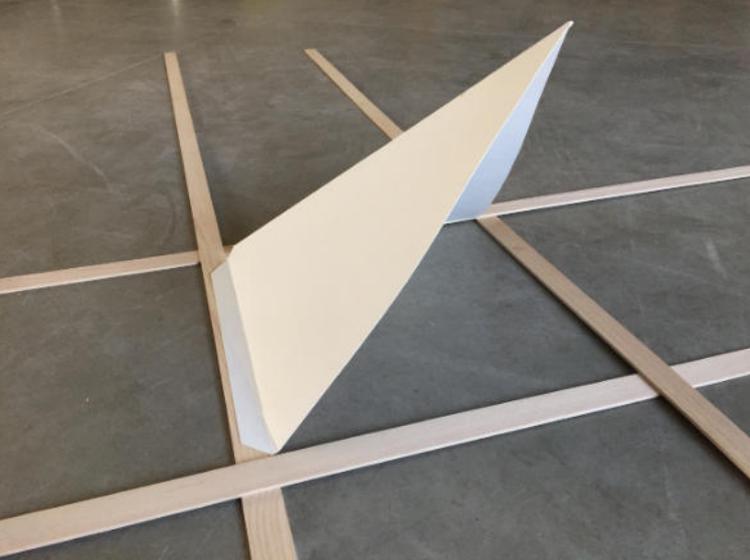
Unter dem Titel ‚Entwicklung von Verschattungsmodulen für eine Holzgitterschale‘ befasst sich die vorliegende Arbeit mit dem Thema der Verschattung einer mobilen Gitterschalenkonstruktion. Zugleich fungieren die Verschattungselemente als raumabschließende Hülle der Gitterschale und prägen maßgeblich dessen optisches Erscheinungsbild. Bei der Entwicklung der Verschattungssegel wurden daher nicht nur gestalterische Aspekte berücksichtigt, vor allem die serielle Herstellbarkeit eines maßstäblichen Prototypen ist entscheidend für den Entwurf eines solchen Einzelsegels. Als temporär nutzbarer Pavillon dient die Gitterschale als Trägerkonstruktion von 144 Verschattungssegeln. Diese Anzahl basiert auf einem Raster von 50 Zentimetern und einer Seitenlänge der Gitterstruktur von 6 Metern. Dadurch ergeben sich in Summe 144 Maschen, die alle mit einem Segelement bestückt werden sollen. Da sich die maximale Stichhöhe der Konstruktion bei dieser Größe allerdings als zu gering herausstellte und die Gitterschale somit zu flach war, um sie - gemessen an einer durchschnittlichen Körpergröße von 1,75 Metern - zu begehen, wurde die Seitenlänge der Netzstruktur auf 8 Meter erweitert. Bei einem gleichbleibenden Rastersystem von 50 Zentimetern erhöhte sich dadurch auch die Anzahl der Maschen von 144 auf 256. Um die gesamte Konstruk-

tion zu verschatten, sind daher ebensoviele Verschattungsmodule notwendig. Neben der Möglichkeit der Serienfertigung ist auch das Gewicht der einzelnen Module ein zu berücksichtigender Faktor bei der konstruktiven Ausführung und der Materialwahl. Multipliziert auf 256 Segel, die auf der Gitterschale montiert werden, kann das eine erhebliche Auswirkung auf die statische Belastbarkeit der Konstruktion haben.

Die Besonderheit der Verschattungssegel ist die Möglichkeit sich zu öffnen bzw. zu schließen. Dies tun sie in Abhängigkeit zum Sonnenstand, um die darunter liegende Fläche zu verschatten. Der Impuls der Öffnungsbewegung geht von der kinematischen Bewegung der Gitterschale aus, die sich dem Verlauf der Sonne kontinuierlich anpasst und sich somit einmal in 24 Stunden im Kreis bewegt.

Abb. 1: Verschattungssegel Ausgangssituation

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.



Ausgehend von einer neutralen Position mit quadratischen Maschen ändert sich im Zuge dieser Kreisbewegung auch deren Geometrie zu einer Rautenform. Die Verschattungssegel korrelieren direkt mit dieser Bewegung und öffnen bzw. schließen sich dabei im entsprechenden Ausmaß. Es ergibt sich eine Abhängigkeit zwischen der Bewegung der Gitterschale und jener der einzelnen Segel. Das bedeutet, setzt sich die Konstruktion in Bewegung, so öffnen bzw. schließen sich auch alle Segel im selben Ausmaß. Je nach Ausrichtung und Öffnungsgrad der Segel sorgen diese für eine teilweise oder vollständige Verschattung der Fläche unterhalb der Gitterschalenkonstruktion. Um den Öffnungs- bzw. den Schließmechanismus zu simulieren, wurde zu Beginn eine einfache Faltkonstruktion aus Karton, Finnpappe und Sandwichplatten angefertigt. Dabei stellte sich heraus, dass die Form der Segel entscheidend für den Grad der Verschattung war - je nach Geometrie wird bei selbem Öffnungswinkel ein anderer Verschattungsgrad erreicht. Zudem wurden verschiedenste Befestigungstechniken für die Montage auf der Gitterschale angewendet. Neben doppelseitigen Klebe- und Klettbandern wurden auch Schraubverbindungen und Magnetsysteme ausprobiert. Exemplarisch diente dazu ein aus vier Holzleisten zusammengebautes Quadrat im Maßstab eins zu

eins. Darauf wurden die unterschiedlichen Varianten der Segel montiert und der Öffnungs- und Schließmechanismus überprüft. Die Befestigung erfolgte dabei immer an den beiden kürzeren Seiten des drachenförmigen Segels. Die beiden gegenüberliegenden Langseiten liegen lose am Holzrahmen auf. Infolge der einsetzenden Bewegung der Gitterschale lässt sich das Segel anheben und senken.

Abb. 2 (li. oben): Segel aus Karton

Abb. 3 (re. oben): Segel aus Karton Draufsicht

Abb. 4 (2. v. li. oben): Segel aus Sandwichpaneelen

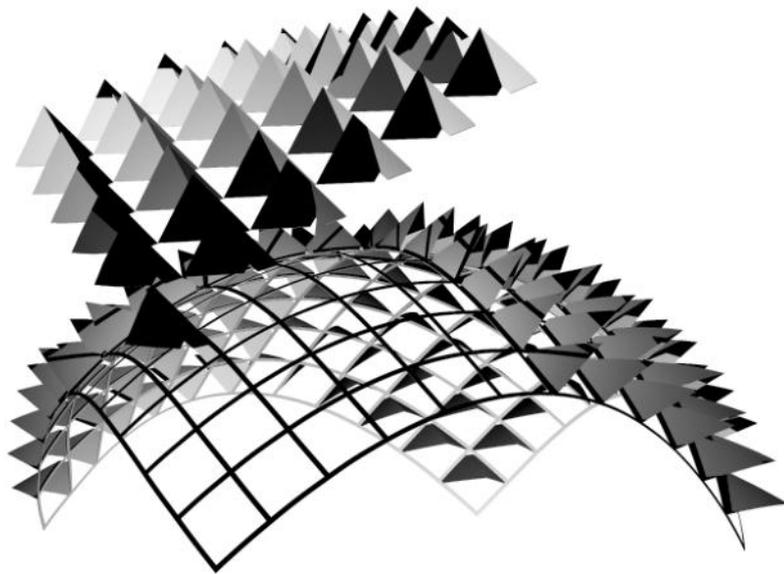
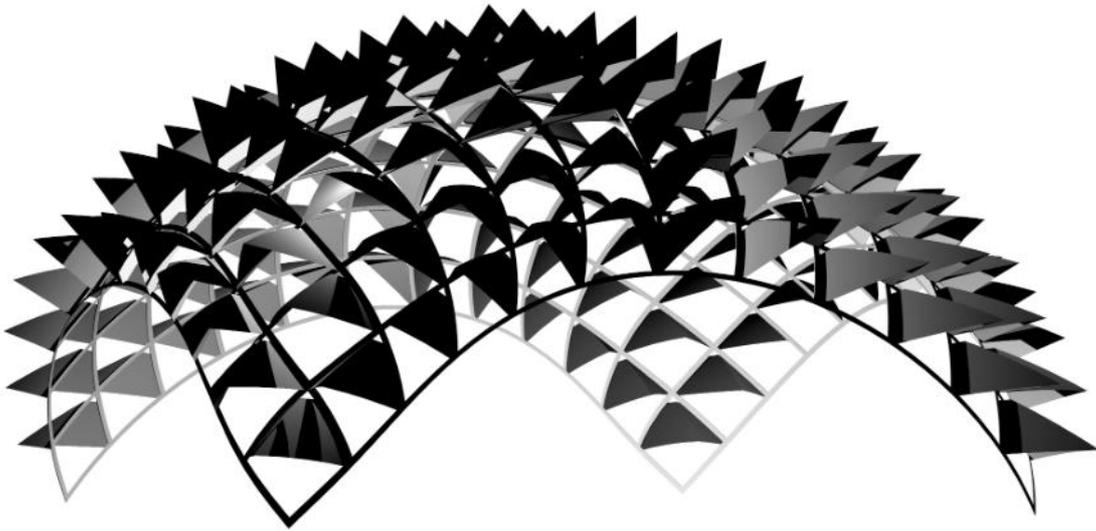
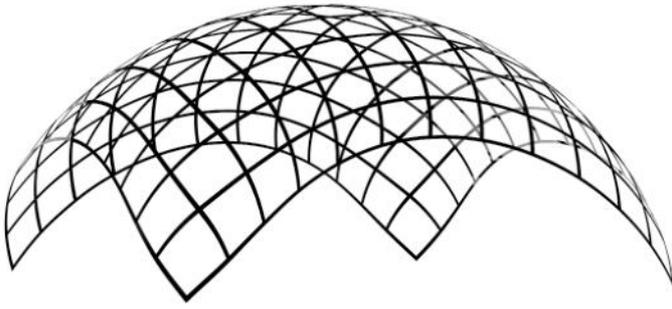
Abb. 5 (2. v. re. oben): Segel aus Sandwichpaneelen Draufsicht

Abb. 6 (3. v. li. oben): Bedruckte Membran

Abb. 7 (3. v. li. oben): Bedruckte Membran Draufsicht

Abb. 8 (li. unten): Verschattungssegel aus Jute

Abb. 9 (re. unten): Verschattungssegel aus Jute Draufsicht



Grafik 1: echinoid Rhino Modell

### III. Echinoid

...ist die Beschreibung für ein architektonisches Gebilde, dessen optische Erscheinung einem Seeigel gleicht. Dies ist weder eine wissenschaftlich nachgewiesene bzw. empirisch widerlegte Bezeichnung für eine allgemein gültige Gebäudetypologie in der Architektur, noch definiert sie allgemein gültige Regeln für ein bestimmtes architektonisches Konzept. Vielmehr lässt die Namensgebung einen Querverweis auf optische Parallelen vermuten, die daraus abgeleitet wurden. Das aus Calciumcarbonat bestehende Skelett könnte als rippenartiges Gewölbe verstanden werden, wenngleich das Skelett des Seeigels eine starre Kubatur aufweist, wogegen die Gitterschale beweglich sein soll. Bei den heute über 950 bekannten Arten von Seeigeln gibt es auch unterschiedlichste Querschnittsformen. Auch diese Eigenschaft lässt sich auf die Gitterschale übertragen, indem Stichhöhe und Größe variieren können; je enger die Lagerpunkte, desto buckliger die Form, d.h. desto größer die Stichhöhe der Schale.

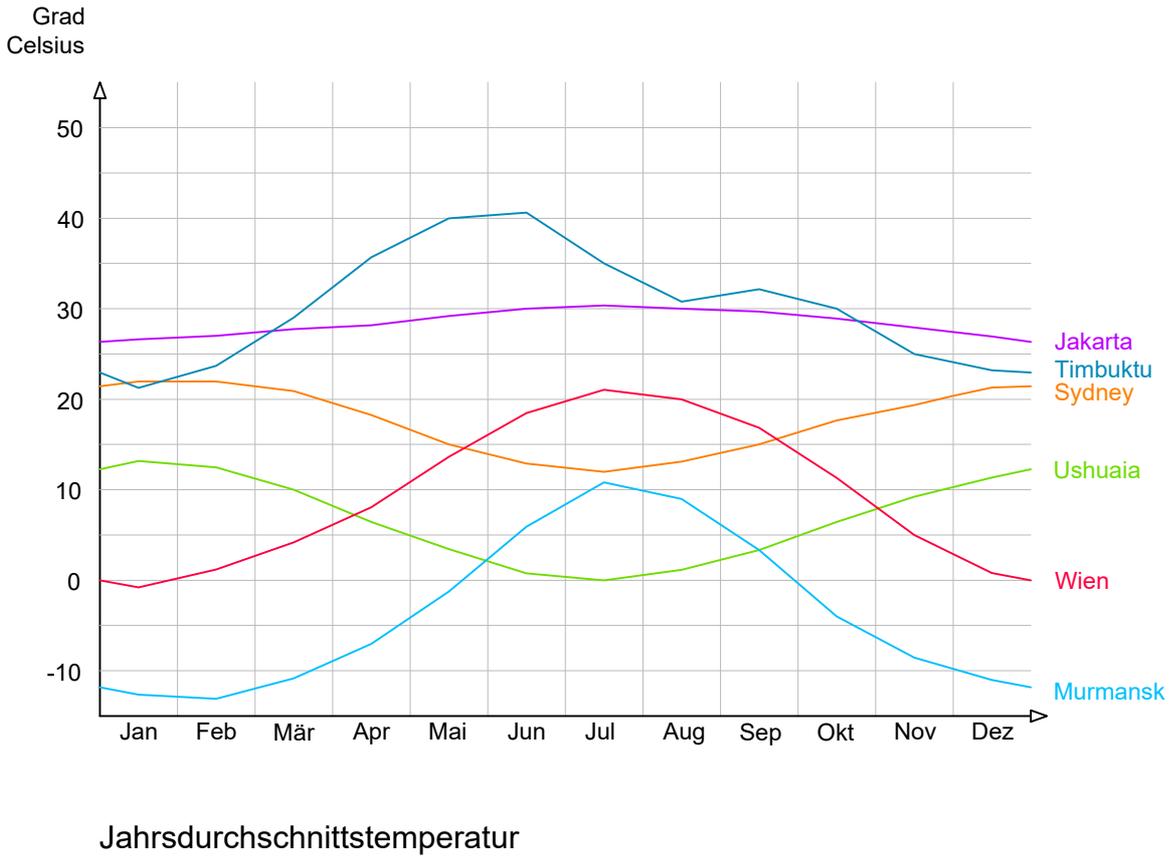
Die markanten Stacheln des Seeigels dienen zu dessen Schutz vor seinen natürlichen Feinden. Sie sind nicht starr auf dessen Rumpf aufgesetzt, sondern sitzen auf Gelenkhöckern, die sich durch Muskeln in alle Richtungen bewegen lassen. Genauso sind die Verschattungssegel der Gitterschale mecha-

nisch gelagert und erfüllen eine Schutzfunktion gegen die Sonneneinstrahlung, um sein Inneres zu schützen. Je nach Einfallswinkel des Sonnenlichtes rotiert die Gitterschale um ihre eigene zentrale Achse, wodurch sich die Segel öffnen und schließen. Dadurch werden einzelne Bereiche unter der Schale verschattet, während andere passiv belichtet werden. Der Vergleich mit einem Seeigel mag ein wenig unbegründet erscheinen, wenngleich es in der Architektur und Tragwerksplanung nicht unüblich ist, sich an Phänomenen in der Tier- und Pflanzenwelt zu orientieren, um gestalterische Ansätze oder komplexe statische Lösungen daraus abzuleiten.



## B SITUATIONSANALYSE

I. Verschattung in der Architektur.....	20
II. Textile Architektur.....	24
1. Historische Vorbilder	
2. Renaissance der Zeltarchitektur	
3. Bauen mit Textilien, Membranen und Pneus	
4. Anwendungen textiler Technologien	
5. Textile Materialien im Innenraum	
III. Materialien textiler Architektur.....	35
1. Textilien	
2. Folien	
3. Textile Materialien - Eine Auswahl	
IV. Konstruktionsprinzipien im Membranbau.....	48
1. Spannkonstruktionen	
2. Tragwerksgestützte Konstruktionen	
3. Luftgestützte Konstruktionen	
V. Recycling textiler Werkstoffe.....	56



Grafik 2: Klimadiagramm Jahresdurchschnittstemperatur

# I. Verschattung in der Architektur

Als die „Mutter aller Künste“ bezeichnete schon Vitruv die Architektur und räumte ihr damit eine Vorrangstellung gegenüber der Bildhauerei und der Malerei ein. Dem Ursprung nach beruht sie auf drei Prinzipien: Nützlichkeit, Stabilität und ästhetischer Schönheit.<sup>1</sup>

Neben dem planerischen Entwurf und der technischen Konstruktion erweiterte sich das Anforderungsspektrum an die Gebäudearchitektur über die Zeit. Heute steht sie dabei ganz im Zeichen der Klimaerwärmung sowie einer ökologischen und nachhaltigen Bauweise. Die reine Erfüllung von Grundbedürfnissen, wie der Schutz vor äußeren Einflüssen, wechselnde Wetterbedingungen und Feinde, setzten eine massive Bauweise voraus. Aus heutiger Sicht mag das immer noch Gültigkeit haben, allerdings wird der Umgang mit klimatischen Bedingungen zunehmend wichtiger. Abhängig von der Topografie und der Klimazone lässt sich gute Architektur dadurch bewerten, inwieweit entwurfsspezifische sowie bauliche Maßnahmen gesetzt werden, um ein angenehmes und ausgewogenes Raumklima in den Aufenthaltsräumen eines Gebäudes zu gewährleisten.

Ein allgegenwärtiges Thema in der Planungsphase ist dabei der Schutz vor Sonneneinstrahlung. Die Einstrahlungsintensität der Sonne ist zum einen von der Jahreszeit und zum anderen vom geografischen Breitengrad abhängig. In den Tropen herrscht beispiels-

weise ganzjährig ein gleichmäßiges Klima bei konstant warmer Temperatur, da der Einfallswinkel der Sonne zu jeder Tageszeit immer relativ steil ist. In Mitteleuropa hingegen steht die Mittagssonne in den Sommermonaten bei 60° bis 65° und strahlt bei idealen Wetterbedingungen mit einer Bestrahlungsstärke von etwa 700 Watt/Quadratmeter. Im Winter beträgt der Einfallswinkel nur 13° bis 18° und liefert zu Mittag nur mehr etwa 247 Watt/Quadratmeter<sup>2</sup>. Um die Temperaturdifferenzen über den Jahresverlauf auszugleichen, werden Gebäude mit Isolierungen und gedämmten Bauelementen versehen. Neben diesen baulichen Maßnahmen bietet die Verschattung weitere Möglichkeiten, um die Wärmeentwicklung in Gebäuden zu reduzieren. Man unterscheidet dabei zwischen aktiven Verschattungssystemen und der passiven Verschattung. Während letztere von der Topografie, der Situation der Nachbargebäude und vom umliegenden Baumbestand abhängig ist und damit nur bedingt verändert werden kann, bieten Verschattungssysteme individuelle Freiheiten, um die Sonneneinstrahlung zu steuern. Die Fähigkeit eines Gebäudes auf tages- und jahreszeitliche Klimaschwankungen reagieren zu können, um ein behagliches Raumklima zu schaffen, ist aber nur dann zweckmäßig, wenn dies unter minimalem Energieaufwand passiert.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

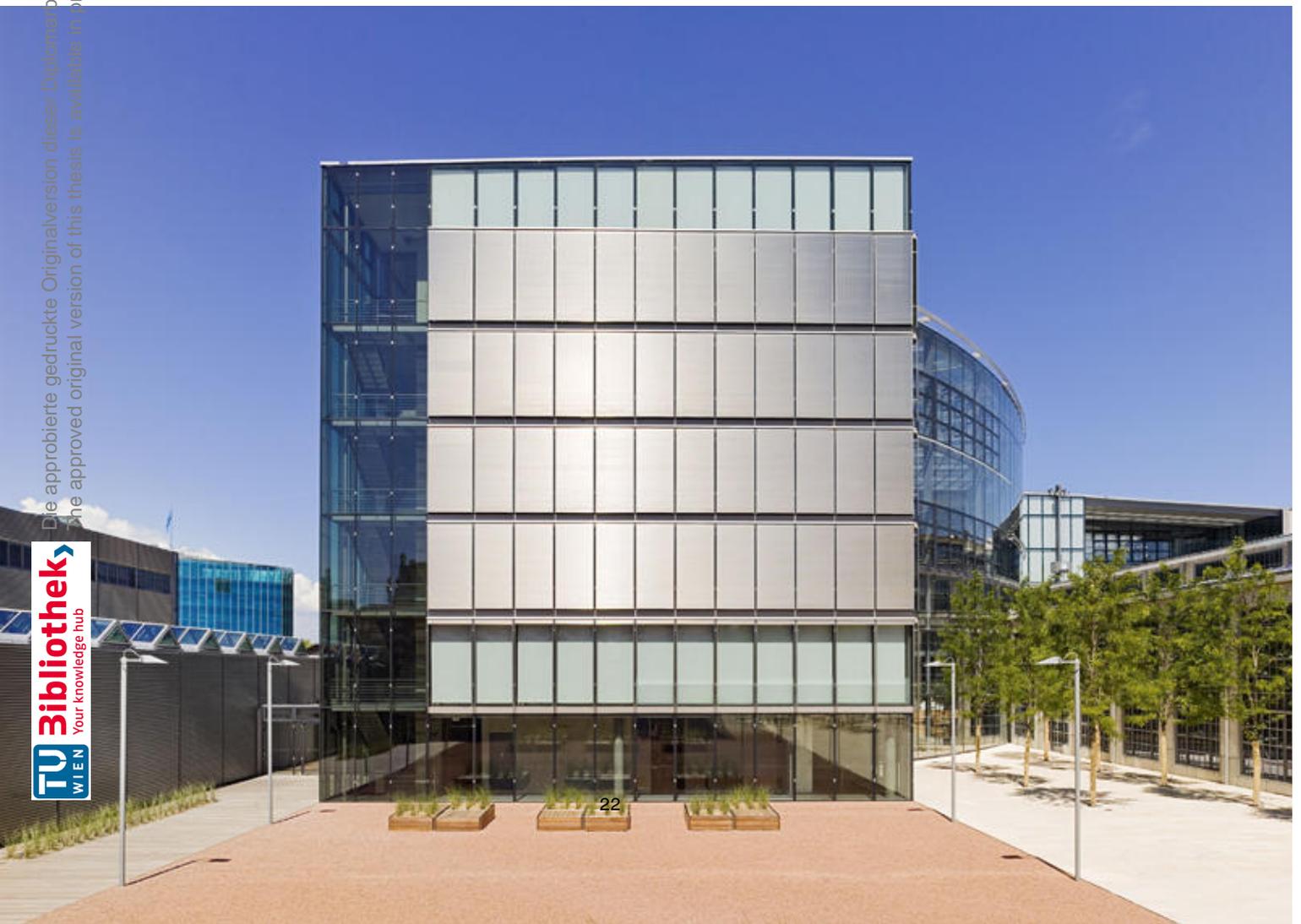
<sup>2</sup> [physik.cosmos-indirekt.de](http://physik.cosmos-indirekt.de)

<sup>3</sup> [www.baunetzwissen.de](http://www.baunetzwissen.de)



Abb. 10: Bibliothek der Humboldtuniversität Berlin ↑

Abb. 11: Merck Sorono Headquarter in Genf ↓



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

Die Art und die Montageposition der Verschattungsanlage trägt maßgebend dazu bei, wie effektiv der Sonnenschutz letzten Endes ist. Neben dem sommerlichen Wärmeschutz gibt es eine Reihe weiterer Kriterien die an die Anlage gestellt werden, wie zB die Transparenz - um Ein- und Ausblicke zu reduzieren, den Blendschutz zur Vermeidung ungewollter Reflexionen im Innenraum, die Möglichkeit zur Integration in eine automatisch gesteuerte Gebäudetechnik, sowie die Raumakustik - um die Schallausbreitung einzudämmen. Je nach Ausführung unterscheidet man innen- bzw. außenliegende und integrierte Sonnenschutzsysteme.<sup>3</sup>

Moderne Verschattungssysteme bedienen sich vielfältiger Materialien. Während bei dauerhaften außenliegenden Systemen oftmals massive Elemente verwendet werden, wie zB vollflächige Paneele aus Edelstahl oder horizontal angeordnete Lamellen aus Aluminium, kommen im Innenbereich leichte und flexible Textilien zum Einsatz. Bei ausreichender Intensität und Dauer der Sonneneinstrahlung werden massive Bauteile aufgeheizt und geben diese Wärme über einen verhältnismäßig langen Zeitraum wieder ab. Werden stark belastete Bereiche entsprechend verschattet, kann man präventiv sehr viel an solarer Einstrahlung abfangen und diesen Effekt deutlich verringern. Markisen vor Fensterflächen oder

Sonnensegel im Freibereich sind effiziente Möglichkeiten und verhindern nicht nur eine Überhitzung der dahinterliegenden Räume, sondern ermöglichen selbst bei starker Solarstrahlung einen angenehmen und geschützten Aufenthalt im Freien. Allerdings bedeutet Verschattung nicht gleich Schatten. Der von Bäumen erzeugte Sonnenschutz wird subjektiv als angenehmer empfunden als beispielsweise der einer Markise. Das hängt damit zusammen, dass an den Blättern des Baumes im Zuge seines Stoffwechsels Wasser verdunstet. Die Verdunstung entzieht der Umgebung Wärme und die Luft in der Baumkrone kühlt ab. Da kühle Luft schwerer ist, sinkt diese ab, wodurch sich ein angenehmes Klima im Bodenbereich einstellt. Wo also ein Segel oder eine Markise einen darunter liegenden Bereich lediglich vor der Sonneneinstrahlung schützt, kühlen Bäume und Pflanzen die Luft tatsächlich ab. Die Luft unter einem Schirm oder einem anderen Schattenspender wird hingegen aufgeheizt und dadurch als unangenehm, stickig oder drückend empfunden. Daher sollte auf eine ausreichende Luftzirkulation innerhalb des beschatteten Bereiches geachtet werden, um ein angenehmes kühles Klima zu ermöglichen.

Abb. 10 (oben): Innenliegender Sonnenschutz, Humboldtuniversität Berlin

Abb. 11 (unten): Außenliegender Sonnenschutz, Merck Sorono Headquarter in Genf

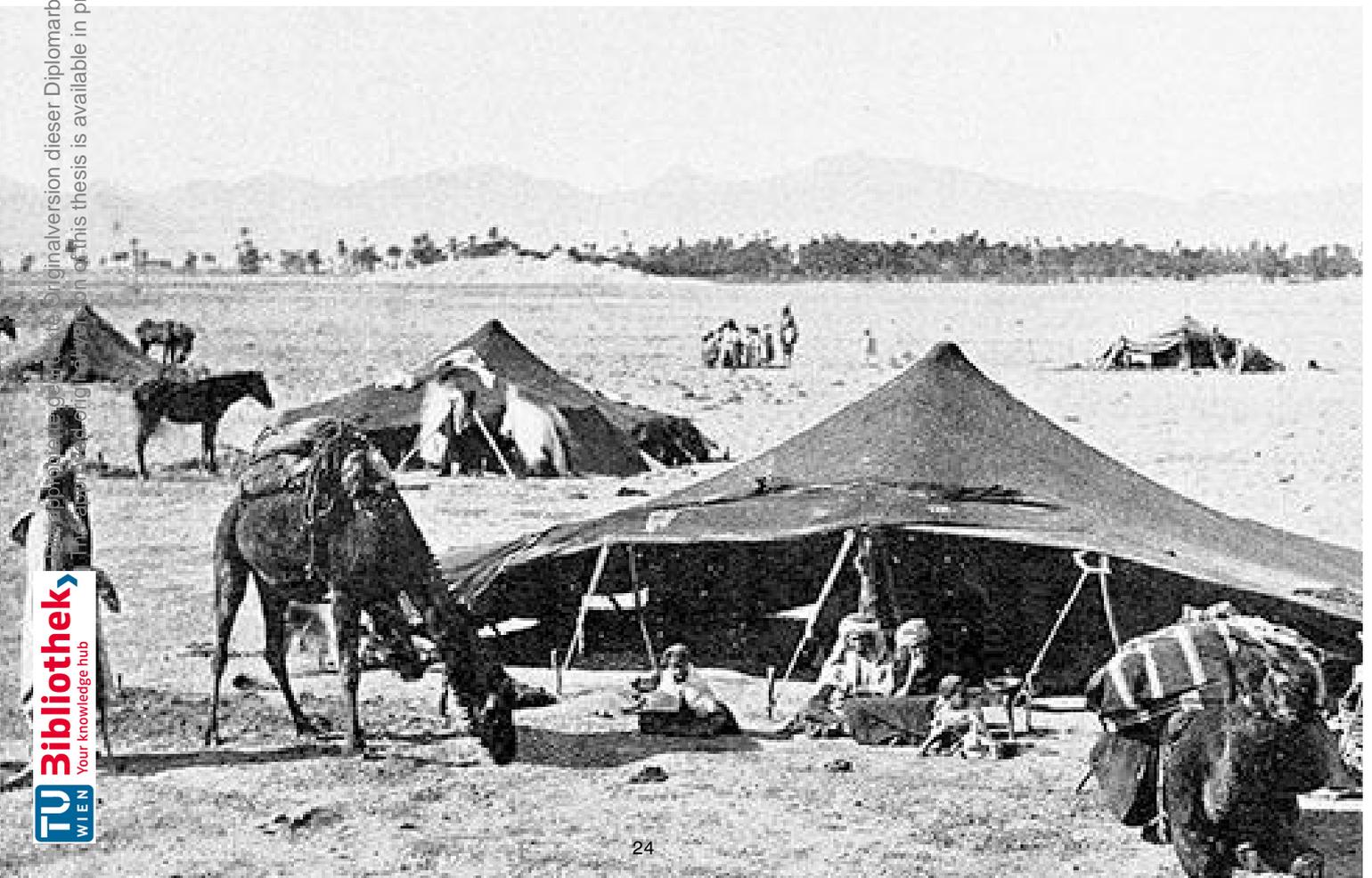
<sup>3</sup> [www.baunetzwissen.de](http://www.baunetzwissen.de)



Abb. 12: Indianerzelt ↑



Abb. 13: Mongolische Jurte ↑



Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.  
Original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## II. Textile Architektur

### 1. Historische Vorbilder

Heute kennt die Architektur viele verschiedene Disziplinen. Einige haben seit jeher bestanden, während sich andere aus der Architekturrevolution heraus entwickelt haben. In jeder Hinsicht steht allerdings der Mensch als Konsument und Nutzer im Vordergrund. Gelungene Architektur wird nicht nur am Designanspruch ihrer Zeit gemessen, sondern auch an ihrer Zweckdienlichkeit. Waren anfangs lediglich Grundbedürfnisse zu erfüllen, veränderten der technische Fortschritt und der gesellschaftliche Wandel die Ansprüche an die Architektur. Während sich das häusliche Leben in einem Gemeinschaftsraum für alle abspielte, in dem gekocht, gegessen und geschlafen wurde, haben sich die Anforderungen an die Behausung im Laufe der Zeit gewandelt. Nicht nur das Spektrum der Nutzungsanforderungen hat sich erweitert, sondern auch die für die Realisierung von Gebäuden verwendeten Materialien wurden immer vielfältiger. Neben den klassischen Baustoffen wie Ziegel, Beton, Holz und Strahl, bedient sich die moderne Architektur heute wieder einiger Materialien, die in der Frühzeit üblich waren. Historisch betrachtet mag dies nicht neu erscheinen, wenn man beispielsweise an die Zelte („Tipi“) der Indianer oder an mongolische Jurten denkt. Behausungen aus textilen Materialien haben eine lange Geschichte und stellen seit dem Paläolithikum eine der Urformen des Bauens dar. Textilien

sind leicht, wandelbar und demontierbar, und sie bieten Schutz vor Wind, UV-Strahlung und Nässe. Bis heute hat sich diese Form des Bauens erhalten, man denke nur an die Zeltarchitektur einer herkömmlichen Campingbehausung oder an größere Veranstaltungshallen. Zudem vermitteln textile Behausungen eine sehr enge Verbundenheit zu ihrer Umgebung. Die unmittelbare Nähe zur umliegenden Natur war schon in der Urzeit ein bestimmender Faktor für das gesellschaftliche Leben, da die meisten Aktivitäten im Freien stattfanden. Bevor die Menschen sesshaft wurden und Ackerbau und Viehzucht betrieben, zogen sie in Verbänden als Nomaden durch das Land. Abhängig von den vorherrschenden Wetterbedingungen sowie von Regen- und Trockenzeiten war ein dauerhafter Aufenthalt an ein und demselben Ort nicht möglich. Man war gezwungen, die Zelte immer wieder abzubauen und anderswo erneut aufzubauen. Mitgenommen werden konnte lediglich transportables Hab und Gut. Aus diesem Grund bestanden auch die Behausungen aus leichten und einfachen Materialien, die sehr schnell abgebaut, für den Weiterzug transportiert und anderswo wieder aufgebaut werden konnten. Dazu eigneten sich vorrangig Holz, das als tragende Struktur der Behausung fungierte, und gegerbte Tierhaut bzw. textile Materialien als Hülle.<sup>4,5</sup>

Abb. 14 (unten): Beduinenzelt

<sup>4</sup> [www.texlon.ch](http://www.texlon.ch)

<sup>5</sup> [www.baugeschichte.tuwien.ac.at](http://www.baugeschichte.tuwien.ac.at)



Abb. 15: Flüchtlingszelt in Rwanda



Abb. 16: Paper Log House in Kobe (JPN)

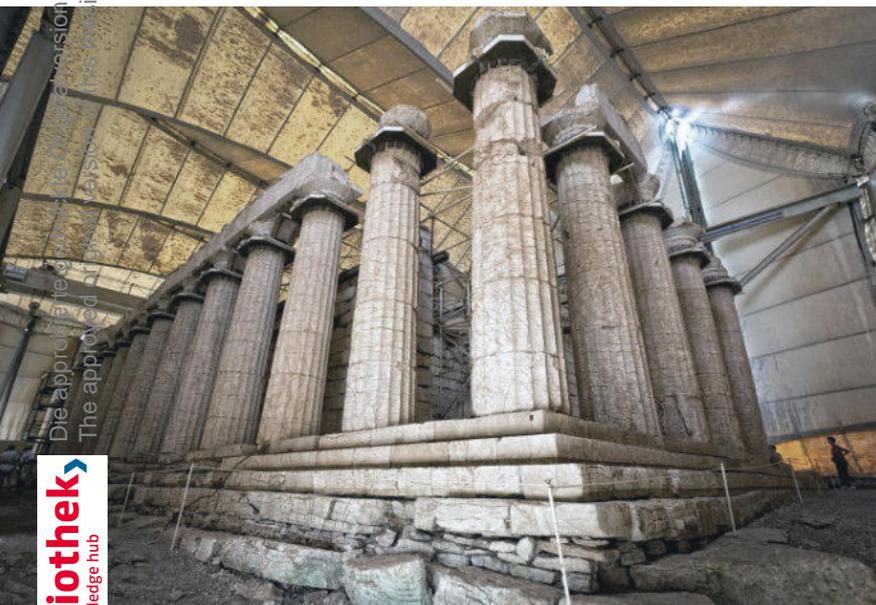


Abb. 17: Schutzhülle des Apollontempel in Bassae (GR)

## 2. Renaissance der Zeltarchitektur

Die Prinzipien der Zeltarchitektur wurden in der modernen Architektur wiederentdeckt und weiterentwickelt, nicht nur für temporäre Bauten, sondern auch für dauerhafte Gebäude. Behausungen frühzeitlichen Zusammenlebens stellten ein Resultat bestimmter Nutzungsanforderungen und Zweckdienlichkeit dar, wobei sich die Frage nach Nutzungszeiträumen und Nachnutzungen nicht stellte. Spätestens mit dem beginnenden Zeitalter der Industrialisierung und der zunehmenden Mobilität der Menschen änderten sich auch deren Lebensgewohnheiten. Hinzu kommen Anforderungen an die Architektur, die bis dato nicht gestellt wurden, wie zum Beispiel zeitlich begrenzte Räumlichkeiten für Ausstellungen, Gebäude für Freiluftveranstaltungen, Schutzhüllen für archäologische Ausgrabungen, temporäre Behausungen für Flüchtlinge oder Unterkünfte für Kriegsopfer. All diese Funktionen können als Beispiele mit zeitlich begrenzter Nutzung interpretiert werden. Vermehrt bedient sich die Architektur dabei textiler Materialien, Membranen und Produkten aus Papier und Karton. Ein großer Vorteil von Baustoffen natürlichen Ursprungs ist, dass sie beinahe überall auf der Welt produziert werden können und die Anschaffung daher relativ kostengünstig ist. Dies war auch eines der Argumente des japanischen Architekten Shigeru Ban bei dessen Entwurf von Schutzhütten für die Flüchtlinge des Bürgerkrieges

in Rwanda von 1994. Papierrollen bildeten das tragende Gerüst, welches mit einer Plane bespannt wurde. Sein soziales Engagement setzte er auch bei seinem Entwurf des Paper Log House für die Bewohner der vom Erdbeben 1995 zerstörten Stadt Kobe (JPN) fort. Als einzelnes Wohnhaus konzipiert, entwickelte Ban recycelbare Behausungen mit kostengünstigen Materialien aus Karton und leichten Textilien für die Opfer von Umweltkatastrophen oder Kriegen in zahlreichen Regionen weltweit.<sup>6</sup>

Oftmals geht es in der Architektur darum, mit möglichst einfachen Mitteln möglichst schnell ein Gebäude für einen bestimmten Zweck über eine kürzere Übergangsphase oder einen längeren Zeitraum zu entwickeln. „Mein Design löst immer Probleme“, so der Architekt.<sup>7</sup>

Eine andere Art von Schutzfunktion zeigt sich bei der Zeltüberdachung des Apollontempels in Bassae (GR). Ursprünglich als vorübergehende Schutzhülle gegen Wind, Niederschläge und Vandalismus geplant, sollte diese spätestens nach Fertigstellung der Restaurierungsarbeiten wieder abgebaut werden. Mittels Stahlseilen abgespannte Stützen bilden die Tragstruktur der Zeltkonstruktion, die mit einer wetterfesten synthetischen Plane überspannt wurde. Wenngleich die Schutzfunktion erfüllt war, ist das Material nach nun über 40 Jahren selbst in Mitleidenschaft geraten.<sup>8</sup>

<sup>6</sup> [www.derstandard.at](http://www.derstandard.at)

<sup>7</sup> [www.baumeister.de](http://www.baumeister.de)

<sup>8</sup> [www.wikiwand.com](http://www.wikiwand.com)



Abb. 18: Deutscher Pavillon EXPO 1967, Montreal



Abb. 19: Canary Wharf Crossrail Station, London



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

### 3. Bauen mit Textilien, Membranen und Pneus

Die Anwendungsmöglichkeiten textiler Materialien in der Architektur sind aufgrund der technischen Herstellungsmöglichkeiten vielfältiger geworden. Leistungsfähige Werkstoffe mit langer Lebensdauer ermöglichen hohe Spannweiten und können in großflächigen Dimensionen produziert werden. Dadurch lassen sich hochwertige Textilien und Membranen für spezifische Anwendungsbereiche herstellen und ermöglichen vielfach experimentellere Ansätze in der Architektur. Die besonderen statischen Anforderungen an das Gewebe sowie an die Tragkonstruktion der textilen Bauteile benötigen großes ingenieurtechnisches Knowhow. Einer der Pioniere auf diesem Gebiet war der Architekt und Ingenieur Frei Otto. Auch wenn er selbst oft von Luftschlossern über seine Pionierprojekte spricht, war er doch ein Visionär auf dem Gebiet der membranen Architektur. Zu einem seiner meistbeachteten Entwürfe zählt der deutsche Pavillon für die Weltausstellung in Montreal 1967. Dabei wurde ein Stahlseilnetz über acht bis zu 38 Meter hohe Stützen gelegt und mit 30 Randseilen stabilisiert, die die Zugkräfte in das Bodenfundament ableiten. Das darunter gespannte Tragnetz dient zur Befestigung einer Membran aus PVC-beschichtetem, teils durchsichtigem und lichtdurchlässigem Polyestergewebe. Resultat war eine Dachlandschaft aus eleganten, dynamischen Kurven, deren Silhouette wie eine Komposition aus mehreren Zeltdächern aussieht.<sup>9</sup>

Neben klassischen Zeltformationen erwecken pneumatische Konstruktionen zusehends die Aufmerksamkeit in der textilen Architektur. Laienhaft ausgedrückt spricht man oft von Luftkissenarchitektur, deren Module zu individuellen Gebäudehüllen konstituiert werden, wie beispielsweise die Hülle der Canary Wharf Crossrail Station in London, geplant von Foster&Partners 2014. Die Tragstruktur des 300 Meter langen gewölbartigen Gebäudes bildet eine starre Gitternetzstruktur aus vorgeformten Holzbalken. In den Zwischenräumen der Struktur wurden mit Luft gefüllte pneumatische Kissen aus transparenter ETFE Folie montiert, die dem Gebäude ihre röhrenförmige Kubatur verleiht. Die lichtdurchlässige Luftkissenhülle ermöglicht nicht nur Aus- und Einblicke von außen, sondern schafft zudem ein angenehmes Raumklima im Inneren.<sup>10</sup> Mit dem Aspekt der Raumöffnung und dem Auflösen von Gebäudegrenzen spielte auch Shigeru Ban bei seinem Entwurf des Curtain Wall House. Die Außenwände des zweigeschoßigen Wohnhauses wurden an zwei Seiten mit textilen Vorhängen ersetzt. Je nach Jahreszeit und Belieben der BewohnerInnen kann der Vorhang zurückgezogen werden, wobei dadurch Einblicke von außen möglich sind. Die Grenzen des architektonischen Verständnisses von „Wand“ und „Räumen“ werden durch den Vorhang völlig neu interpretiert.<sup>11</sup>

Abb. 20 (unten): Curtain Wall House, Tokio

<sup>9</sup> [site.expo2000.de](http://site.expo2000.de)

<sup>10</sup> [www.fosterandpartners.com](http://www.fosterandpartners.com)

<sup>11</sup> [www.architectonic.com](http://www.architectonic.com)



Abb. 21: Sonnenschutzfassade



Abb. 22: Musikschule in Erfstadt



Abb. 23: Vogelfreiluftgehege Teneriffa

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

## 4. Anwendungen textiler Technologien

Unter textiler Architektur bzw. dem Bauen mit Membranen versteht man grundsätzlich das Auflösen gewohnter Raumordnungen aus Wänden und Decken, die einem Schema aus rechtwinkligen Grundrissen folgen. Anstatt Ziegel oder Beton kommen textile Materialien zum Einsatz, die vielfach amorphe Strukturen ermöglichen und ihren Gebäuden dadurch eine organische Formensprache verleihen. Dies muss nicht immer nur ästhetische Gründe haben, oft eignen sich textile Materialien und Membranen einfach besser für spezifische Anwendungen als feste Baustoffe.

Ein Beispiel hierfür wären die Verschattungsegel des Firmengebäudes der Elin Motoren Werke in Weiz. Die Fassadenverkleidung, bestehend aus 104 einzelnen Segeln, dient dabei vorrangig dem Sonnenschutz, um die Temperatur der Innenräume durch die einfallende Sonneneinstrahlung gering zu halten. Zudem fungieren die Segel als Sichtschutz und schaffen so ein wenig Privatsphäre, ohne die Innenräume zu stark abzudunkeln. Produktion und Zuschnitt folgen einem komplexen Schnittmuster, welches mit Hilfe modernster Computertechnik entworfen und gefertigt wurde. Das Material der Segel besteht aus UV-beständigem PVC beschichtetem Polyestergewebe und wurde mittels Precontraint-Technik hergestellt. Dies bedeutet, dass Ketten- und Schussfäden bei der Herstellung vorgespannt und anschließend beschichtet werden. Dadurch ist eine höhere Formstabi-

lität gewährleistet, wodurch sich die Segel bei Temperatureinwirkung nicht verziehen und somit mehr Windsicherheit garantieren.<sup>12</sup>

Das Thema aktiver Sonnenschutz zeigt sich auch in der Fassade der Musikschule in Erfstadt. Den beiden oberen Etagen des dreistöckigen kubischen Gebäudes wurde eine Fassade aus PVC beschichtetem Textilgewebe in Metalloptik vorgehängt. Bei direkter Sonneneinstrahlung wird das Sonnenlicht reflektiert und verringert so die Wärmeeinwirkung auf die dahinterliegende Fassade um ca. 50 Prozent. Dadurch reduziert sich auch der Einsatz energieintensiver Klimageräte, was zu einer besseren Klimabilanz des Gebäudes beiträgt.<sup>13</sup>

Membrankonstruktionen erweisen sich aber nicht nur in funktionaler Hinsicht, sondern auch aufgrund von nutzungsspezifischen Aspekten als sinnvoll. So besteht beispielsweise das Vogelfreiluftgehege in Teneriffa aus einem gigantischen Netz aus dünnen Edelstahlseilen, welches über 17 unterschiedlich hohe Pylonen gespannt wurde. Das Besondere daran sind nicht nur die Dimensionen, sondern vor allem die Möglichkeit der Endlosproduktion ohne Verlust der Stabilität. Das umspannte Volumen beträgt rund 17.000 Kubikmeter, wobei der höchste Punkt auf 27 Metern liegt. Das Stahlseilnetz wurde zudem geschwärzt, um im Dickicht des Dschungels nicht so aufzufallen.<sup>14</sup>

<sup>12</sup> [www.baunetzwissen.de](http://www.baunetzwissen.de)

<sup>13</sup> [www.vinyl-erleben.de](http://www.vinyl-erleben.de)

<sup>14</sup> [www.heinze.de](http://www.heinze.de)



Abb. 24: Tahari Showroom, New York



Abb. 25: Out of Balance, Innsbruck



Abb. 26: Tubaloon, Kongsberg

Die approbierte, gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist unter <http://www.rikon.at> verfügbar.  
The approved original version of this thesis is available in print at [www.rikon.at](http://www.rikon.at).

## 5. Textile Materialien im Innenraum

Nicht nur die Gebäudearchitektur bedient sich vielfach textiler Materialien, sondern auch in der Innenarchitektur sind Textilien, Stoffe, Membranen und dergleichen zu einem beliebten Baustoff geworden, um Raumkonzepte neu zu denken und neu zu erleben. So etwa erhielt der Showroom des Modeunternehmens Elie Tahari in New York City ein grundlegend neues Facelift zur Präsentation seiner neuesten Kollektion. Stoff als Material, aus dem Kleider und Blusen geschneidert werden, soll auch Gestaltungselement für den Präsentationsraum sein, befand die Architektin Gisela Stromeyer. Aus Lycrastoff entwarf sie lange Stoffbahnen, die den schmucklosen Raum ohne Tageslicht in einen exklusiven Showroom verwandelten. Die Stoffbahnen wurden nicht bündig miteinander vernäht, sondern mittels Haken punktuell verbunden bzw. an Decke und Boden befestigt. Dies ermöglicht nicht nur eine einfachere Montage und Demontage, sondern unterstreicht auch die elastischen Eigenschaften des Materials Lycra.<sup>15</sup>

Eine interaktivere Variante mit der Raumwahrnehmung des Betrachters zu spielen, konnte man in einer Ausstellung im Architekturzentrum Innsbruck 2015 erleben „Out of Balance“ beschreibt den Titel einer netzartigen Installation aus schwarzen Seilen, welche sich als röhrenartiges Geflecht quer durch den Ausstellungsraum schlängelt und

dem Besucher an einigen wenigen Öffnungen ermöglicht, hineinzusteigen und sich kletternd darin fortzubewegen. Es steht dabei jedem frei, wie schnell und in welche Richtung man sich fortbewegt, oder ob man sich in dem engmaschigen Netz, ähnlich wie in einer Hängematte, zur Ruhe legt. Die Konstruktion ist an mehreren Stellen an Decke und Boden verankert und verleiht der Installation eine gewisse Schwerlosigkeit.<sup>16</sup>

Eine Erlebnisbühne anderer Art ist die Überdachung für das jährlich stattfindende Jazz-Festival in Kongsberg (NOR). Die Kulisse für das dreiwöchige Event bildet der dem Horn einer Trompete nachempfundene Entwurf „Tubaloon“ von Snøhetta. Ein Skelett aus Stahlröhren, die elementweise zusammengebaut werden, dient als Tragkonstruktion über die eine PVC-beschichtete Membran aus PVC-PES Polyester gespannt wurde. Für das Material spricht nicht nur seine statische Formstabilität und Witterungsbeständigkeit, sondern auch seine Dauerhaftigkeit, da der Tubaloon jedes Jahr aufs Neue aufgebaut wird. Die Besonderheit der architektonischen Formensprache liegt aber in seiner Akustik; die Muschelschalen-ähnliche Form, die über dem Publikum schwebt, gewährleistet einen nahezu makellosen Klang bei leisen Darbietungen, während akustisch lautere Töne über die Gewebemembran transzendiert werden.<sup>17</sup>

<sup>15</sup> [www.architonic.com](http://www.architonic.com)

<sup>16</sup> [www.baunetz.de](http://www.baunetz.de)

<sup>17</sup> [www.snøhetta.com](http://www.snøhetta.com)



### III. Materialien textiler Architektur

Der Wunsch nach Verschattungsmöglichkeiten an Gebäuden infolge der Klimaerwärmung gilt heute mehr denn je. Neben ästhetischen Gesichtspunkten und gestalterischen Freiheiten, geht es vor allem um die Effizienz der Verschattung, die Skalierbarkeit der Konstruktion, den zu erreichenden Verschattungsgrad, anwenderfreundliche Montagetechniken, die Möglichkeit der Mehrfachnutzung und natürlich um die Anschaffungskosten. In frei zugänglichen Bereichen spielen außerdem sicherheitsrelevante Faktoren sowie die Witterungsbeständigkeit eine entscheidende Rolle bei der Materialwahl, was daher auch eine direkte Auswirkung auf die Ausführung der Unterkonstruktion hat. Natürlich können auch flächige Elemente, wie beispielsweise einfache Paneele oder massive Platten, der Verschattung dienen. Fragen nach dem Gewicht, der Dauerhaftigkeit und des Wartungsaufwands müssen bei der Materialwahl aber ebenso abgewogen werden. Massive Bauteile bieten dem Wind im Vergleich zu leichten Membranen weitaus mehr Angriffsfläche und müssten dementsprechend stabiler ausgeführt werden, um auch starken Windböen standzuhalten. Dies hat wiederum Auswirkungen auf die Statik der Unterkonstruktion. Textile Werkstoffe können sich dem Windstrom hingegen geringfügig anpassen und mindern somit die Gefahr, beschädigt zu werden. Im Anwendungsbereich öffentlicher Freiluftveranstal-

tungen wäre auch der Aspekt zur Nutzung als Werbeoberfläche eine interessante Facette der textilen Membran. Nachhaltigkeit und Recycling müssen in diesem Zusammenhang genauso mitüberlegt werden wie neuartige Technologien und autarke Systeme. So wären zum Beispiel Verschattungsmodule mit Photovoltaikfolien eine sinnvolle Option zur Doppelnutzung für große zu verschattende Flächen. Die daraus gewonnene Energie könnte direkt in die urbane Elektromobilität fließen und so einen Beitrag gegen den Klimawandel leisten. Durch eine Verschattung mit LED-Folien könnten große Screens als Kunstinstallation oder Dekoration genutzt werden, die das Stadtbild verändern und beeinflussen. Mit recyceltem Material, wie beispielsweise dem aufbereiteten Plastik aus den Ozeanen, könnten Flächen beschattet und dennoch Ressourcen geschont werden. Somit gibt es großes Potential für smarte, ressourcenschonende und nachhaltige Materialien zur Verschattung. Abhängig von den lokalen klimatischen Anforderungen, eignen sich manche Produkte besser als andere. Heute gibt es eine Vielzahl an textilen Materialien, die in der Architektur Anwendung finden. Im Hinblick auf temporäre, leichte und mobile Verschattungslösungen erscheinen Textilien bzw. Folien heute beinahe konkurrenzlos in Sachen Performance, Effizienz und gestalterischer Vielfalt.<sup>18, 19, 20</sup>

<sup>18</sup> [www.bigtex.de](http://www.bigtex.de)

<sup>19</sup> [www.textilie.com](http://www.textilie.com)



# 1. Textilien

Textile Stoffe werden aus Natur- oder Chemiefasern hergestellt und durch verschiedene Verfahren zu linearen, flächigen oder räumlichen Geweben verarbeitet. Dieser Prozess kann durch Weben, Stricken, Flechten, Filzen etc. geschehen. Naturfasern können differenziert werden in mineralische Naturfasern (zB Asbestfasern und Steinwolle), pflanzliche Naturfasern wie Baumwollfaser, Flachsfaser, Hanffaser und tierische Naturfasern wie Wolle, Seide oder Fellhaar. Die Chemiefasern können ebenfalls in drei Gruppen unterteilt werden: Natürliche Polymere (zB Viskose, Lyocell oder Gummi), synthetische Polymere (zB Polyacrylnitril, Polypropylen, Polyester oder Polyurethan) und anorganische Fasern wie Keramik-, Glas-, oder Metallfasern. Auf Basis all dieser chemisch erzeugten Produkte ergibt sich eine Vielzahl an textilen Materialien mit unterschiedlichsten Eigenschaften und Merkmalen. Neben Fabrikaten aus stoffreinen Fasern gibt es auch die Möglichkeit, textile Werkstoffe aus verschiedenen Fasern zusammenzusetzen, um deren Basiseigenschaften zu verändern bzw. zu verbessern. So wären beispielsweise bei Vliesstoffen ca. 120.000 Kombinationsmöglichkeiten und Materialvarianten denkbar. Die Vielfalt an leistungsstarken, anpassungsfähigen und universell einsetzbaren Erzeugnissen macht Textilien zu einem extrem vielseitigen Werkstoff in der

Architektur. Nicht nur in der Bekleidungsbranche, sondern auch in der Technik und der Industrie sind textile Materialien daher nicht mehr wegzudenken. Hebetchnik, Airbags, Seile oder mit Harz verstärkte Kunststoffarmierungen gehören dabei genauso zu den Einsatzgebieten wie Netze, Segel, Schirme oder auch Seilnetztragwerke in der Architektur. Je nach Anforderungen kann das Gewebe des Textils statisch, elastisch oder dehnbar ausgeführt werden. Vielfach übernehmen textile Komponenten statische Aufgaben in einer Konstruktion. Welche Konstruktionsprinzipien es in der textilen Architektur gibt, wird an anderer Stelle erklärt werden.<sup>20</sup>

Abb. 27: Textilien

<sup>20</sup> [www.decademic.com](http://www.decademic.com)



## 2. Folien

Die Gruppen der Folienerzeugnisse bilden das Pendant zu textilen Materialien. Als Folie bezeichnet man meist ein dünnes Metall- oder Kunststoffblatt zur Bespannung einer Konstruktion. Unterschieden wird nach Material wie Metall-, Kunststoff- oder gewebebasierten Folien, den technischen Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten sowie nach der Herstellungsart. In der Erzeugung differenziert man zwischen Gieß- und Blasfolie. Vorteile von Kunststofffolien sind ihr geringes Eigengewicht, die unterschiedlichen Möglichkeiten der Veredelung und der Beschichtung hinsichtlich ihrer Witterungsbeständigkeit sowie ihre gestalterische Vielseitigkeit, sie zu färben, zu bedrucken oder den Transparenzgrad individuell festzulegen. Bei einer Anwendung im Außenbereich stellen vor allem die Windsicherheit und der Witterungsschutz wesentliche Entscheidungskriterien dar. Folien sind wasserdicht, aber grundsätzlich nicht dauerhaft UV-beständig. Sie können beispielsweise mit einer hochreflektierenden Beschichtung veredelt werden, um den Sonnenschutz der darunter bzw. dahinter liegenden Aufenthaltsbereiche präventiv zu verbessern. Dabei wird ein großer Teil der solaren Sonneneinstrahlung reflektiert, wodurch auch das Material selbst vor zu starker Wärmeeinwirkung geschützt wird. Hinsichtlich den gestalterischen Gesichtspunkten können zB bedruckte Folien

der Fassade oder der Dachlandschaft eine abwechslungsreiche und schnell veränderbare Alternative zu herkömmlichen Lösungen mit massiven Materialien sein. Wenn dann auch noch beispielsweise Photovoltaik-Elemente appliziert oder eingearbeitet werden, könnten große, ungenutzte Flächen mit einer sinnvollen Zusatzfunktion ausgestattet werden. Durch ihr kompaktes Gefüge und ihre witterungsresistenten Eigenschaften werden Folien dort eingesetzt, wo Textilien an ihre Grenzen stoßen. Ähnlich den Textilien können auch Folien die Statik einer Konstruktion unterstützen, wobei allerdings nur Zugspannungen aufgenommen werden können.<sup>21, 22, 23</sup>

Abb. 28: Folien

<sup>21</sup> [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org)

<sup>22</sup> [www.chemie.de](http://www.chemie.de)

<sup>23</sup> [www.ceresana.com](http://www.ceresana.com)



### 3. Textile Materialien - Eine Auswahl

Textiles Bauen ist heute zu einem sehr vielseitigen und hochspezialisierten Sektor im Bauwesen geworden. Zum einen werden an die Gewebe besondere Anforderungen wie Witterungsbeständigkeit, Formstabilität, Windsicherheit und UV-Beständigkeit gestellt. Zum anderen hat aber auch die Tragkonstruktion textiler Bauteile hinsichtlich Aufhängung, Befestigung und Vorspannung gewisse Erfordernisse zu erfüllen. Aufgrund der sehr breiten Palette an technischen Erzeugungsmöglichkeiten, Produkten und konstruktiven Bauteilen, sind textile Konstruktionen in der Architektur mittlerweile weit verbreitet, wobei der gestalterischen Freiheit kaum mehr Grenzen gesetzt sind. Der freie Markt bietet heute eine große Auswahl unterschiedlichster textiler Materialien für spezifische Einsatzgebiete im Innen- und Außenbereich an. Je nach klimatischen Bedingungen und den Umwelteinflüssen, denen die Konstruktion ausgesetzt ist, richtet sich die Nachfrage dabei vielfach an Gewebe, die spezielle Eigenschaften zu erfüllen haben. Daher haben sich auch die meisten Erzeuger auf die Herstellung konkreter Produkte und Sonderlösungen spezialisiert. Im Folgenden findet eine Auflistung der gängigsten Produkte statt, die aber bei weitem nicht die gesamte vorhandene Vielfalt an Membranmaterialien abdeckt.



Abb. 29: Leinengewebe

## Baumwollgewebe

Natürliche Gewebe aus Baumwolle, Leinen, Jute, Hanf, Ramie, Bambus, Kapok oder Mischgeweben wurden aufgrund ihrer geringeren Leistungsfähigkeit und niedrigeren Lebensdauer im Vergleich zu Produkten aus synthetischen Materialien weitgehend aus dem Membranbau verdrängt. Wegen ihrer hohen Flexibilität und den geringen Material- und Fertigungskosten werden Baumwollgewebe nur mehr für kleinere mobile Konstruktionen, wie zum Beispiel für frei schwebende Sonnensegel, Markisen oder Sonnenschirme, verwendet. Eine spezielle wasser- und schmutzabweisende Imprägnierung ist im Außenbereich unerlässlich, um die relativ geringe Lebensdauer des Materials zu verlängern. Diese verleiht dem Gewebe zudem eine feuerhemmende und fungizide Oberfläche.<sup>24</sup>

<sup>24</sup> [www.mediatum.ub.tum.de](http://www.mediatum.ub.tum.de)



## Polyestergewebe mit PVC-Beschichtung (PES-PVC)

PVC-beschichtete Gewebe aus Polyester sind in der textilen Architektur die am häufigsten verwendeten Materialien und im Innen- als auch im Außenbereich anwendbar. Sie sind sehr einfach zu verarbeiten und zu schweißen. Die durchschnittliche Lebensdauer – verglichen mit anderen Gewebetechnologien – liegt mit 15 Jahren im unteren Bereich. Polyestergewebe sind zudem schwer entflammbar und besitzen aufgrund ihrer Beschichtung einen UV-Schutz mittlerer Beständigkeitsklasse. Da sie allerdings relativ schmutzanfällig sind, sollten sie mit einer Schutzimprägnierung versehen werden. Ein weiterer Vorteil des Gewebes liegt in seiner hohen Reißfestigkeit und in seiner geringen Knickempfindlichkeit, d.h. es kann problemlos gefaltet werden. Daher wird es vor allem für temporäre Gebäude mittlerer Spannweite, wie zum Beispiel für Eventhallen oder Messstände verwendet. Außerdem sind Polyestergewebe kostengünstig und werden von den meisten Herstellern im textilen Bereich angeboten. Problematisch ist hingegen die Entsorgung, da sie viele giftige Zusatzstoffe enthalten.<sup>25</sup>

Abb. 30: Polyestergewebe mit PVC-Beschichtung

<sup>25</sup> [www.to-experts.com](http://www.to-experts.com)

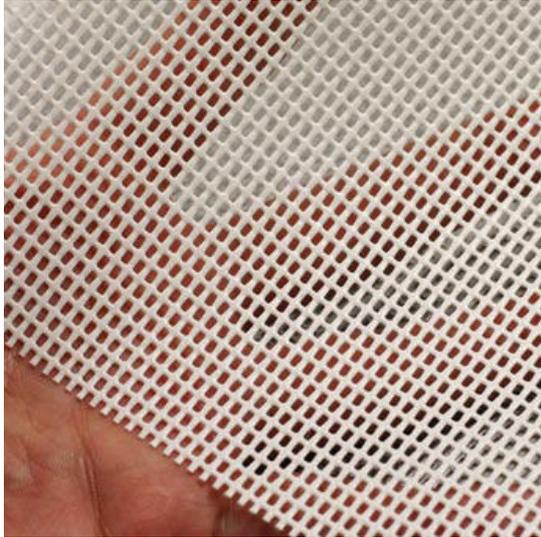


Abb. 31: PTFE Gewebe

## PTFE-Gewebe

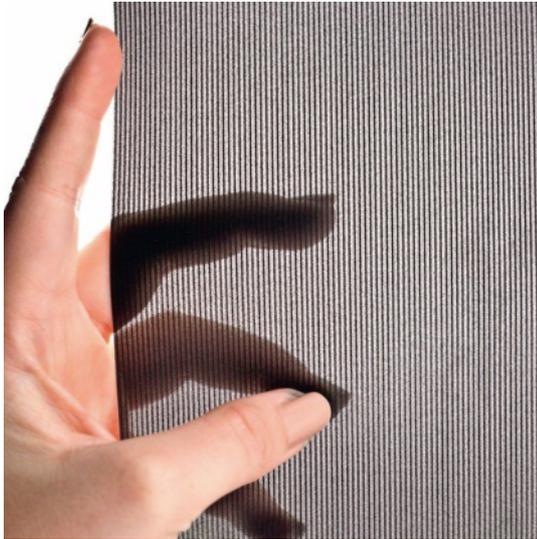
Gewebe aus Polytetrafluorethylen (PTFE) stellen eine der wichtigsten Gruppen an synthetisch erzeugten Produkten dar, auch bekannt als Teflon. Sie können ohne Beschichtung geschweißt werden und verfügen über eine hohe Flexibilität, weshalb sie vorrangig für Windschutznetze, Fangnetze, Transportbänder oder mobile Verschattungskonstruktionen eingesetzt werden. PTFE ist extrem temperaturbeständig und kann bei Dauertemperaturen zwischen  $-200^{\circ}\text{C}$  bis  $+280^{\circ}\text{C}$  eingesetzt werden, wobei es auch bei sehr tiefen Temperaturen flexibel bleibt. Grundsätzlich weist PTFE Gewebe eine hohe Abriebfestigkeit auf und verfügt über eine gute UV-Beständigkeit. Außerdem ist es wasserabweisend; um die Wasserdichtheit im Außenbereich zu gewährleisten ist allerdings eine Beschichtung notwendig. Der lange Zeit sehr hohe Materialpreis sowie das relativ schlechte Kriech- (plastische Verformung bei Temperatureinwirkung) und Relaxionsverhalten (Verlust der Eigenspannung bei konstantem Dehnen nach Temperatureinwirkung) machten die Verwendung reiner PTFE Gewebe hingegen eher unattraktiv. Im Vergleich zu PTFE-beschichteten Geweben weisen reine PTFE Gewebe ein geringeres spezifisches Gewicht auf und sind wesentlich kostengünstiger. Ihre langen Produktlebenszyklen von ca. 25 Jahren machen PTFE zu einem weitverbreiteten Material für dauerhafte Anwendungen.<sup>24, 25, 26</sup>

<sup>24</sup> [www.mediatum.ub.tum.de](http://www.mediatum.ub.tum.de)

<sup>25</sup> [www.to-experts.com](http://www.to-experts.com)

<sup>26</sup> [www.aeronautech.de](http://www.aeronautech.de)

## Glasfasergewebe mit PTFE-Beschichtung



Polytetrafluorethylen (PTFE)–beschichtete Glasfasergewebe sind im Vergleich zu Geweben aus Polyester leichter, wesentlich reißfester und temperaturbeständiger. Zudem sind sie nicht entflammbar und auch gegen die meisten Chemikalien resistent, weshalb sie oft dort zur Anwendung kommen, wo feuerfeste Materialien erforderlich sind. Ein weiterer Vorteil von Glasfasergeweben sind ihre sehr guten mechanischen Eigenschaften sowie eine überdurchschnittlich lange Lebensdauer von ca. 25 Jahren. Glasfasern haben eine weitaus höhere Spannkraft als ein Draht gleicher Stärke und sind daher auch gegenüber kostengünstigeren Kunststoffgeweben wesentlich formstabiler. Glasfasergewebe lassen sich hingegen nicht falten, weshalb auch ihre Knickempfindlichkeit sehr hoch ist. Generell stellt eine Beschichtung aus PTFE im Vergleich zu PVC-beschichteten Polyesterweben aufgrund ihrer sehr guten UV-Beständigkeit und ihrer wasserabweisenden Eigenschaften die höchste Form der Veredelung von Geweben dar. Daher kommt sie auch hauptsächlich bei dauerhaften Anwendungen im Außenbereich zum Einsatz, wie zum Beispiel bei weitgespannten Unterstellkonstruktionen im Freibereich, bei Dach- und Fenstersystemen, als Schutzdächer in Galerien oder bei Verschattungssystemen. Da aber nur sehr wenige Firmen über die entsprechenden Technologien für die eher aufwändige Herstellung verfügen, sind Glasfasergewebe relativ teuer.<sup>27</sup>

Abb. 32: Glasfasergewebe mit PTFE-Beschichtung

<sup>27</sup> [www.taconic.de](http://www.taconic.de)

## Silikonbeschichtetes Glasfasergewebe



Grundsätzlich ähneln die mechanischen Eigenschaften jenen der PTFE-beschichteten Gewebe. Der größte Unterschied liegt in der um bis zu 40 Prozent höheren Lichttransmission. Die Silikonbeschichtung bewirkt zudem eine hohe Witterungs- und UV-Beständigkeit und eine etwas höhere Flexibilität, weshalb auch die Knickempfindlichkeit geringer ist. Die Weiterreißfestigkeit ist ähnlich gut zu bewerten wie jene einer PTFE-Beschichtung, d.h. im Falle eines aufgetretenen Risses führt dieser nicht zwangsläufig zu einer völligen Zerstörung der gesamten Gewebemembran. Ihre Beständigkeit gegen Chemikalien liegt hingegen unter jener der PTFE-Beschichtung und hält daher nur gegen milde Laugen oder nicht oxidierende Säuren stand. Da silikonbeschichtete Glasfasergewebe einen höheren Reibungskoeffizienten aufweisen und sich statisch aufladen, ziehen sie Staub quasi magnetisch an und sind daher weniger resistent gegen Verschmutzungen als PTFE beschichtetes Gewebe. Aus diesem Grund ist zusätzlich ein Lack mit antistatischer Wirkung notwendig. Membrankonstruktionen mit silikonbeschichtetem Glasfasergewebe kommen hauptsächlich für permanente Anwendungen, sowohl im Innen- als auch im Außenbereich in Frage. Die Entsorgung ist unproblematisch, da sich sowohl das Glasfasergewebe, als auch das Silikon wiederverwerten lassen.<sup>27</sup>

Abb. 33: Silikonbeschichtetes Glasfasergewebe

<sup>27</sup> [www.tactonic.de](http://www.tactonic.de)

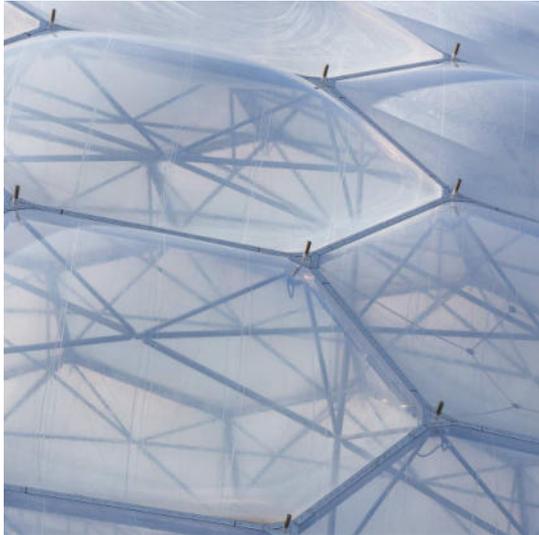


Abb. 34: ETFE-Folien

## ETFE-Folien

Ursprünglich war Ethylen-Tetrafluorethylen eine zweckorientierte Modifizierung von Teflon und als Dämmstoff für die Luftfahrtindustrie vorgesehen. Aufgrund seiner unerwartet guten Schalleitung war er dafür allerdings ungeeignet, wurde aber sehr bald zu einem vielfach verwendeten Baumaterial in der Luftkissenarchitektur. Heute werden aus ETFE hauptsächlich mit Luft gefüllte lichtdurchlässige Folienkissen hergestellt, die vorrangig in der pneumatischen Architektur zum Einsatz kommen, wie zum Beispiel bei Freilufthallen, Gewächshäusern, Sportstätten oder zoologischen Gärten. Produkte aus ETFE verfügen zudem über ein geringes spezifisches Eigengewicht, sind langlebig und weisen antistatische Eigenschaften (selbstreinigend) auf. Ihre sehr guten Witterungseigenschaften und ihre Resistenz gegen die meisten Chemikalien machen ETFE-Folien zu einem beliebten Baustoff für Fassaden im Außenbereich. Die Temperaturbeständigkeit von ETFE (max. 150 °C) ist hingegen geringer als jene von PTFE-Geweben. Das Material lässt sich außerdem problemlos recyceln und umweltgerecht entsorgen.<sup>25, 28</sup>

<sup>25</sup> [www.to-experts.com](http://www.to-experts.com)

<sup>28</sup> [www.rct-online.de](http://www.rct-online.de)

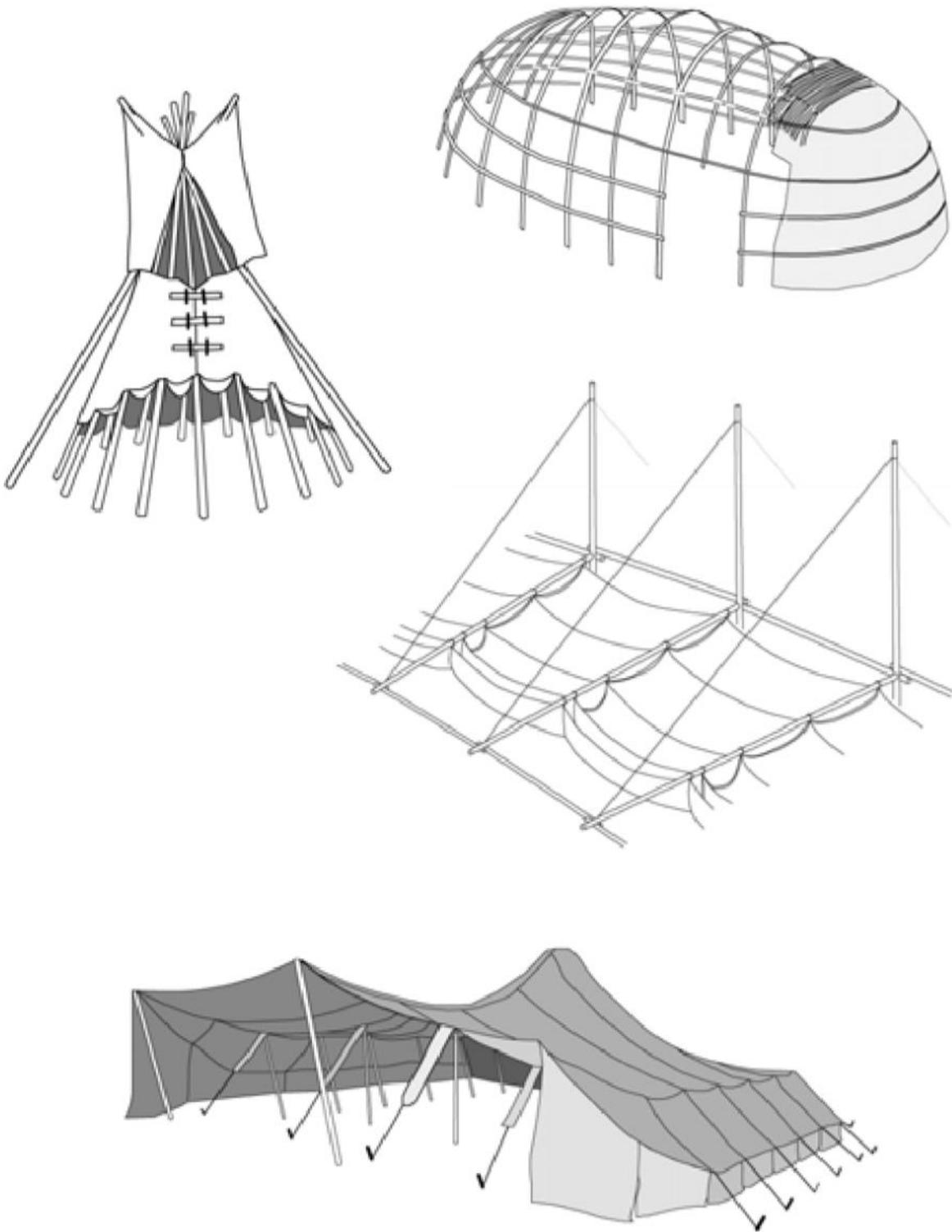


Abb. 35: Historische Konstruktionsprinzipien

## IV. Konstruktions- prinzipien im Membranbau

Beinahe keine andere Bauweise vereint Ästhetik und Konstruktion auf eine derart besondere Weise wie der Textil- und Membranbau. Ob komplexe Bauwerke oder kleinere mobile Konstruktionen, alle eint das Prinzip, maximale Spannweiten unter möglichst geringem Gewicht zu erzeugen. Damals wie heute zählen Leichtbaustrukturen daher zu den wirtschaftlichsten Bauformen unter minimalem Ressourcenverbrauch.

In den vergangenen Jahrzehnten konnte sich der Membranbau von seinem Image als schwierige Bauaufgabe befreien und steht mittlerweile in einer Reihe mit etablierten Bauvarianten wie dem Holz-, Stahl-, Glas- und Massivbau aus Ziegel oder Stahlbeton. Die Entwicklung neuer Materialien hat ihren Teil dazu beigetragen, wodurch sich auch das Anwendungsspektrum erweiterte. Neben großflächigen Überdachungen und mobilen Konstruktionen werden Membranen immer häufiger auch als Fassadenelement bzw. Klimahülle eingesetzt. Die Besonderheit liegt in deren statischen Eigenschaften, da sie rein zugbeanspruchte Tragelemente sind und keinerlei Schubsteifigkeit besitzen. Treten Belastungen normal zur Membranfläche auf, so verformen sie sich. Insbesondere auftretende Windlasten können zum Problem für ebene oder einfach gekrümmte Membranflächen werden. Bei besonders großen Belastungen

ist die Membran starken Verformungen ausgesetzt, wodurch sehr hohe Auflagerkräfte entstehen. Der auftreffende Wind versetzt die Membran nicht nur unter Schwingung, sondern verursacht dadurch auch eine starke Geräuschbildung. Außerdem besteht die Gefahr des schlagartigen Reißens, was so die gesamte Konstruktion gefährden könnte. Daher ist eine ausreichende Stabilisierung der Membranflächen durch Vorspannung erforderlich. Diese bewirkt allerdings enorme Zugkräfte, die nicht nur das Membranmaterial, sondern auch die Tragkonstruktion erheblich beanspruchen. Die Spannweiten ebener und einfach gekrümmter Membranflächen sind daher begrenzt und finden deshalb nur Anwendung bei Überspannungen mit einem engen Konstruktionsraster und reduzierten Benützungsanforderungen wie zB bei Industrie- und Festzelten. Das Potential der Membranbauweise besteht aber vor allem in der Realisierung weitgespannter Konstruktionen unter minimalem Flächengewicht und einer großen Formenvielfalt. Neben Pylonen, Masten und Spannseilen erfolgt die Stabilisierung der Flächen durch Bogentragelemente oder mechanische bzw. pneumatische Vorrichtungen. Ihre endgültige Form ist ein Resultat einer experimentellen Formfindungsmethode. Daraus ergeben sich drei Grundprinzipien im Membranbau.<sup>4, 29</sup>

<sup>4</sup> [www.texlon.ch](http://www.texlon.ch)

<sup>29</sup> [www.pina-design.de](http://www.pina-design.de)



Abb. 38: Sternenwellenzelt Köln ↑

Abb. 39: Schutzdach für die Tempelreste in Hagar Qim ↓



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

# 1. Spannkonstruktionen

Historisch betrachtet haben Spannkonstruktionen eine lange Tradition im Membranbau. Die Zeltkonstruktionen nordafrikanischer Beduinenstämme bestehen aus breiten Stoffbahnen die punktuell mit Masten unterstützt, mit Seilen abgespannt und im Boden verankert werden. Die Dachhaut in Form einer textilen Bespannung ist dabei Teil der Statik und bewirkt einen Gegenzug zur Abspannung durch die Seile. Dadurch erhält das Zelt seine Stabilität. Je nach Material und Größe unterscheidet man zwischen unterschiedlichen Formationen der Stützenanordnung. Eine punktförmige Unterstützung kommt bei kleineren Konstruktionen zum Einsatz. Die dadurch entstehende Hüllgeometrie der Membran charakterisiert sich durch eine Ansammlung von Hoch- und Tiefpunkten. Ein Beispiel hierfür wäre ein klassisches Zirkuszelt mit einem oder zwei zentralen Hochpunkten. In der modernen Zeltarchitektur erregte vor allem einer weltweites Aufsehen mit seinen spektakulären Konstruktionen: Frei Otto. Eines seiner kleineren, aber nicht minder eindrucksvollen Bauwerke ist das Sternenwellenzelt für die Bundesgartenschau in Köln 1957.<sup>31</sup> Eine zweite Variante wären linienförmig abgespannte Konstruktionen in Form eines Bogentragwerks. Dabei wird die Membran an einem entlang der Mittelachse des Gebäudes verlaufenden Bogenelement mittels Stahlsei-

len abgespannt und stabilisiert. Der Bogen fungiert dabei als Stützelement und markiert gleichzeitig den Hochpunkt der Konstruktion. Die dritte Möglichkeit wäre eine flächige Unterstützung. Dabei wird die Dachhaut über mehrere Hochpunkte gleicher Höhe gelegt, die wiederum mit Grat- bzw. Kehlseilen miteinander verbunden sind. Dadurch sind großflächige Überspannungen möglich<sup>23</sup>. Ein Beispiel wäre das Schutzdach der Tempelreste Hagar Qim auf Malta<sup>32</sup>. Bei allen drei Varianten sind nicht nur die tragenden Elemente wie Masten, Seile und Bogentragwerke Zugkräften ausgesetzt, auch die Membran hat Zugspannungen aufzunehmen. Das Konstruktionsprinzip funktioniert dabei immer gleich und basiert auf Spannung und Gegenspannung, wobei jeder Befestigungspunkt ein gegenüberliegendes Pendant benötigt. Ziehen beide mit derselben Zugkraft, so heben sich die Kräfte innerhalb der Konstruktion auf und diese steht.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> [www.texlon.ch](http://www.texlon.ch)

<sup>23</sup> [www.pina-design.de](http://www.pina-design.de)

<sup>31</sup> [www.ksta.de](http://www.ksta.de)

<sup>32</sup> [www.baunetzwissen.de](http://www.baunetzwissen.de)

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. 36: Rundmischbett in Harburg ↑

Abb. 37: Trichterschirm Esslingen ↓



## 2. Tragwerksgestützte Konstruktionen

Im Gegensatz zu Spannkonstruktionen basieren tragwerksgestützte Konstruktionen auf einem eigenständigen Tragwerk aus Masten, Seilen und Bogenelementen. Die Membran fungiert dabei lediglich als Raumabschluss und übernimmt keinerlei statische Aufgaben. Bereits die frühzeitlichen Zeltkonstruktionen der Indianer (sog. Tipi) oder auch die kuppelartigen Zelte zentralasiatischer Nomaden (Jurte oder Kurku) folgten diesem Prinzip. Ein stabiles Stabwerk aus Holz bildet das tragende Gerüst, welches mit gegerbten Tierhäuten, Filzdecken, Pflanzenmatten oder Rutenbündeln überdeckt wird. Das Grundprinzip eines kegelförmigen Stangenzelts, der Urform der Zeltarchitektur, hat sich bis heute erhalten und findet nach wie vor Anwendung im modernen Zeltbau.<sup>4</sup>

In der modernen Membranarchitektur kommen tragwerksgestützte Konstruktionen hauptsächlich bei weitläufigen Überspannungen stützenfreier Überdachungen zum Einsatz. Es kann sich dabei sowohl um dauerhafte Konstruktionen, wie zB Sportstadien, Flugzeughangars oder großflächige Schutzdächer von Industrieanlagen, als auch um mobile Bauten, wie zB Festzelte oder Arenen für Freiluftveranstaltungen handeln. Ein viel beachtetes Beispiel aus der Industriearchitektur wäre die Überdachung des Rundmischbettes der Zementwerke in Harburg. Bogen-

förmig gekrümmte Dreigurtbinder werden über einen zentralen Druckring miteinander verbunden. Die eigentliche Dachhaut bildet eine an der Unterseite der Tragkonstruktion befestigte Membran.<sup>33</sup>

Eine der wahrscheinlich ältesten Formen einer mobilen Überdachung kleinerer Spannweite stellen Schirmkonstruktionen dar. Über druckbeanspruchte Stäbe, die an einem zentralen Mittelstab starr oder gelenkig befestigt sind, spannt sich eine auf Zug beanspruchte Membran. Als Zelt- oder Pavillonbauten kommen sie hauptsächlich dort zum Einsatz, wo Flächen mittlerer Größe überspannt werden müssen, ohne massive bauliche Eingriffe vornehmen zu können. Je nach Anforderung werden Schirmkonstruktionen starr oder faltbar ausgeführt und finden Anwendung in Innenhöfen, Atrien oder dienen der Verschattung auf Freigeländen. Ein besonderes Beispiel und zugleich Europas größte Trichterschirmkonstruktion zielt das Entree des Technologiezentrums der Festo AG in Esslingen (Abb. 37).<sup>34</sup>

<sup>4</sup> [www.texlon.ch](http://www.texlon.ch)

<sup>33</sup> [www.ackermannarchitekten.com](http://www.ackermannarchitekten.com)

<sup>34</sup> [www.kochmembranen.de](http://www.kochmembranen.de)



Abb. 40: Schwimmhalle in Berlin ↑

Abb. 41: Allianzarena in München ↓



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

### 3. Luftgestützte Konstruktionen

Während die zuvor genannten Prinzipien eine Stützkonstruktion benötigen, ist dies bei luftgestützten Konstruktionen nicht notwendig. Ihre statische Tragfähigkeit erhalten sie durch eine permanente Luftzufuhr, die mit einem dafür geeigneten Gebläse unter die Membranhülle geblasen wird. Dadurch wird ein Überdruck erzeugt und die Konstruktion zum Schweben gebracht. Die Hülle selbst besteht meist aus mehreren Bahnen oder Einzelfeldern, die miteinander vernäht oder verschweißt werden. Als Traglufthalle finden solche Konstruktionen Anwendung bei Sporthallen (Abb. 40: Schwimmhalle in Berlin) oder bei temporären Überdachungen, die eine stützenlose Überspannung benötigen. Im privaten Bereich werden sie auch zur Überdachung von Schwimmbädern eingesetzt.<sup>24</sup>

Eine andere Möglichkeit luftgestützter Konstruktionen sind pneumatische Luftkissen, die zu beliebigen Freiformen konfiguriert werden können. Die Kissen bestehen meist aus einer witterungsbeständigen transparenten Folie, die zu Luftkissenpölstern verarbeitet werden. Um die Luftdichtheit zu gewährleisten, werden die einzelnen Bahnen mittels Schweißtechnik zusammengefügt. Durch eine konstante Luftzufuhr über eine Gebläsestation wird ein leichter Überdruck in den Folienkissen erzeugt, um sie stabil zu halten. Je nach Anwendung unterscheidet man zwischen Ein-, Zwei-

, Drei- oder Vierkammern-Systemen, wobei die Anzahl der Kissenkammern den U-Wert des Folienkissens bestimmen. Neben selbsttragenden Konstruktionen werden pneumatische Kissen auch als Fassadenelemente auf einer Unterkonstruktion montiert und verleihen dieser eine interessante Kubatur. Dabei übernehmen sie aber keinerlei statische Aufgaben, sondern dienen lediglich der Fassadengestaltung. Kombiniert mit modernster LED-Technik oder mit Leuchtstoffröhren kann eine banal wirkende Hülle zu einem architektonischen Highlight werden. Ein Beispiel dafür wäre die Allianzarena in München (Abb. 41). Je nachdem, ob dort ein Bundesligaspiel oder ein Match der deutschen Nationalmannschaft stattfindet, erstrahlen die rautenförmigen Folienkissen in den unterschiedlichen Farben der jeweiligen Teams.<sup>35</sup>

<sup>24</sup> [www.mediatum.ub.tum.de](http://www.mediatum.ub.tum.de)

<sup>35</sup> [www.detail.de](http://www.detail.de)

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.

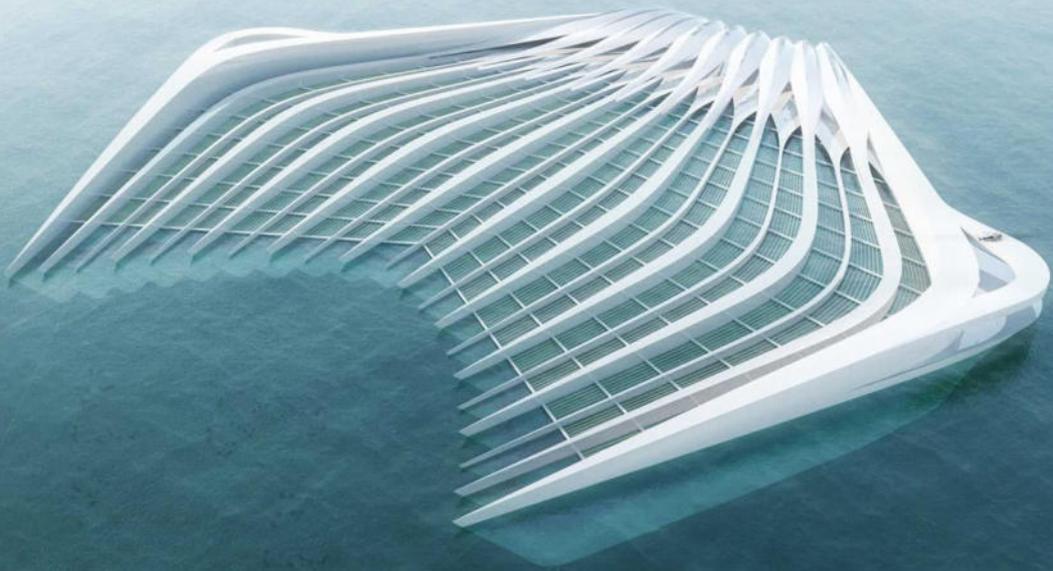


Abb. 42: Projekt „Pacific Garbage Screening“ ↑



Abb. 43: Sea Bin ↓



# V. Recycling textiler Werkstoffe

Über 400 Millionen Tonnen Plastik werden weltweit pro Jahr produziert und ein wesentlicher Teil davon landet als Plastikmüll in unserer Umwelt. Ein guter Teil davon wird erneut verwendet, recycelt oder verbrannt. Schätzungen zufolge landet dennoch ein Drittel des weltweiten Plastikmülls in den Böden und Binnengewässern. Damit ist vor allem die Mikroplastikbelastung an Land wesentlich größer als gedacht. Der größte Teil des Plastikmülls gelangt jedoch über Flüsse durch ungesicherte oder „wilde“ Deponien in die Ozeane; nach wie vor auch durch erhebliche, illegale Entsorgungen. So gelangen jährlich etwa 8 Millionen Tonnen Kunststoffabfälle ins Meer. Dieser Umstand stellt unsere Gesellschaft vor ernsthafte Probleme.<sup>36</sup>

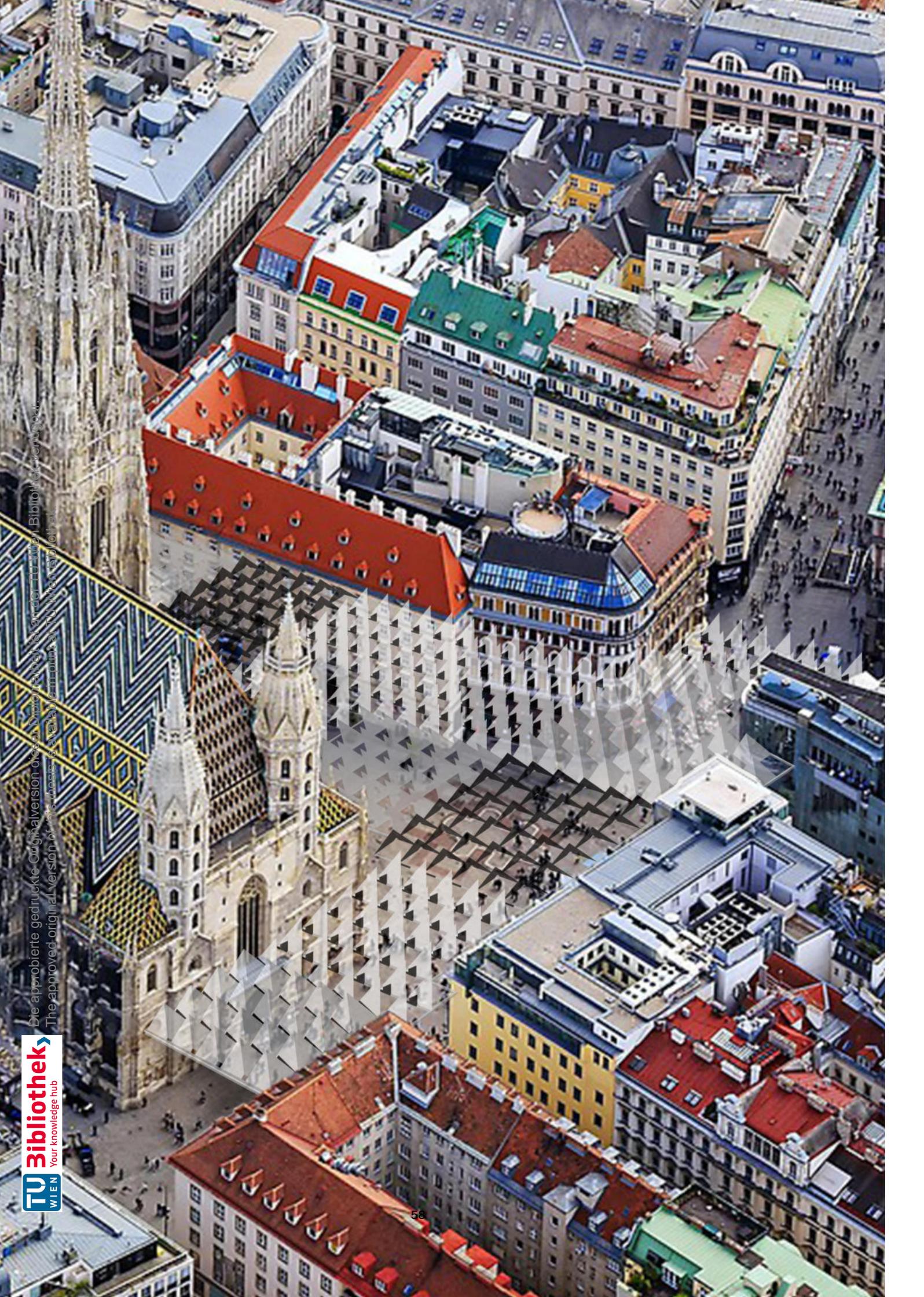
Seit einiger Zeit ist es möglich, den im Meer treibenden Müll, großflächig über verschiedene Systeme einzusammeln. Projekte wie „Ocean cleanup“ oder „Seabin“ können den schwimmenden Müll an der Oberfläche und in ein paar Metern Tiefe bereits einigermaßen effizient sammeln. Vorhaben wie das „Pacific garbage screening“ haben zum Ziel, den Radius auf 35 Meter Tiefe auszuweiten. Bereits abgesunkener oder zersetzter Müll, also Mikroplastik, kann bisher nicht effizient entfernt werden. All diese Innovationen stecken noch in den Kinderschuhen, haben aber zum Ziel, die Meere zu säubern und die Plastikmüllbelastung einzudämmen. Das gewonnene Plastik soll und wird dann zu neuen Produkten recycelt. Gerade in der Modebranche findet dieses „Ocean plastic“ mehr und mehr Absatz.

Kleidungsstücke, Schuhe und Schmuck werden bereits in größerem Umfang angeboten und gekauft. Aber noch gibt es erhebliche Probleme mit dieser Art des Recyclings. Ein wesentlicher Nachteil an der Aufbereitung von „Ocean plastic“ ist der hohe Verbrauch an Wasser, Chemie und Energie. Somit ist der ökologische Mehrwert dieser Produkte höchst fragwürdig. Außerdem besteht die große Gefahr, dass durch die Vermarktung der Produkte mit dem Slogan „wir säubern die Ozeane“, den KundInnen die Legitimation erteilt wird, weiterhin achtlos und inflationär Kunststoff zu konsumieren. Die beste Art von Umweltschutz ist daher nach wie vor die Vermeidung von Plastikmüll, sowie der sorgsame und bewusst reduzierte Umgang mit entsprechenden Produkten.<sup>37</sup>

Aus herkömmlich recyceltem Kunststoff könnten wiederum hochwertige Fasern und Folien hergestellt werden, welche – wie an anderer Stelle erwähnt – als Membrane innovativer Verschattungssysteme dauerhaft oder temporär zum Einsatz kommen könnten. Dadurch könnte ein sinnvoller Beitrag zur Vermeidung und Wiederverwendung von Abfallprodukten geleistet werden. Wäre dies in ferner Zukunft auch mit dem „Ocean plastic“ möglich, könnte der im Meer treibende Kunststoffmüll wiederum eine gewonnene Ressource darstellen. Einerseits gäbe es eine sinnvolle Nutzung des recycelten Plastiks und andererseits würden dadurch Erdöl-Ressourcen geschont werden.

<sup>36</sup> [www.wwf.de](http://www.wwf.de)

<sup>37</sup> [www.utopia.de](http://www.utopia.de)



Die approbierte gedruckte Originalversion dieses Dokuments ist an der Wiener Bibliothek verfügbar.  
The approved original version of this document is available in print at the Vienna Library.

## C ZIEL DER ARBEIT

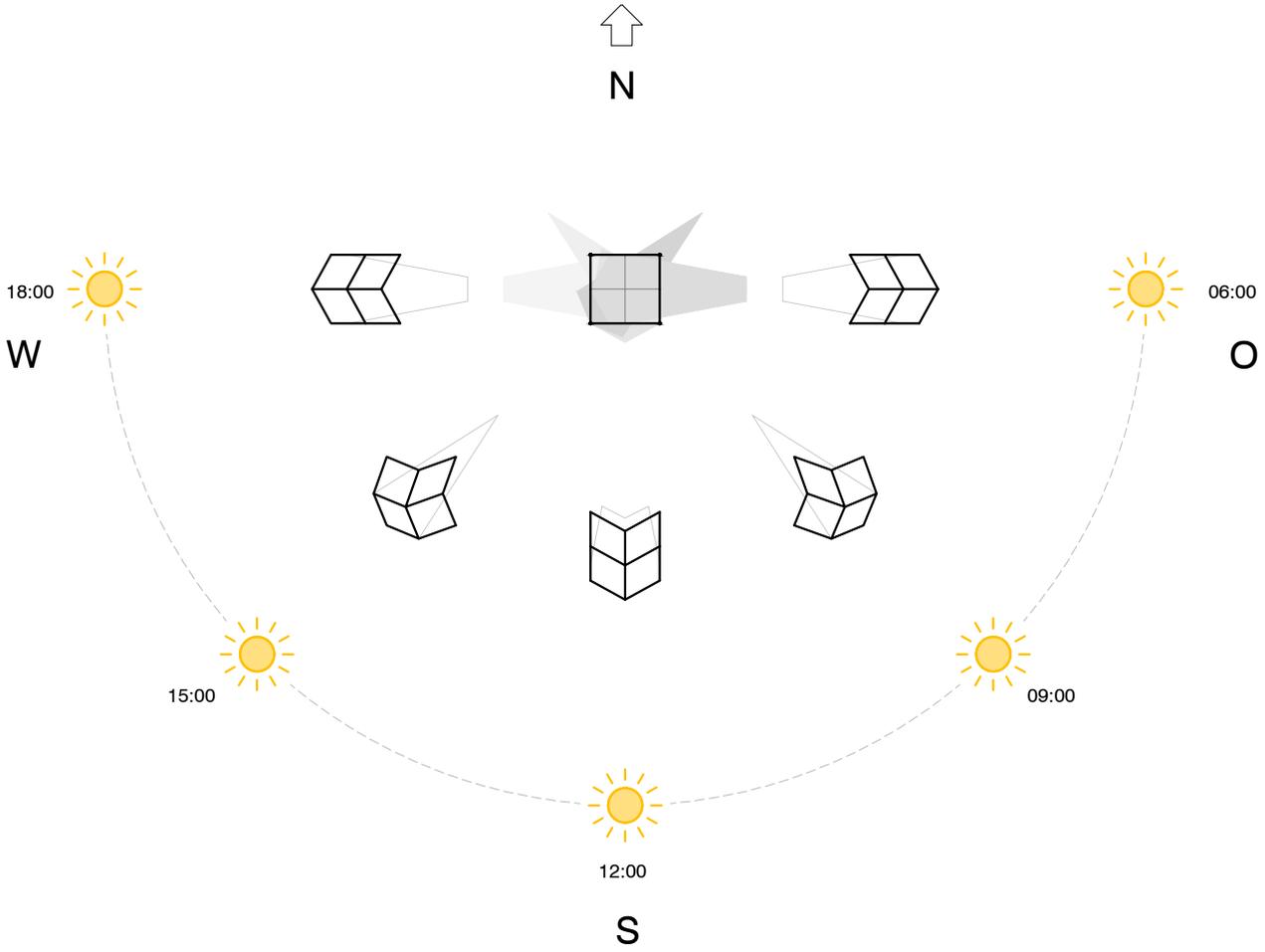
Die vorliegende Arbeit widmet sich dem Thema der Verschattung und versucht einen Lösungsansatz für ein adaptierbares Verschattungskonzept zu geben. Das Ziel bestand darin, einen serientauglichen Prototyp für ein Verschattungssegel zu entwickeln, welches zu Demonstrationszwecken auf einer beweglichen Holzgitterschale montiert werden und für eine temporäre Verschattung der darunterliegenden Fläche sorgen sollte. Ein wesentlicher Aspekt bei der Entwicklung der Segel lag in deren Adaptierbarkeit, um je nach Erfordernis eine beliebig große Fläche verschatten zu können. Als mobile Konstruktion sollten die Verschattungssegel somit in unterschiedlicher Anzahl und Konfiguration angeordnet und auf einer entsprechenden Unterkonstruktion montiert werden können, egal ob es sich dabei um einen kleinen privaten Gartenpavillon oder um eine größere Überdachung für eine Veranstaltungsfläche im Freien handelt. Die Größe der Segel ist hingegen vordefiniert und auch die Anordnung der Segel folgt einem Rastersystem. Dies ist zum einen der seriel- len Herstellung geschuldet – um die Herstellungskosten möglichst gering zu halten – und zum anderen erlaubt ein System, welches nur auf einer einzigen Modulgröße basiert, eine flexiblere Applikation, d.h. eine Struktur in der gewünschten Größe und Form herzustellen. Ein weiterer Faktor bei der Entwicklung eines

vervielfältigbaren Verschattungssegels ist das Material und dessen Gewicht. Je schwerer und sperriger das Segel, desto höhere Lasten wirken auf die Unterkonstruktion, in diesem Fall auf die Holzgitterschale. Multipliziert auf alle 256 Maschen, die mit einem Segel ausgestattet werden sollen, wäre dies ein nicht zu unterschätzender Faktor, der dabei auf die Gitterschale einwirkt. Unter Berücksichtigung all dieser Gesichtspunkte befasst sich das folgende Kapitel mit der Entwicklung und der Prototypenfertigung des Verschattungssegels.



## D METHODIK UND ARBEITSPROGRAMM

I.	Öffnungsmechanismus und Verschattung.....	62
II.	Applikationsmöglichkeiten.....	68
III.	Mechanik.....	70
	1. Mechanische Bauteile - Schraniere	
	2. Montagemöglichkeiten	
	a) Schrauben	
	b) Kleben	
	c) Magnet	
	d) Magnetisches Schnappsystem	
	e) Schläuche	
	f) Klettbänder	
IV.	Konstruktive Ausführung.....	82
	1. Konstruktion mit eigener Statik	
	a) Mechanismus mit PP- Stegplatte	
	b) Mechanismus mit 3D-bedruckter Membran	
	c) Formoptimierung einer 3D-bedruckten Membran	
	2. Konstruktion mit Unterkonstruktion	
	a) Scherensystem	
	b) Mechanismus mit Rahmen	
	c) Rahmenkonstruktion mit herausnehmbaren Feldern	
	d) Mechanismus mit steifen Streben	
	e) Mechanismus mit GFK-Stäben	
V.	Materialauswahl.....	122
	1. Vorauswahl an Textilien	
	2. Belastungstests	
	3. Materialwahl für die Segel	
VI.	Fertigung des Verschattungsmoduls.....	130
	1. Montage der Segel	
	2. Unterkonstruktion	
	3. Fertigung der Segel	
	4. Zusammenbau des ersten Prototypen	



Grafik 4: Sonnenstanddiagramm

# I. Öffnungsmechanismus und Verschattung

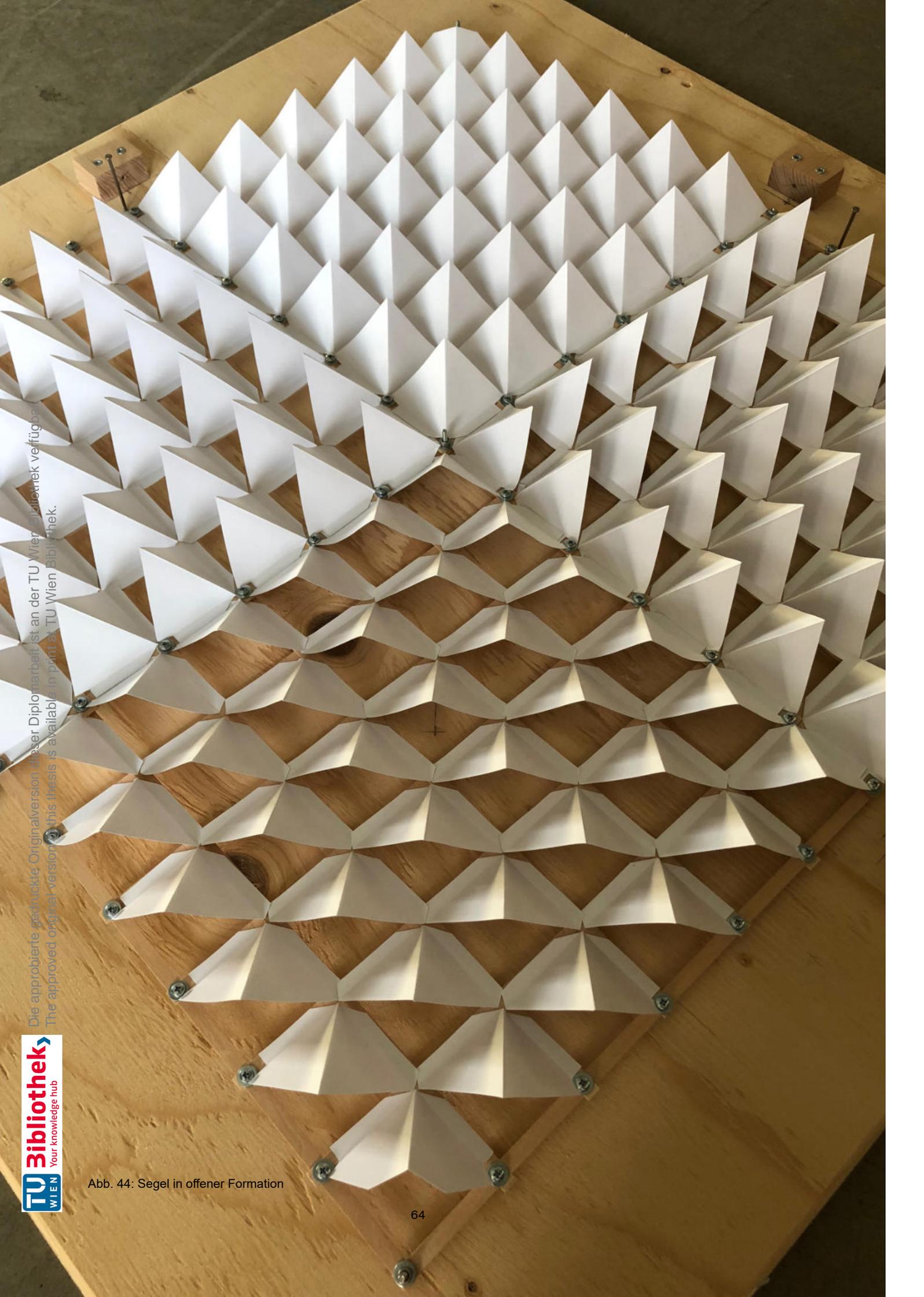
Die wesentlichste Aufgabe, die das Segel zu erfüllen hat, liegt darin, eine darunterliegende Fläche zu verschatten. Dies passiert durch das Öffnen und Schließen des Verschattungsegels, wodurch die Verschattung unter der Gitterschalenkonstruktion gewährleistet sein soll. Wie bereits an anderer Stelle erwähnt, ist die Öffnungs- bzw. die Schließbewegung an die kinematische Bewegung der Gitterschale gekoppelt. Je nach Sonnenstand richtet sich die Schale entsprechend aus, wodurch sich die einzelnen Segel öffnen bzw. schließen. Allerdings tun sie das nicht alle gleichzeitig, da sie unterschiedlich ausgerichtet sind. Die Gitterschale ist in vier Felder unterteilt, wobei alle Segel eines Feldes in derselben Ausrichtung angeordnet sind. Das bedeutet, die Segel orientieren sich nach jeweils einer Himmelsrichtung. Je nachdem aus welcher Richtung die Sonneneinstrahlung erfolgt, richtet sich die Gitterschale danach aus, wodurch sich die Segel des entsprechenden Feldes schließen und eine geschlossene Fläche bilden. Dadurch wird die Fläche unter der Gitterschale schließlich verschattet. Da der Sonnenstand aber nicht statisch ist und sich über den Tagesverlauf weiterbewegt, folgt auch die Gitterschalenkonstruktion diesem Verlauf, und somit wandert auch die darunter verschattete Fläche. Mittels Photoresistoren, die in

der entsprechenden Technik verbaut sind, soll sich die Konstruktion nach dem Sonnenstand ausrichten. Wie die dafür notwendigen technischen Komponenten verbaut und programmiert sind, wird später noch ausführlich erklärt.

Idealerweise sind temporäre Verschattungsmodule so zu konstruieren, dass ein Zirkulieren der Luft entweder allein durch die Geometrie des Verschattungsmoduls gewährleistet wird, oder die Membran weist entsprechende Öffnungen auf, wodurch ein ausreichender Luftaustausch sichergestellt wird.

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

Abb. 44: Segel in offener Formation



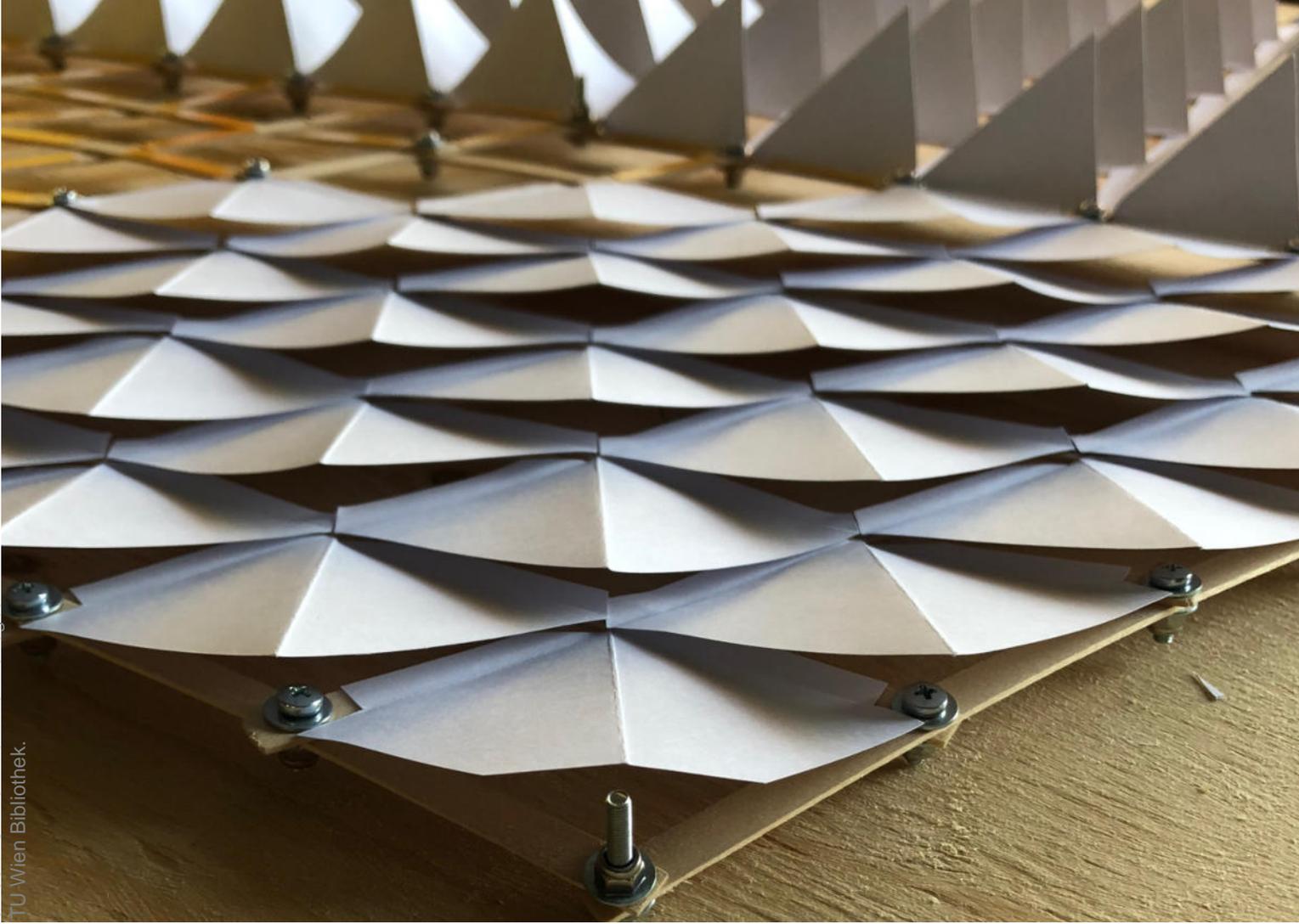
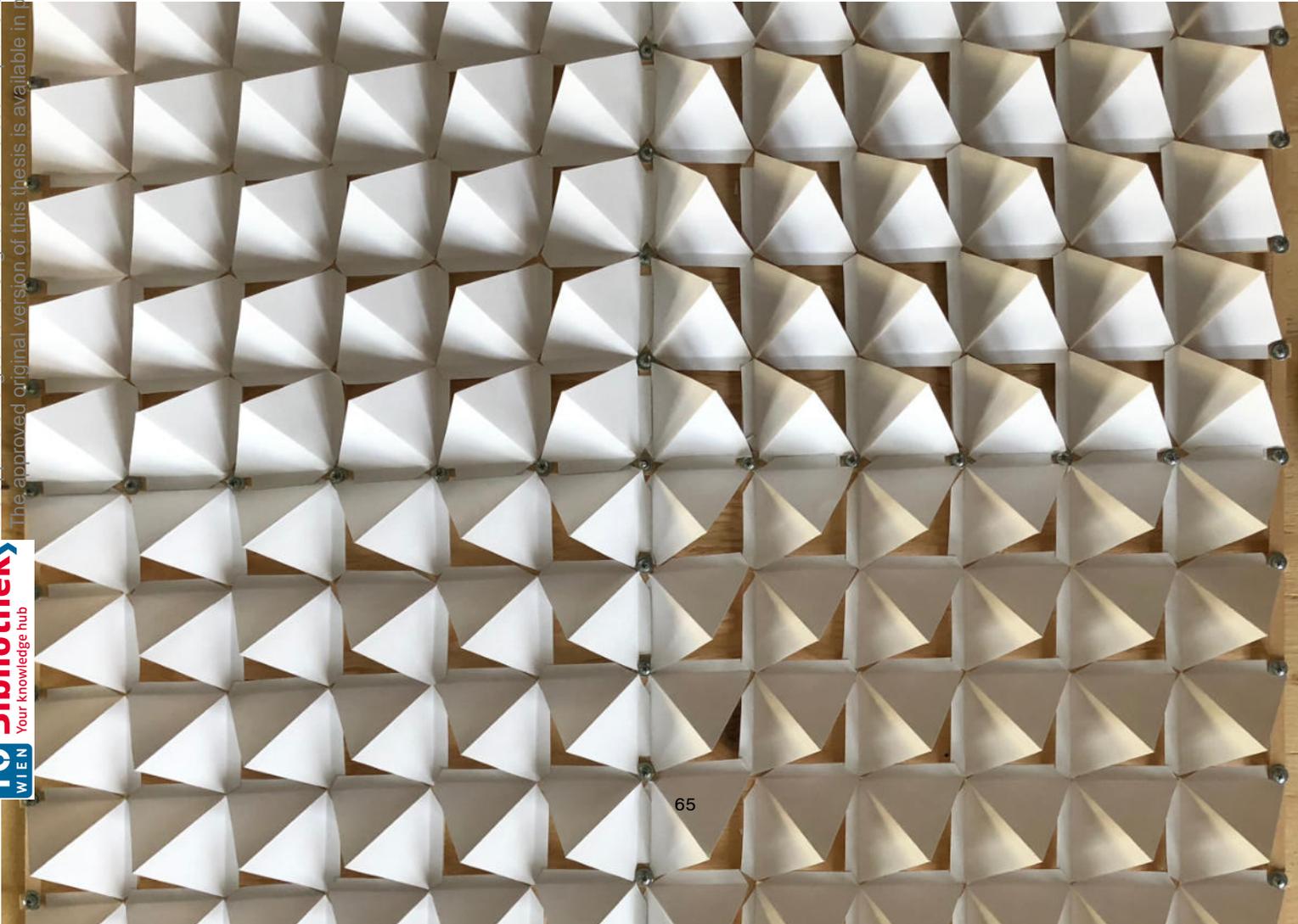
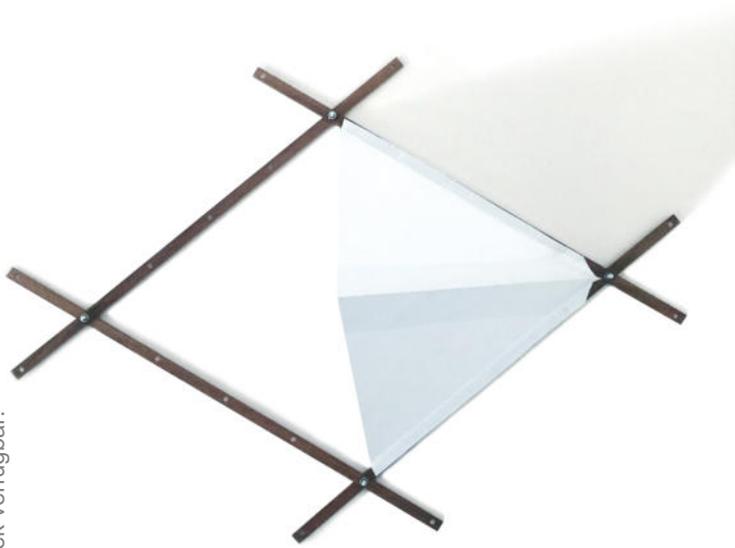


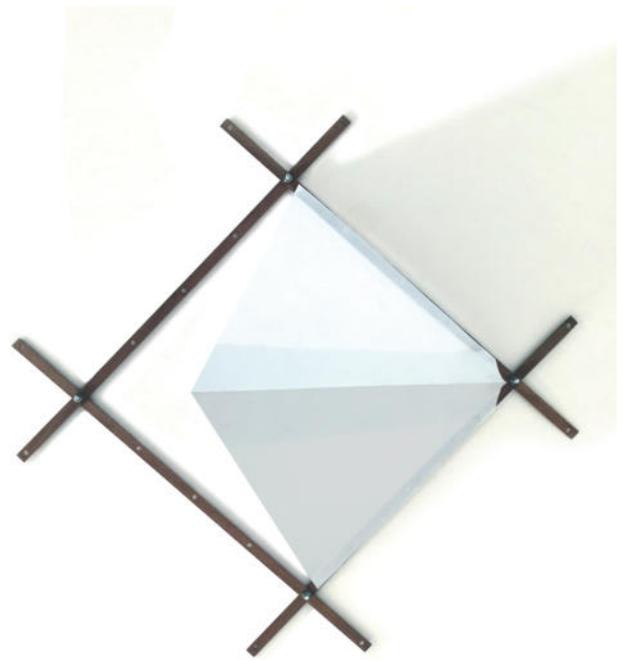
Abb. 45: Geschlossene Formation der Segel ↑

Abb. 46: Ausrichtung der Segel in den Feldern ↓





Offene Position



Neutrale Position

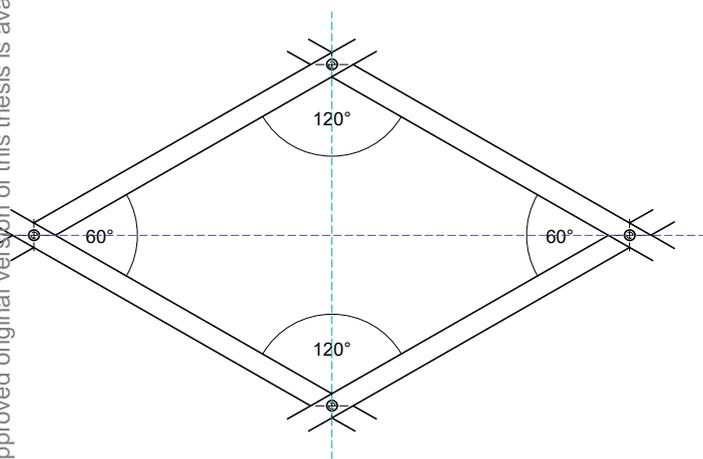


Abb. 47 (li. oben): Segel offen  
Grafik: 5 (li. unten): Segel offen Geometrie

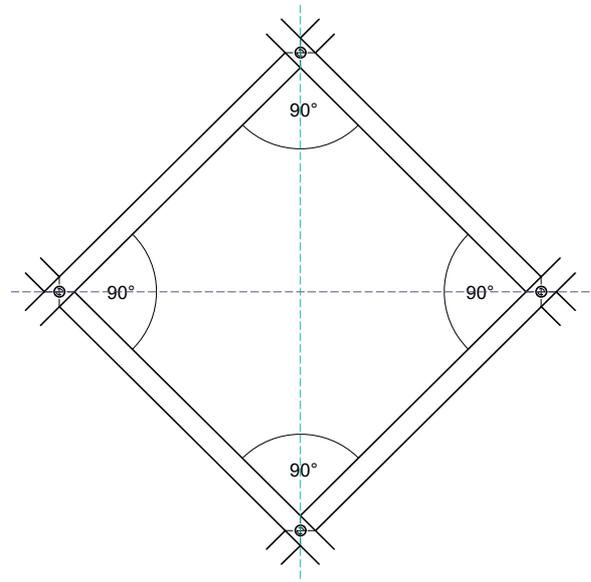


Abb. 48 (re. oben): Segel neutral  
Grafik: 6 (re. unten): Segel neutral Geometrie



Geschlossene Position

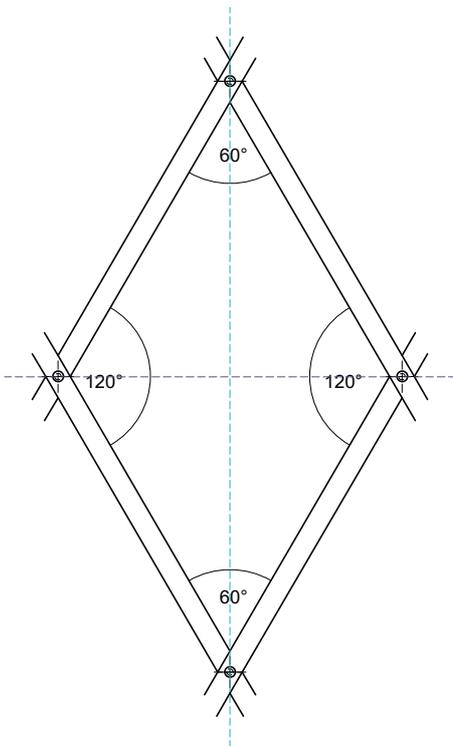


Abb. 49 (oben): Segel geschlossen

Grafik: 7 (unten): Segel geschlossen Geometrie

Die kinematische Bewegung der Konstruktion verursacht zwangsläufig Verscherungen in der Gitternetzstruktur der Schale. Diese Verformung soll als Impulsgeber für das Öffnen und Schließen der Segel genutzt werden. Bei gleichbleibenden Seitenlängen der Einzel-felder kommt es zu einer Veränderung der Geometrie der Maschen. In einem ersten Ver-such, dieses Zusammenspiel von Bewegung und Geometrie besser zu verstehen, wurde ein Papiersegel in Form eines Drachenvier-ecks zugeschnitten und an zwei Seiten einer aus Holzstäbchen zusammengebauten Ma-sche mit vier identen Seitenlängen montiert. In neutraler Position steht das Segel halb ge-öffnet über der quadratischen Masche. Das Gitternetz ist demnach unverformt und weist ausschließlich rechte Winkel auf. Bewegt sich die Netzstruktur, so ändert sich auch die Geo-metrie der vormals quadratischen Masche zu einer Raute. In ihren Extremstellungen öffnet bzw. schließt sich das Segel vollständig. Der maximale Öffnungswinkel kann über die Flä-chengeometrie des Papiersegels und über die Verscherung des Gitternetzes begrenzt werden. Anhand einiger Modelle wurde analy-siert, welche maximalen Verformungen der Gitterschale möglich sind. Zu diesem Thema sind im Teil zur ‚Entwicklung einer bewegli-chen Gitterschale in Holzbauweise‘ zahlreiche Modellversuche dokumentiert, die sich damit auseinandersetzen. Davon konnten letztlich die Winkelstellungen der Maschen in ihren Extrempositionen abgeleitet werden. Bei 60° bzw. bei 120° sind die Grenzen erreicht, bevor die Struktur der Gitterschale zu brechen drohte. Somit war der erste Parameter der geome-trischen Verformung der Maschen gefunden. Die Flächengeometrie der Segel ergab sich im Zuge der Konstruktionsmöglichkeiten, die etwas später beschrieben werden.

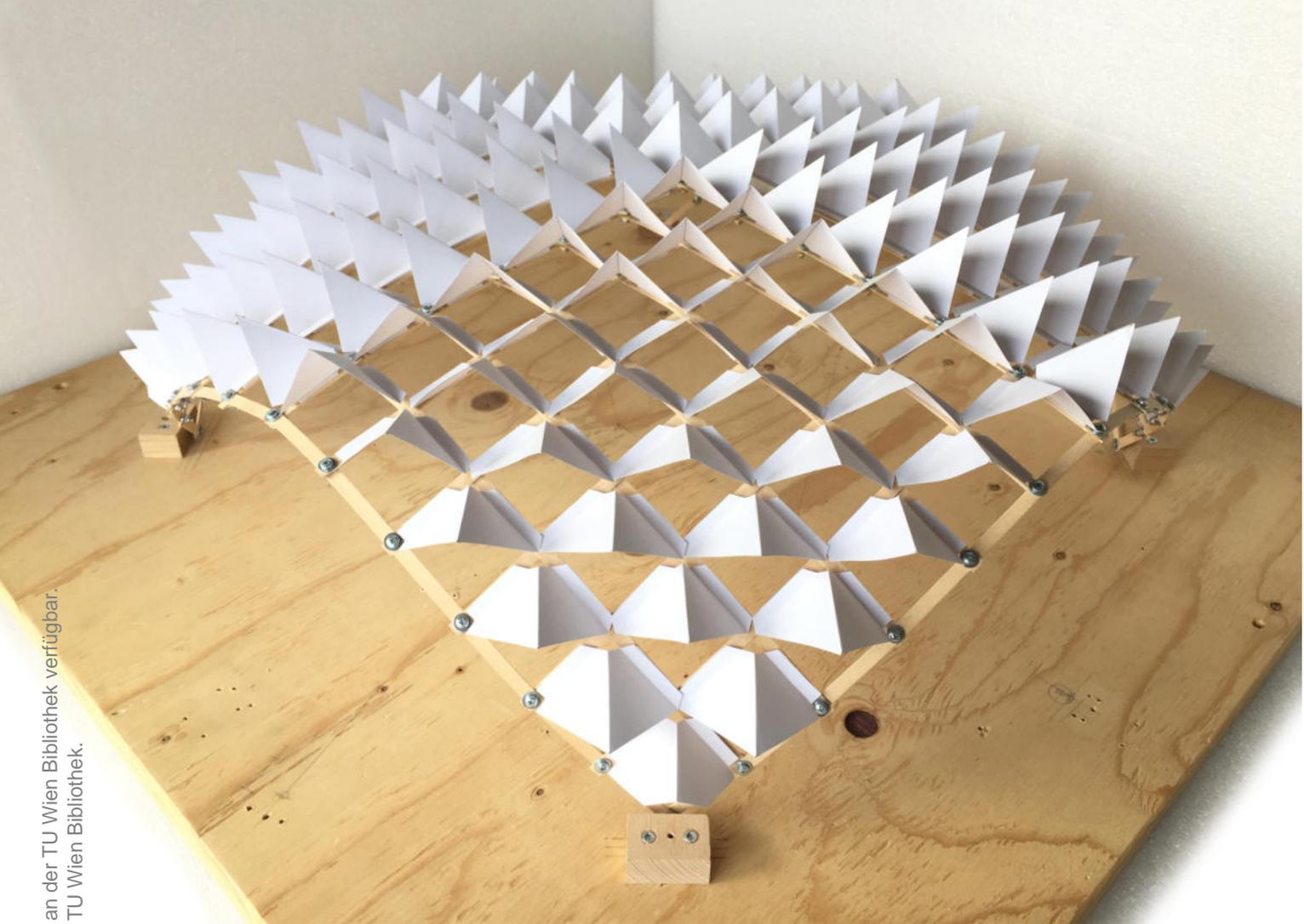
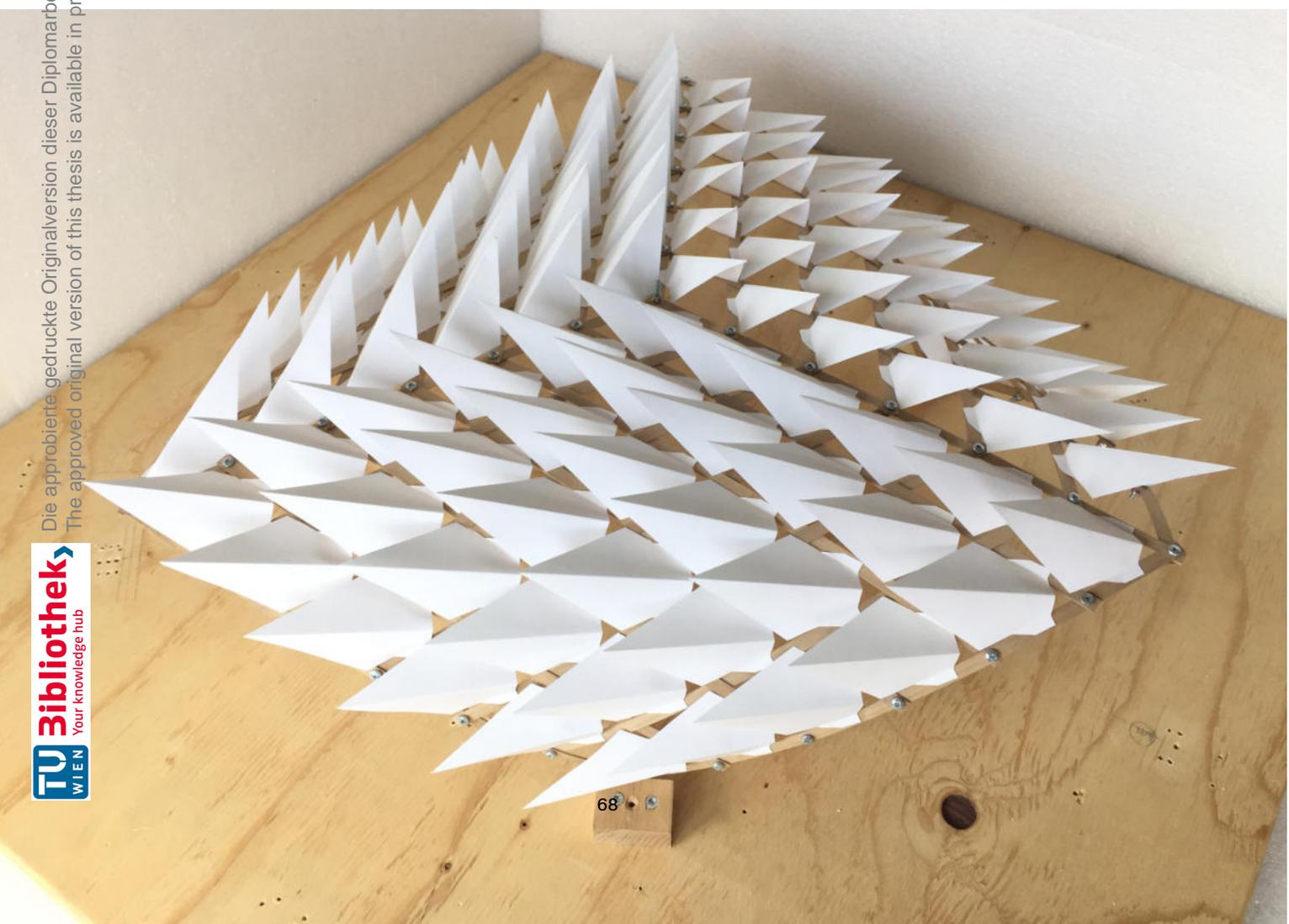


Abb. 50: Quadratische Applikation ↑

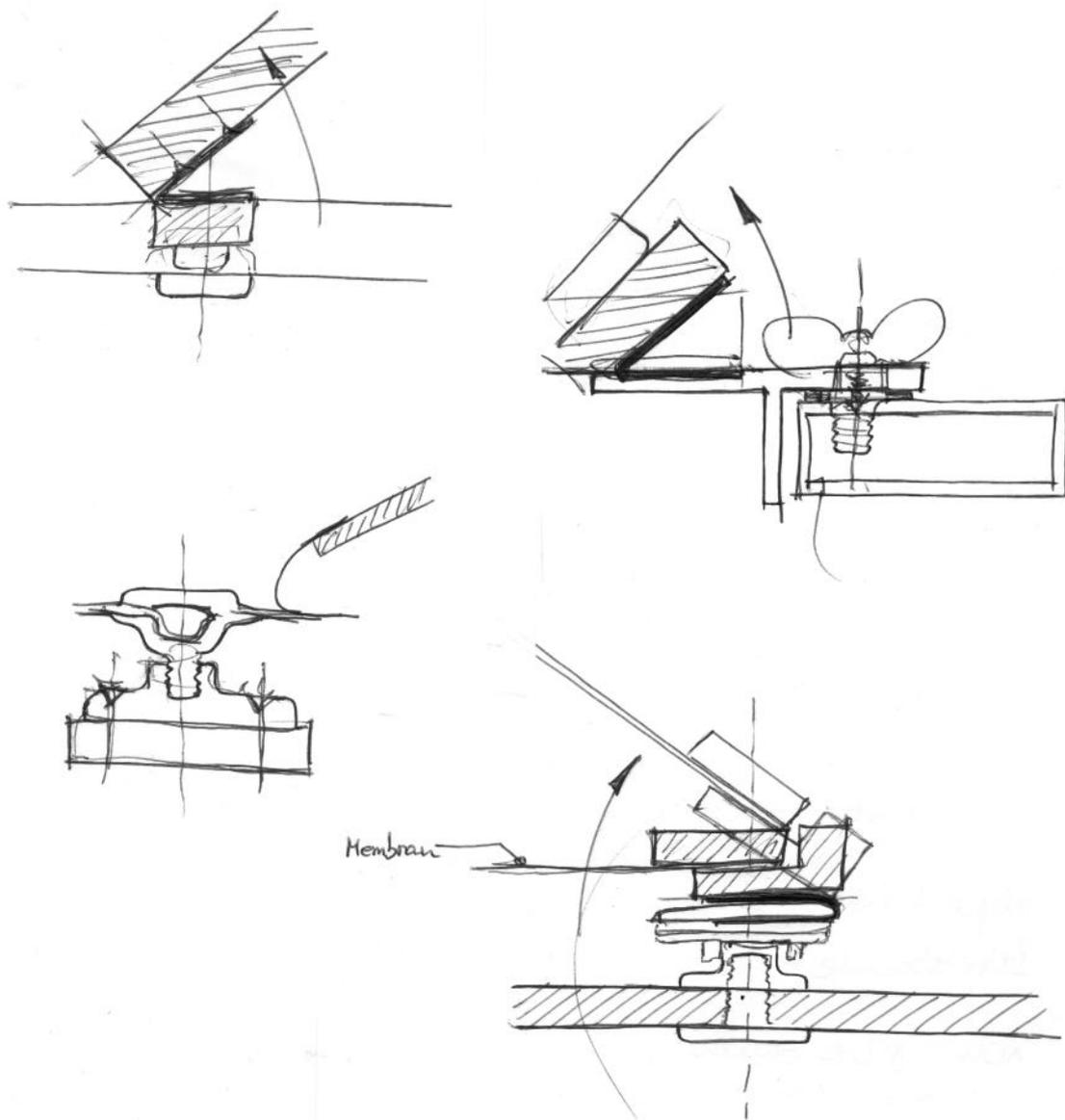
Abb. 51: Hexagonale Applikation ↓



## II. Applikationsmöglichkeiten

In einem weiteren Schritt sollte geklärt werden, wie die Geometrie der Unterkonstruktion, d.h. der Gitterschale, aussehen kann. Ebenfalls im Teil zur ‚Entwicklung einer beweglichen Gitterschale in Holzbauweise‘ wurde dazu eine Reihe unterschiedlicher Modelle mit verschiedenen Geometrien angefertigt und die Verformungstoleranzen analysiert. Unter Berücksichtigung der statischen Tragfähigkeit und der Umsetzungsmöglichkeiten bei der Herstellung eines Prototypen kamen schlussendlich zwei Varianten in Frage, die miteinander verglichen wurden. Dazu wurden kleine Segel aus Papier auf einer quadratischen bzw. auf einer hexagonalen Gitterschalenkonstruktion montiert. Wesentlichstes Unterscheidungsmerkmal sind deren Anzahl an Lagerpunkten. Während die quadratische Netzstruktur vier Auflagerpunkte aufweist und damit wesentlich eingeschränkter in ihrer Bewegung ist, basiert das Hexagon auf drei Lagerpunkten und ist daher um einiges beweglicher. Eine weitere Unterscheidung betrifft die jeweilige Geometrie der Ausgangsposition, d.h. der Position in Neutralstellung. Die Maschen des quadratischen Netzes bilden Quadrate, wogegen jene des hexagonalen Gitters Rauten darstellen. In beiden Fällen sind die Seitenlängen der Felder gleich lang. Nur so konnten direkte Vergleiche hinsichtlich des Öffnungswinkels der Segel infolge einsetzender kinematischer

Bewegung gezogen werden. Die Wahl fiel schließlich auf die quadratische Gitterschale. Begründet wurde die Entscheidung mit besseren statischen Eigenschaften und einer höheren Standsicherheit der Konstruktion durch vier anstatt von drei Auflagerpunkten und die Möglichkeit die Segel der vier Felder jeweils nach den vier Himmelsrichtungen ausrichten zu können. Dadurch ist auch ein vollständiges Schließen der Segel möglich was bei der auf drei Lagerpunkten basierenden Gitterschale nicht möglich wäre. Außerdem zeigte sich, dass sich die Segel der jeweils gegenüberliegenden Felder gegengleich zueinander verhalten. Dies ist insofern ein wesentlicher Faktor, da dadurch stets eine teilweise Öffnung der Dachhaut des Pavillons gewährleistet ist, um eine ausreichende Luftzirkulation zu ermöglichen.



Grafik 9: Scharniere Varianten Handskizzen

## III. Mechanik

### 1. Mechanische Bauteile

Um einen reibungslosen Öffnungs- bzw. Schließvorgang der Segel im Zuge der Verschattungsbewegung zu gewährleisten, war eine grundlegende Auseinandersetzung mit mechanischen Bauteilen notwendig. Dazu wurden in einem ersten Schritt einige in Frage kommende Scharniervarianten analysiert und deren Anwendungsmöglichkeiten überprüft. Beschaffenheit, Montageposition, Drehwinkel und das Eigengewicht der Scharniere spielten dabei ebenso eine Rolle wie Wartungsintensität (Notwendigkeit des Schmierens oder Ölens), Tauschbarkeit, Abnutzung und Führungsgenauigkeit. Diese Parameter sind für eine reibungslose mechanische Bewegung essentiell, wobei Scharniere nicht nur als Verbindungselemente zweier Segelhälften dienen, sie bilden auch die Schnittstelle zwischen der Gitterschale und dem Verschattungsmodul. Zu berücksichtigen ist auch der Multiplikationsfaktor von 256 Modulen. Umso komplexer die Mechanik, desto aufwändiger die Wartungsintensität und die Tauschbarkeit. Eine höhere Abnutzung sowie steigende Kosten waren dabei genauso zu berücksichtigen wie Funktionalität und Zweckdienlichkeit.

## a) Klassisches Scharnier



Abb. 52: Klassisches Scharnier

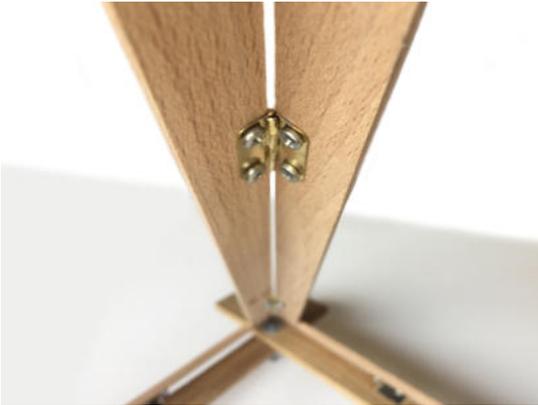


Abb. 53: Klassisches Scharnier Montage

In den Arbeitsmodellen wurden unter anderem auch herkömmliche, metallische Scharniere als Gelenke verwendet; prinzipiell eine einfache und zuverlässige Möglichkeit, zwei Objekte entlang einer Horizontalen zu verbinden. In Hinblick auf ein eins-zu-eins-Modell würden sich jedoch Kosten und Gewicht schnell summieren und dadurch Probleme entstehen. Hinzu kam die Erkenntnis, dass für eine zuverlässige Öffnungs- und Schließbewegung eine minimale Vorspannung als Impuls beim Öffnen unbedingt notwendig war. Jedoch erzeugen klassische Scharniere keinerlei Eigenspannung. Außerdem bedürfen klassische Scharniere aufgrund ihrer meist metallischen Materialität einer regelmäßigen Wartung – vor allem, wenn sie im Außenbereich eingesetzt werden. Somit musste eine Alternative gefunden werden.

## b) Textiles Scharnier



Abb. 54: Textiles Scharnier

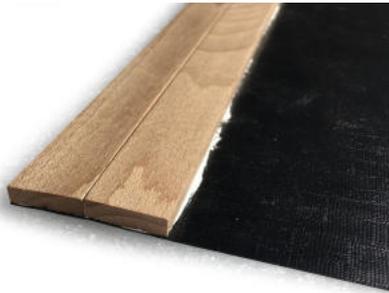


Abb. 55: Plane als Scharnier



Abb. 56: Plane als Scharnier Montage

Ähnlich einem mechanischen Scharnier verhält sich auch eine an beiden zu bewegenden Teilen montierte Membran. Während Scharniere meist geschraubt werden, können Membrane auch geklebt werden. Um in Folge der Knickbewegung keine dauerhaften Beschädigungen zu erleiden, sind robuste Materialien erforderlich, wie z.B. Teichfolien, LKW-Planen oder formstabile Gewebe. Dadurch ist es möglich zwei bewegliche Elemente miteinander zu verbinden, wobei der Abstand der fixierten Bauteile zueinander den Öffnungsradius bestimmt. Diese Variante ist in jedem Fall günstiger als herkömmliche Patente, da nicht nur der Wartungsaufwand wegfällt, auch die hohe Witterungsresistenz spricht für ein solche Lösung. Ein entsprechend robustes textiles Material oder Geflecht könnte sogar als Kugelgelenk ausgeführt werden.



## 2. Montagemöglichkeiten

Neben gelenkig ausgeführten Verbindungsmöglichkeiten zweier Bauteile, gibt es auch eine Vielzahl an Montagevarianten zur Befestigung der Verschattungsmodule an der Gitterschale. Auch diese mussten in den konstruktiven Überlegungen hinsichtlich einer eins-zu-eins-Umsetzung bedacht werden, da die Serienfertigung einen erheblichen Zeitfaktor darstellte. Je komplizierter die Konstruktion der Verschattungsmodule, desto zeitaufwändiger die serielle Herstellung. Zudem ist die Möglichkeit der Tauschbarkeit, z.B. in Folge einer etwaigen Beschädigung der Segel, und die Wartungsintensität der Verschattungsmodule zu berücksichtigen. Hinsichtlich einer schnellen und einfachen Montage spielte daher das Thema der Vorfertigung eine gewichtige Rolle bei der Wahl der Montagemittel. Die Bandbreite an Montagemöglichkeiten reicht von dauerhaften Verbindungen über reversilbe Systeme. Magnete, Steckverbindungen oder Klicksysteme ermöglichen eine rasche und simple Befestigung während Schrauben oder andere Beschläge einen wesentlich höheren Zeitaufwand für die Montage benötigen.

## a) Schrauben



Abb. 57: Schrauben



Abb. 58: Geschraubte Verbindung

Schrauben, Bolzen und Stifte gibt es in unzähligen Ausführungen, Dimensionen und Güteklassen, und sie zählen zu den am häufigsten verwendeten Verbindungsmitteln. Mit ihnen werden starre sowie mechanische Bauteile, wie z.B. Scharniere oder Bänder, an einem Trägerelement befestigt. Die Wahl der richtigen Verbindungsmittel sollte mit einer gewissen Sorgfalt getroffen werden; zu schwache oder ungeeignete Schrauben können sehr leicht zu einem Versagen der Verbindung führen. Überdimensionierte Verbindungsmittel wirken hingegen nicht nur klobig, sondern erhöhen auch unnötig das Gesamtgewicht der Konstruktion. Daher gibt es für die unterschiedlichsten Anwendungen auch entsprechende Schrauben und Bolzen; bei Blechen oder Weichmetallen werden Blech- oder Feingewindeschrauben verwendet, bei Holzkonstruktionen kommen Holzschrauben (auch in selbstschneidender Ausführung) zum Einsatz, und Bauteile aus Kunststoff werden, so sie nicht geklebt werden, mit Kunststoffschrauben miteinander verbunden. Geschraubte Verbindungen sind i.d.R. eine sehr zuverlässige Methode, um zwei Elemente kraftschlüssig miteinander zu verbinden. Sie können großen Kräften standhalten, sind belastbar und formstabil. Da jede Schraube einzeln festgezogen werden muss, kann dies die Montage bei einer hohen Anzahl an Verbindungen deutlich verlangsamen. Bei 256 Segeln, die an der Gitterschale montiert werden müssen, würde das einen erheblichen Zeitaufwand bedeuten.

## b) Kleben



Abb. 59: Kleber und Klebebänder

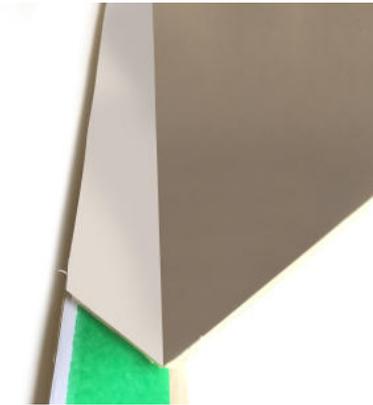


Abb. 60: Geklebte Verbindung

Gerade bei textilen Verbindungen oder auch bei Folien und Kunststoffbahnen, die miteinander verbunden werden sollen, sind Klebeverbindungen eine sehr schnelle Lösung. Allerdings sind Klebeverbindungen dauerhaft und daher nicht reversibel, womit auch ein Tausch oder eine Reparatur beschädigter Elemente nicht oder nur unter erheblichem Aufwand möglich ist. Verklebte Bauteile müssen meist im Sondermüll entsorgt werden, da ein Recycling nur sehr eingeschränkt möglich ist. Klebebänder, Flüssigkleber oder Kartuschenkleber gibt es hingegen für unterschiedlichste Anwendungen. Vor allem ihre universelle Einsetzbarkeit und ihre unkomplizierte Verwendung erlaubt es selbst Laien, zwei Elemente auf schnellem und einfachem Wege miteinander zu verbinden, ohne dabei nennenswertes handwerkliches Geschick aufbringen zu müssen.

Als Montagemöglichkeit der Verschattungsmodule schied die Klebevariante aber dennoch aus, da sich eine dauerhafte Verbindung eher nachteilig auf die Konstruktion und die Mechanik auswirken würde.

## c) Magnet



Abb. 61: Magnete



Abb. 62: Magnetische Verbindung

Magnete eignen sich für eine schnelle und zielgerichtete Verbindung zweier Elemente ohne aufwändige Montage. Sie können ohne größeren Kraftaufwand gelöst und wieder zusammengesetzt werden. Vor allem bei fehlerhaften Elementen, die infolge einer etwaigen Beschädigung getauscht werden müssten, ist eine relativ einfache Montage und Demontage möglich. Außerdem sind Magnete in allen möglichen Formen und verschiedenen Zugstärken erhältlich. Um die Zweckdienlichkeit zu überprüfen, wurden zwei Magnete in zwei Holzleisten eingeklebt und ihre Funktionsweise als mechanisches, klappbares Bauteil einem gewöhnlichen Scharnier gegenübergestellt. Zugeklappt besteht keine Gefahr, dass sich die beiden Holzleisten voneinander lösen, da die magnetische Haftwirkung über die volle Fläche beider Magnete passiert. Aufgeklappt wirkt die gegenseitige Anziehung hingegen nur mehr über ihre jeweiligen Kanten, wodurch die Leisten sehr leicht auseinanderfallen und sich lösen können. Um eine dauerhafte und zuverlässige Klappverbindung zu gewährleisten, wären stärkere Magnete notwendig, um auch Windböen standhalten zu können. Ohne zusätzliche Schutzvorrichtungen, die im Falle eines Loslösen der Elemente verhindern, Menschen zu gefährden, sind magnetische Verbindungen im öffentlichen Bereich eher problematisch. Zudem kann der Moment des Versagens einer magnetischen Verbindung nicht immer ganz genau vorhergesagt werden.

## d) Magnetisches Schnappsystem



Abb. 63: Fidlock Snap-System

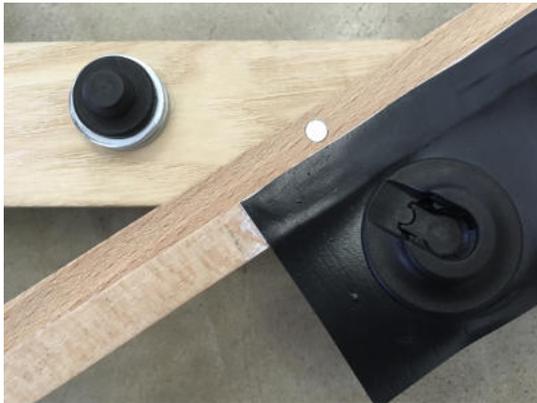


Abb. 64: Fidlock Snap-System Montage

Solide magnetische Verbindungen herzustellen löst die Firma Fidlock mit ihrem patentierten Snap-System. Dabei werden zwei magnetische Elemente miteinander vereint, ähnlich einem herkömmlichen Magnet, die sich zusätzlich gegenseitig sperren. Der Magnet dient somit der Montage, wird aber gleichzeitig durch das Snap-System gehalten. Versucht man die Magnete durch vertikales Anheben zu trennen, sperren sich diese, und die Verbindung bleibt bestehen. Gelöst werden kann sie nur durch seitliches Auseinanderziehen, wobei zu beachten ist, dass alle „Snaps“ bei der Montage in dieselbe Richtung orientiert sein müssen, denn andernfalls lässt sich das Bauelement nicht wieder abnehmen. Um die Verbindung wieder zu lösen, muss das Element in eine bestimmte Richtung geschoben werden.

Mit dem Snap-System wäre es möglich, die Segel nachträglich sehr einfach an die Gitterschale zu montieren, ohne dass zusätzliche Schraubverbindungen o.Ä. notwendig wären. Der Aufbau der Schale könnte mit relativ geringem zeitlichen Aufwand vollzogen werden. Außerdem wäre ein nachträglicher Tausch einzelner Verschattungsmodule möglich, ohne dabei auch andere Segel demontieren zu müssen. Nachteil dieser Verbindungsmethode ist hingegen die fehlende Passgenauigkeit beider Magnete zueinander. Dadurch ergibt sich eine geringfügige Bewegungstoleranz, wodurch die mechanische Öffnungsbewegung zu klemmen droht. Die Übertragung der seitlichen Schubkraft infolge der einsetzenden Öffnungsbewegung des Segels ist nicht gewährleistet. Zudem sind die Fidlock-Magnete eher teuer in der Anschaffung. Hochgerechnet auf 256 Module würde dies erhebliche Kosten verursachen.

## e) Schläuche



Abb. 65: Schläuche



Abb. 66: Schlauchverbindung

Der Vorteil von Schläuchen liegt darin, dass es sie nicht nur in verschiedensten Güteklassen gibt, ihre unterschiedlichen Elastizitäts- und Biegesteifigkeiten erlauben außerdem ein breites Anwendungsspektrum. Vor allem für eine biegeweiche Verbindung zweier Bauteile, die in mehrere Richtungen flexibel sein muss, sind Schläuche eine kostengünstige Alternative zu mechanischen Bauteilen. Dazu werden in beide Enden des Schlauches Führungsstangen, Schrauben oder andere konstruktive Elemente gesteckt und so miteinander verbunden. Die Steifigkeit bleibt aber nur bis zu einer gewissen Schlauchlänge erhalten. Ist diese zu lang, so wäre auch die Verbindung nicht steif genug und die Vorspannung würde verloren gehen.

## f) Klettbänder



Abb. 67: Klettbänder



Abb. 68: Verbindung mit Klettbändern

Eine einfache und schnelle Art zwei Elemente reversibel zu verbinden, wäre eine Klettverschlussverbindung. Bestehend aus zwei Komponenten muss jeweils eine davon auf jedem zu verbindenden Element angebracht werden. Die Klettverschlussbänder können geklebt, geklemmt oder aufgenäht werden. Eine selbstklebende Variante eignet sich lediglich für sehr glatte und ebene Oberflächen unter geringer Zugbeanspruchung. Mit dem Trägermaterial vernähte Verbindungen sind wesentlich belastbarer. Generell sind Klettverschlussverbindungen aber eher für niedrigere Beanspruchung geeignet. Wirken hingegen zu hohe Zugkräfte auf die Verbindung, könnte diese sehr leicht gelöst werden. Ein Klettverschluss ist prinzipiell eine unscheinbare und kostengünstige Variante, der Punkt des Versagens ist jedoch relativ schwer vorauszusehen und kann daher sehr plötzlich auftreten. Sein volles Potential zeigt der Klettverschluss bei einer Krafteinwirkung normal zur Klettnaht. Kommt es hingegen zu einem Impuls quer dazu, löst sich die Verbindung je nach Krafteinwirkung relativ leicht. Wirkt keine gleichmäßige, einseitige Belastung auf die Klettverschlussverbindung, so eignet sich diese Art der Verbindung eher für Anwendungen mit geringer Zugbeanspruchung.



## IV. Konstruktive Ausführung

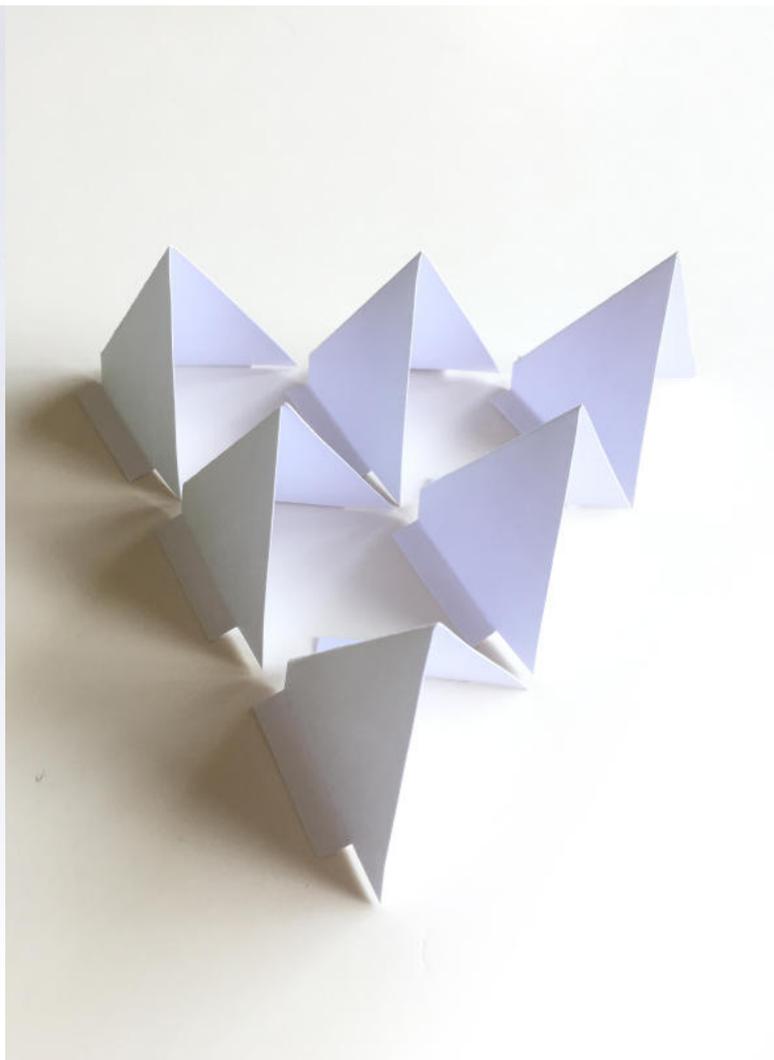
Der Öffnungs- und Schließmechanismus steht in unmittelbarer Abhängigkeit zum Material, aus dem das Verschattungsmodul letztendlich gefertigt werden sollte. Unter Berücksichtigung der gewonnenen Erkenntnisse infolge der Recherche gängiger Konstruktionsprinzipien im Membranbau, wurden nun in einem weiteren Schritt verschiedene Segelvarianten überlegt und in maßstäblichen Modellen ausgearbeitet. Im Zuge der empirischen Arbeit stellte sich heraus, dass das Arbeiten mit Modellen die einzig sinnvolle Strategie sein konnte, um schlussendlich einen funktionierenden Prototypen herzustellen. Dabei kristallisierten sich zwei Gruppen von Konstruktionsmöglichkeiten heraus, die im Folgenden näher erklärt werden. Abhängig von der Öffnungssituation und den dadurch notwendigen statischen Anforderungen, den ästhetischen Ansprüchen sowie der technischen Umsetzbarkeit, ergaben sich unterschiedlichste Varianten möglicher Konstruktionen und Mechaniken. Die entstandenen Modelle wurden einander gegenübergestellt und deren Vor- und Nachteile abgewogen. Wenngleich die Mechanik der erarbeiteten Varianten zu funktionieren schien, so erwiesen sich die konstruktiven Überlegungen dahinter als große Herausforderung. Große Ungewissheit herrschte auch darüber, wie sich der Multiplikatoreffekt, 256 Segel

aufeinander abzustimmen, auf die Beweglichkeit insgesamt auswirken würde. Nach den Möglichkeiten der Eigenleistung sollte letzten Endes eine serientaugliche Lösung unter Berücksichtigung einer zuverlässigen und funktionierenden Öffnungsmechanik gefunden werden.

Abb. 70: Einzelsegel aus Papier



Abb. 71: Formation mehrerer Papiersegel



# 1. Konstruktion mit eigener Statik

Wie bereits bei den ersten Versuchsmodellen erkannt, gibt es Materialien, die über eine ausreichende Eigenspannung und Steifigkeit verfügen, um auch Druckkräfte aufnehmen zu können. Abhängig von ihrer Beschaffenheit und der Dimensionierung der Einzelemente besteht die Gefahr des Versagens aufgrund witterungsbedingter Einflüsse wie Wind, Regen oder Schnee. Daher sind einerseits die statische Eigentragfähigkeit des Materials und andererseits dessen technische Eigenschaften hinsichtlich ihrer Dehnbarkeit und ihrer Steifigkeit entscheidend für die Eignung als konstruktives Bauteil, um nicht nur den Witterungseinflüssen standzuhalten, sondern auch um die mechanische Bewegung im Zuge des Öffnungsvorganges zu ermöglichen. Durch diese sehr eng gesteckten Kriterien würden allerdings viele Arten von Stoffen, Textilien und Folien als mögliche Verschattungsmaterialien ausscheiden, da sie zu dünn und instabil wären und den erforderlichen Ansprüchen nicht gerecht werden würden. In Hinblick auf Luftdurchlässigkeit, Gewicht, Performance und die gestalterische Vielfalt wären Textilien den Membranen vorzuziehen. Außerdem verursachen Materialien mit hoher Eigenspannung hinsichtlich der Beweglichkeit der Konstruktion insgesamt Zugkräfte, die es zu überwinden gilt. Ganz entscheidend war natürlich auch die Anzahl der Segel - 256 Ein-

zelsegel haben einen erheblichen Einfluss auf das Gesamtgewicht, welches auf die Unterkonstruktion, also auf die Gitterschale, wirkt.

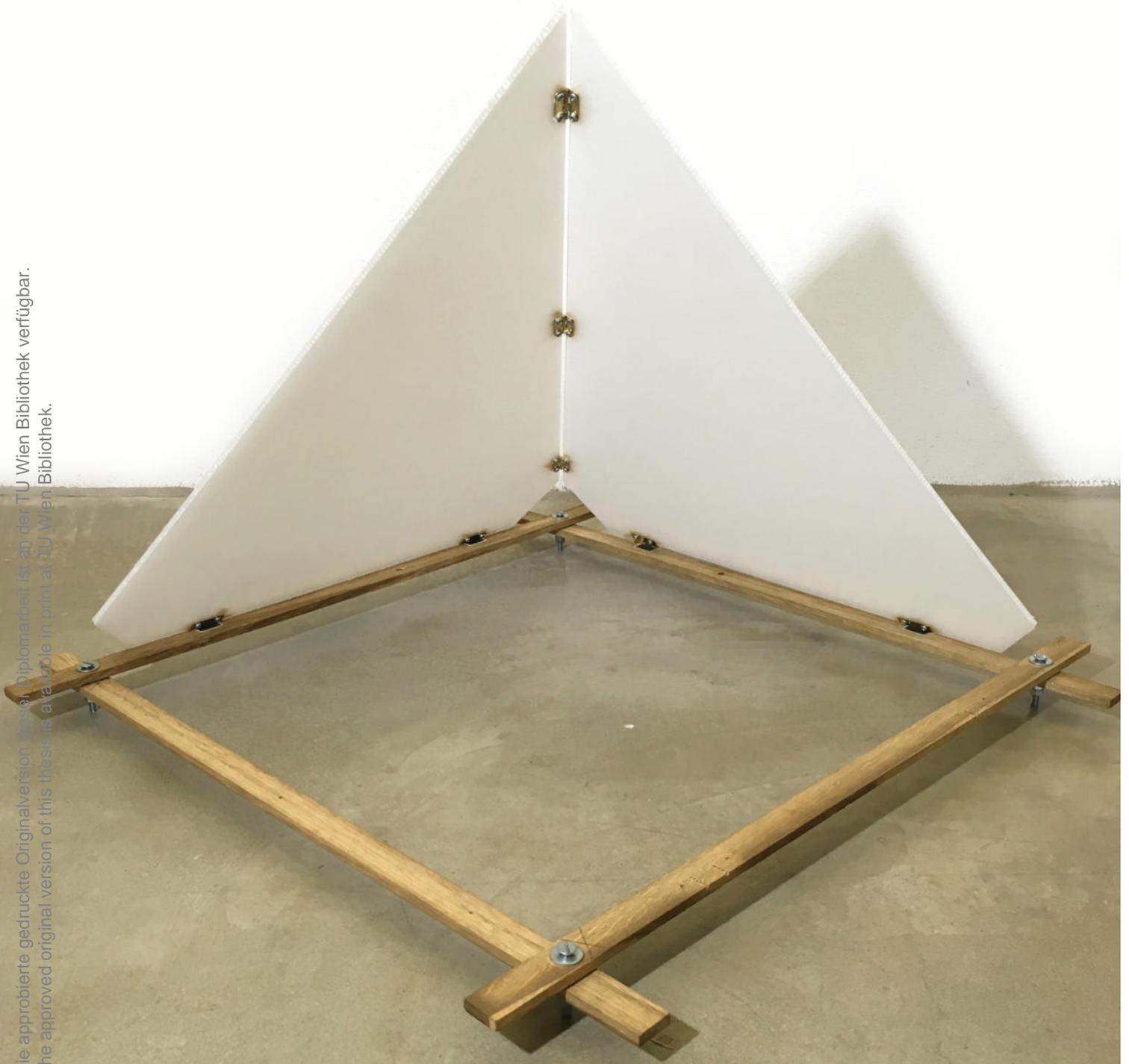
Vorteile:

- + Verschattungselement allein gewährleistet dessen Tragfähigkeit
- + weniger Gewicht durch fehlende Unterkonstruktionen
- + Serienfertigung
- + schlichte und elegante Lösung
- + keine weitere Konstruktion nötig

Nachteile:

- Regen- und Windempfindlichkeit
- Unzuverlässigkeit des Systems
- eingeschränkte Materialoptionen
- Machbarkeit (Eigenleistung)

Im Zuge einer ersten Modellreihe wurden mehrere Varianten eines Verschattungsmoduls als eins-zu-eins Konstruktion erarbeitet, deren formgebende Elemente aufgrund ihrer Eigenstatik das Öffnen und Schließen ohne eine zusätzliche Unterkonstruktion ermöglichen sollen. Ausgegangen wurde dabei von einem Flächenbauteil, der anschließend zum Zwecke einer Gewichtseinsparung einem Formoptimierungsprozess unterzogen wurde.



## a) Mechanismus mit PP- Stegplatte

In einem ersten Modellversuch wurden die beiden Segelflächen als starre Elemente mittels PP-Stegplatten ausgeführt. Durch die Verscherung der Gitterstäbe, an denen die Segelplatten befestigt sind, werden die beiden Elemente gegeneinander gedrückt wodurch sich diese entlang der Mittelachse aufrichten. Miteinander verbunden und montiert werden die lediglich mit wenigen Scharnieren. Ansich eine elegante und simple Lösung, die ohne zusätzliche Kleisen- oder mechanische Bauteile auskommt. Die Steifigkeit der Segelflächen ist letztlich für das Öffnen und Schließen des Verschattungsmoduls verantwortlich - ähnlich den Papiersegeln im Modell. Großer Nachteil dieser Konstruktionsvariante, war ihr relativ hohes Eigengewicht. Wenngleich die Segelplatten eventuell als Projektions- und Werbefläche genutzt werden könnte, sind die gestalterischen Möglichkeiten doch sehr eingeschränkt. Unter Berücksichtigung der Erhaltung der Eigenstatik, wurde in einem weiteren Ansatz versucht, sowohl das Gewicht der Segelflächen zu reduzieren, als auch das optische Erscheinungsbild interessanter zu gestalten.

Abb. 72: Mechanismus mit PP-Stegplatte

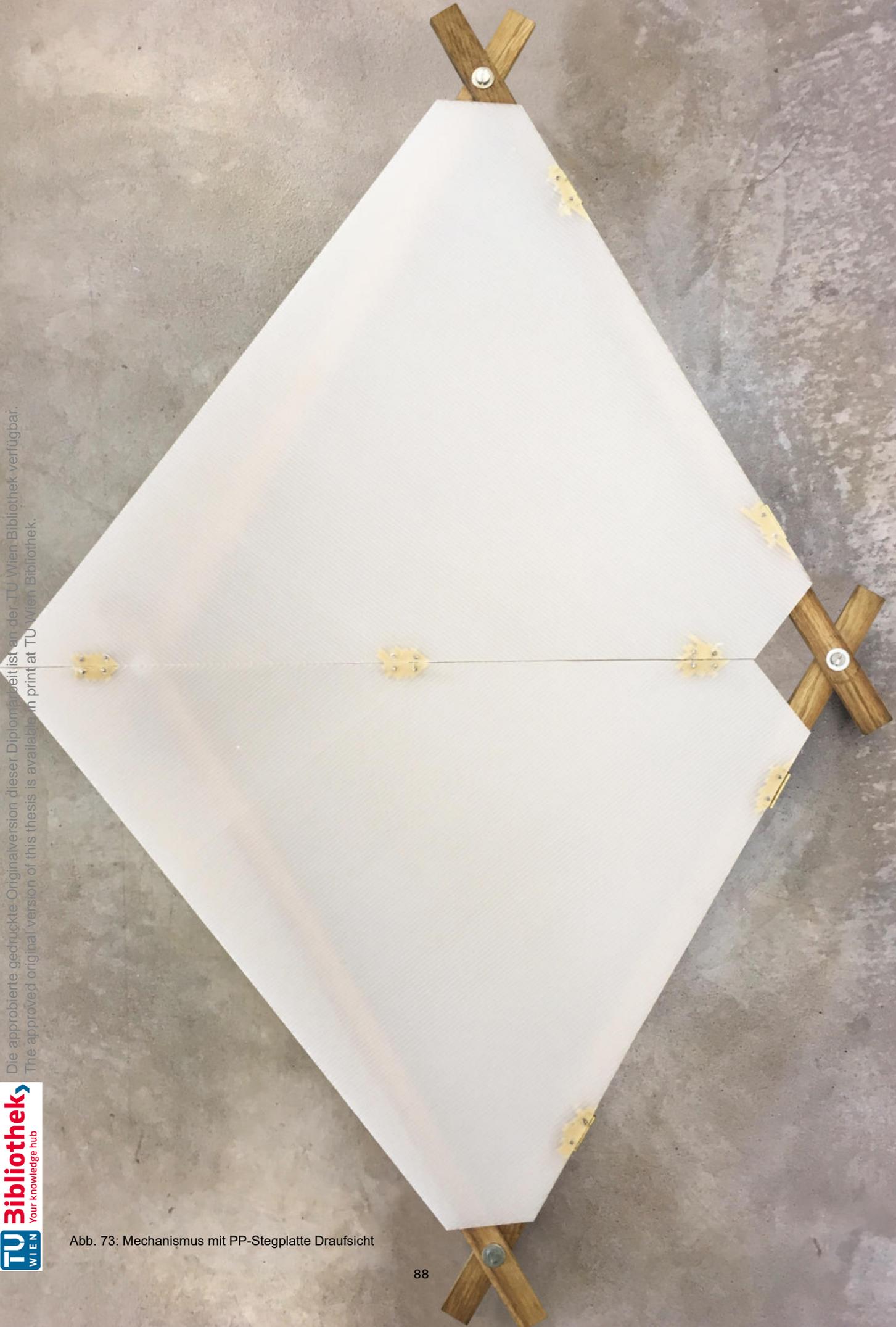


Abb. 73: Mechanismus mit PP-Stegplatte Draufsicht



Abb. 74: Mechanismus mit PP-Stegplatte Montage

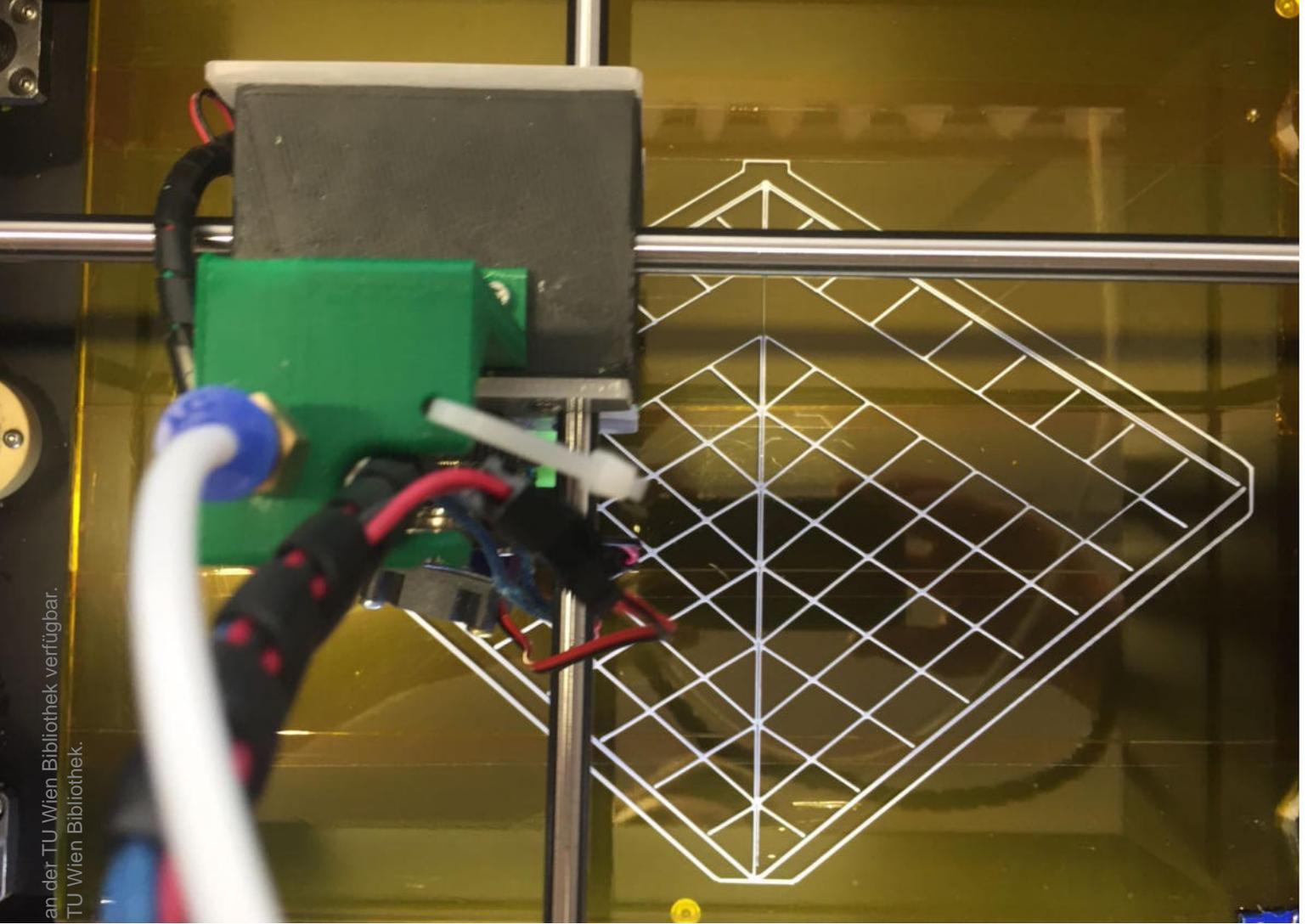
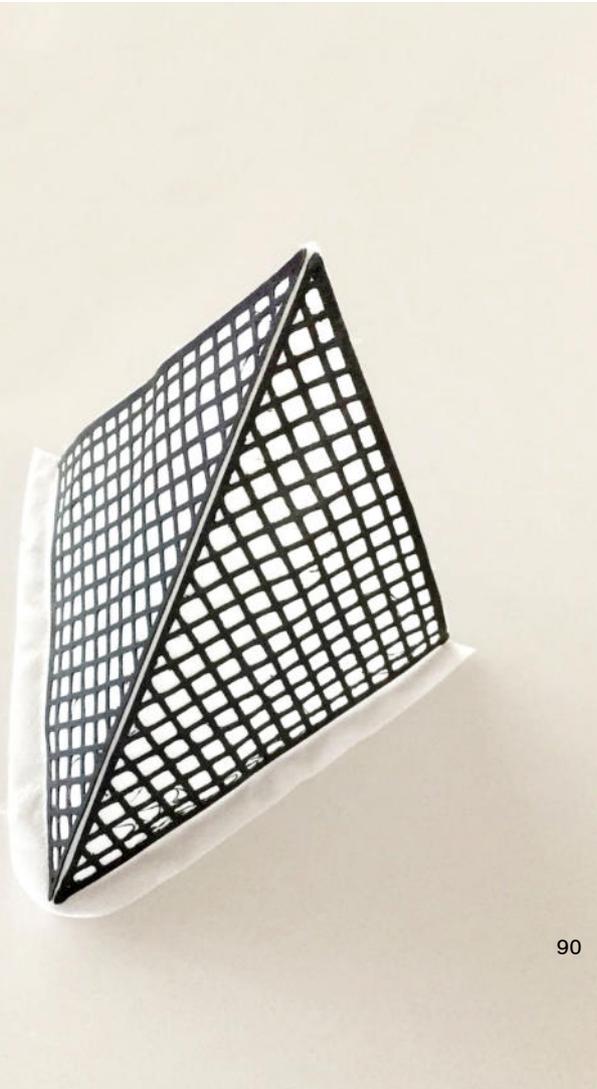


Abb. 75: 3d-Druck ↑

Abb. 76 und 77: 3d-Druck Ergebnisse ↓



## b) Mechanismus mit 3D- bedruckter Membran

Ähnlich den Kartonsegeln aus den ersten Modellversuchen, die eine gewisse Eigensteifigkeit aufweisen, wurde nach einem Material gesucht, welches leicht und zugleich unempfindlich gegen Knickfalten war. Außerdem musste das Gewebe relativ dicht sein, um eine Verschattungswirkung zu erzielen. Dadurch wäre nicht nur das selbstständige Öffnen und Schließen der Segel Elemente in Folge der einsetzenden Verschattung der Gitterstäbe gewährleistet, sondern auch für eine ausreichende Verschattung gesorgt.

Eine Weiterentwicklung der ersten Variante stellte die Möglichkeit einer 3D-bedruckten Membran dar. Im Zuge der Recherchen lernte ich Simon Hochleitner kennen, der sich mit einer relativ unüblichen Variante des 3D-Drucks beschäftigte. Mittels additiven Druckverfahrens kann auf eine Membran, die keinerlei Eigensteifigkeit besitzt, eine Netzstruktur aus mehreren Bahnen aufgedruckt werden, wodurch dieser eine Steifigkeit verliehen wird. Mit Hilfe eines entsprechenden Computerprogramms können unterschiedliche Strukturen generiert und anschließend von einem 3D-Drucker auf ein textiles Material gedruckt werden. Dazu wird ein Flüssigfilament verwendet, welches als Grundmaterial des 3D-Drucks fungiert. Erst nach Aushärtung des Filaments erhält die Membran ihre Steifigkeit. Je nach statischer Erfordernis und gestalterischen An-

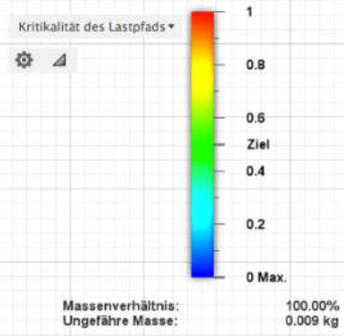
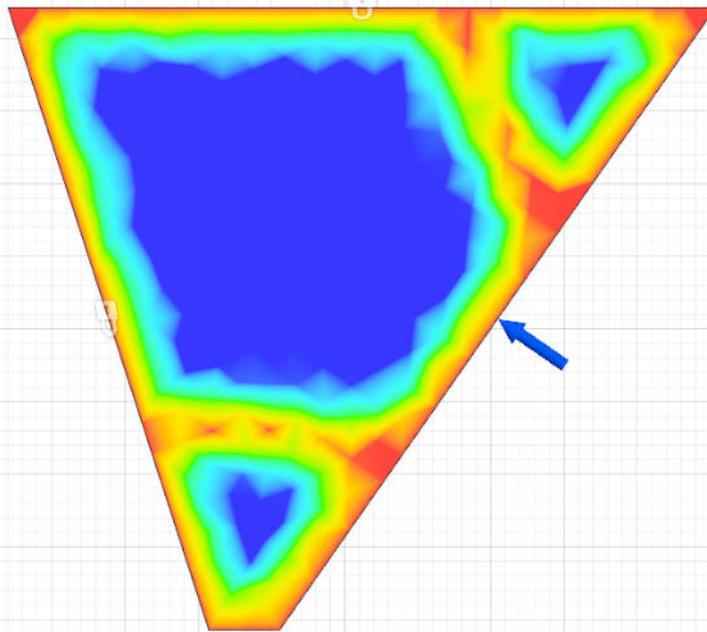
sprüchen ist es möglich, anwendungsspezifische Produkte herzustellen. Durch eine partielle Verdichtung der Einzelbahnen könnte an stark beanspruchten Stellen der Membran eine hohe Steifigkeit bewirkt werden. Weitere Abstände würden hingegen das Gegenteil bewirken, d.h. die Membran wäre wesentlich flexibler und biegsamer. Auch durch die Wahl des Filaments lassen sich die statischen Eigenschaften einer textilen Membran individuell anpassen.

Das Auflösen einer Fläche in einzelne Bahnen ermöglicht eine erhebliche Gewichtseinsparung der Segelflächen. Auf Grund dieses computerbasierten Verfahrens ergibt sich auch eine größere Bandbreite an gestalterischen Möglichkeiten.

BROWSER

Simulationen

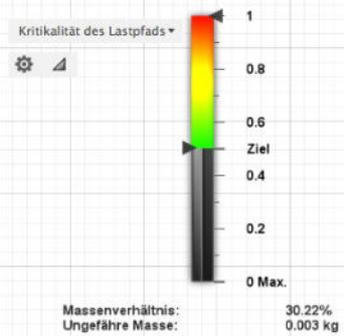
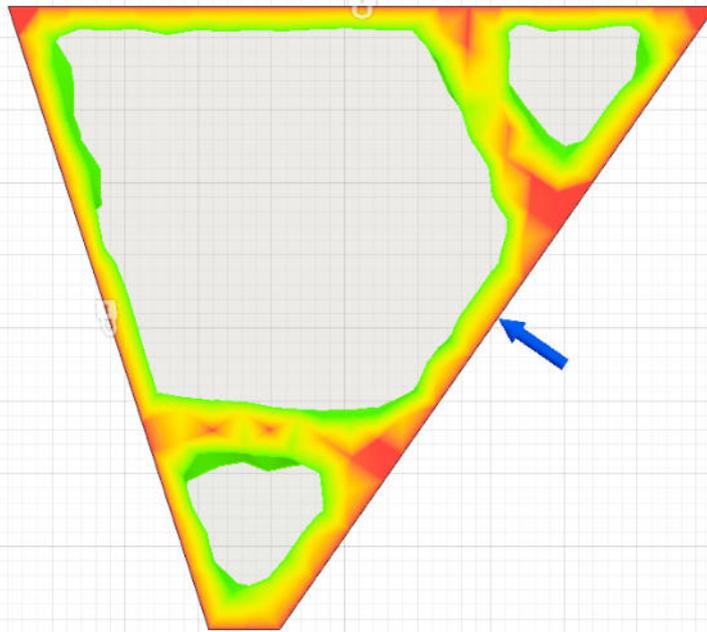
- Einheiten: Benutzerdefiniert
- Simulationsmodell 1
  - Benannte Ansichten
  - Ursprung
  - Modellkomponenten
  - Studie 1 – Formoptimierur...
    - Formoptimierungsziel
    - Studienmaterialien
    - Formoptimierungseinstellung...
    - Lastfall1
      - Kontakte
      - Netz
      - Ergebnisse



BROWSER

Simulationen

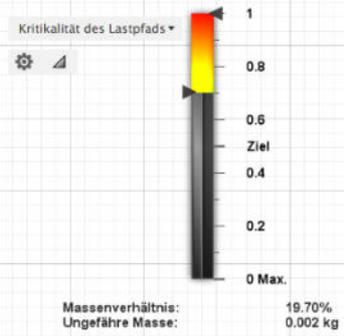
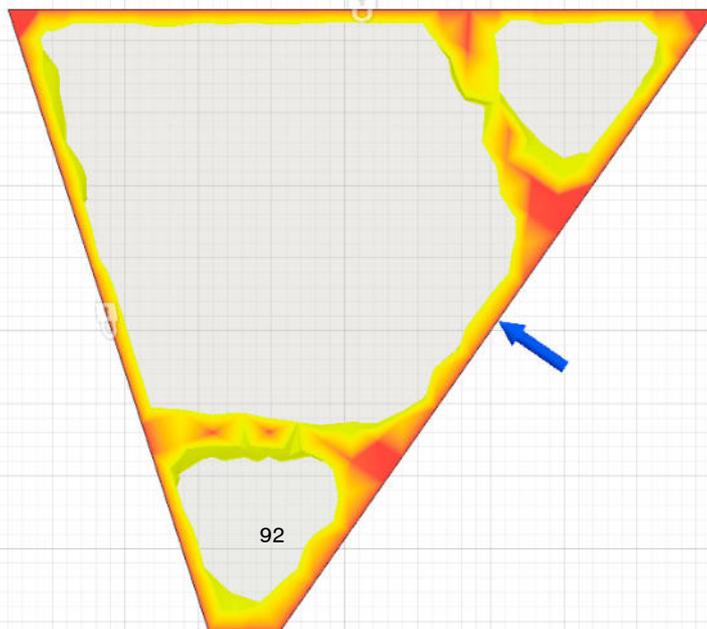
- Einheiten: Benutzerdefiniert
- Simulationsmodell 1
  - Benannte Ansichten
  - Ursprung
  - Modellkomponenten
  - Studie 1 – Formoptimierur...
    - Formoptimierungsziel
    - Studienmaterialien
    - Formoptimierungseinstellung...
    - Lastfall1
      - Kontakte
      - Netz
      - Ergebnisse



BROWSER

Simulationen

- Einheiten: Benutzerdefiniert
- Simulationsmodell 1
  - Benannte Ansichten
  - Ursprung
  - Modellkomponenten
  - Studie 1 – Formoptimierur...
    - Formoptimierungsziel
    - Studienmaterialien
    - Formoptimierungseinstellung...
    - Lastfall1
      - Kontakte
      - Netz
      - Ergebnisse



Die approbierte 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. 26: Vorformung 03



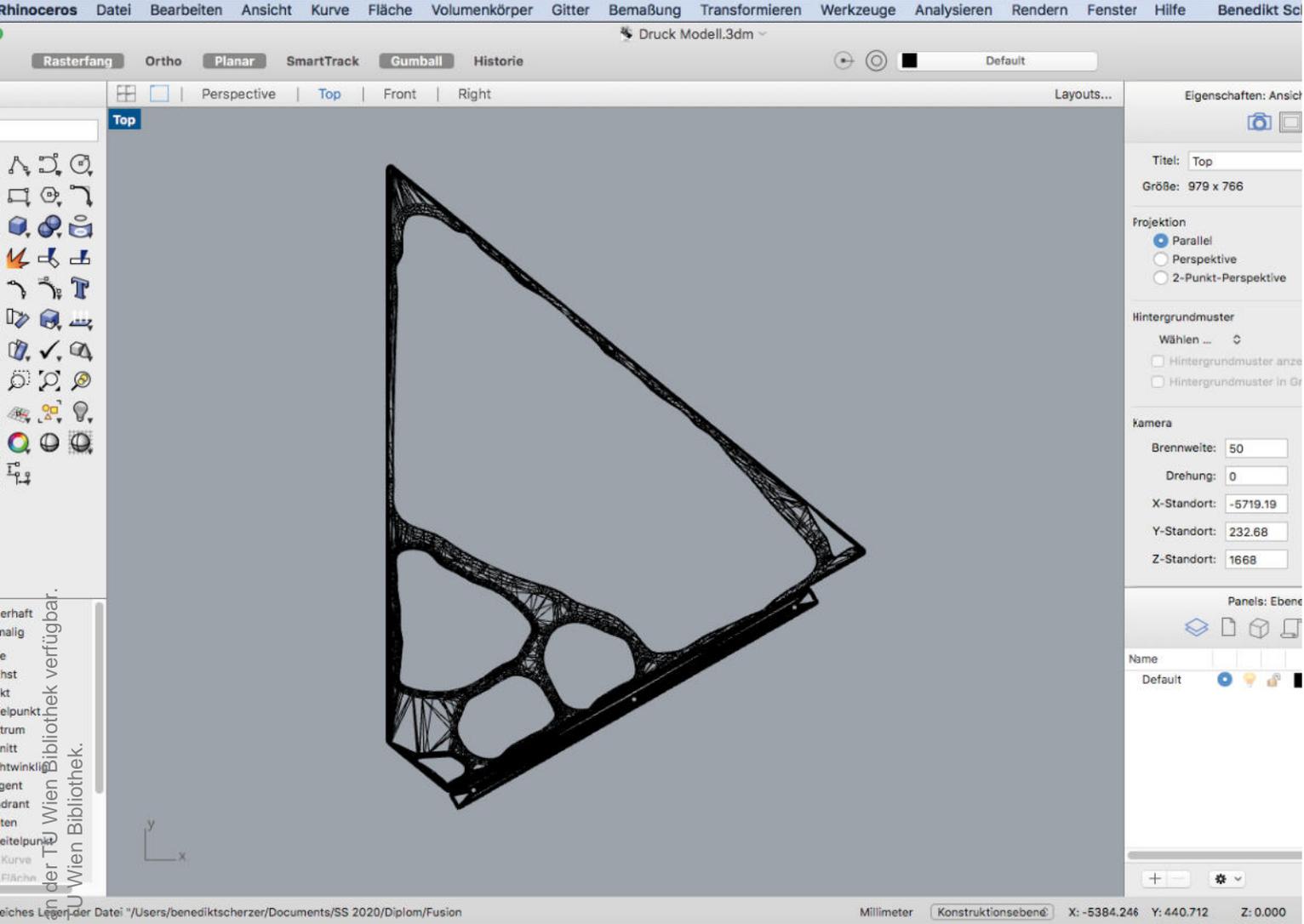
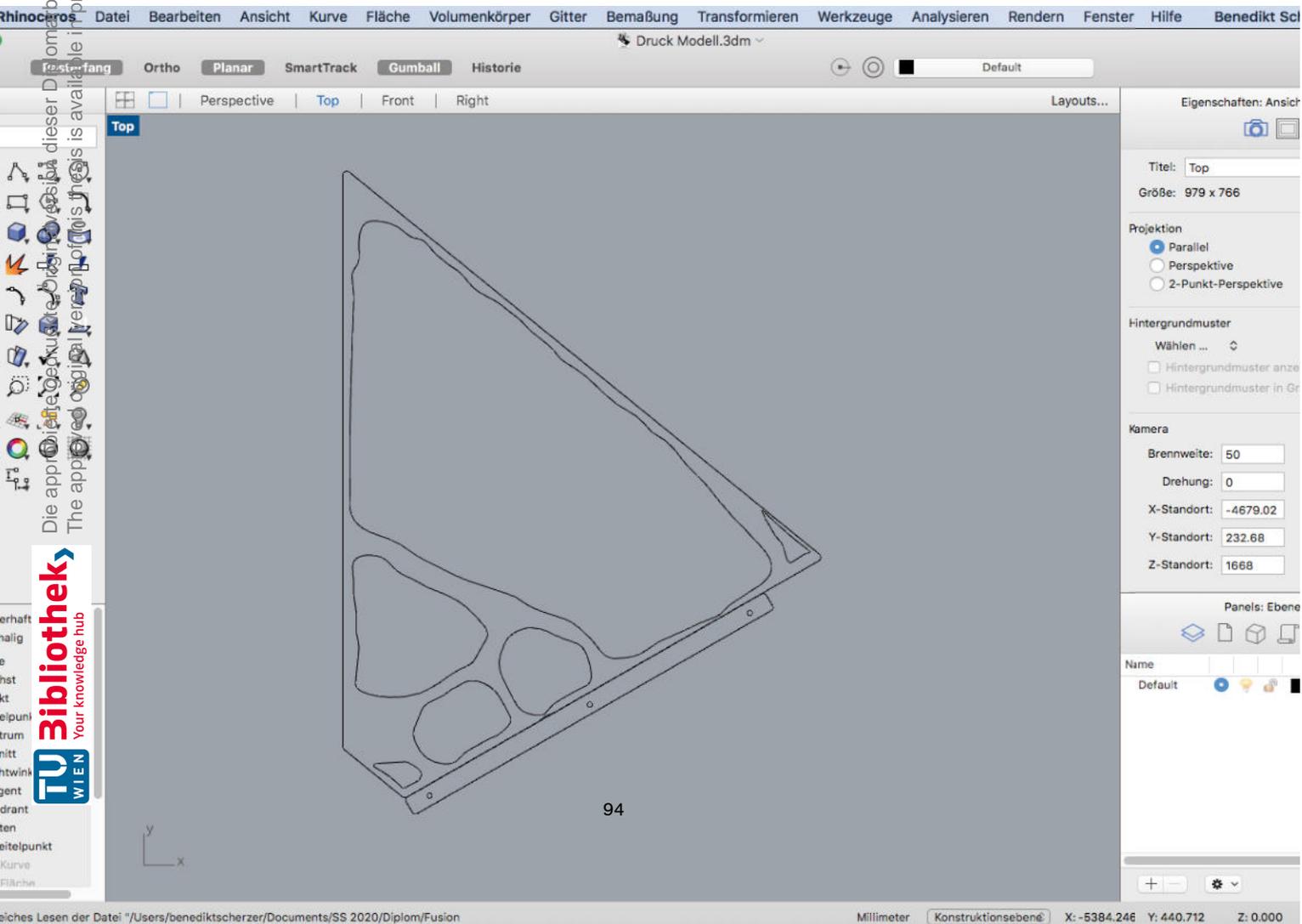


Abb. 81: Auswertung der Formoptimierung-01 ↑

Abb. 82: Auswertung der Formoptimierung-02 ↓



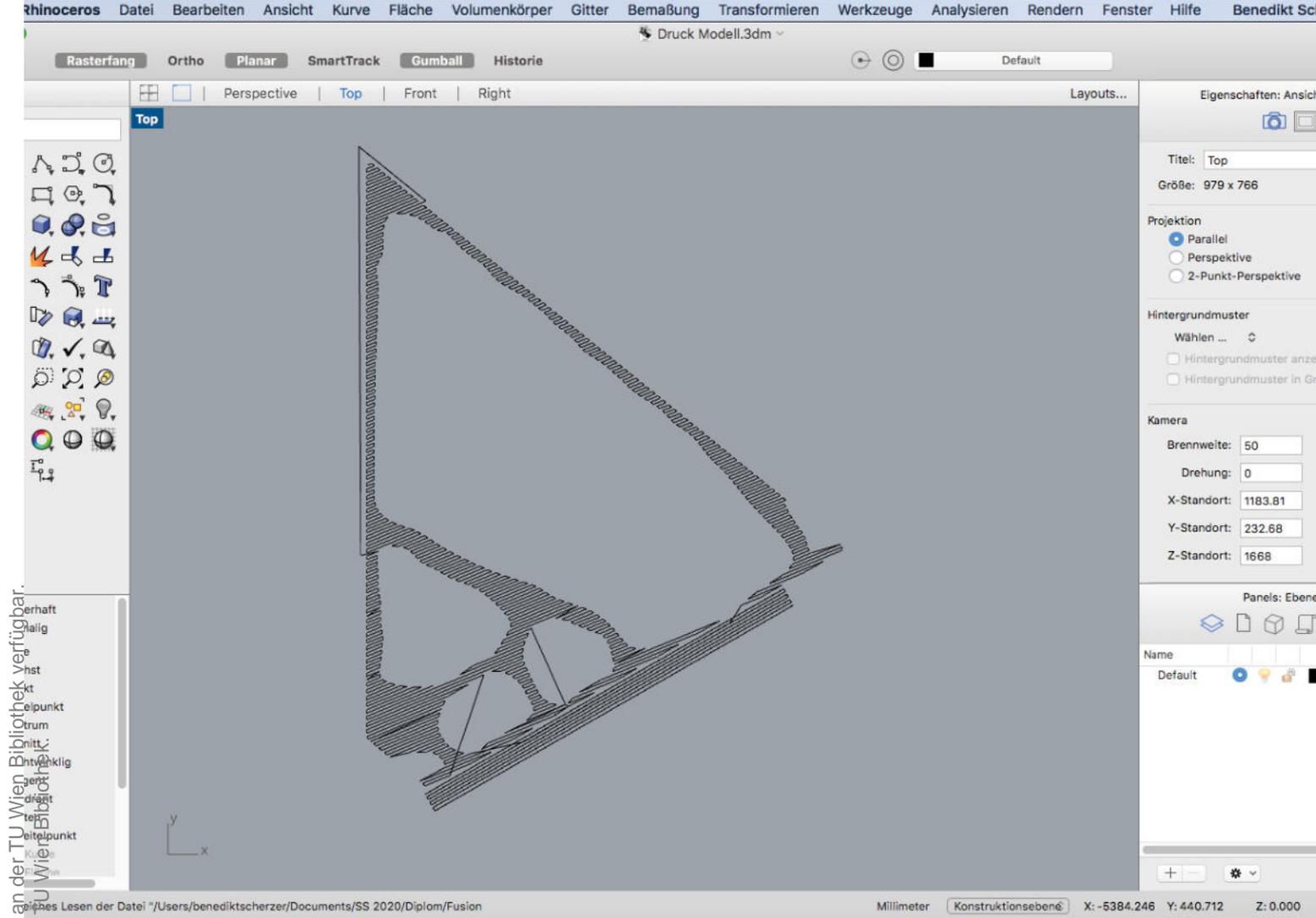
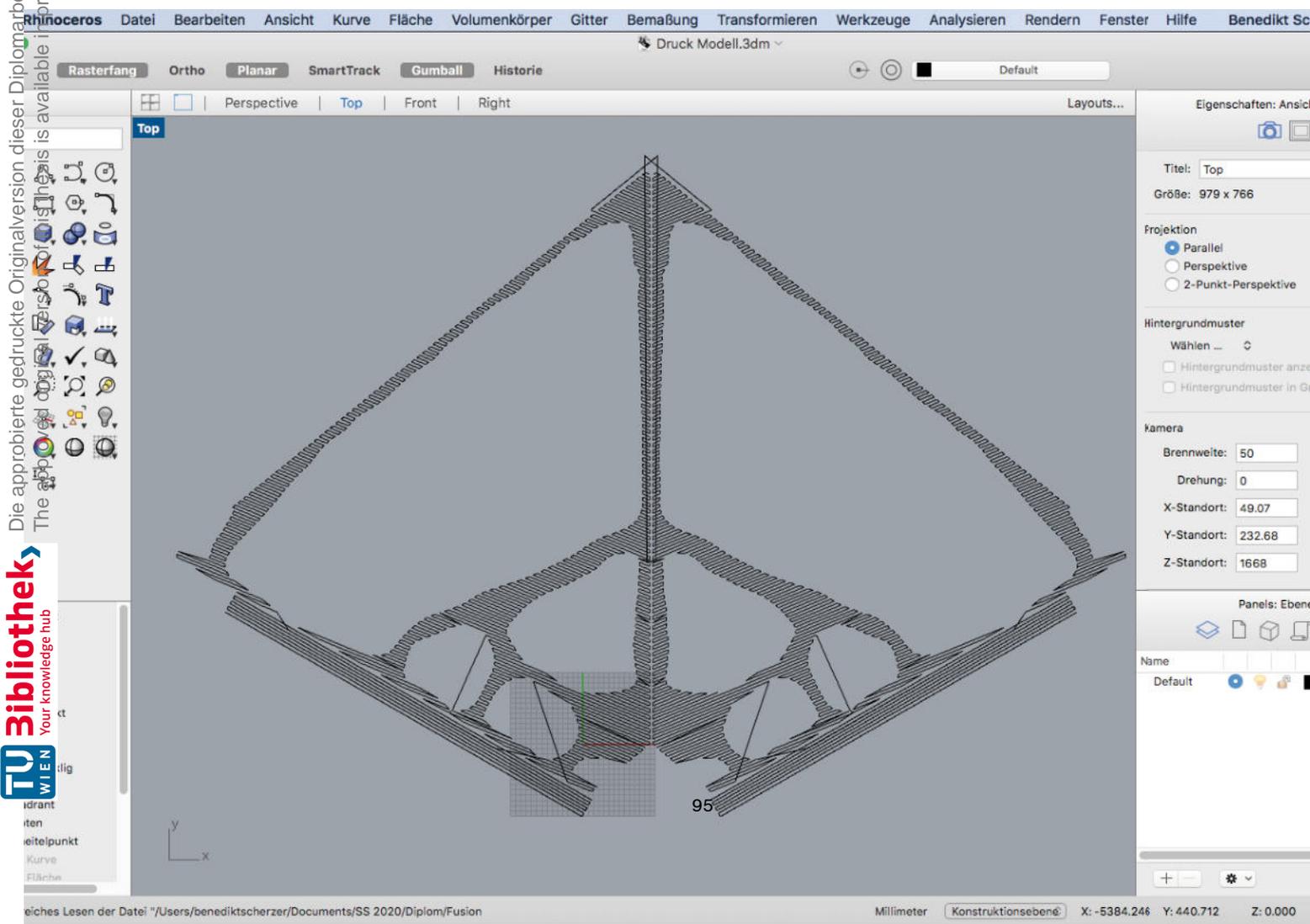
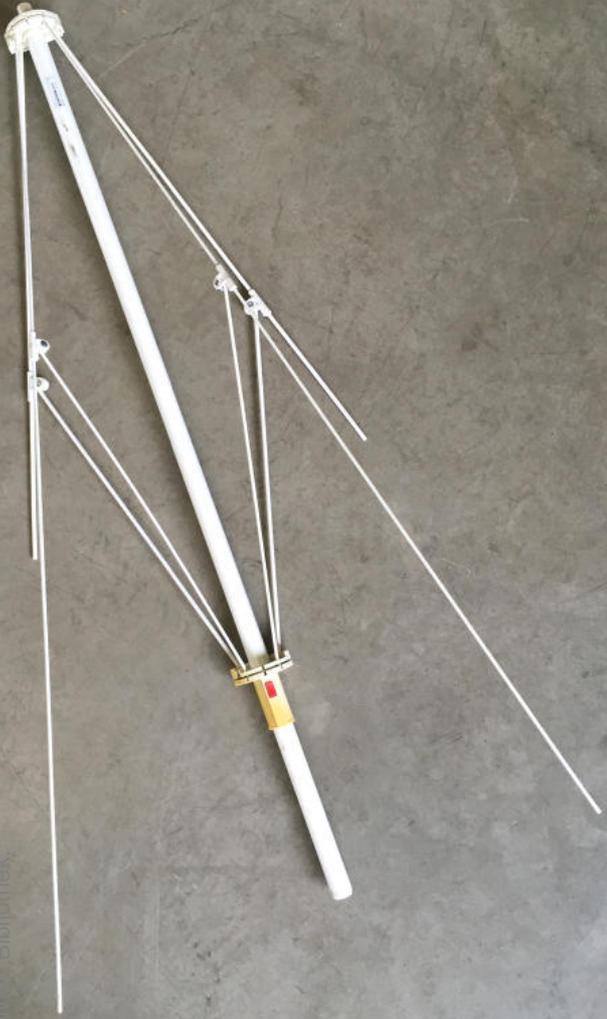


Abb. 83: Pfaderstellung für Roboter-01 ↑

Abb. 84: Pfaderstellung für Roboter-02 ↓



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



## 2. Mechanismus durch Unterkonstruktion

In den allermeisten Fällen benötigen textile Membrane eine Unterkonstruktion, um eine räumliche Kubatur zu erzeugen; man denke beispielsweise an Schirme, Markisen oder freischwebende Sonnensegel im Freien. Die Membran übernimmt keinerlei statische Aufgaben und fungiert lediglich als Bespannung der Konstruktion. (Eine Ausnahme wären pneumatische Kissen.) Geringfügig müssen daher Zugkräfte, die sich allein durch die Spannung der Membran ergeben, aufgenommen werden. Druckkräfte werden hingegen gänzlich durch die Unterkonstruktionen abgefangen. Ungeachtet ihrer statischen Eigenschaften können daher unterschiedlichste Materialien für die Bespannung verwendet werden. Daher ergibt sich eine breite Auswahl an möglichen Erzeugnissen, die verwendet werden können. Dies können leichte, transparente oder aber auch schwere Materialien sein. Auch der gestalterischen Freiheit sind dabei kaum Grenzen gesetzt. In Hinblick auf Windlasten kann mit luftdurchlässigen Materialien gearbeitet werden, um die durch den Wind einwirkenden Kräfte zu reduzieren. Das wiederum ermöglicht eine konstruktiv einfache und schlanke Ausführung des Verschattungssegels.

Mit der Installation einer Unterkonstruktion, welche in oder an den Maschen montiert und somit in direkter Abhängigkeit zur gesamten

Konstruktion stehen könnte, wäre eine gezielte und unmittelbare Bewegung der Segel gewährleistet. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Segel klemmt oder eine falsche Bewegung ausführt, wäre in dieser Variante entschärft. Durch einen Mechanismus, der das Heben und Senken des Moduls kontrolliert, könnten bestimmte Verhaltensweisen erzwungen werden. Außerdem hätte man den großen Vorteil, abhängig von der Unterkonstruktion, beinahe jedes Material als Segel verwenden zu können. Zu diesem Zweck wurde eine Vielzahl an möglichen Mechanismen und Bewegungsabläufen ausgearbeitet, gebaut und analysiert. Auch hier musste genau überlegt werden, wie und wodurch das Projekt beeinflusst werden könnte.

Vorteile:

- + Vielfalt an Materialien
- + unabhängig von Wind und Regen
- + sicherere Variante
- + Eleganz einer ansprechenden Mechanik
- + Machbarkeit (Eigenleistung)

Nachteile:

- schwerere Konstruktion (Faktor 256)
- aufwendiger in der Herstellung
- Sichtbarkeit der Unterkonstruktion kann im geöffneten Zustand als störend empfunden werden

Abb. 85 (li. oben): Unterkonstruktion eines Schirms

Abb. 86 (re. oben): Flugdrachen

Abb. 87 (li. unten): Notenständer

Abb. 88 (re. unten): Kamerastativ



Abb. 89 (oben): Simulation des Öffnungsmechanismus  
Abb. 90 (unten): Simulation des Öffnungsmechanismus  
mit Vorspannung



Infolge der Auseinandersetzung und Beschäftigung mit den genannten Optionen wurden nun in einem weiteren Schritt verschiedene Möglichkeiten überlegt und ausgearbeitet; speziell für Varianten mit Unterkonstruktion, da sie mehr Spielraum für Experimente ermöglichten und eine serielle Umsetzung wahrscheinlicher war.

Bei dieser Herangehensweise waren somit - bedingt durch die Unterkonstruktion - der Gestaltungs- und Materialvielfalt keine Grenzen gesetzt. Die Herausforderung war allerdings, eine effiziente, leichtgängige und vor allem zuverlässige Mechanik zu entwickeln. Wenn sich auch nur eines der 256 Segel nur leicht verkanten würde, hätte dies massive Auswirkungen auf einen geordneten und kontinuierlichen Bewegungsablauf.



Abb. 91 (oben): Suche nach geeigneten Bauteilen  
Abb. 92 (unten): LEGO-Bauteile

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

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.



## a) Scherensystem

Bei einem Notenständer werden durch einen Impuls drei anfangs anliegende Stützen, die als Füße dienen, ausgeklappt; dadurch verleihen diese der Hauptkonstruktion das nötige Stehvermögen. Ähnlich war es bei den Segeln, bei denen drei verschiedene Achsen durch einen Impuls bewegt werden mussten. Zwei Achsen entlang der Maschen und eine Strebe in der dritten Dimension als Mittelachse des Segels, welche schlussendlich dafür verantwortlich war, dass sich das Verschattungsmodul öffnete oder schloss. Der gravierende Unterschied jedoch war, dass beim Notenständer alle drei Stützen entweder auf- oder zgingen, wohingegen bei den Segeln zwei Achsen synchron und eine Achse gegengleich bewegt werden musste. Diese Tatsache bedurfte einer eingängigen Auseinandersetzung, um die Mechanik entsprechend zu verändern. Gut gelagert und konstruiert würde diese Variante sicher eine zuverlässige Bewegung gewährleisten, wenngleich die Konstruktion verhältnismäßig aufwendig war.

Abb. 93: Mechanismus mit Scherensystem

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. 94: Mechanismus mit Scherensystem Draufsicht

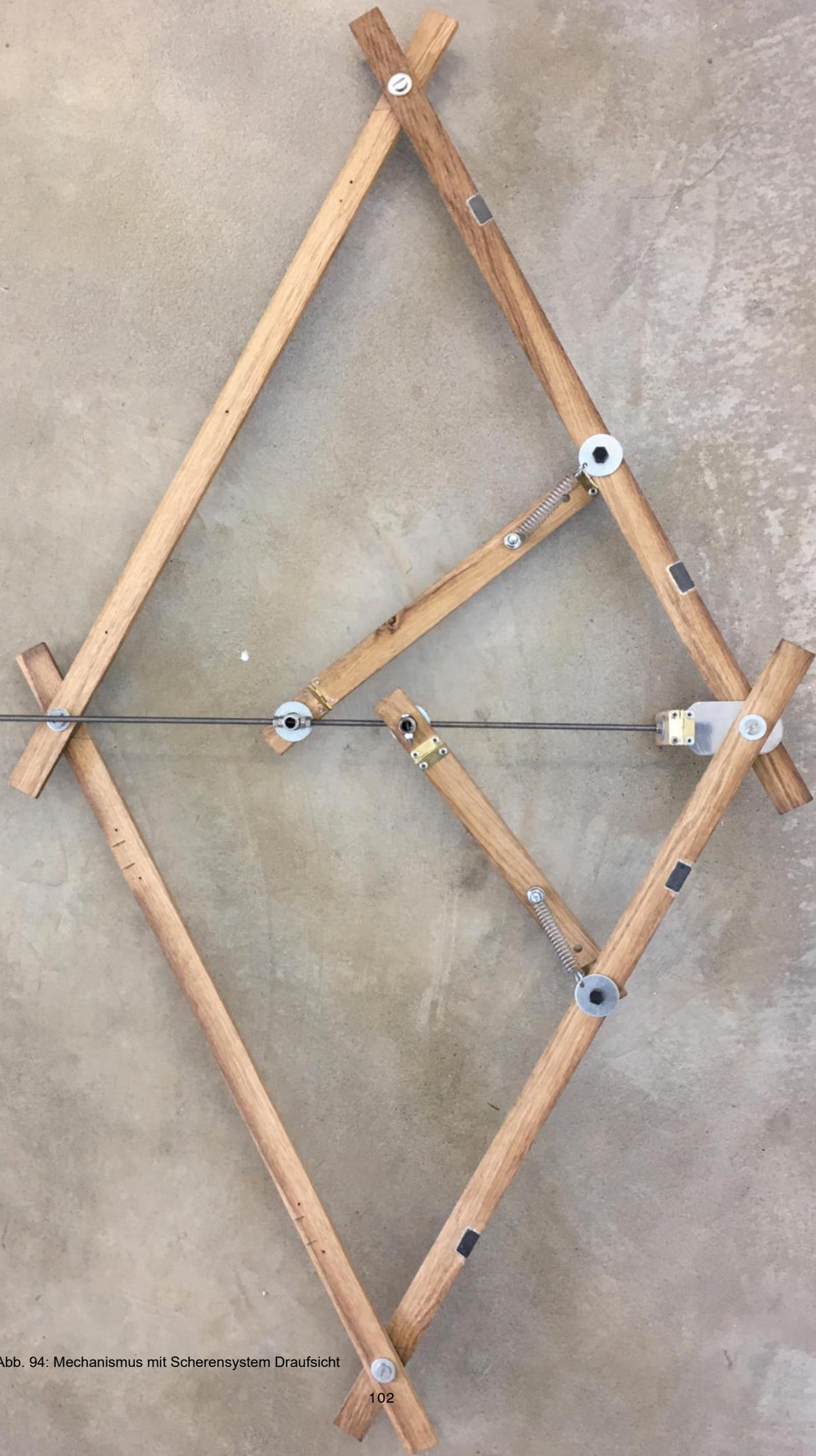




Abb. 95: Mechanismus mit Scherensystem Montage

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.



## b) Mechanismus als Rahmen

Anstatt einer Platte wurde ein Holzrahmen angefertigt, der im Vergleich dieselbe statische Tragfähigkeit gewährleistet, allerdings ein weitaus geringes Eigengewicht als eine vollflächige Platte aufweist. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, den Rahmen mit beliebigen Membranen bespannen zu können. Dem gestalterischen Aspekt, verschiedenfarbige Segel zu einem Muster zu kombinieren oder Werbeflächen aus bedruckten Textilien zu kreieren, die in geschlossenem Zustand aller Segel einen Werbeslogan oder ein Imagelogo darstellen, sind dabei kaum Grenzen gesetzt. Möglich wären auch technisch ausgefeiltere Bespannungen, wie Photovoltaik- und L-Folien, oder auch LED-Elemente, um der Außenhaut eines dafür vorgesehenen Pavillons oder Veranstaltungszelts eine gestalterische Ausdrucksform zu verleihen. Der Öffnungs- bzw. der Schließmechanismus erfolgt dabei in Abhängigkeit der Verscherung der Streben der Gitterschale, auf der die doppelflügelige Rahmenkonstruktion montiert ist.

Darauf basierend wurden weitere Varianten zur Optimierung und zur Vereinfachung der Konstruktion analysiert. Unter Berücksichtigung derselben Eigenschaften und Vorteile, die eine Rahmenkonstruktion hätte, würde eine Reduktion einzelner Stabelemente eine weitere Gewichtseinsparung bedeuten.

Abb. 96: Mechanismus als Rahmen

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. 97: Mechanismus als Rahmen Draufsicht

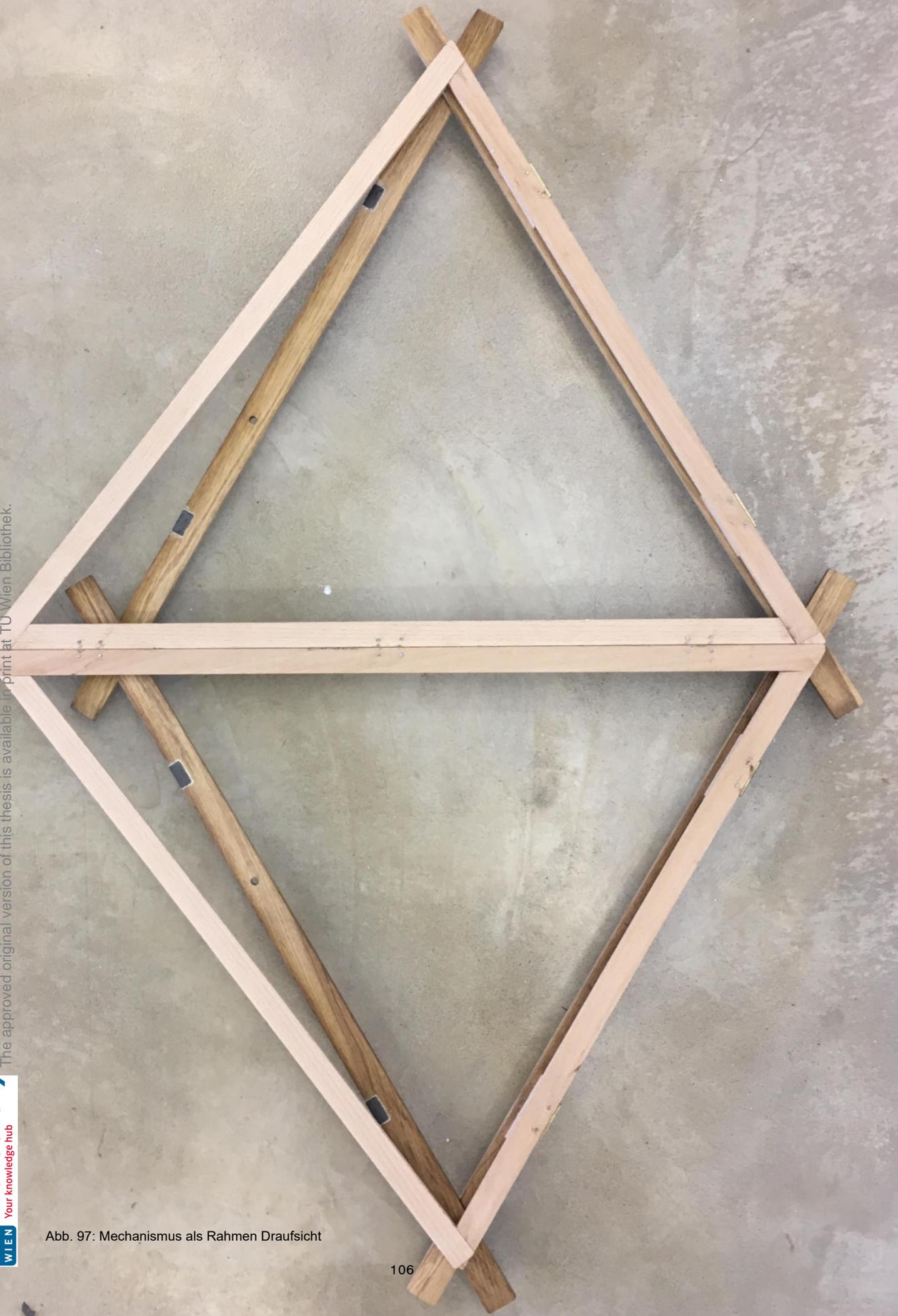
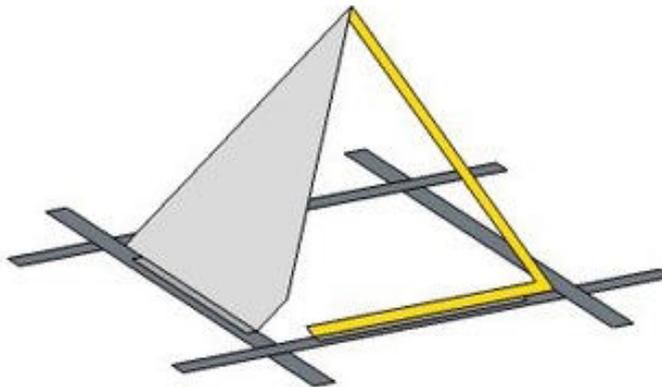
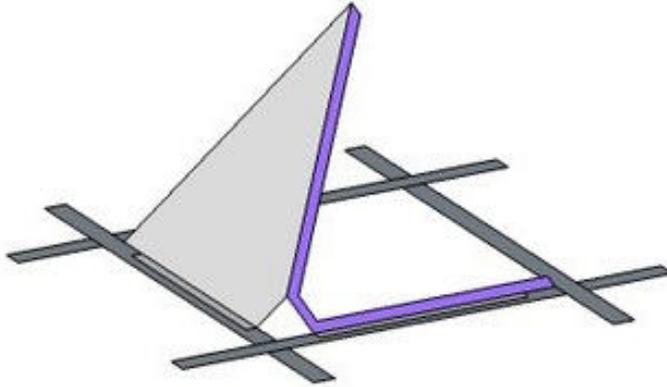
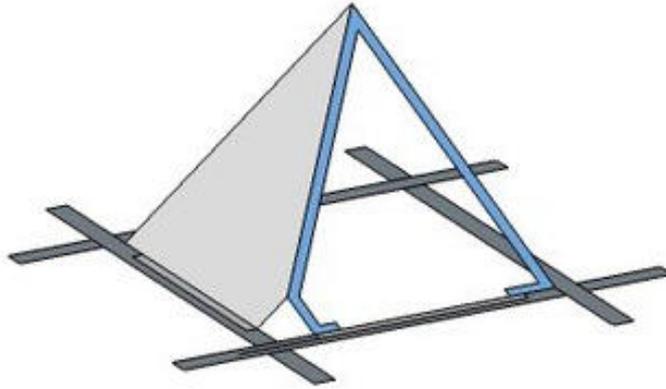




Abb. 98: Mechanismus als Rahmen Montage

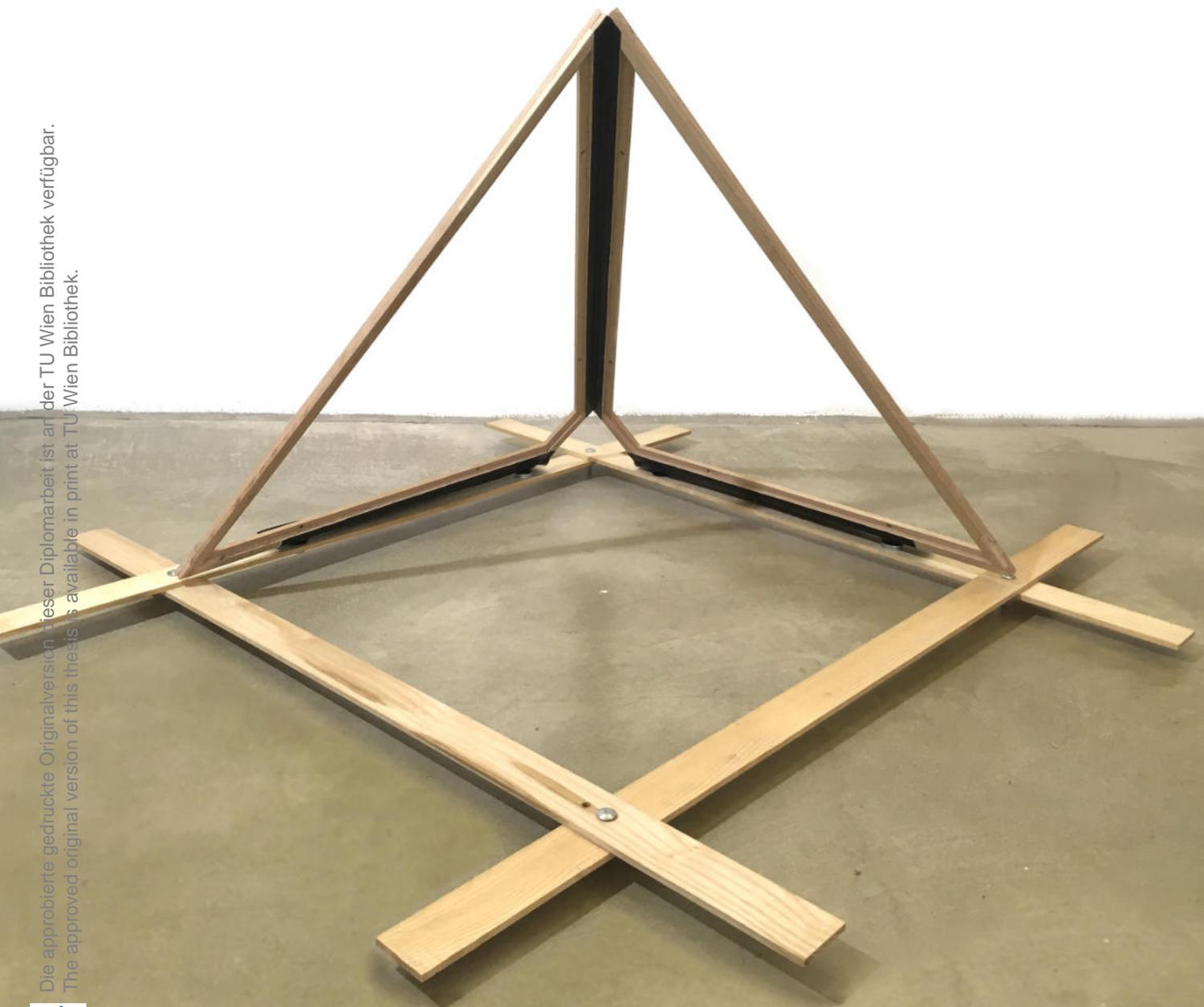


Daraus entwickelten sich drei Möglichkeiten, wobei die Membran Teil der technischen Unterkonstruktion ist und zum Impulsgeber für die Öffnung der Segel wird. Wie in den Grafiken ersichtlich, wird dabei jedes Mal von einem gleichschenkeligen Dreieck ausgegangen und dieses um jeweils eine Seitenkante reduziert. Unter Entfernung der Kathete entsteht im ersten (blau) und dritten Fall (gelb) ein aufgelöster Rahmen in Form eines V. Während die dreieckige Geometrie im ersten Fall erhalten bleibt, löst sich diese im dritten Szenario auf und mutiert mit seinem gegenüberliegenden Pendant zu einer Raute. Der Vorspannungseffekt durch die Membran würde im ersten und dritten Fall vermutlich am stärksten wirken. Allerdings bedarf es für den obersten Befestigungspunkt einer speziellen konstruktiven Lösung, da dieser ansonsten zur Schwachstelle der gesamten Konstruktion werden könnte. Im zweiten Fall (violett) wird die Hypotenuse entfernt, wodurch die Membran an jener Seite frei schwebt. Die mittleren Streben müssen dabei die gesamte Kraft der vorgespannten Membran aufnehmen können und müssten daher entsprechend konstruiert werden. Windböen könnten für diese Variante zum Problem werden und die Bespannung aus dem Rahmen lösen, würden die mittleren Streben zu schwach ausgeführt werden. Durch die Vorspannung der Membran stün-

den die konstruktiven Befestigungspunkte in allen drei Fällen unter einer starken Beanspruchung und müssten entsprechend ausgeführt werden. Das partielle Auflösen der Seitenkanten beider Segelhälften ermöglicht einerseits eine Gewichtseinsparung, die sich multipliziert auf alle 256 Segel enorm auf das Gesamtgewicht auswirkt, zum anderen erfordern die Befestigungspunkte besondere konstruktive Lösungen, um die mechanische Bewegung durch das Öffnen und Schließen der Segel zu gewährleisten. Erschwerend kommt die Montage auf der Gitterschale hinzu, die an jenen Punkten ebenfalls mitüberlegt werden müsste.

Um schlussendlich zu einer tragfähigen Lösung zu kommen, wären wohl Spezialanfertigungen erforderlich, die vermutlich zu zeit- und kostenintensiv ausfallen würden.

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.



## c) Rahmenkonstruktion mit herausnehmbaren Feldern

Eine Weiterentwicklung der vorherigen Variante war eine Rahmenkonstruktion mit herausnehmbaren Feldern. Größter Vorteil ist die individuelle Gestaltungsmöglichkeit der Einzelfelder. Optional können einzelne Rahmen auch freibleiben, um beispielsweise eine bessere Luftzirkulation zu ermöglichen. Außerdem müsste bei etwaigen Beschädigungen nicht das komplette Verschattungsmodul abgebaut werden, stattdessen können die innenseitig montierten Felder bequem herausgenommen und getauscht werden. Der Wartungsaufwand würde sich dadurch insgesamt erheblich vereinfachen. Die Membran spielt bei dieser Bauart hingegen nur mehr eine raumabschließende Rolle, da sie keinerlei mechanische Funktion zu erfüllen hat. Das Öffnen und Schließen erfolgt dabei ausschließlich über die Rahmenbauteile. Einen erheblichen Nachteil stellt das enorme Gesamtgewicht aus Rahmen und Feldern dar. Der Bewegungsmechanismus müsste konstruktiv entsprechend solide ausgeführt werden. Hochgerechnet auf die erforderliche Anzahl an Verschattungsmodulen bedeutet dies einen extrem hohen Kraftaufwand, der für die Bewegung der Gitterschalenkonstruktion und für das Öffnen und Schließen der einzelnen Segel notwendig wäre.

Abb. 99: Mechanismus mit herausnehmbaren Feldern

Abb. 100: Mechanismus mit herausnehmbaren Feldern  
Draufsicht





Abb. 101: Mechanismus mit herausnehmbaren Feldern  
Montage

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.



## d) Mechanismus mit steifen Streben

Angelehnt an die Idee zur partiellen Auflösung der Rahmenkonstruktion entwickelte sich eine Leichtbauvariante aus zwei Streben, die über ein Scharnier miteinander verbunden ist. Montiert wurden sie direkt in den Knotenpunkten der Gitterschalenkonstruktion. Eine weitere Überlegung war eine Mechanik mit steifen Streben, deren ansatzweise kugelförmig gelagerten Befestigungen in den Knotenpunkten die auftretenden Kräfte der Öffnungsbewegung aufnehmen konnte, dass die Bewegung des Segels trotzdem möglich war. Durch die Verscherung der Maschen in der Gitterschale drücken die steifen Streben gegeneinander, wobei der Öffnungsimpuls erst durch die Vorspannung der Membran erfolgt. Dadurch öffnet und schließt sich das Verschattungssegel synchron zur Bewegung der Verscherung der gesamten Konstruktion. Hierbei war vor allem entscheidend, wo die Kräfte ansetzen mussten, um die Streben optimal bewegen zu können. Verschiebungen und das Verändern der Knotenpunkte verbesserten die Bewegung maßgeblich. Es bedurfte einiger Versuche, um eine ideale Position zu finden. Zu erwähnen wäre dabei die Erkenntnis, dass diese Option die erste war, welche den Impuls für die Bewegung der Mittelachse in der Grundkonstruktion impliziert hatte. Dadurch wäre die Bewegung garantiert, was bei den Varianten zuvor nicht der Fall war. In allen anderen Varianten bedurfte es entweder einer nicht ganz ebenen Ausgangssituation oder eines anderen minimalen Impulses, der schlussendlich die Bewegung der Mittelachse in die Z-Achse veranlasste.

Abb. 102: Mechanismus mit steifen Streben



Abb. 103: Mechanismus mit steifen Streben Draufsicht



Abb. 104: Mechanismus mit steifen Streben Montage

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.



## e) Mechanismus mit GFK-Stäben

Um einerseits Gewicht einzusparen und andererseits dennoch eine hohe Leistungsfähigkeit zu gewährleisten, wurde eine Variante mit GFK-Streben entwickelt. Dazu wurde das Prinzip eines Flugdrachens angewandt, an dessen mittlerer Längsachse eine Querstrebe befestigt und mit einem textilen Segel bespannt wurde. Der wesentliche Unterschied lag darin, dass die Querstrebe länger ist als die Diagonale zwischen den zu verbindenden Eckpunkten der Membran. Dadurch biegt sich die Strebe und bewirkt eine Vorspannung innerhalb der Konstruktion. Zusätzlich wurde die Membran in derselben Richtung verkürzt, wodurch sich der Effekt der Vorspannung verstärkt. Diese ist letztlich erforderlich, um dem Segel im Zuge der Öffnungsbewegung den notwendigen Anfangsimpuls zu geben. Die Krümmung der GFK-Stäbe im geschlossenen Zustand des Segels (wenn dieses an der Gitterschale anliegt) ist wesentlich geringer als im geöffneten Zustand. Der Öffnungsimpuls soll letztlich durch die vorgespannte Membran erfolgen, um das Anheben (und Senken) entlang der Längsstrebe des Flugdrachens zu ermöglichen. Durch dieses Zusammenspiel von Unterkonstruktion und Membran ist eine gleichmäßige und zuverlässige Öffnungs- und Schließbewegung der Verschattungsmodule gewährleistet.

Auf Grund ihres geringen Eigengewichts im Vergleich zu allen anderen Konstruktionen fiel die Entscheidung letztlich auf diese Variante. Dieses relativ einfache und zuverlässige Prinzip basierend auf zwei vorgespannten GFK-Streben verleiht der Konstruktion nicht nur eine hohe Eigenleistung, sondern berücksichtigt auch die Membran als konstruktive Komponente, die für die Öffnungsbewegung der Segel relevant ist.

Abb. 105: Mechanismus mit GFK-Stäben

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. 106: Mechanismus mit GFK-Stäben Draufsicht





Abb. 107: Mechanismus mit GFK-Stäben Montage



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

## V. Materialauswahl

Wesentlichster Bestandteil des Verschattungsmoduls ist die textile Bespannung, die sozusagen die äußere sichtbare Haut der Segel bildet. Das Material prägt nicht nur das optische Erscheinungsbild, sondern hat auch technische Anforderungen zu erfüllen. Bei einer Anwendung im Außenbereich sind textile Materialien besonderen Einflüssen wie Wind, Sonneneinstrahlung und Niederschlägen ausgesetzt. Kriterien wie Witterungs- und UV-Beständigkeit, Windsicherheit, Reißfestigkeit und Wartungsfreiheit tragen maßgeblich zur Verlängerung der Lebensdauer textiler Membranen bei. Wenngleich all diese Kriterien entscheidende Faktoren bei der Auswahl textiler Materialien darstellen, so ist dies für die Prototypenfertigung der Verschattungssegel vorerst zu vernachlässigen, da es primär um die Realisierung eines räumlichen Gebildes zur Verschattung einer ausgewählten Fläche unter idealen Bedingungen geht. Im Vordergrund steht dabei das räumliche Erlebnis anstelle einer praxisnahen Tauglichkeitsprüfung unter realen Witterungsbedingungen. Neben der optischen Erscheinung sind daher eher materialspezifische Eigenschaften wie Elastizität, Dehnbarkeit und die Reißfestigkeit entscheidend. Und letztlich spielt auch der Laufmeterpreis eine Rolle.

Eine Vorauswahl soll dabei helfen, die enorme Bandbreite der am Markt erhältlichen

Textilien einzugrenzen, um diese in weiterer Folge einigen Tests zu unterziehen. Hierfür wurden Materialien mit möglichst unterschiedlichen Eigenschaften ausgewählt, um später eine eindeutige Aussage über deren Eignung treffen zu können.



Abb. 109: Vorauswahl an Textilien

## 1. Vorauswahl an Textilien

Die Vorauswahl berücksichtigte primär die zuvor genannten materialspezifischen Eigenschaften, wobei versucht wurde, aus jeder in Frage kommenden Produktgruppe jeweils ein repräsentatives Material auszuwählen. Folgende Gruppen wurden differenziert:

1) Netze aus Tüllstoff sind transparent und ermöglichen ein hohes Maß an Lichtdurchlässigkeit. Je nach Feinheit des Gewebes erlauben sie einen Luftdurchzug, da sie dem Wind wenig Angriffsfläche bieten. Aufgrund mangelnder Formstabilität sind sie allerdings sehr verletzungsanfällig und können bei stärkeren Windböen schnell reißen.

2) Wetterfeste Planen aus synthetischen Fasern sind äußerst robust und eignen sich daher sehr gut im Außenbereich. Je nach Beschaffenheit und Beschichtung sind sie meist wasserabweisend und UV-beständig. Ihre starke Gewebestruktur verhindert ein Weiterreißen im Falle einer Rissbildung. Planen sind außerdem sehr formstabil.

3) Textile Planen finden ebenfalls Anwendung im Außenbereich, sind aber ohne entsprechende Imprägnierung weder wasserfest noch UV-beständig. Um dieselben statischen Eigenschaften zu erreichen wie Kunststoffplanen, bedarf es meist einer sehr kompakten Webung. Dies erhöht wiederum das Eigengewicht, wodurch textile Planen relativ schwer sind.

4) Kunststofffolien gibt es in vielen unterschiedlichen Güteklassen. Ihre vielfältigen Herstellungsmöglichkeiten erlauben sehr anwendungsspezifische Produkte.

5) Zeltstoffe aus Baumwoll-Polyester-Mischgewebe sind robust, luftdurchlässig und trocknen sehr schnell bei leichtem Regen. Stärkeren Niederschlägen halten sie hingegen weniger Stand und durchnässen relativ leicht, wodurch sie sehr schwer werden. Zeltstoffe sind äußerst formstabil und reißfest.

6) Nylon, hergestellt aus Polyester, wäre die bessere Alternative zu Zeltstoffen, wobei ihr geringeres Eigengewicht den größten Vorteil darstellt. Es ist formstabil, hoch strapazierfähig und auch bei plötzlich auftretender Lastenwirkung sehr reißfest. Zudem ist es atmungsaktiv, nimmt kaum Feuchtigkeit auf und trocknet schnell.

7) Elasthan weist eine sehr hohe Elastizität und Dehnbarkeit auf. Außerdem ist es weitgehend formstabil, d.h. nach dauerhafter Lastenwirkung nimmt das Gewebe wieder seine ursprüngliche Form an. Obwohl es vergleichsweise günstig ist, ist es aufgrund seiner fehlenden UV- und Witterungsbeständigkeit für den Außenbereich gänzlich ungeeignet.

Um die Eignung der ausgewählten Materialien zu untersuchen, wurden einige Belastungstests durchgeführt.



Abb. 110: Vorbereitung Materialtests



Abb. 111: Zugtests Apparatur



## 2. Belastungstests

Anhand einer Reihe von Materialtests sollte erhoben werden, welches Textil für die Prototypenfertigung der Verschattungssegel in Frage kam. Dazu wurde eine Vorauswahl an Materialien getroffen, die im Weiteren nun einigen Tests unterzogen werden. Konkret soll dabei die statische Belastbarkeit unter Lasteinwirkung, die Rissbildung, das Dehnungsverhalten und die Weiterreißfestigkeit untersucht werden. Aufgrund der unterschiedlichen Materialien, die gewählt wurden, sind daher auch sehr differenzierte Ergebnisse zu erwarten. Es machte wenig Sinn, Textilien mit ähnlichen Eigenschaften miteinander zu vergleichen, da dies die Entscheidungsfindung nicht begünstigen würde. Neben materialspezifischen Kriterien, die sich anhand der folgenden Testergebnisse eindeutig klassifizieren lassen, werden auch die optische Erscheinung sowie das Preis-Leistungs-Verhältnis bei der Entscheidung eine Rolle spielen.

Abb. 112: Gewichte



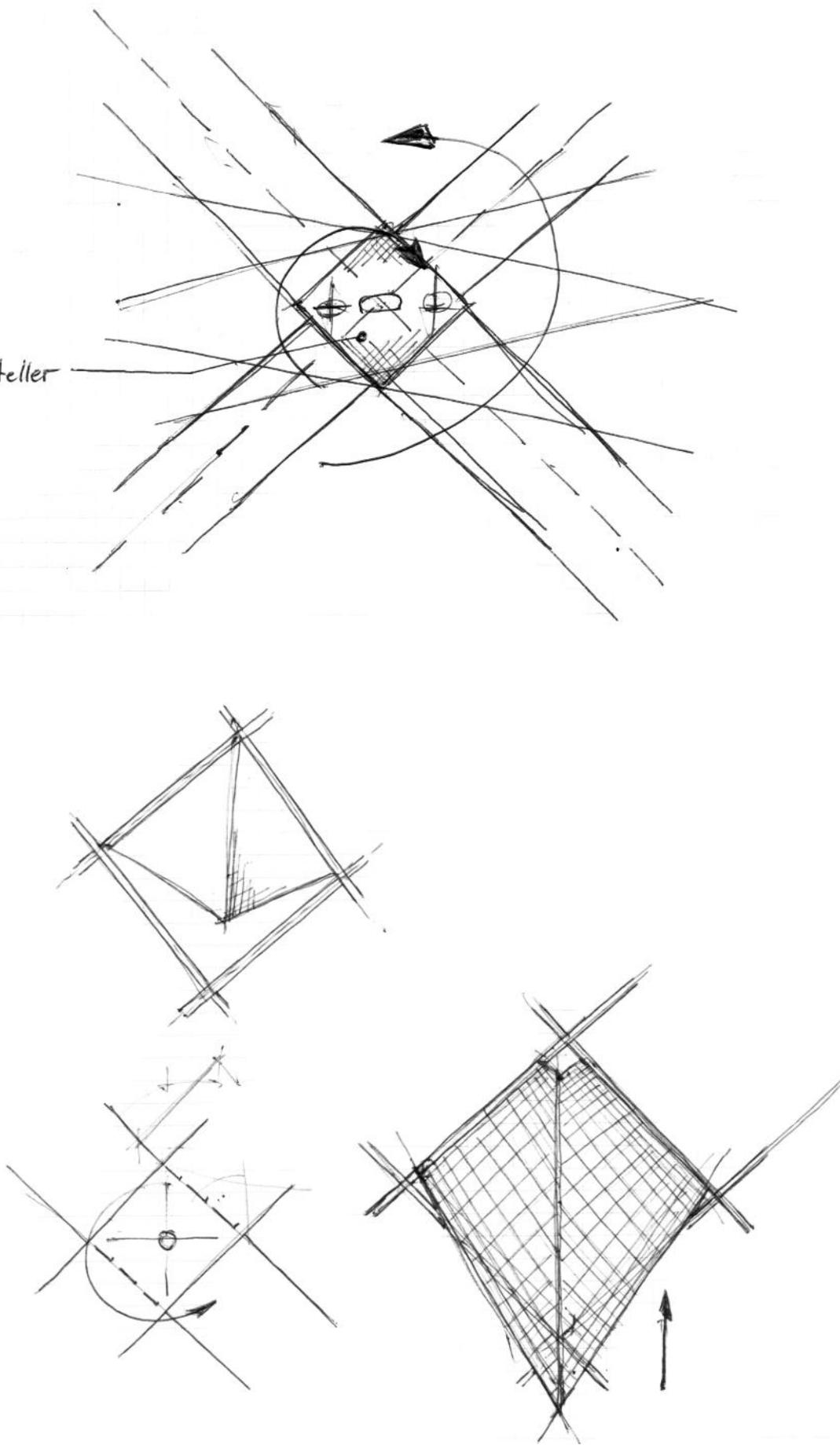
### 3. Materialwahl für die Segel

Für das reibungslose Öffnen und Schließen der Segel ist die Unterkonstruktion verantwortlich. Die textile Bespannung soll die Mechanik dabei insofern unterstützen, als dass der Anfangsimpuls der Öffnungs- bzw. der Schließbewegung durch eine Vorspannung der Membran ausgelöst wird. Nach einer Reihe von Materialtests fiel die Entscheidung daher auf einen Stoff aus Elasthan. Das Gewebe der Membran wurde so ausgerichtet, dass es in Längsrichtung des Trapezes keine Dehnungstoleranz zulässt. D.h. die Länge ändert sich auch infolge der einsetzenden Öffnungsbewegung des Segels nicht. In Querrichtung ist das Gewebe hingegen elastisch und bewirkt somit die entsprechende Vorspannung auf die Unterkonstruktion. Der Zuschnitt der Membran folgte in Längsrichtung exakt den Abmessungen des Schnittplans, wohingegen die Querrichtung im Vergleich zu den Originalmaßen des Plans ein wenig verkürzt wurde. Im Zuge der Öffnungsbewegung lässt sich das Material in Querrichtung somit geringfügig dehnen und übernimmt die beabsichtigte Vorspannung, die auf die Unterkonstruktion wirkt, um den gewünschten Öffnungsimpuls des Segels auszulösen.

Obwohl das ausgewählte Material nicht den zuvor festgelegten Kriterien hinsichtlich der Witterungsbeständigkeit entspricht, wurden die technischen Eigenschaften schlussendlich

als wesentlicher eingestuft, um die Mechanik der Unterkonstruktion zu unterstützen. Außerdem soll der Prototyp ohnehin unter idealen Wetterbedingungen präsentiert werden, d.h. äußere Witterungseinflüsse wie Starkregen, Windböen oder eine dauerhafte UV-Bestrahlung bleiben weitestgehend unberücksichtigt. Die helle Tönung des Materials wurde hingegen bewusst gewählt, um einer Aufhitzung des zu verschattenden Bereichs unter den Segeln entgegenzuwirken. Ein dunkler Stoff würde die einfallende Sonneneinstrahlung großteils absorbieren und den Effekt der Luft-raumerwärmung verstärken. Die Vermeidung eines unerwünschten Wärmestaus wird insofern begünstigt, als dass ohnehin nie alle 256 Segel gleichzeitig geschlossen werden können und so eine ausreichende Frischluftzirkulation stattfinden kann.

Drehteller

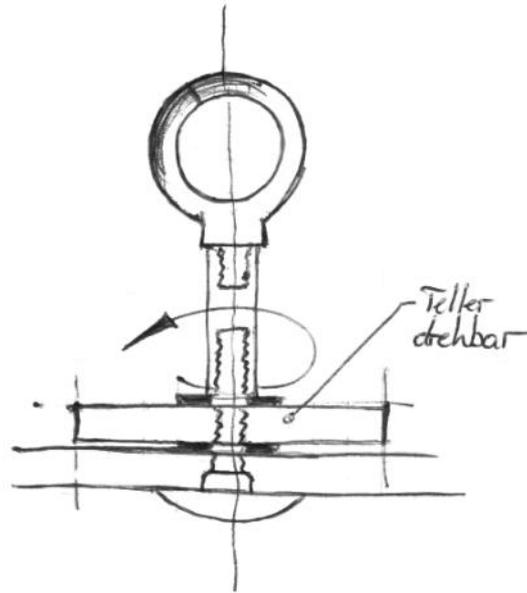
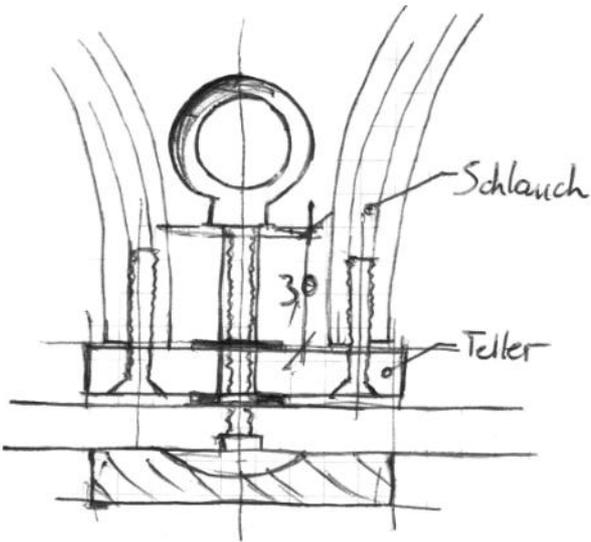
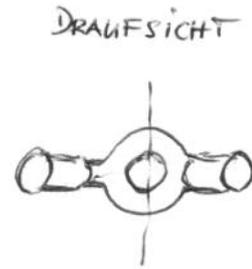
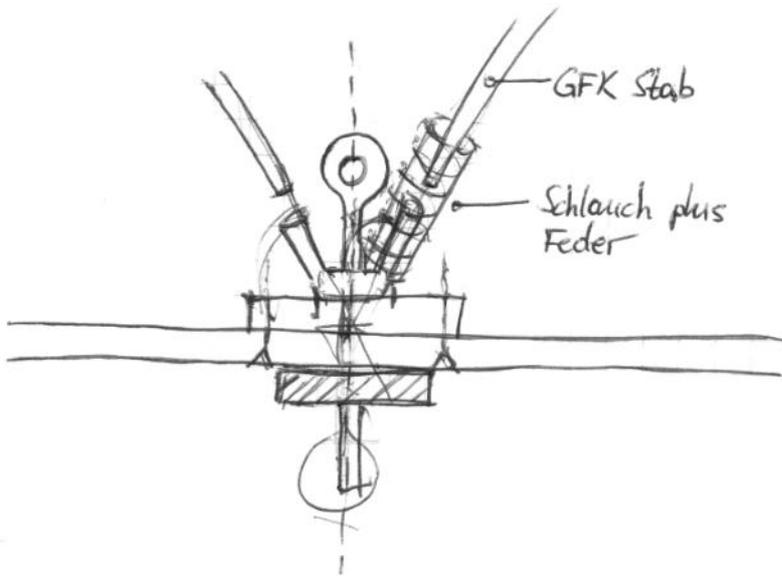


Grafik 10: Segel Handskizze

## VI. Fertigung des Verschattungsmoduls

Nachdem das Material der Membran, mit der das Verschattungsmodul bespannt werden soll, gefunden war und eine umfangreiche Analyse der mechanischen Bauteile bzw. der Montagemöglichkeiten erfolgte, sollte in einem weiteren Schritt nun die Segelunterkonstruktion entworfen und gebaut werden. Als praktikabelste und gleichzeitig am einfachsten umsetzbare Variante erwies sich der Ansatz, eine Verbindung mit kurzen Schlauchstücken zu konstruieren. Nicht zuletzt, da Benzinschläuche kostengünstig sind, liegt der klare Vorteil in ihrer hohen Steifigkeit, wobei sie gleichzeitig sehr flexibel und in jede Richtung biegsam sind. Diese Eigenschaften ermöglichen eine gewisse Eigenspannung bei kurzer Länge und natürlich die Möglichkeit, konstruktive Elemente als Steckverbindungen aufzunehmen. Als solche sind Stäbe aus GFK vorgesehen, die gleichzeitig die eigentliche Unterkonstruktion bilden, über die letztlich die Membran gespannt werden soll. In den Knotenpunkten der Gitterschale werden drehbare Teller befestigt, an denen die Verbindungsschläuche zur Befestigung der GFK-Stäbe montiert werden. Dazu wird durch die Unterseite des Tellers eine kurze Senkkopfschraube gesteckt und in den Schlauch gedreht. Der Benzinschlauch fungiert als Bindeglied zwischen der Gitterschale und den GFK-Stäben und gewährleistet gleichzeitig

die für den Öffnungsimpuls notwendige Vorspannung der Unterkonstruktion. Ähnlich einem Kugelgelenk ist eine Bewegung in jede Richtung möglich. Damit die Steckverbindung hält, ist es notwendig, dass der Innendurchmesser des Schlauchstücks geringfügig kleiner ist als das Gewinde der Schraube und der Durchmesser des GFK-Stabs. Nur so ist eine sichere und dauerhafte Verbindung garantiert. Eine Steckverbindung hat zudem den Vorteil, dass die Segel nachträglich montiert oder bei Beschädigung einfach getauscht werden können. Dazu müssen die GFK-Stäbe lediglich aus den Schläuchen gezogen und die Membran abgenommen werden. Auch der Faktor der Serienfertigung wurde insofern berücksichtigt, da sich sowohl die Schlauchverbindung wie auch die Unterkonstruktion aus GFK-Stäben recht einfach und kostengünstig herstellen lässt.



Grafik 11: Montage der Segel Handskizzen

# 1. Montage der Segel - Varianten

Die konstruktive Ausführung der Unterkonstruktion impliziert auch Überlegungen zur Befestigung der Membran. Während zwei zu einem Kreuz verbundene GFK-Stäbe eine Vorspannung in der Fläche bewirken, muss die Membran an zumindest drei Punkten der Gitterschale befestigt werden. Mittels einer Lasche wird der vierte Eckpunkt über das höhenbewegliche lose Ende des einen Stabes eingefädelt. Die übrigen drei Punkte erfordern eine Befestigungslösung in den Knotenpunkten der Gitterschale. Dazu gab es einige Überlegungen, wobei stets die Notwendigkeit der Serienfertigung und eine schnelle Montage berücksichtigt wurden. In den Ecken der trapezförmigen Membran eingestanzte Ösen dienen der Verankerung in den Knotenpunkten der Gitterschale. Daraus ergaben sich verschiedene Lösungen, die Membran mittels Haken in eine Ringmutter oder Ringschraube einzuhängen. Je nachdem wie viele Segel in den einzelnen Knotenpunkten zusammentreffen, müssen bis zu vier S-Haken in ein und derselben Ringschraube verankert werden. Dazu ist ein entsprechend großer Innendurchmesser notwendig. Platztechnisch könnte eine zu große Ringschraube die Öffnungsbewegung einschränken und mit den GFK-Stäben kollidieren. Eine andere Möglichkeit sieht dagegen eine mit Bohrungen versehene Karosseriescheibe vor, die

anstelle der Ringschraube montiert wird. In den vorgebohrten Löchern werden schließlich die Haken eingehängt und die Membran dadurch vorgespannt. Bei dieser Ausführung würden sich allerdings größere Abstände zu den Segeln untereinander ergeben, wodurch sich freiliegende Stellen in der Hülle insgesamt ergeben und dadurch Lücken in der Verschattung auftreten können. Mit dem Ziel eine vollständig geschlossene Hüllgeometrie zu erreichen, leitete sich daraus eine dritte Variante ab. Dazu werden die Ösen in der Membran direkt auf die Verbindungsschrauben in den Knotenpunkten aufgeschoben und mit einer selbstsichernden Mutter fixiert. Dadurch werden einige Beschläge, wie die S-Haken oder die Ringmuttern eingespart, wodurch sich die Konstruktion insgesamt vereinfacht. Dies bringt außerdem eine Gewichtseinsparung und entlastet die Gitterschale. Im Falle einer Beschädigung eines Segels, wäre auch ein Austausch relativ unproblematisch. Hierfür müssten lediglich die Muttern entfernt und das betreffende Segel ausgefädelt werden.



Abb. 113: Membran in Schelle eingehakt ↑

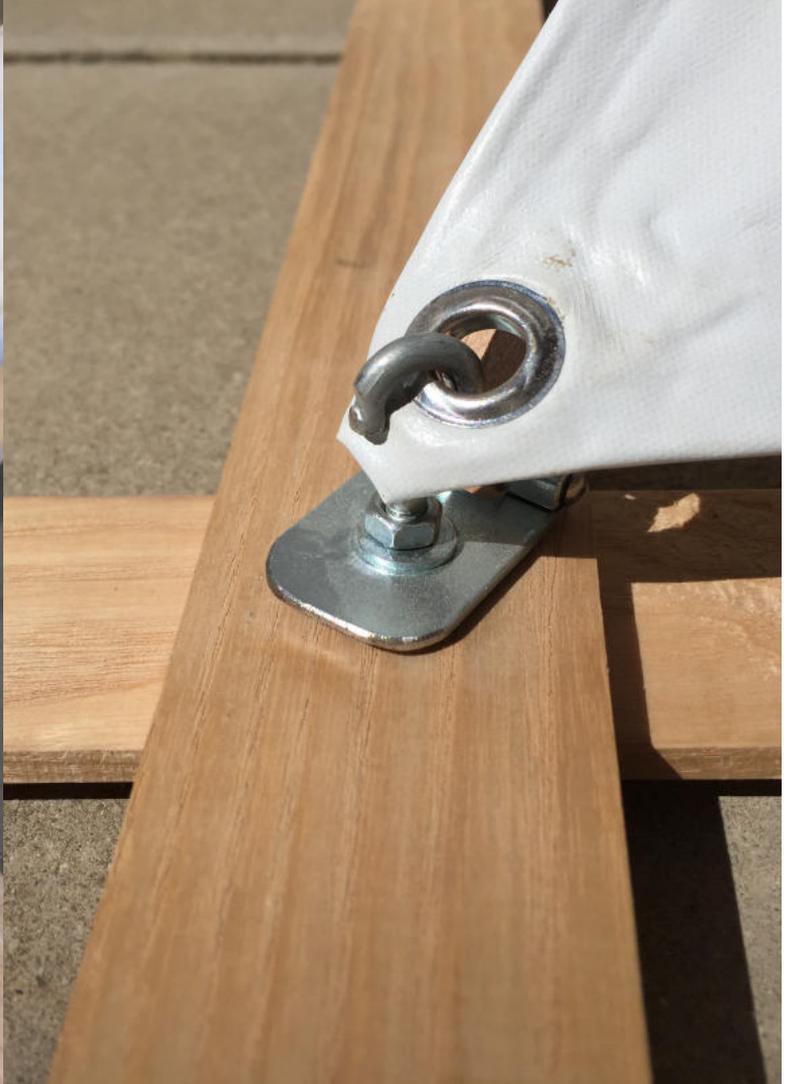


Abb. 114: Membran an Haken eingehängt ↑



Abb. 115: Membran an Karosseriescheibe eingehängt



Abb. 116: GFK-Stab seitlich montiert ↑

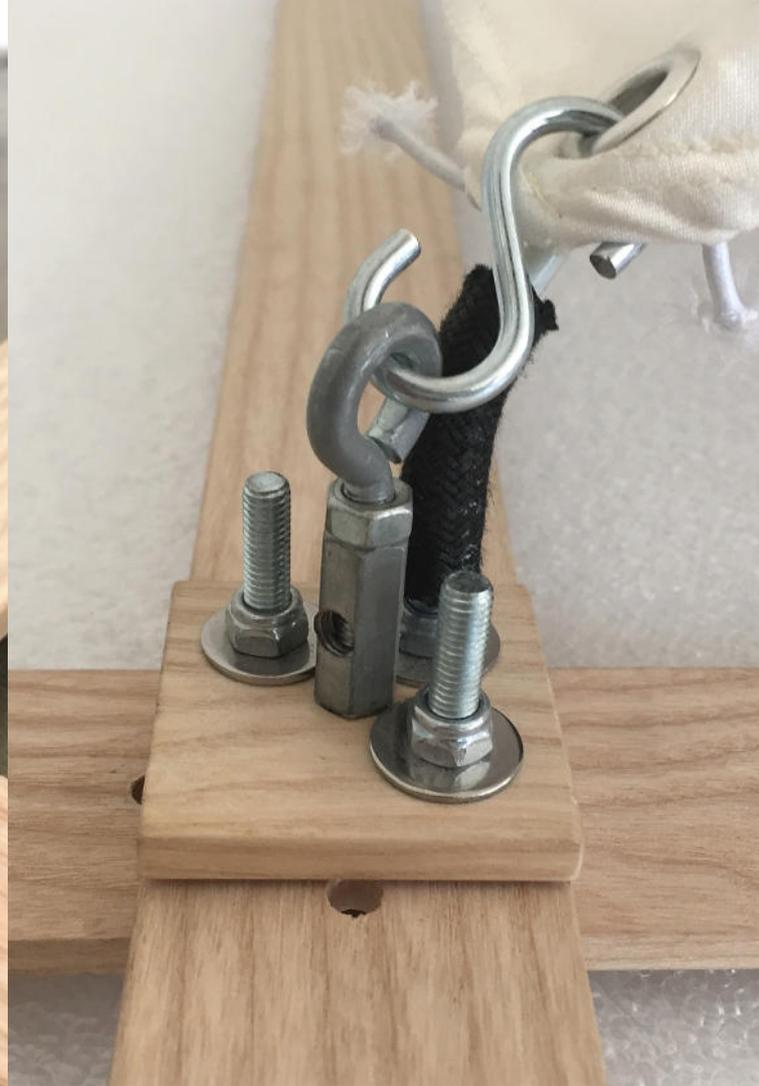


Abb. 117: Membran an S-Haken eingehängt ↑

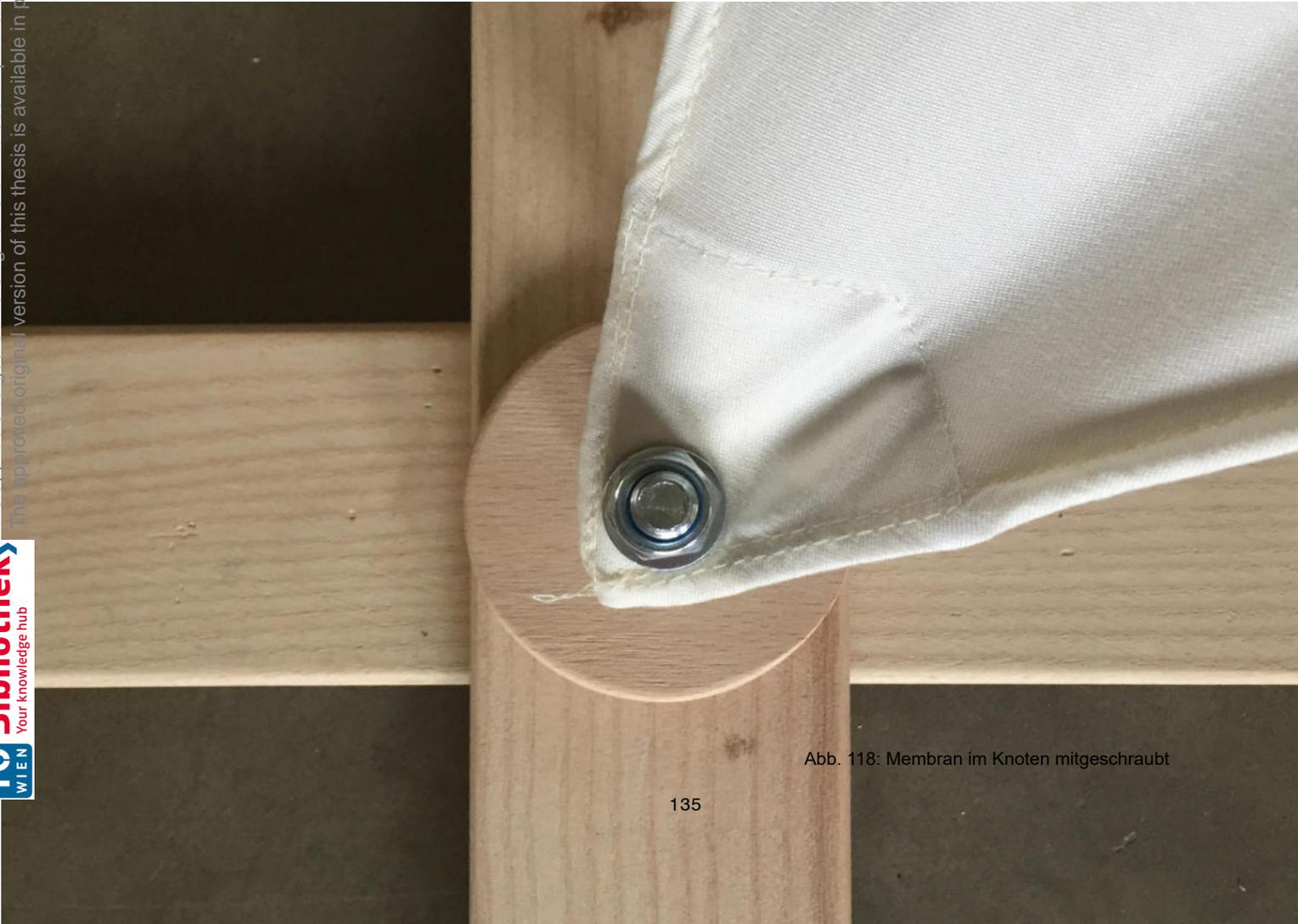
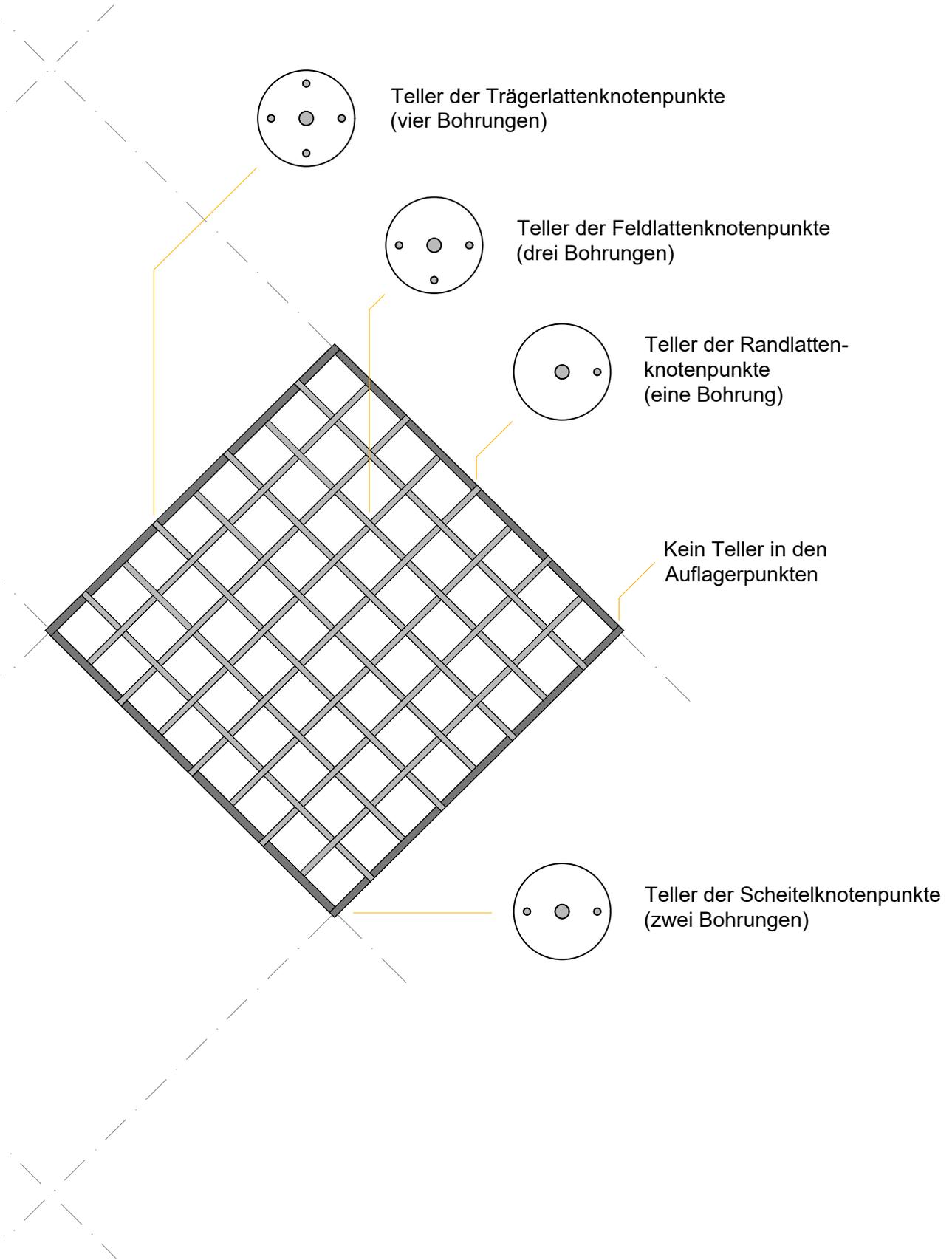


Abb. 118: Membran im Knoten mitgeschraubt





Grafik 12: Anordnung der Drehteller



Abb. 119: Ausschneiden der Teller-01 ↑

Abb. 120: Schleifen der Teller ↓



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. 121: Ausschneiden der Teller-02 ↑

## Fertigung der Teller

Aus einer 5 Millimeter dicken Buchensperrholzplatte wurden zunächst 8 Zentimeter breite Bahnen geschnitten. Anschließend wurden jeweils vier Latten übereinandergelegt und mit einem Dosenbohrer Scheiben mit einem Durchmesser von 6 Zentimetern ausgeschnitten. Über eine Schablone wurden die Löcher für die Schrauben, an der die Benzinschläuche aufgenommen werden, gebohrt. Je nach Position des Tellers auf der Gitterschale mussten ein, zwei, drei oder vier Löcher gebohrt werden. Weiters wurden diese auf einer Seite mit einem Senkbohrer konisch vertieft damit die Schraubenköpfe darin flächenbündig versenkt werden konnten. Das Loch in der Mitte des Tellers wurde auf 10 Millimeter aufgebohrt, um es auf die Schrauben im Knotenpunkt schieben zu können. Abschließend mussten noch die Kanten der Teller abgerundet und geschliffen werden.

Abb. 122: Aufbohren des Mittelloches ↓





Abb. 123: Bohren der Löcher ↑

Abb. 124: Fertig gebohrte Löcher ↓



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

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



Abb. 125: Aussenken der Löcher ↑

Abb. 126: Feingewindeschraube versenkt ↓



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.

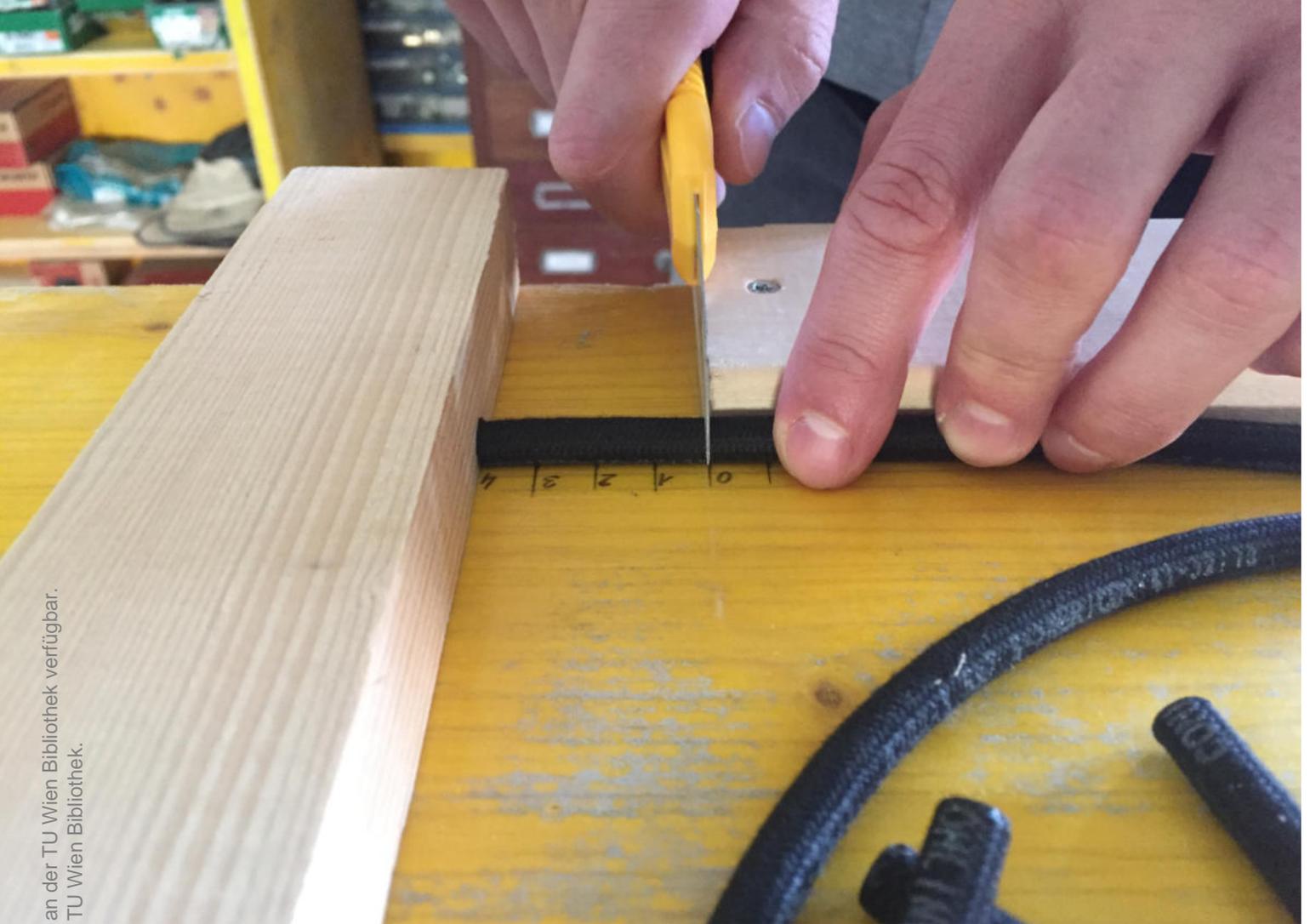


Abb. 127: Ablängen der Schläuche ↑

Abb. 128: Veröden der Schläuche ↓





Abb. 129: Einpressen der Hülsen ↑

Die als Gelenk fungierenden Benzinschläuche wurden auf 4 Zentimeter Länge gekürzt, um einerseits die Schrauben und andererseits den GFK-Stab aufnehmen zu können. Dazu wurde ein Anschlag mit einer Längenskala gebaut und mit einem Messer die erforderliche Stückanzahl zugeschnitten. Die ausgefransten Enden des Gewebes an den beiden Enden des Schlauchstückes mussten mit einer Flamme verodet werden, um nicht nachträglich auszufransen. Für den Zusammenbau wurden zuerst die Schrauben durch die Bohrlöcher der Teller gesteckt und dann die Schläuche auf das Gewinde gedreht. Der Innendurchmesser der Benzinschläuche ist geringfügig kleiner als jener der Schrauben, wodurch die Schläuche fest mit diesen verbunden sind.

Abb. 130: Montieren der Schläuche-01 ↓





Abb. 131: Montieren der Schläuche-02 ↑

Abb. 132: Montieren der Schläuche-03 ↓





Abb. 133: Fertige Drehteller

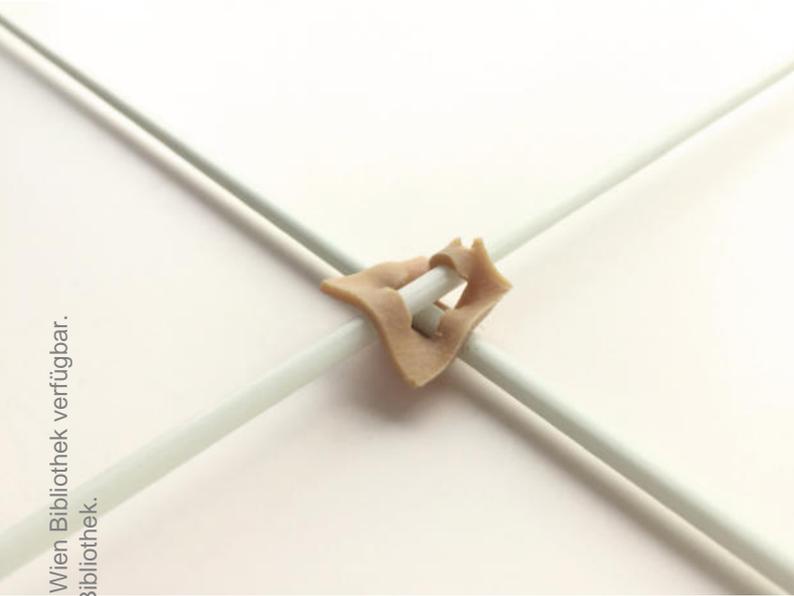


Abb. 134: Gummiverbindung der GFK-Stäbe



Abb. 135: Drahtverbindung der GFK-Stäbe

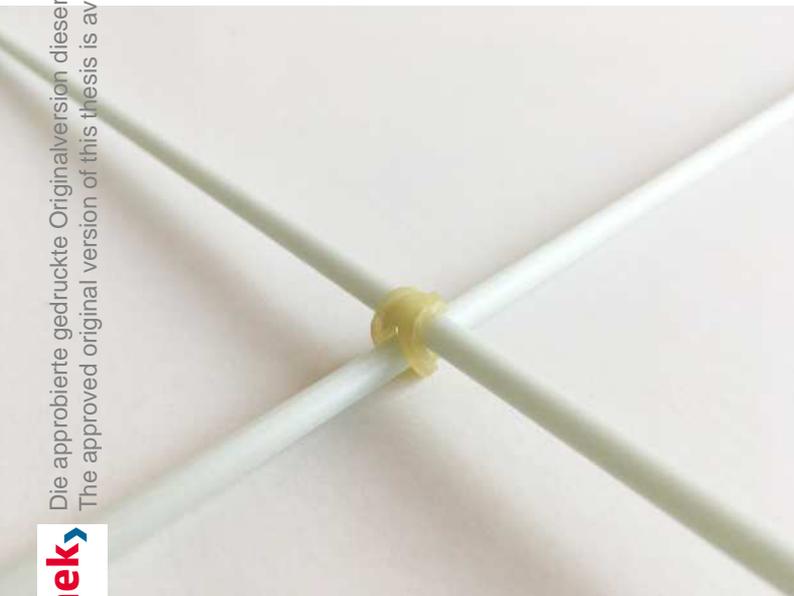


Abb. 137: Verbindungen GFK-Stäbe mittels Gummiring

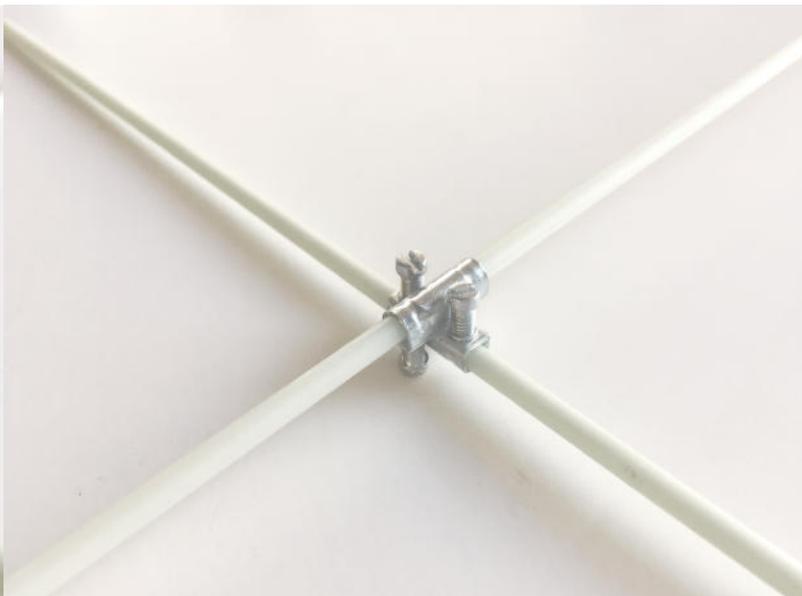


Abb. 138: Mechanische Verbindungen GFK-Stäbe

## 2. Unterkonstruktion

Die effektiven Längen der GFK-Kreuze wurden anhand einer vorgefertigten eins-zu-eins-Masche der Unterkonstruktion bestimmt. Dazu musste die optimale Länge der Streben bestimmt werden, um einerseits eine ideale Öffnung der späteren Verschattungsmodule zu erzielen und andererseits im geschlossenen Zustand eine ausreichende Überdeckung der einzelnen Schuppen zu erhalten. Es war ein Zusammenspiel der maximalen Bewegung der Masche und den daraus resultierenden Auswirkungen auf die Unterkonstruktion für die Membran. Je nach Längenänderung der Streben veränderte sich das Resultat. Es wurde empirisch ein Optimum festgelegt. Danach konnten überlange GFK-Stäbe auf das passende Maß abgeschnitten und miteinander verbunden werden. Dazu gab es Versuche mit Klebebändern, adaptierten Lüsterklemmen und Gummihüllen. Letztendlich fiel die Entscheidung auf zwei überkreuz verdrehte Sackdrahtschlingen. Dadurch konnten die Stäbe zeitsparend und effizient miteinander verbunden werden. Die Enden der Stäbe wurden mit einem feinen Schleifpapier gebrochen, um nicht auszufransen, was bei Glasfasern leicht der Fall sein kann.



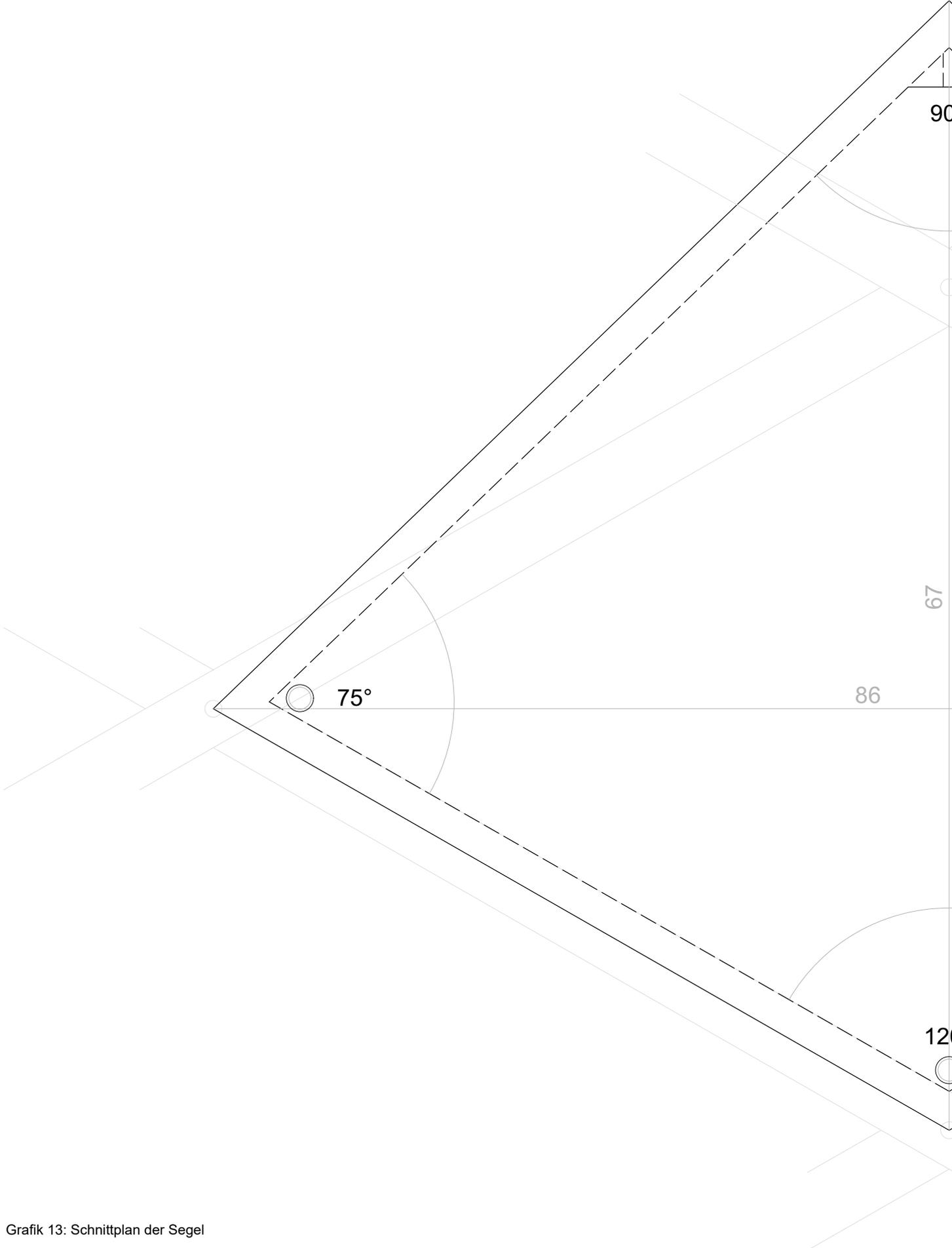
### 3. Fertigung der Segel

Die konstruktiven Überlegungen, die das Segel anbelangten, passierten parallel zu den Arbeiten an den GFK-Kreuzen. Wo auf der einen Seite Versuche zur Mechanik gemacht wurden, mussten auf der anderen Seite Entschlüsse hinsichtlich der Form und Aufgabe der Segel getroffen werden. Der erste Schritt war die Dimensionierung der Membran. Ausgehend von einer Masche der Unterkonstruktion, welche den Großteil des Formates bestimmte, wurde überlegt, welche Abmessungen erforderlich waren. Ein wesentlicher Punkt war die Überlappung der einzelnen Segel untereinander. Dadurch wäre ein annähernd geschlossenes Gefüge gegeben, welches bei entsprechender Materialwahl sogar wasserdicht sein könnte. Somit wurde die ohnehin längere Seite des Kreuzes noch etwas über den notwendigen Anschlusspunkt gezogen und resultierend daraus bekam jeder Knoten eine Überdeckung in der maximal geschlossenen Position.

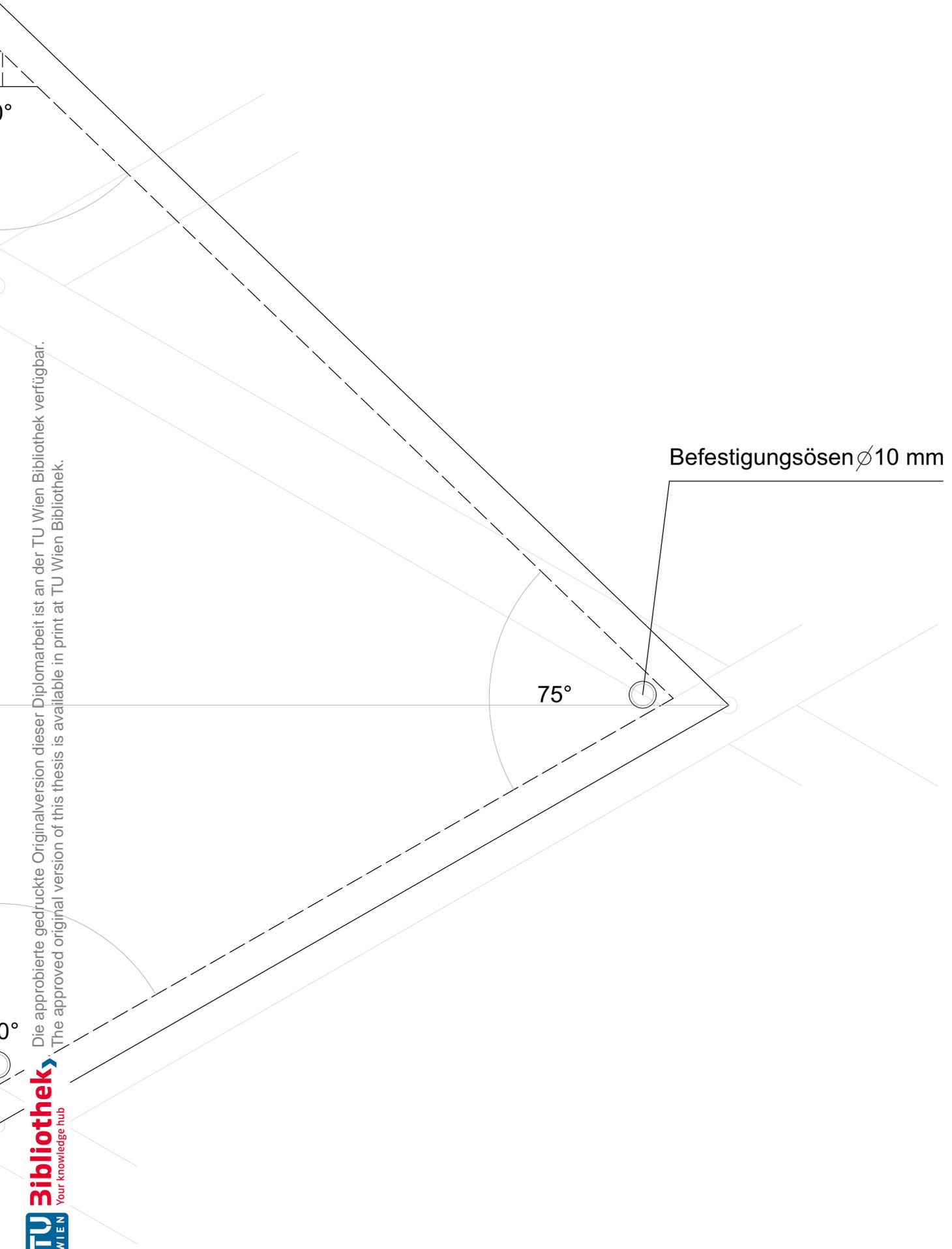


## a) Nähen der Membranen

Bezüglich der Serienfertigung wurde auf ein Angebot von Dipl. Ing. Michael Schultes zurückgegriffen. Mithilfe eines ihm bekannten Schneiders konnten sehr zeitnah die 256 Segel bereitgestellt werden. Entscheidend bei der Fertigung waren neben den exakten Maßen, um dann bei der Montage keine Unregelmäßigkeiten erwarten zu müssen, die mit LKW-Plane verstärkten Ecken. Bedingt durch die Tatsache, dass die Membran Teil des Mechanismus war, kam die meiste Beanspruchung auf die Ecken der vorgespannten Konstruktion. Im Bereich der vorgesehenen Befestigungspunkte wurde somit das Material verstärkt, um ein Ausreißen der anschließend gestanzten Ösen zu verhindern. An drei der insgesamt vier Ecken der Membran waren Ösen vorgesehen, und an der vierten Ecke eine eingenähte Lasche. Diese wurde ebenfalls mit LKW-Plane verstärkt. So konnte über das Segel, ohne ein Versagen des Textils befürchten zu müssen, Spannung erzeugt werden.



Grafik 13: Schnittplan der Segel



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. 139: Einstanzen der Löcher-01





Abb. 140: Einstanzen der Löcher-02 ↑

## b) Einstanzen der Befestigungsösen

Um die Membran neben dem Kreuz auch an die bewegliche Unterkonstruktion montieren zu können, wurden an drei Ecken des Segels Ösen vorgesehen. Mit einem Stanzeisen wurden entsprechende Löcher durch Segel und eingenähte LKW-Plane gestanzt und anschließend mit einer Öse versehen. Dazu wurde eine Ösenpresse von Dipl. Ing. Michael Schultes zur Verfügung gestellt, welche zur seriellen Fertigung eingesetzt werden konnte. Der Stanz- und Pressvorgang wurde 768 Mal wiederholt, und das Resultat war eine zufriedenstellende Vorbereitung für zuverlässige Montagepunkte.

Abb. 141: Fertig eingestanzte Löcher ↓





Abb. 142: Einpressen der Ösen-01 ↑

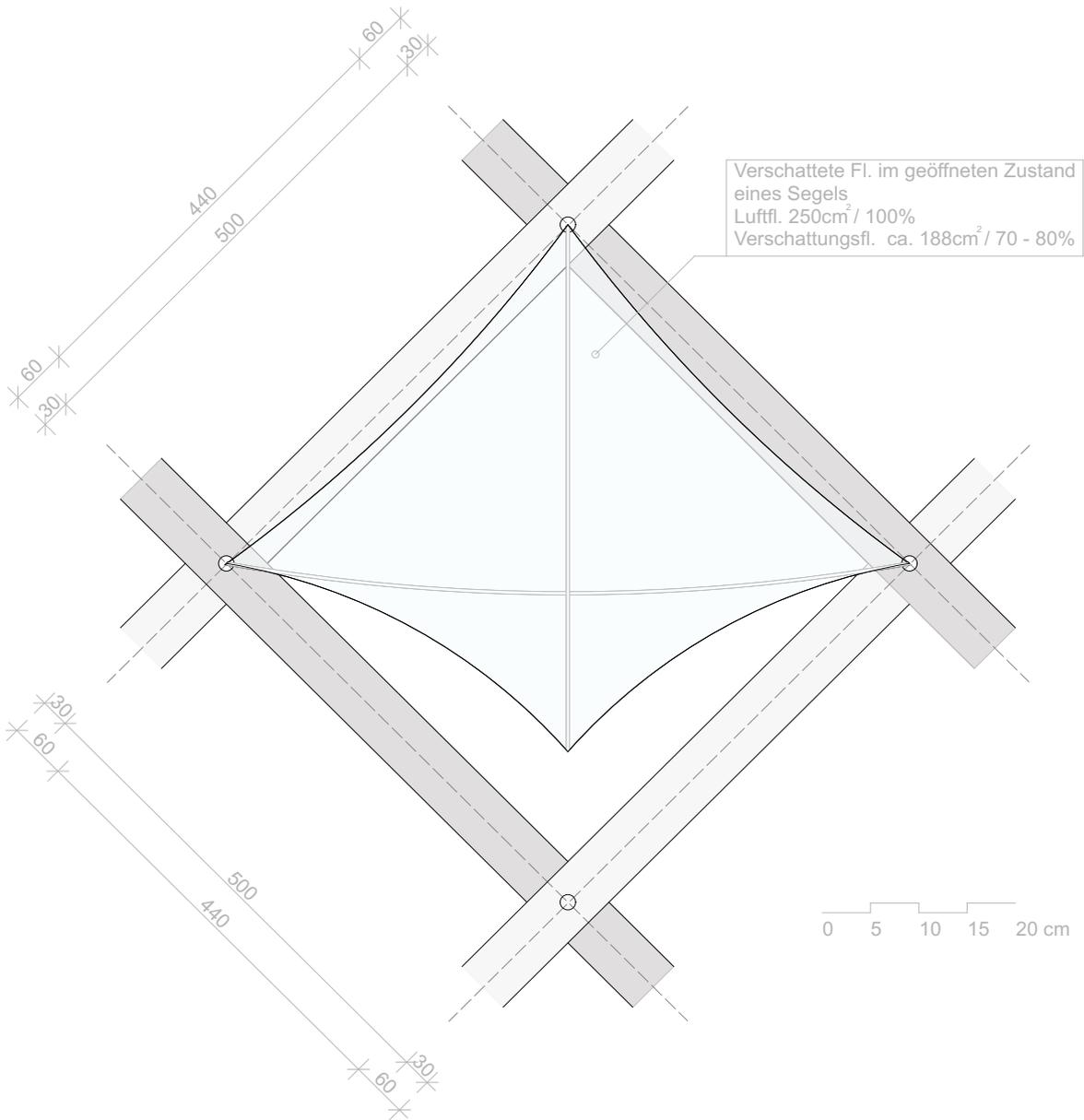
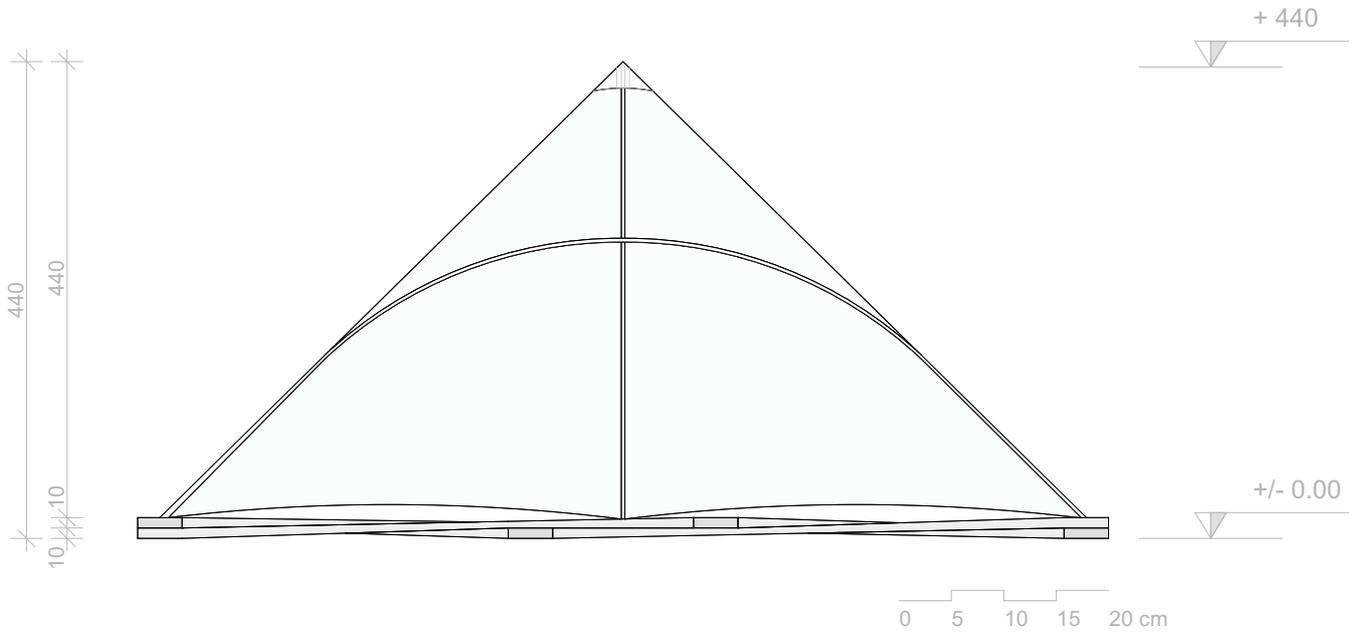
Abb. 143: Einpressen der Ösen-02 ↑



Abb. 144: Einpressen der Ösen-03

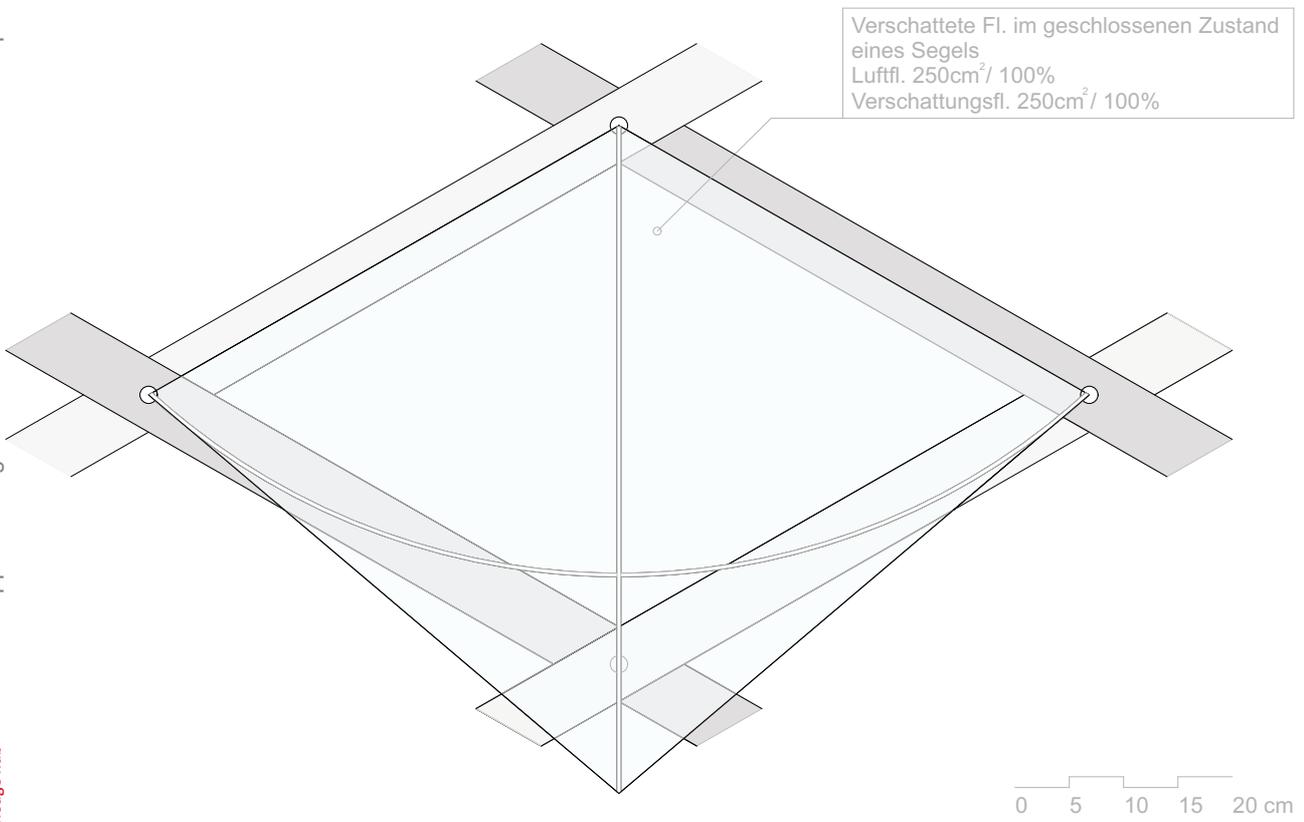
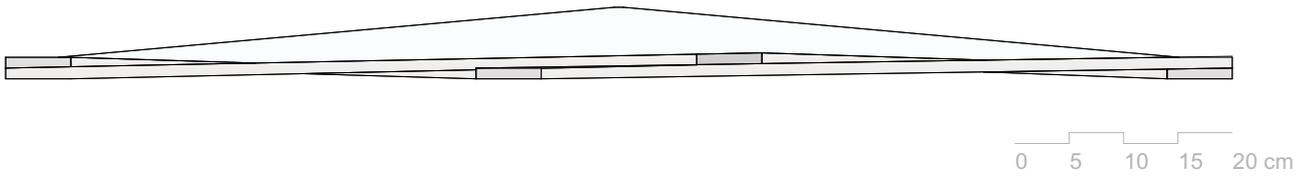


Abb. 145: Einpressen der Ösen-04

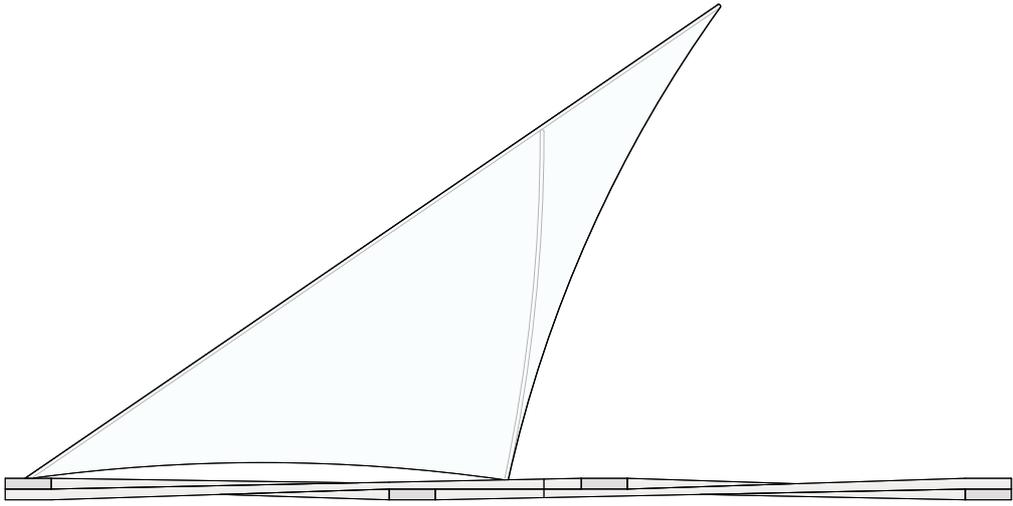


## 4. Zusammenbau des ersten Prototypen

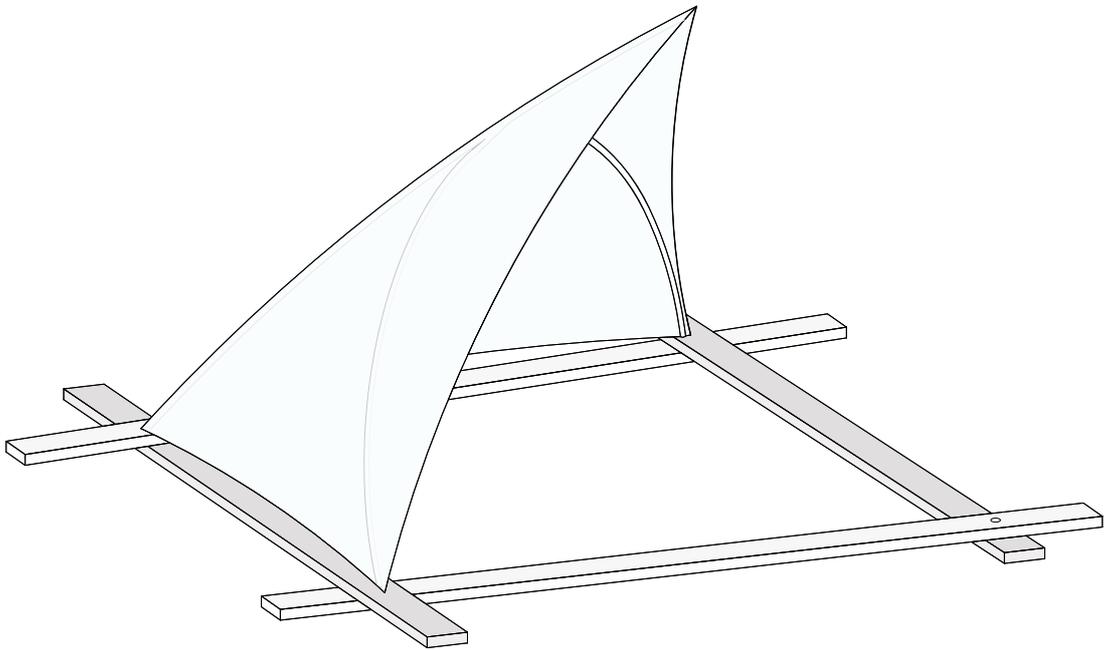
Nachdem alle Einzelteile fertig gestellt werden konnten, folgte der Zusammenbau des ersten Prototypen. Dazu wurden vier Latten zu einer quadratischen Masche in Originalgröße mittels Torbandschrauben verbunden. Der halbrunde Schraubenkopf diente als Lager zwischen den Latten der Flechtung. Auf das Gewinde der Schraube wurden zunächst die Teller mit den Benzinschläuchen geschoben und mit einer Mutter fixiert. Anschließend wurde das GFK-Kreuz an den vorgesehenen Enden in die Benzinschläuche der Teller gesteckt. Der Durchmesser der GFK-Stäbe ist geringfügig enger als jener der Benzinschläuche, wodurch eine sichere Steckverbindung gewährleistet ist. In einem weiteren Schritt wurde nun die Membran mit der eingenähten Lasche auf das obere lose Ende des GFK-Stabs gezogen. Die Ösen an den anderen drei Ecken der Membran wurden auf das Schraubengewinde, an dem auch die Teller montiert wurden, aufgefädelt und mit einer selbstsichernden Mutter fixiert. Dadurch war die Membran nun vorgespannt und bewirkte eine leichte Druckspannung auf das GFK-Kreuz. Dies sollte später den Öffnungsimpuls des Segels vereinfachen.



Grafik 15: CAD Plan Verschattungsmodul geschlossen



0 5 10 15 20 cm



0 5 10 15 20 cm

Grafik 16: CAD Plan Verschattungsmodul Axonometrie



This document is an original work of TU Wien Bibliothek. It is not to be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without prior written permission from TU Wien Bibliothek.

Abb. 146: Fertiger Prototyp



Abb. 147: Fertiger Prototyp offen Draufsicht ↑

Abb. 148: Fertiger Prototyp geschlossen Draufsicht ↓





## E BEWERTUNG

Der Einsatz und das Bauen mit Textilien in der Architektur hat lange Tradition und wird in den nächsten Jahren an Bedeutung gewinnen. Gerade Bereiche wie Ver- und Beschattung, wofür Textilien und Membrane prädestiniert sind, könnte in Zukunft eine noch größere Rolle spielen. Durch das geringe Gewicht sowie die flexible und temporäre Nutzung finden Textilien vielseitige Einsatzmöglichkeiten. Die Vielfalt der möglichen Einsatzbereiche und deren Ausgestaltungen ist überwältigend, und so können Textilien im 21. Jahrhundert ohne Probleme in hochtechnische und zukunftsweisende Projekte integriert werden. Auch im Falle der Verschattungsmodule ist diese Annahme gerechtfertigt. Als Verschattung eingesetzt sind die Textilien unmittelbar der Sonne und dadurch einer starken Energiequelle ausgesetzt. Diesen Umstand zu nutzen wäre ein guter Ansatz zur Energiegewinnung. Die gewonnene Energie könnte wieder direkt ins System eingespeist und für die Stromversorgung der Elektromotoren verwendet werden. Dadurch wäre kein zusätzlicher Energieaufwand nötig, um die Konstruktion in Gang zu setzen und das System wäre somit autark. Die Beweglichkeit von modularen Verschattungsmodulen ist eine bewährte Technologie, um den Einfall des natürlichen Sonnenlichtes zu regulieren. Bereits in der Frühzeit erkann-

te man das Problem, mit solaren Emissionen umgehen zu müssen, und es entwickelten sich wandelbare Verschattungssysteme wie Markisen oder Sonnensegel, die sich dem Sonnenstand anpassen konnten. Die fortschreitende Entwicklung ermöglichte es, dass Verschattungsvorrichtungen von heute meist als integrierte Systeme von Gebäuden autonom gesteuert und geregelt werden können. Die größte Herausforderung bei der konstruktiven Ausführung eines anpassungsfähigen Verschattungssystems bestand nicht nur in ihren mechanischen Bauteilen, sondern auch in ihrer Abhängigkeit zur Unterkonstruktion der Gitterschale. Beide mussten aufeinander abgestimmt werden, um ihrer Bestimmung gerecht zu werden. Ein simples Prinzip zu konstruieren, welches 256 Mal nebeneinander reibungslos funktionieren sollte, erforderte eine eingehende Recherche und umfassende Testreihen mittels Modellen.

Die Bewertung der Vor- und Nachteile des Segelprototypen führte letzten Endes zu einer praktikablen und effizienten Serienfertigung, welche den vielseitigen Anforderungen der Verschattung gewachsen war.



## F RESÜMEE

Das Papier, aus dem die Segel im Model bestanden, war eine dankbare, effiziente und simple Lösung im Maßstab eins zu zehn. Für eine größere Skalierung musste materialbedingt eine Alternative gefunden werden. Sowohl das Material der Segel als auch die Mechanik zur Öffnung und Schließung waren damit hinfällig und mussten völlig neu überdacht werden. Das Material war schnell gefunden, jedoch die Entwicklung des Mechanismus stellte sich als fordernde Aufgabe dar. Die rein mechanischen Überlegungen zu Abhängigkeiten und Richtungsverläufen bei Bewegungsimpulsen unter Einbeziehung der Eigenspannung und des Kräfteverlaufes waren zwar sehr interessant und aufschlussreich, bedurften aber vieler Modelle und Testreihen zur Visualisierung und Weiterentwicklung. Auch die Montage der Module an der bewegliche Unterkonstruktion, von welcher der Bewegungsimpuls letztlich ausging und von der auch die meiste Kraft auf diese Verbindung ausgeübt würde, verlangten ein hohes Maß an Aufmerksamkeit. Viele der angedachten und in Erwägung gezogenen Gelenke oder Verbindungen waren in dieser Form am freien Markt nicht verfügbar, weshalb man oft auf Notlösungen oder nicht zufriedenstellende Substitute zurückgreifen musste. Auch der Faktor 256 in Hinblick auf Fertigung und

Montage war eine Herausforderung. Der Mechanismus musste zuverlässig, leicht und schnell zu montieren bzw. demontieren sein. Über viele Modelle, Versuche und Adaptionen konnte letztlich ein genau an die Anforderungen angepasstes Produkt extrahiert werden.



## AUSBLICK

Nach Fertigstellung des Prototypen und der seriellen Herstellung der Segel wären nun alle Voraussetzungen gegeben, diese auf der Unterkonstruktion, also der Gitterschale, zu montieren. Dazu müssten die vorgefertigten Teller in den Knotenpunkten der Konstruktion mitgeschraubt und die GFK-Kreuze in die darauf befestigten Schläuche gesteckt werden. Die raumabschließende Außenhülle bilden die Membranen, die zuletzt über die Unterkonstruktion gespannt und in den Knotenpunkten mitgeschraubt werden. Die Membran wirkt als Vorspannung auf die GFK-Stäbe und soll somit den Öffnungsimpuls der Segel im Zuge der kinematischen Kreisbewegung vereinfachen. Durch die relativ einfache Applikation der Segel auf der Gitterschale ist ein zeitsparender Aufbau möglich. Basierend auf einer durchdachten Konstruktion und einer vorausschauenden Vorbereitung wären nun alle Voraussetzungen erfüllt, um der nackten Gitterschale eine architektonische Hülle zu geben. Im neutralen Zustand sind alle Segel halb geöffnet und würden ein interessantes Schattenspiel durch das einfallende Sonnenlicht erzeugen. Jedoch ist kein Bereich unter der Schale vollständig verschattet, da die Segel in verschiedene Richtungen ausgerichtet sind. Erst über die kinematische Bewegung der Gitterschale verändert sich auch

die Geometrie und die Form der Konstruktion. Dadurch öffnen und schließen sich die Segel und verschatten unterschiedliche Bereiche darunter. Jene Punkte, die zugleich die Schnittstelle zwischen der Gitterschale und den Verschattungsmodulen bilden, sind dabei besonders heikel. Ob sich die vorgeschlagene Lösung, jene Punkte mit drehbaren Tellern auszustatten, tatsächlich bewährt und einen reibungslosen mechanischen Ablauf im Zuge der kinematischen Bewegung gewährleistet, kann letztlich nur durch einen tatsächlichen Praxistest festgestellt werden. In permanenter Abhängigkeit zueinander müssten alle Segel gleichmäßig und ohne zeitliche Verzögerung auf die Verformung der Gitterstruktur reagieren, um ein homogenes Öffnen und Schließen aller Segel zu ermöglichen. Als eine kreisende Welle wäre das Zusammenspiel der Unterkonstruktion und der Segel sowohl von innen als auch von außen zu beobachten - ein selbstständiger Organismus, der sich zum Schutz gegen die Sonne stets neu ausrichtet, um sein Innenleben zu schützen.



## DANKSAGUNG

Abschließend möchte ich mich bei jenen Personen bedanken, ohne deren Unterstützung die vorliegende Arbeit nicht in dieser Form hätte umgesetzt werden können. Allen voran möchte ich meinen Betreuer, DI Dr. Christoph Müller nennen. Ihm ist es letzten Endes zu verdanken, dass die anfängliche Idee zum Bau eines Prototypen umgesetzt werden konnte. Mit seiner engagierten Art und seiner fachlichen Expertise begleitete er das Projekt bis an die Ziellinie. Dabei stand er mir stets mit Rat und Tat zur Seite und war mit voller Begeisterung dabei. So hat er einen erheblichen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Ebenso möchte ich mich bei jenen Personen bedanken, die maßgebend zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Mein Dank gebührt Prof. Arch. DI Dr. Manfred Berthold, der sich sofort dazu bereit erklärte, die Arbeit formell mitzutragen und inhaltlich unterstützend mitzuwirken, wo es notwendig war. Ausdrücklich erwähnen möchte ich zudem DI Michael Schultes, ohne dessen unermüdlichen Einsatz und Hingabe die Fertigung der Segel nicht in der Qualität möglich gewesen wäre. Vor allem sein Erfahrungsschatz im Umgang mit Membranen in der Architektur trug entscheidend dazu bei, schlussendlich einen fertigen und funktionierenden Prototypen eines Verschattungssegels präsentieren zu können.

Zu Dank verpflichtet fühle ich mich auch gegenüber zahlreichen ExpertInnen und Fachleuten, die mich bei diversen Aufgaben unterstützt haben, wie dem Erstellen von Visualisierungen, Belastbarkeitsstudien und Verformungsdiagrammen, der fachlichen Betreuung bei Materialtests und bei der Einführung in die Mechanik sowie in die Statik. Namentlich möchte ich DI Dr. Karl Deix und DI Günter Salzgeber (HLT Graz Ortweinschule) erwähnen, deren Fachexpertise hinsichtlich statischer Überlegungen substanziell dazu beitrug, dem Aspekt der Tragfähigkeit mehr Gewicht hinsichtlich konstruktiver Ausführungen einzuräumen. Meinen Dank möchte ich außerdem jenen aussprechen, die das Projekt finanziell unterstützten. Allen voran der Technischen Universität Wien und ecoplus Niederösterreichs Wirtschaftsagentur. Zuletzt möchte ich mich noch bei meinem Teamkollegen für die engagierte und motivierende Zusammenarbeit bedanken. Ohne die gegenseitige Wertschätzung und Rücksichtnahme wäre das Projekt nicht in dieser Qualität und vor allem nicht in dieser Zeit umsetzbar gewesen.



# QUELLEN

- <sup>1</sup> [www.wikipedia.org/wiki/Sonnenstrahlung](http://www.wikipedia.org/wiki/Sonnenstrahlung)
- <sup>2</sup> [physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Sonnenstand](http://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Sonnenstand)
- <sup>3</sup> [www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/planungsgrundlagen/verschattung-662879](http://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/planungsgrundlagen/verschattung-662879)
- <sup>4</sup> [www.texlon.ch/downloads/-de-fachartikel-membranbau-Deutsche-Bauzeitung-Membranbau.pdf](http://www.texlon.ch/downloads/-de-fachartikel-membranbau-Deutsche-Bauzeitung-Membranbau.pdf)
- <sup>5</sup> [www.baugeschichte.tuwien.ac.at/abk/texte/skelettbauweisen/a-tipi.html](http://www.baugeschichte.tuwien.ac.at/abk/texte/skelettbauweisen/a-tipi.html)
- <sup>6</sup> [www.derstandard.at/story/1395363104500/japanischer-architekt-shigeru-ban-bekommt-pritzker-preis](http://www.derstandard.at/story/1395363104500/japanischer-architekt-shigeru-ban-bekommt-pritzker-preis)
- <sup>7</sup> [www.baumeister.de/vom-papierhaus-zum-museum](http://www.baumeister.de/vom-papierhaus-zum-museum)
- <sup>8</sup> [www.wikiwand.com/de/Apollontempel\\_bei\\_Bassae](http://www.wikiwand.com/de/Apollontempel_bei_Bassae)
- <sup>9</sup> [site.expo2000.de/expo2000/geschichte/detail.php?wa\\_id=17&lang=2&s\\_typ=28&imag=1](http://site.expo2000.de/expo2000/geschichte/detail.php?wa_id=17&lang=2&s_typ=28&imag=1)
- <sup>10</sup> [www.fosterandpartners.com/projects/crossrail-place-canary-wharf](http://www.fosterandpartners.com/projects/crossrail-place-canary-wharf)
- <sup>11</sup> [www.architonic.com/de/project/shigeru-ban-architects-curtain-wall-house/5102304](http://www.architonic.com/de/project/shigeru-ban-architects-curtain-wall-house/5102304)
- <sup>12</sup> [www.baunetzwissen.de/sonnenschutz/objekte/gewerbe---industrie/elin-motorenwerke-in-weiz-a-2345485](http://www.baunetzwissen.de/sonnenschutz/objekte/gewerbe---industrie/elin-motorenwerke-in-weiz-a-2345485)
- <sup>13</sup> [www.vinyl-erleben.de/vinyl-architektur/aesthetische-membran-architektur/409](http://www.vinyl-erleben.de/vinyl-architektur/aesthetische-membran-architektur/409)
- <sup>14</sup> [www.heinze.de/architekturobjekt/loro-parque/10900692](http://www.heinze.de/architekturobjekt/loro-parque/10900692)
- <sup>15</sup> [www.architonic.com/de/story/susanne-fritz-bau-stoff-textile-architektur-teil-1/7000625](http://www.architonic.com/de/story/susanne-fritz-bau-stoff-textile-architektur-teil-1/7000625)
- <sup>16</sup> [www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Ausstellung\\_in\\_Innsbruck\\_4441939.html](http://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Ausstellung_in_Innsbruck_4441939.html)



- <sup>17</sup> [snohetta.com/project/58-tuballoon-kongsberg-jazz-festival](http://snohetta.com/project/58-tuballoon-kongsberg-jazz-festival)
- <sup>18</sup> [www.bigtex.de/textilkunde-alles-rund-um-fasern-und-stoffe/a-5086](http://www.bigtex.de/textilkunde-alles-rund-um-fasern-und-stoffe/a-5086)
- <sup>19</sup> [www.textilie.com/einsatzgebiete](http://www.textilie.com/einsatzgebiete)
- <sup>20</sup> [www.deacademic.com/dic.nsf/dewiki/1378071#Einsatzgebiete](http://www.deacademic.com/dic.nsf/dewiki/1378071#Einsatzgebiete)
- <sup>21</sup> [www.plasticseurope.org/de/about-plastics/what-are-plastics/large-family](http://www.plasticseurope.org/de/about-plastics/what-are-plastics/large-family)
- <sup>22</sup> [www.chemie.de/lexikon/Kunststoffolie.html](http://www.chemie.de/lexikon/Kunststoffolie.html)
- <sup>23</sup> [www.ceresana.com/de/marktstudien/verpackung/kunststoff-folien-welt/ceresana-marktstudie-kunststoff-folien-welt.html](http://www.ceresana.com/de/marktstudien/verpackung/kunststoff-folien-welt/ceresana-marktstudie-kunststoff-folien-welt.html)
- <sup>24</sup> [www.mediatum.ub.tum.de/doc/601016/601016.pdf](http://www.mediatum.ub.tum.de/doc/601016/601016.pdf)
- <sup>25</sup> [www.to-experts.com/materialien/pvc-pes](http://www.to-experts.com/materialien/pvc-pes)
- <sup>26</sup> [www.aeronautec.de/aeroflon-ptfe-polytetrafluorethylen](http://www.aeronautec.de/aeroflon-ptfe-polytetrafluorethylen)
- <sup>27</sup> [www.taconic.de/products.aspx?rangeID=13&subRangeID=1005](http://www.taconic.de/products.aspx?rangeID=13&subRangeID=1005)
- <sup>28</sup> [www.rct-online.de/de/RctGlossar/detail/id/](http://www.rct-online.de/de/RctGlossar/detail/id/)
- <sup>29</sup> [www.pina-design.de/informationen/blog/textile-architektur-membranbau](http://www.pina-design.de/informationen/blog/textile-architektur-membranbau)
- <sup>30</sup> [www.architonic.com/de/product/koch-membranen-trichterschirm/1436057](http://www.architonic.com/de/product/koch-membranen-trichterschirm/1436057)
- <sup>31</sup> [www.ksta.de/kultur/zum-tod-des-architekten-frei-otto--der-meister-der-netze-begann-in-berlin-1266786](http://www.ksta.de/kultur/zum-tod-des-architekten-frei-otto--der-meister-der-netze-begann-in-berlin-1266786)
- <sup>32</sup> [www.baunetzwissen.de/geneigtes-dach/objekte/kultur/schutzdaecher-der-tempelreste-hagar-qim-und-mnajdra-auf-malta-2396821](http://www.baunetzwissen.de/geneigtes-dach/objekte/kultur/schutzdaecher-der-tempelreste-hagar-qim-und-mnajdra-auf-malta-2396821)
- <sup>33</sup> [www.ackermannarchitekten.com/entry/rundmischbett-maerker/](http://www.ackermannarchitekten.com/entry/rundmischbett-maerker/)
- <sup>34</sup> [www.kochmembranen.de/textile-architektur/referenzen/trichterschirme/trichterschirm-festo](http://www.kochmembranen.de/textile-architektur/referenzen/trichterschirme/trichterschirm-festo)
- <sup>35</sup> [www.detail.de/artikel/pneumocell-7608](http://www.detail.de/artikel/pneumocell-7608)
- <sup>36</sup> [www.wwf.de/themen-projekte/meere-kuesten/plastik/unsere-ozeane-versinken-im-plastikmuell/](http://www.wwf.de/themen-projekte/meere-kuesten/plastik/unsere-ozeane-versinken-im-plastikmuell/)
- <sup>37</sup> [www.utopia.de/ratgeber/plastikmuell-im-meer-diese-projekte-tun-was-dagegen/](http://www.utopia.de/ratgeber/plastikmuell-im-meer-diese-projekte-tun-was-dagegen/)



# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Verschattungssegel Ausgangssituation  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 2 (li. oben): Segel aus Karton  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 3 (re. oben): Segel aus Karton Draufsicht  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 4 (2. v. li. oben): Segel aus Sandwichpaneelen  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 5 (2. v. re. oben): Segel aus Sandwichpaneelen  
Draufsicht  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 6 (3. v. li. oben): Bedruckte Membran  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 7 (3. v. li. oben): Bedruckte Membran  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 8 (li. unten): Verschattungssegel aus Jute  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 9 (re. unten): Verschattungssegel aus Jute  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 10: Bibliothek der Humboldtuniversität Berlin  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 11: Merck Sorono Headquarter in Genf  
[www.clauss-markisen.de/merck-serono.0.html](http://www.clauss-markisen.de/merck-serono.0.html)

Abb. 12: Indianerzelt  
[www.wikiwand.com/de/Oglala](http://www.wikiwand.com/de/Oglala)

Abb. 13: Mongolische Jurte  
[commons.wikimedia.org/wiki/File:Киргизские\\_кибитки\\_в\\_Ногайских\\_степях,\\_низовье\\_Волги..jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Киргизские_кибитки_в_Ногайских_степях,_низовье_Волги..jpg)

Abb. 14: Beduinenzelt  
[www.factsanddetails.com/world/cat55/3sub2/entry-5822.html](http://www.factsanddetails.com/world/cat55/3sub2/entry-5822.html)

Abb. 15: Flüchtlingszelt in Rwanda  
[www.derstandard.at/story/1395363104500/japanischer-architekt-shigeru-ban-bekommt-pritzker-preis](http://www.derstandard.at/story/1395363104500/japanischer-architekt-shigeru-ban-bekommt-pritzker-preis)

Abb. 16: Paper Log House in Kobe (JPN)  
[www.weissmagazin.at/portrait/47-im-portrait-shigeru-ban](http://www.weissmagazin.at/portrait/47-im-portrait-shigeru-ban)

Abb. 17: Schutzhülle des Apollontempel in Bassae (GR)  
[whc.unesco.org/en/list/392/gallery](http://whc.unesco.org/en/list/392/gallery)

Abb. 18: Deutscher Pavillon EXPO 1967, Montreal  
[www.cca.qc.ca/en/search/details/collection/object/415858](http://www.cca.qc.ca/en/search/details/collection/object/415858)

Abb. 19: Canary Wharf Crossrail Station, London  
[www.fosterandpartners.com/projects/crossrail-place-canary-wharf](http://www.fosterandpartners.com/projects/crossrail-place-canary-wharf)

Abb. 20: Curtain Wall House, Tokio  
[www.architectmagazine.com/project-gallery/curtain-wall-house](http://www.architectmagazine.com/project-gallery/curtain-wall-house)

Abb. 21: Sonnenschutzfassade  
[www.architonic.com/de/story/susanne-fritz-bau-stoff-textile-architektur-teil-1/7000625](http://www.architonic.com/de/story/susanne-fritz-bau-stoff-textile-architektur-teil-1/7000625)

Abb. 22: Musikschule in Erfstadt  
[www.vinyl-erleben.de/vinyl-architektur/aesthetische-membran-architektur/409](http://www.vinyl-erleben.de/vinyl-architektur/aesthetische-membran-architektur/409)

Abb. 23: Vogelfreiluftgehege Teneriffa  
[www.heinze.de/architekturobjekt/loro-parque/10900692](http://www.heinze.de/architekturobjekt/loro-parque/10900692)

Abb. 24: Tahari Showroom, New York  
[www.architonic.com/de/story/susanne-fritz-bau-stoff-textile-architektur-teil-1/7000625](http://www.architonic.com/de/story/susanne-fritz-bau-stoff-textile-architektur-teil-1/7000625)

Abb. 25: Out of Balance, Innsbruck  
[www.snohetta.com/project/58-tuballoon-kongsberg-jazz-festival](http://www.snohetta.com/project/58-tuballoon-kongsberg-jazz-festival)

Abb. 26: Tubaloon, Kongsberg  
[www.derstandard.at/story/2000019617731/ein-wackeliger-kosmos-out-of-balance-in-innsbruck](http://www.derstandard.at/story/2000019617731/ein-wackeliger-kosmos-out-of-balance-in-innsbruck)

Abb. 27: Textilien  
[www.architekturzeitung.com/innenarchitektur-design/130-design-oberflaeche/1701-textilien-verbessern-raumakustik.html](http://www.architekturzeitung.com/innenarchitektur-design/130-design-oberflaeche/1701-textilien-verbessern-raumakustik.html)

Abb. 28: Folien  
[www.plastexe.co.uk](http://www.plastexe.co.uk)

Abb. 29: Leinengewebe  
[www.jerseyfashion.nl/Viskose-Leinenstoff](http://www.jerseyfashion.nl/Viskose-Leinenstoff)

Abb. 30: Polyestergerewebe mit PVC-Beschichtung  
[www.raumprobe.com/de/material/pvc-beschichtete-polyestergerewebe-kunststoff--10657-17-9728](http://www.raumprobe.com/de/material/pvc-beschichtete-polyestergerewebe-kunststoff--10657-17-9728)

Abb. 31: PTFE Gewebe  
[www.raumprobe.com/de/material/valmex-tf400-7280-5200-kunststoff--10654-10-2911](http://www.raumprobe.com/de/material/valmex-tf400-7280-5200-kunststoff--10654-10-2911)

Abb. 32: Glasfasergewebe mit PTFE-Beschichtung  
[www.md-mag.com/materialien/werkstoffe/textil/technische-gewebe](http://www.md-mag.com/materialien/werkstoffe/textil/technische-gewebe)

Abb. 33: Silikonbeschichtetes Glasfasergewebe  
[www.mid-mountain.com/materials-for-fabricating-industrial-insulation-systems](http://www.mid-mountain.com/materials-for-fabricating-industrial-insulation-systems)

Abb. 34: ETFE-Folien  
[www.arcguide.de/produktneuheiten/etfe-folie-fuer-den-einsatz-als-gebaeudehuelen](http://www.arcguide.de/produktneuheiten/etfe-folie-fuer-den-einsatz-als-gebaeudehuelen)

Abb. 35: Historische Konstruktionsprinzipien  
[www.texlon.ch/downloads/-de-fachartikel-membranbau-Deutsche-Bauzeitung-Membranbau.pdf](http://www.texlon.ch/downloads/-de-fachartikel-membranbau-Deutsche-Bauzeitung-Membranbau.pdf)

Abb. 36: Sternenwellenzelt Köln  
[www.ksta.de/kultur/zum-tod-des-architekten-frei-otto-der-meister-der-netze-begann-in-berlin-1266786](http://www.ksta.de/kultur/zum-tod-des-architekten-frei-otto-der-meister-der-netze-begann-in-berlin-1266786)

Abb. 37: Schutzdach für die Tempelreste in Hagar Qim  
[www.baunetzwissen.de/geneigtes-dach/objekte/kultur/schutzdaecher-der-tempelreste-hagar-qim-und-mnajdra-auf-malta-2396821](http://www.baunetzwissen.de/geneigtes-dach/objekte/kultur/schutzdaecher-der-tempelreste-hagar-qim-und-mnajdra-auf-malta-2396821)

Abb. 38: Rundmischbett in Harburg  
[www.ackermannarchitekten.com/entry/rundmischbettmaerker](http://www.ackermannarchitekten.com/entry/rundmischbettmaerker)

Abb. 39: Trichterschirm Esslingen  
[www.kochmembranen.de/textile-architektur/referenzen/trichterschirme/trichterschirm-festo](http://www.kochmembranen.de/textile-architektur/referenzen/trichterschirme/trichterschirm-festo)

Abb. 40: Schwimmhalle in Berlin  
[www.berlin.de/aktuelles/berlin/6035131-958092-oeffnung-der-schwimmbadtraglufthalle-nac.html](http://www.berlin.de/aktuelles/berlin/6035131-958092-oeffnung-der-schwimmbadtraglufthalle-nac.html)

Abb. 41: Allianzarena in München  
[www.fcbayern.com/de/fans/fanbetreuung-und-fanclubs/spieltage/aktuelle-informationen-zu-heimspielen](http://www.fcbayern.com/de/fans/fanbetreuung-und-fanclubs/spieltage/aktuelle-informationen-zu-heimspielen)

Abb. 42: Projekt „Pacific Garbage Screening“  
[www.reset.org/blog/pacific-garbage-screening-ocean-cleanup-bekommt-unterstuetzung-07182018](http://www.reset.org/blog/pacific-garbage-screening-ocean-cleanup-bekommt-unterstuetzung-07182018)

Abb. 43: Sea Bin  
[www.bristol247.com/news-and-features/news/bristol-harbourside-could-get-its-first-seabin](http://www.bristol247.com/news-and-features/news/bristol-harbourside-could-get-its-first-seabin)

Abb. 44: Segel in offener Formation  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 45: Geschlossene Formation der Segel  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 46: Ausrichtung der Segel in den Feldern  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 47: Segel offen  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 48: Segel neutral  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 49: Segel geschlossen  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 50: Quadratische Applikation  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 51: Hexagonale Applikation  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 52: Klassisches Scharnier  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 53: Klassisches Scharnier Montage  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 54: Textiles Scharnier  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 55: Plane als Scharnier  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 56: Plane als Scharnier Montage  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 57: Schrauben  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 58: Geschraubte Verbindung  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 59: Kleber und Klebebänder  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 60: Geklebte Verbindung  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 61: Magnete  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 62: Magnetische Verbindung  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 63: Fidlock Snap-System  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 64: Fidlock Snap-System Montage  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 65: Schläuche  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 66: Schlauchverbindung  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 67: Klettbander  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 68: Verbindung mit Klettbandern  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 69: Modellbau  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 70: Einzelsegel aus Papier  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 71: Formation mehrerer Papiersegel  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 72: Mechanismus mit PP-Stegplatte  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 73: Mechanismus mit PP-Stegplatte Draufsicht  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 74: Mechanismus mit PP-Stegplatte Montage  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 75: 3d-Druck  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 76 und 77: 3d-Druck Ergebnisse  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 78: Formoptimierung bei geringer Belastung  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
3d Grafik: Benedikt Scherzer, 2019

Abb. 79: Formoptimierung bei mittlerer Belastung  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
3d Grafik: Benedikt Scherzer, 2019

Abb. 80: Formoptimierung bei hoher Belastung  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
3d Grafik: Benedikt Scherzer, 2019

Abb. 81: Auswertung der Formoptimierung-01  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
3d Grafik: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 82: Auswertung der Formoptimierung-02  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
3d Grafik: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 83: Pfaderstellung für Roboter-01  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
3d Grafik: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 84: Pfaderstellung für Roboter-02  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
3d Grafik: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 85: Unterkonstruktion eines Schirms  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 86: Flugdrachen  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 87: Notenständer  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
[www.musicstore.com/de](http://www.musicstore.com/de)

Abb. 88: Kamerastativ  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 89: Simulation des Öffnungsmechanismus  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 90: Simulation des Öffnungsmechanismus mit  
Vorspannung  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 91: Suche nach geeigneten Bauteilen  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 92: LEGO-Bauteile  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 93: Mechanismus mit Scherensystem  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 94: Mechanismus mit Scherensystem Draufsicht  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 95: Mechanismus mit Scherensystem Montage  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 96: Mechanismus als Rahmen  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 97: Mechanismus als Rahmen Draufsicht  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 98: Mechanismus als Rahmen Montage  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 99: Mechanismus mit herausnehmbaren Feldern  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 100: Mechanismus mit herausnehmbaren Feldern  
Draufsicht  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 101: Mechanismus mit herausnehmbaren Feldern  
Montage  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 102: Mechanismus mit steifen Streben  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 103: Mechanismus mit steifen Streben Draufsicht  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 104: Mechanismus mit steifen Streben Montage  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 105: Mechanismus mit GFK-Stäben  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 106: Mechanismus mit GFK-Stäben Draufsicht  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 107: Mechanismus mit GFK-Stäben Montage  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2019

Abb. 108: Materialauswahl  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Benedikt Scherzer, 2019

Abb. 109: Vorauswahl an Textilien  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 110: Vorbereitung Materialtests  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 111: Zugtests Apparatur  
[www.directindustry.de/prod/shimadzu-europa/product-25210-355433.html](http://www.directindustry.de/prod/shimadzu-europa/product-25210-355433.html)

Abb. 112: Gewichte  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 113: Membran in Schelle eingehakt  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 114: Membran an Haken eingehängt  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 115: Membran an Karosseriescheibe eingehängt  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 116: GFK-Stab seitlich montiert  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 117: Membran an S-Haken eingehängt  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 118: Membran im Knoten mitgeschraubt  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 119: Ausschneiden der Teller-01  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 120: Schleifen der Teller  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 121: Ausschneiden der Teller-02  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 122: Aufbohren des Mitteloches  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 123: Bohren der Löcher  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 124: Fertig gebohrte Löcher  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 125: Aussenken der Löcher  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 126: Feingewindeschraube versenkt  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 127: Ablängen der Schläuche  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 128: Veröden der Schläuche  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 129: Einpressen der Hülsen  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 130: Montieren der Schläuche-01  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 131: Montieren der Schläuche-02  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 132: Montieren der Schläuche-03  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 133: Fertige Drehteller  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 134: Gummiverbindung der GFK-Stäbe  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 135: Drahtverbindung der GFK-Stäbe  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 137: Verbindungen GFK-Stäbe mittels Gummiring  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 138: Mechanische Verbindungen GFK-Stäbe  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 139: Einstanzen der Löcher-01  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 140: Einstanzen der Löcher-02  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 141: Fertig eingestanzte Löcher  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 142: Einpressen der Ösen-01  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 143: Einpressen der Ösen-02  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 145: Einpressen der Ösen-04  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 146: Fertiger Prototyp  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 147: Fertiger Prototyp offen Draufsicht  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020

Abb. 148: Fertiger Prototyp geschlossen Draufsicht  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Foto: Nikias Schachinger, 2020





# VERZEICHNIS GRAFIKEN UND PLÄNE

Grafik 1: echinoid Rhino Modell  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
3d Modell: Benedikt Scherzer, 2019

Grafik 2: Klimadiagramm Jahresdurchschnittstemperatur  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Diagramm: Nikias Schachinger, 2019

Grafik 3: Fotomontage Verschattung  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Fotomontage: Nikias Schachinger, 2019

Grafik 4: Sonnenstanddiagramm  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
CAD Grafik: Nikias Schachinger, 2020

Grafik: 5: Segel offen Geometrie  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
CAD Grafik: Benedikt Scherzer, 2019

Grafik: 6: Segel neutral Geometrie  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
CAD Grafik: Nikias Schachinger, 2020

Grafik: 7: Segel geschlossen Geometrie  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
CAD Grafik: Nikias Schachinger, 2020

Grafik 8: Varianten der Rahmenkonstruktion  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
CAD Grafik: Benedikt Scherzer, 2020

Grafik 9: Scharniere Varianten Handskizzen  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Zeichnung: Nikias Schachinger, 2019

Grafik 10: Segel Handskizze  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Zeichnung: Nikias Schachinger, 2019

Grafik 11: Montage der Segel Handskizzen  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
Zeichnung: Nikias Schachinger, 2019

Grafik 12: Anordnung der Drehteller  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
CAD Grafik: Benedikt Scherzer, 2020

Grafik 13: Schnittplan der Segel  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
CAD Plan: Benedikt Scherzer, 2020

Grafik 14: CAD Plan Verschattungsmodul offen  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
CAD Plan: Benedikt Scherzer, 2020

Grafik 15: CAD Plan Verschattungsmodul geschlossen  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
CAD Plan: Benedikt Scherzer, 2020

Grafik 16: CAD Plan Verschattungsmodul Axonometrie  
Diplomarbeit Nikias Schachinger, Juni 2020  
CAD Plan: Benedikt Scherzer, 2020





