



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

DIPLOMARBEIT

EVOLVING STRUCTURES

offen-experimentelles Entwerfen als evolutionärer Entwicklungsprozess

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

Univ.Prof. Mag.art. Christine Hohenbüchler

E264 - Institut für Kunst und Gestaltung

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Kristoffer Stefan

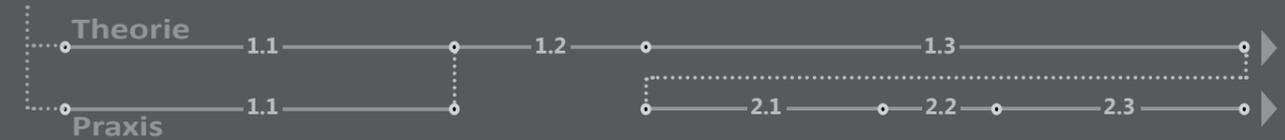
Matrikelnummer: 0726469

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



Wien, am 22. Mai 2016

Inhalt



Abstract

Speziell im Laufe des gesamten Masterstudiums wurde der persönliche Fokus darauf gelegt, die eigene Vorgehensweise in Entwurfsprozessen im Hinblick auf die Effizienz der Ideenfindung zu optimieren. So konnten im Zuge diverser Entwurfsarbeiten wiederkehrende Prinzipien erkannt und damit eine modellbasierte offen-experimentelle Methodik entwickelt werden, deren Innovationspotential bereits früh erkannt wurde. Erste Analysen zu den theoretischen Grundlagen solch offen-experimenteller Prozesse zielten zunächst darauf ab, die eigene Vorgehensweise weiter zu präzisieren und führten in weiterer Folge zu deren tiefgreifender Behandlung im Zuge dieser Diplomarbeit.

Auf einen offen-experimentellen Ansatz stützt sich nicht nur die eigene Entwurfsmethodik, ein solcher Ansatz bildet auch die Grundlage anderer Bereiche – etwa jenem der biologischen Evolution – wodurch bereichsübergreifend Erkenntnisse erlangt werden konnten. So wird die Entwicklung stets vorangetrieben durch das (mehr oder weniger zufällige) Aufwerfen von Möglichkeiten – Variation – wechselwirkend mit situationsbezogener, kausal bedingter oder rational gefolgter, richtungsweisender Auswahl – Selektion. Dabei kommt der Restabilisierung der jeweils wirkenden Selektionskräfte – beim Strukturentwurf also speziell der konsequenten Änderung von Zielvorgaben – besondere Bedeutung zu: Diese führt – etwa durch das Nutzen unerwartet auftretender Nebeneffekte – zu neuen Entwicklungsrichtungen und Funktionen. So stellt – mittlerweile ist dies fachlich fundiert und im Detail ergründet – auch der selbst hervorgebrachte Entwurfsverlauf einen evolutionären Prozess dar.

Jener auf Basis dieser theoretischen Beschäftigung eingeleitete, sowie mit dieser einhergehende Entwurfsprozess – welcher auch signifikant zum eigenen Verständnis beitrug – zeigt durch seinen eigendynamischen Verlauf über viele aufeinanderfolgende Stadien und unterschiedliche Entwicklungsrichtungen die ergründete Systematik anhand praktischer Beispiele.

In the course of the entire master's degree program, personal emphasis was placed on optimizing the personal approach in design processes regarding inventiveness. Thus, in the course of various drafting projects, a model-based open-experimental design method was developed whose potential for innovation could soon be recognized. Analyses of the theoretical fundamentals of such open-experimental processes were initially carried out with the aim to further specify and improve the applied design strategy and subsequently led to profound examination in this master's thesis.

It is not only the individual design method which is based on this strategy. An open-experimental approach can also be observed in several other fields, e.g. in biological evolution. Thus, trans-sectoral insights have become possible. Progress happens through bringing up new possibilities – variation – in combination with situation-related, causally or logically determined, direction-giving choosing – selection. Thus, the re-stabilization of selection criteria – regarding the design practice consistent realignment in goal-setting – is of great importance. This leads to new functions and directions of development emerging from the utilization of unexpected side-effects. It has become well-founded and affirmed by expert's assessment that even the personal course of action represents an evolutionary process.

The specific design process corresponding with this theoretical research has also significantly deepened personal understanding. Gathering momentum across many stages and directions of development illustrate identified principles on a practical level.

Vorwort	4
1 Grundlagen und Zustandekommen	8
1.1 Analyse der eigenen vorausgehenden Entwurfstheorie und -praxis	9
1.1.1 vorausgehende experimentelle Entwurfspraxis sowie thematisch relevante Studien	10
1.1.2 frühe entwurfstheoretische Überlegungen bzw. anfängliche Reflexion der eigenen Entwurfs- und Arbeitsmethodik	34
1.1.2.1 Wechselbeziehung aus Praxis und Theorie	36
1.1.2.2 Weiterentwicklungsprozess	37
1.1.2.3 Zielsetzung und Gedankenfindung	42
1.1.2.4 eigenes Denken und „Fremdwissen“	44
1.1.2.5 definierte Arbeitsmethodik und angedachte Anwendungsweise in dieser Arbeit	46
1.2 anfängliche Themensuche	48
1.2.1 Strukturen entwickelnde Bereiche	49
1.2.2 spezifische Aspekte sowie mögliche Überschneidungen	50
1.2.3 verbindende Aspekte und grundlegende Prinzipien	54
1.2.4 anfängliche Definition und vorläufige Umschließung der Thematik	55
1.3 fachlich unterstützter Erkenntnisprozess und Präzision der Thematik	56
1.3.1 anfängliche Literaturrecherche sowie einhergehende Bestätigung und „Legitimation“ der behandelten Thematik	57
1.3.1.1 thematische „Vorarbeit“ Frei Ottos	58
1.3.1.2 Einbindung erster system-, evolutions- und erkenntnistheoretischer Quellen	59
1.3.2 Einleitung des einhergehenden praktischen Entwurfsprozesses	62
1.3.3 weiterführende Überlegungen, frühe universitäre Kontaktaufnahme, Reflexion und Präzision der Thematik	63
1.3.4 vertiefende Quellenrecherche sowie abschließende Erkenntnisfindung	66
1.3.4.1 Einbindung der verallgemeinerten Evolutionstheorie	67
1.3.4.1 vorläufig abschließende Einbindung weiterer thematischer Anknüpfungspunkte	70
1.3.5 Institutionalisierung, universitäre Abgrenzung sowie fachliche Einbindung	72
2 einhergehender, offen-experimenteller Entwurfsprozess – die Praxis zur Theorie	74
2.1 The Art of Re-Creation	80
2.2 Immanent Elasticity	108
2.3 freie Weiterführung praktischer Studien	118
Ausblick, Quellenangaben und Nachwort	144

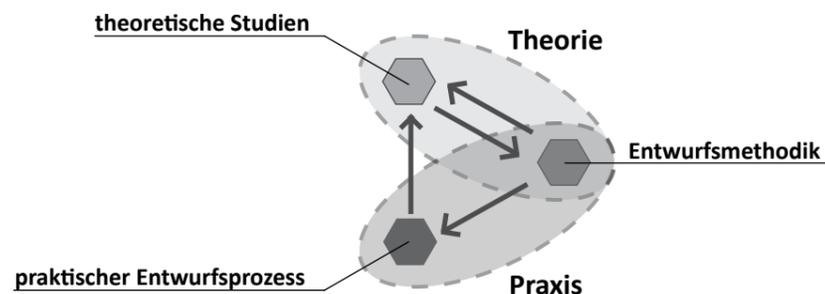
Vorwort

Einführung

Diese Arbeit geht einher mit der Entwicklung und Definition der eigenen Entwurfsmethodik, ihre Thematik bezieht sich auf die theoretischen Grundlagen der angewandten offen-experimentellen Vorgehensweise. So ist sie nicht über ein einzelnes Semester entstanden, sondern wurde über mehrere Jahre hinweg entwickelt. Umfassende theoretische Studien wurden dabei zuerst mit Blick auf diese Diplomarbeit behandelt, aufgrund der großen Menge an thematisch relevanter, sowie bereits erarbeiteter Information jedoch in weiterer Folge abgegrenzt. Sie sollen erst in einer folgenden Dissertation als deren Grundlage fachlich detailliert dargelegt werden. So bezieht sich die Thementausarbeitung speziell auch auf diese erst folgende universitäre Abhandlung. Bereits hier dargelegt wird zunächst die anfängliche Analyse vorausgehender theoretischer und praktischer Studien und jener diesen zugrundeliegenden, selbst entwickelten – nun genauer zu ergründenden und erneut anzuwendenden – Entwurfsmethodik. Aus den Überlegungen hierzu resultierte in weiterer Folge die eigene Erarbeitung der schließlich genau behandelten Thematik. So wird – um die gesamte Reichweite an theoretischen Studien in ihren Grundzügen bereits hier verständlich fassbar zu machen – auch der darauf folgende, fachlich unterstützte Erkenntnisprozess dargelegt.

Der abschließende Schwerpunkt dieser Diplomarbeit liegt auf dem einhergehenden praktischen Entwurfsprozess, wobei die Entwicklung der hierbei angewandten offen-experimentellen Vorgehensweise bereits im ersten Teil dieser Arbeit erörtert wird. Der Prozess wurde zunächst als direkte Folge anfänglicher theoretischer Studien eingeleitet, um neue strategische bzw. methodikbasierte Erkenntnisse in der Praxis anzuwenden. Jedoch stehen Entwurfsprozess und thematischer Erkenntnisprozess auch in weiterer Folge in ständiger Wechselwirkung. Neben der Überprüfung theoretisch vorweggenommener Aspekte, konnten neu auftretende Auffälligkeiten im praktischen Prozess diese Studien weiter vorantreiben und sind nicht zuletzt grundlegend für den abschließenden Erkenntnisstand. Im Zuge der Darlegung dieses einhergehenden praktischen Entwurfsprozesses wird anhand einer genauen Aufschlüsselung einzelner Entwicklungsschritte die zugrundeliegende evolutionäre Systematik auch anhand praktischer Beispiele begreifbar erläutert.

Wechselwirkungen zwischen Praxis und Theorie bzw. Entwurfsprozess, Entwurfsmethodik sowie theoretischen Studien.



Theorie

Über einen mehrjährigen Zeitraum bzw. auch im Zuge vorausgehender Arbeiten wurden zunächst – neben der Analyse und Weiterentwicklung der selbst angewandten offen-experimentellen Entwurfsmethodik – einige bereichsübergreifende Auffälligkeiten erkannt, welche auf Überschneidungen von Entwurfs- zu bau- und naturgeschichtlichen Entwicklungsprozessen verwiesen (Kap.1.1). So wurde durch deren gemeinsames Erfassen selbstständig zur allgemeinen, anfänglich noch schwer greifbaren Thematik der Entwicklung bzw. in späterer Folge der Evolution von Strukturen gelangt – jenen grundsätzlichen, all diese Bereiche umfassenden Entwicklungsprinzipien (Kap. 1.2). Im weiteren Verlauf konnte über Studien Frei Ottos, sowie über Ausführungen aus Systemtheorie, evolutionärer Erkenntnistheorie und verallgemeinerter Evolutionstheorie weiteres fachlich fundiertes Verständnis für diese grundlegende Systematik von Entwicklungsprozessen erlangt werden (Kap. 1.3).

So wurde die Erkenntnis erlangt und gefestigt, dass – neben der fachlich fundierten Annahme, dass dies für alle individuellen wie kollektiven technischen Entwurfsprozesse gilt – speziell jener mit der selbst angewandten offen-experimentellen Entwurfsmethodik hervorgebrachte Entwicklungsverlauf als evolutionärer Prozess zu betrachten ist. Die angewandte Vorgehensweise, aufgrund welcher diese evolutionäre Systematik besonders gut ersichtlich wird, zeigt enge Gemeinsamkeiten zu biologischen Entwicklungsprozessen. Beiderseits basiert die resultierende Eigendynamik auf denselben Grundlagen – wodurch auch bereichsübergreifend Erkenntnisse zu erlangen sind.

Praxis

Der praktische Teil der Arbeit – auch ohne das Miteinbeziehen der anfänglich dargelegten vorausgehenden Entwurfsprojekte – bzw. jener parallel zur Ergründung theoretischer Zusammenhänge entstandene sowie mit dieser einhergehende Entwurfsprozess erstreckt sich ebenfalls über einen Zeitraum von mehreren Jahren.

Ergebnis dieses praktischen Entwicklungsverlaufs ist eine Abfolge vieler in Form von Modellen realisierter Formwandlungsprozesse und Faltmechanismen bzw. materialisierter dynamischer Konstruktionen mit diversen statischen Ausformungen und der Möglichkeit unterschiedlich elastisch wirksamer Transformationen.

Aufbauend auf bereits zuvor entworfene Grundlagen, wurde der Prozess – speziell für die praktische Erprobung der in dieser Arbeit ergründeten und weiterentwickelten Methodik – im Zuge einer universitären Lehrveranstaltung eingeleitet (Kap. 2.1 „The Art of Re-Creation“, Institut für Architekturtheorie, WS 2013/14). In der Folge wurde die Entwicklung im Zuge einer Kooperation mit soma architecture für eine Ausstellung am Museum für angewandte Kunst Wien aufgegriffen und weitergeführt (Kap. 2.2 „Immanent Elasticity“, MAK 2014), um diese schließlich wiederum selbstständig und mit Bezug auf diese Arbeit fortzusetzen und auszuweiten (Kap. 2.3).

Der sich überwiegend eigendynamisch fortsetzende Prozessverlauf ist dabei – resultierend aus der angewandten offen-experimentellen Methodik – geprägt von Richtungsänderungen sowie dem spontanen Eröffnen neuer Entwicklungslinien – durch das kontinuierliche Aufwerfen, Erkennen und Verfolgen, sowie funktional nutzbar Machen zunächst unerwartet auftretender Nebeneffekte bzw. durch vielmalige Änderung der Zielvorgaben und einhergehende De- bzw. Restabilisierung der wirkenden Selektionskräfte.

Für die Ergründung theoretischer Zusammenhänge stellte sich dieser praktische Prozess als unerlässlich heraus. Auch aus diesem Grund sollen neben theoretischen auch konstruktive Untersuchungen – ebenfalls im Zuge der folgenden universitären Studien – weitergeführt und erweitert werden, insbesondere mit Fokus auf verstärkte interdisziplinäre Kooperation sowie auf eine Ausweitung des behandelten konstruktiven Spektrums (Ausblick Seiten 144 bis 145).

In bewusstem Kontrast zur landläufigen Auffassung der Divergenz von Praxis und Theorie betont diese Arbeit deren Korrelation. Behandelt werden sowohl praktische Entwürfe als auch die dabei angewandte Methodik sowie deren theoretische Grundlagen. Speziell für das Zustandekommen dieser Arbeit ist die wiederholte Wechselwirkung zwischen praktischen Ausführungen und theoretischen Studien zentral: Die anfängliche Erörterung theoretischer Grundlagen der Methodik führte zunächst zur hier verfolgten Thematik. In weiterer Folge hatten neue theoretisch erlangte Erkenntnisse durch deren strategische Anwendung wiederum Auswirkungen auf den erarbeiteten praktischen Entwurfsprozess. Schließlich konnte die Analyse des resultierenden praktischen Entwicklungsverlaufs erneut zur Aufschlüsselung theoretischer Zusammenhänge beitragen.

Der eigene Entwurfsprozess bzw. die Entwicklung der offen-experimentellen Methodik wird zunächst ab den Anfängen ihrer Anwendung gegen Ende des Bachelorstudiums dargelegt. Auch die Erörterung ihrer theoretischen Grundlagen bzw. die mit Blick auf diese Diplomarbeit vollzogene Entwicklung der Thematik, wird von den ersten ihr zugrundeliegenden Überlegungen bis zum abschließenden Erkenntnisstand erörtert. Schließlich wird der bereits mit weitgehend fundiertem Verständnis eingeleitete und in weiterer Folge mit theoretischen Studien in ständiger Wechselwirkung einhergehende Entwurfsprozess ebenfalls bis zum vorläufig abschließenden Stand dargelegt.

Evolution wird durch diese Beschäftigung nicht mehr als rein passives Geschehen betrachtet. Die Vielfalt an Gestalten wird durch eigene – ebenfalls evolutionäre – Struktursuche aktiv vorangetrieben. „Evolving Structures“ hatte sich so als übergeordnete Thematik der eigenen theoretischen sowie praktischer Studien gefestigt.

Überblick

Entwurfsmethodik

Ausgangspunkt dieser Arbeit ist das reflektierende Analysieren des eigenen vorausgehenden konstruktiven Entwurfsprozesses bzw. der eigenen Arbeitsweise. Effizienz und Potential der angewendeten (offen)-experimentellen Methodik wurden durch gemachte und hier erörterte Erfahrungen bereits im Vorfeld bestätigt. Bereits über einen längeren Zeitraum erarbeite ich Konstruktionen *projektübergreifend*, wie es statische bzw. dynamische oder funktionale Anforderungen verlangen oder ermöglichen – oft *ohne konkretes Ziel*. Funktionalitäten werden dabei durch das fortlaufende Aufwerfen teils unerwarteter Möglichkeiten *gefunden*, meist *ohne* direkt nach diesen *gesucht* zu haben, bzw. ohne geradlinig auf ihre Lösung hinzuarbeiten. Durch ständiges Weiterentwickeln dieser auf *Eigendynamik im Entwicklungsverlauf* basierenden Methodik – sie wird nicht in ihrer jeweiligen Anwendungsweise dauerhaft festgelegt – soll ein laufendes „Verfeinern“ gewährleistet werden. Durch die genaue theoretische Erörterung im Zuge dieser Arbeit bzw. durch das Bewusstwerden grundlegender Zusammenhänge, wurde eine solche Optimierung und Präzisierung – ersichtlich im einhergehenden Entwurfsprozess – auch bereits erreicht.

Themenentwicklung

Erste Ansatzpunkte theoretischer Studien gründen auf der eigenen Vorgehensweise, möglichst alle „spontan“ auftretenden Einfälle und möglicherweise relevante Gedanken konsequent festzuhalten und in weiterer Folge zu reflektieren. Auch sollte die Erarbeitung einer Thematik nach eigener Erfahrung – ob konstruktiver oder rein theoretischer Natur – vor der Zuhilfenahme von externen Quellen aus dem eigenen Verständnis heraus erfolgen, um so einen eigenen Zugang zu gewährleisten. Für ein fachlich fundierteres Verständnis ist die Zuhilfenahme von fremden Meinungen natürlich unerlässlich. So kam es dazu, dass mehrere auf die weitere eigene Tätigkeit bezogene Aspekte zu einer „Konzentration“ dieser eigenen Gedankensuche führten – welche in weiterer Folge jedoch eher ausweitenden Charakter zeigte, ehe sich Aspekte zu einer Thematik formierten und so wiederum eingegrenzt werden konnten.

Bevor ich mich auf einen einzelnen Ausschnitt konzentriere, will ich über die Reichweite der Thematik, in welcher ich mich bewege, Bescheid wissen, um später – mit Überblick – Details besser verstehen zu können. Es war also erforderlich, die grundlegende Frage „Was mache ich hier eigentlich?“ zu beantworten bzw. die Grundlagen des eigenen Schaffensprozesses zu ergründen.

Entwicklung von Strukturen

Die Antwort „Ich entwickle bzw. suche nach Strukturen“ schien aus der aktiven Ansicht wohl richtig, jedoch handelt es sich dabei um einen Prozess mit resultierender und zu ergründender Eigendynamik. Des Weiteren ist auch dieser wiederum in andere, ebenfalls eigendynamische Prozesse eingebunden – und auch in anderen Prozessen werden Strukturen weiterentwickelt.

So traten etwa bei vorausgehenden Untersuchungen zu individuellen sowie kollektiven bzw. gesellschaftlichen/traditionellen technischen Entwicklungsprozessen diverse Auffälligkeiten zu Tage. Bereichsübergreifende Ähnlichkeiten, Analogien bzw. Konvergenzen wurden ersichtlich, auch von eigenen Entwürfen zu Ergebnissen anderer Bereiche – jedoch nicht nur zu technischen, sondern auch zu biologischen Konstruktionen. Auch diese Strukturen durchlaufen einen Entwicklungsprozess. Was aber sind die genauen Ursachen dafür, dass in unterschiedlichen Bereichen so ähnliche Ergebnisse erlangt werden? Wie ist meine Stellung dazu? Wie verhält sich das eigene Entwerfen bzw. das diesem zugrundeliegende eigene Denken zur – zunächst eher passiv scheinenden – Weiterentwicklung von Bau Traditionen, Tier- und Pflanzenarten? Gibt es allgemeingültige Prinzipien?

Das eigene Verständnis nach der anfänglichen Analyse geht mit der Hypothese einher, dass all diese Bereiche zusammenhängen und überdies auch vergleichbaren Entwicklungsprinzipien folgen. Etwa ist dabei die Vorgehensweise stets geprägt vom fortlaufenden – mehr oder weniger zufälligen – *Generieren neuer Möglichkeiten*, in *Wechselwirkung* mit situationsbedingt – rational oder kausal – gefolgerter *Feedback*. Bei der anschließenden fachlichen Recherche wurden gemachte Schlussfolgerungen bestätigt und ergänzt, anfängliche Fragestellungen beantwortet. Eigene Überlegungen konnten mit bestehenden Erkenntnissen abgeglichen und so weiterentwickelt werden. Die Wichtigkeit der behandelten Thematik wurde sogar hervorgehoben – auch speziell für den Bereich der Architektur.

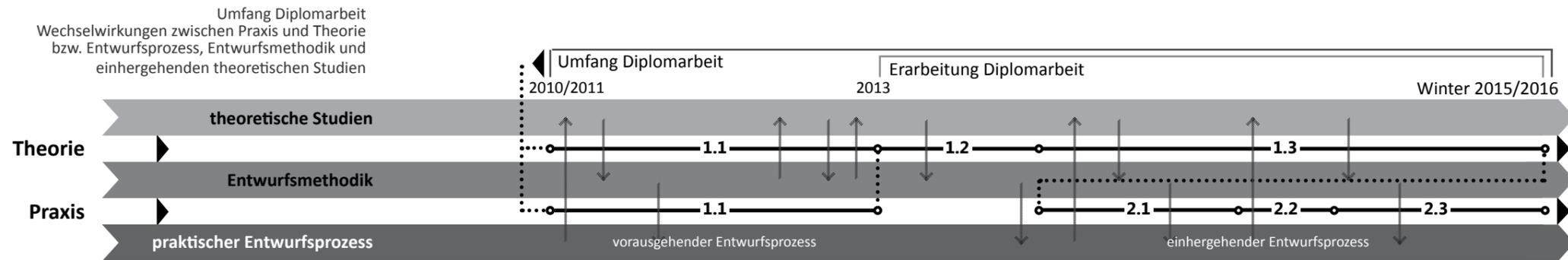
fachliche Einbindung

Tatsächlich sind alle behandelten Bereiche *evolutionäre Systeme*, welche des Weiteren ineinander einzugliedern sind bzw. auseinander hervorgehen und gegenseitig wechselwirken. Speziell durch die vertiefende Befassung mit evolutionärer Erkenntnistheorie und verallgemeinerter Evolutionstheorie konnte hierfür fundiertes Verständnis erlangt werden. Schon biologische Evolution stellt eine

Art Lernprozess bzw. einen Kreislauf aus Erwartung und Erfahrung dar – basierend auf der Anhäufung und Weiterentwicklung genetischer Information. Jedoch stützt sich komplexes Leben aufgrund der von Organismen zu verarbeitenden Informationsmenge auch auf individuelle Lernprozesse. Auf dieser *individuellen kognitiven Evolution* basieren schließlich auch kollektive Erkenntnisprozesse bzw. *kulturelle*, sowie auf deren Grundlage auch unsere *technologische Evolution* – also sowohl Baugeschichte als auch Wissenschaft. Alle Neuerungen entstammen hier jedoch individuellen Erkenntnisprozessen, wie etwa jenem mit dem eigenen Entwurfsprozess einhergehenden.

Die evolutionäre Systematik wird anhand des Verlaufs eigener praktischer Studien sowie der dabei angewandten und im Zuge dieser Arbeit ergründeten offen-experimentellen Methodik besonders gut ersichtlich.

Offene Zielsetzung resultiert dabei in der Restabilisierung der wirkenden Selektionskräfte und im Verfolgen neuer Entwicklungsrichtungen. So kann das dadurch ermöglichte nutzbar Machen unerwarteter auftretender Nebenefekte zu neuen Funktionen und innovativen Lösungen führen.



1 Grundlagen & Zustandekommen

1.1 Analyse der eigenen vorausgehenden Entwurfstheorie und -praxis

Die selbst angewandte praktische Entwurfsmethodik wurde schon vor der intensiven Beschäftigung im Zuge dieser Diplomarbeit stets analysiert, bereits soweit klar dargelegt und sollte durch eine weitreichende Ergründung ihrer theoretischen Grundlagen bzw. eine wissenschaftliche Auseinandersetzung weiter optimiert werden. Aus diesen Überlegungen ergab sich bald eine fachlich bzw. universitär zu behandelnde Thematik, auch diese wurde erst grob definiert und in der Folge laufend präzisiert. In diesem theoretischen Teil der Diplomarbeit werden die anfängliche Theorie- und Themenentwicklung sowie der anschließend folgende vertiefende Erkenntnisprozess dargelegt. Der im nächsten Kapitel behandelte einhergehende praktische Entwurfsprozess steht in direkter Wechselwirkung mit dieser sich entwickelnden Thematik. Die hierzu erarbeiteten weitreichenderen theoretischen Ausführungen sollen einer angedachten – an diese Arbeit anschließenden – Dissertation als Grundlage dienen und auch erst in dieser dargelegt werden.

Jene ersten Überlegungen und Aspekte, welche sich im Laufe der Zeit zu einer greifbaren und später gefestigten Thematik formierten, reichen mittlerweile einige Jahre zurück. Sowohl im Zuge von universitären theoretischen Abhandlungen, als auch bei der Analyse der eigenen – anfänglich noch nicht so bezeichneten – offen-experimentellen Entwurfsmethodik ergaben sich oft Auffälligkeiten und Überschneidungen bzw. Analogien in Bezug auf die grundlegenden Entwicklungsprozesse von Strukturen, welche aus unterschiedlichen Bereichen bzw. Systemen hervorgehen – natur- und baugeschichtlichen Entwicklungs-, sowie individuellen Entwurfsprozessen. (Kap. 1.1)

Diese genauer zu erörternden Aspekte wurden zunächst dargelegt und anhand sich ergebender Zusammenhänge analysiert, um die sich herausbildende Thematik so – noch vor der Zuhilfenahme von externem Fachwissen – nach eigenem Verständnis „umschließen“ zu können. (Kap.1.2)

Mit beginnender und schließlich vertiefender Quellenrecherche sowie dem damit verbundenen Erkenntnisprozess entwickelte sich die Thematik – und damit einhergehend auch die praktische Methodik – nochmals weiter und wurde präzisiert. So ist in den Anfängen dieser Arbeit – auch mangels fundierter Kenntnis über die genauen Prozessabläufe – in Bezug auf Entwurfsprozesse noch nicht von „Evolution“ die Rede. Die Frage nach der Anwendbarkeit dieses Begriffes stellte sich jedoch bald und wurde später bestätigt, bis schließlich die Systematik dieser evolutionären Prozesse selbst detailliert erfasst werden konnte. (Kap. 1.3)

Dieser subjektive Erkenntnisprozess veranschaulicht den eigenen Zugang zu dieser durchaus komplexen Thematik. Des Weiteren können theoretische Aspekte so – ohne ihre (hier dennoch erörterte) thematisch stimmige Strukturierung – weitgehend in ihrer Gesamtheit dargelegt werden.

Entwicklung der Methodik

Mit fortlaufender konstruktiv-kreativer Tätigkeit sowie dem tiefgreifenderem Erfassen und Darlegen der theoretischen Zusammenhänge – auch in Verbindung mit mehreren theoretischen Arbeiten – wurde die eigene Arbeitsweise zu einer definierten Entwurfsmethodik weiterentwickelt. Grundlegend hierfür ist auch die seit einigen Jahren möglichst konsequent praktizierte Dokumentation von potentiell relevanten Gedanken. Die so laufend weiterentwickelte und optimierte Vorgehensweise sollte neben praktischen auch bei theoretischen Studien zur Anwendung kommen.

Eigendynamik im Prozess

So wird etwa der eigene Entwurfsprozess schon lange in seiner Gesamtheit als fortlaufender sowie aufbauender bzw. voranschreitender (später „kumulativer“ bzw. Informationen anhäufender) Prozess erkannt. Entwicklungen für einzelne Projekte werden bewusst auch an anderer Stelle angewandt bzw. mit Voraussicht auch nicht nur für dieses eine Projekt entworfen (Stützen auf einen individuellen Erwartungs-Erfahrungskreislauf). Wegen der gemachten Erfahrung wurde bald versucht, vorwiegend weder zu beschreibende Wege, noch zu erreichende Ziele vorwegzunehmen bzw. im Vorhinein festzusetzen. Diese resultieren aus dem Prozess selbst bzw. aus der Eigendynamik, wel-

che sich aus fortlaufend situationsbedingt gefolgerten Schritten und dem kontinuierlichen Folgen von sich eröffnenden Möglichkeiten ergibt.

Die Anfänge dieser spezialisierteren freien Struktursuche – die eigentlichen Ursprünge sind nicht gänzlich zurückzuverfolgen – und zugleich auch der Beginn der zugehörigen theoretischen, zu dieser Arbeit führenden Überlegungen, liegen am Ende des Bachelorstudiums, als mit der Entwicklung einer Tensegrity-ähnlichen Struktur das eigene Interesse an der (offen-)experimentellen Entwurfsmethodik geweckt wurde.

Die „Vereinigung“ von Theorie und Praxis bzw. die vorausgehende Erörterung und Artikulierung von theoretischen Grundlagen der eigenen – nun bewusst systematisierten – Methodik der Strukturentwicklung geschah schließlich im Zuge einer universitären Arbeit. Das eigene Anliegen bestand darin, durch umfassende und ausweitende theoretische Überlegungen zu einer Reihe praktischer sowie funktionaler Ergebnisse zu gelangen – wiederum ohne Vorwegnahme von Zielen sowie durch „systematisiertes Querdenken“, hier über die jeweiligen Eigenheiten von Strukturen in Bezug auf deren Krümmung. Stets stützt sich die Methodik auf die fortlaufende Materialisierung und experimentelle Überprüfung theoretisch erlangter Erkenntnisse – auch als Quelle für die weitere Ideenfindung.

Theorie

Das Thema der Logik bzw. „Natürlichkeit“ von Strukturen, bzw. speziell die Logik und Folgerichtigkeit der strukturellen Entstehungs- und Weiterentwicklungsprozesse von Konstruktionen zieht sich durch die gesamte zweite Studiehälfte. Dieses ist sowohl für die eigene experimentelle Entwurfsmethodik, als auch in vorwiegend theoretischen Abhandlungen relevant bzw. grundlegend und wird spätestens seit den abschließenden – praktischen wie theoretischen – Arbeiten fürs Bachelorstudium als wesentlich erachtet.

Bereits universitär behandelt wurden so neben technischen Entwicklungen in gesellschaftlichen bzw. traditionellen und geschichtlichen Zusammenhängen, sowie neben individuellen Entwicklungsprozessen einzelner Entwerfer bzw. Architekten – wiederum mit deren Einfluss auf Tradition und Geschichte – auch biologische Entwicklungsprozesse. Eine gewisse „Vorreiterrolle“ Frei Ottos in diesem übergreifenden Fachgebiet wurde dabei zwar vernommen, beschränkte sich zunächst jedoch auf allgemein verbreitete und wenig tiefgreifende Aspekte. Erst später wurde die eigentliche Reichweite und Relevanz seiner Überlegungen für eigene theoretische Studien erkannt.

vorausgehende theoretische Studien

experimentelle Entwurfspraxis

entwurfstheoretische Überlegungen

1.1.1 vorausgehende experimentelle Entwurfspraxis sowie thematisch relevante Studien

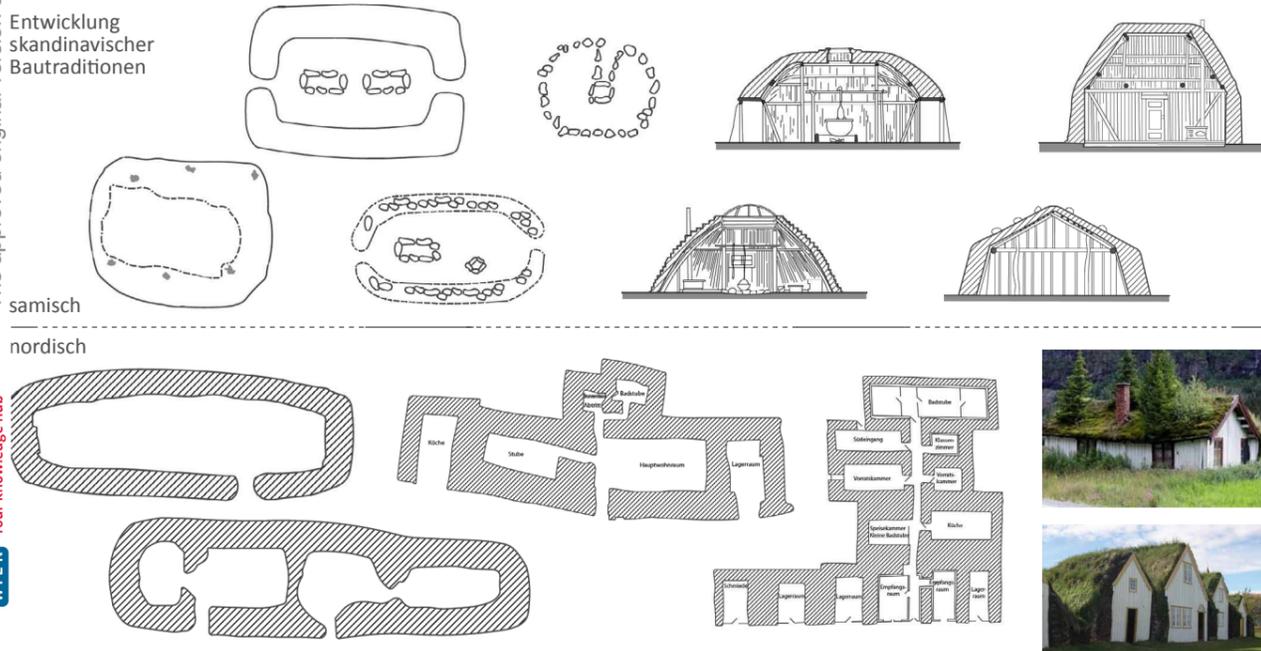
WS 2010/2011 – Bachelorarbeit „Torfbau – die Torfbautraditionen Skandinaviens“

baugeschichtliche Entwicklungsprozesse

Im Zuge der Bachelorarbeit wurde der Entwicklungsprozess skandinavischer Torfbauweisen über eine 10.000-jährige Zeitspanne zurückverfolgt, wobei Entwicklungen und Interaktionen der Bauweisen und Gesellschaften erörtert wurden. Auffälligster Aspekt ist wohl die direkte *Angepasstheit* von Bautechniken an lokal verfügbare *Ressourcen* (Fjällbirken, Torf), aber auch etwa die fast unmittelbare *Anpassung* von Bauweisen bei einer *Änderung klimatischer* oder *gesellschaftlich-funktionaler* Bedingungen. Andere, hier ebenfalls relevante Aspekte sind die Eroberung von *neuem Lebensraum*, die *Aufspaltung* einzelner Gesellschaften und Traditionen, sowie die *Interaktion* zwischen unterschiedlichen Kulturen. Hier findet eine gegenseitige *Übernahme* bzw. ein *Austausch* von Tech-

niken statt, also neben *Auftrennungen* auch *Wiedervereinigungen* traditioneller Entwicklungslinien. Einzelne Traditionen können *Austerben*, während manche Aspekte trotzdem in anderen aufgehen und so fortbestehen. Noch heute sind Torfdächer fester Bestandteil skandinavischer Hausbautradition, welche wiederum als *Vorgänger* moderner Dachbegrünungen angesehen wird. Daraus ergeben sich auch die relevanten Aspekte *Informationserhaltung* und *Informationsverlust* – Techniken gehen verloren, Rekonstruktionen sind schwierig – *Dokumentation* wird umso wichtiger. Des Weiteren ist etwa auffällig, dass auch *getrennt* voneinander entstandene Bauweisen eine *große Ähnlichkeit* aufweisen können (*Konvergenz*) – auch ohne das Bestehen einer direkten „Verwandtschaft“.

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



konstruktives Entwerfen

Nach längerer Zeit ohne Entwurfsprojekt wurde aus der Motivation heraus, mich wieder konstruktiven Fragen zu widmen, das Wahlfach „Statik-Anwendungen“ (Vinzenz Sedlak, ITI) belegt. Ein bei der Einführung gezeigtes Foto einer hängenden bzw. eingespannten Stütze einer Tensegrity-Struktur sollte den eigenen Prozess nachhaltig beeinflussen. Die Erkenntnis, eine Stütze müsse auftretende Kräfte nicht zwingend direkt auf andere Stützen überleiten – Druckkräfte können auch umgewandelt als Zugkräfte weitergegeben werden – schien so überraschend neu wie selbstverständlich.



Detailansicht eingespannte Stütze

SS 2011 – Statik-Anwendungen

„Ein nicht begehbarer Turm für die Seestadt Aspern“

Turmgeometrie

Ein „in die Höhe“-Bauen ohne weitere Funktion – war als Aufgabe gestellt. Das Prinzip einer eingespannten Stütze wurde als Grundlage genommen, um – erst gedanklich bzw. grafisch – das selbe Prinzip wiederholt, flächig und auf mehreren Ebenen anzuwenden. Zuerst waren Stützen noch als zu Bögen vorgespannt angedacht – eine später nicht weiter durchdachte Annahme zur Stabilisierung. In der Folge wurde der zusammenhängende Strukturentwurf als Gesamtes gekrümmt, um so positiv auf die Stabilität einzuwirken. Auch eine exponentielle Längensteigerung – für mehr Höhenentwicklung – wurde bald angedacht. Beim Krümmen der Struktur sollte sich dieser Schritt auch positiv auf die Regelmäßigkeit der Proportionen auswirken, Felder werden im Verlauf sowohl länger, als auch breiter. Um das Prinzip zu überprüfen, wurde als Testmodell ein einzelnes frei hängendes Feld, also 3 hängende Stützen auf zwei Ebenen realisiert. Auch andere Konstruktionssysteme bzw. -entwürfe wurden angedacht, jedoch wurde

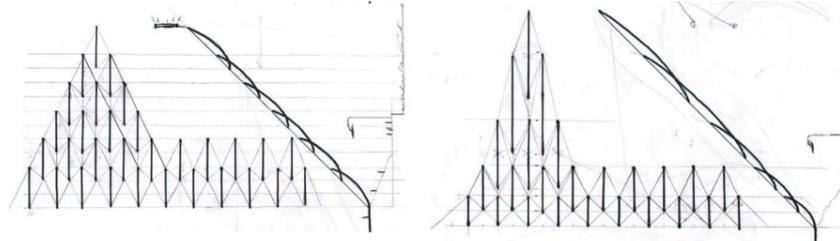
übereingestimmt, die begonnenen Versuche fortzuführen. Das System wurde in der Folge als Großstruktur realisiert – aufgebaut aus 5 übereinanderliegenden Ebenen. Anfangs wurde – für eine bessere Stabilisierung und Baubarkeit – die Struktur mit zusätzlichen Abspannseilen gefertigt. Ergebnis war eine überaus stabile Konstruktion. Die zusätzlichen Spannvorrichtungen schienen jedoch möglicherweise verzichtbar zu sein, was sogleich am Modell getestet wurde. Die resultierende Konstruktion steht zwar; genauer betrachtet zeigt sich jedoch, dass sie sich durch ihre Krümmung in eine Richtung weit stabiler verhält – in die andere jedoch nur durch ihr Eigengewicht stabilisiert wird. Im Fall von auftretenden Horizontalkräften wie Windlasten, gibt es in diese Richtung also quasi keinen Widerstand und große Verformung. Der Entwurf ist dabei geblieben – eigentlich müsste die Struktur jedoch zusätzlich gespiegelt werden, die einzelnen Stabilitäten der beiden gekrümmten Flächen würden sich so ausgleichen bzw. ergänzen.

Tensegrity-Turm Vorderansicht

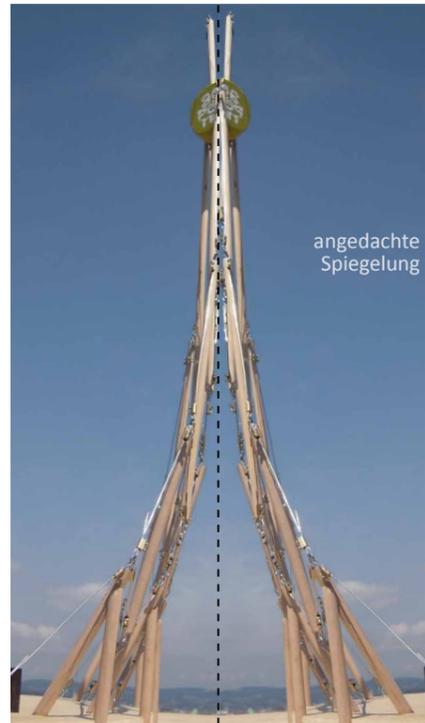


Seitenansicht





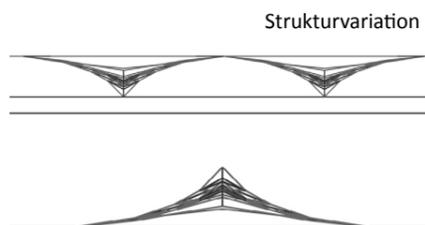
Tensegrity-Turm mit Abspannungen



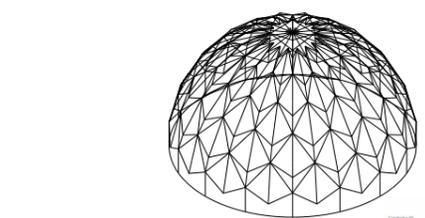
angedachte Spiegelung



Endstand Modell



Strukturvariation



Strukturvariationen

Parallel zur Turmgeometrie wurden auch andere – möglicherweise zu realisierende – Strukturvariationen dieser Konstruktionsweise überlegt; von gespannten Flächen-tragwerken über größere Ausschnitte von Rotationsflächen bis hin zu ganzen Kuppeln.

schrittweise von instabiler zu stabilisierter Konstruktion

Im Gegensatz zu den Entstehungsprozessen und der angewandten Methodik bei noch älteren (hier nicht behandelten) Entwürfen, wurde – statisch gesehen – von einer eher „unsinnigen“ Konstruktion bzw. einer selbst er- jedoch nur mehr oder weniger durchdachten Struktur mit selbst nicht stabilen Einzelverbindungen ausgegangen. Eine logische Anordnung einzelner Elemente dient dabei trotz auftretender Instabilitäten als Grundlage, sie wird erst in weiterer Folge durch schrittweises Überlegen, Variieren und Ausprobieren bzw. Experimentieren den statischen sowie funktionalen Anforderungen entsprechend optimiert.

Änderung der zugrundeliegenden konstruktiven Logik

Verändernde Entwicklungsschritte beziehen sich auf die grundlegende Logik hinter der gesamten Struktur – einzelne Änderungen wirken sich auf die Gesamtheit aus – „gespielt“ wird also nicht nur am Objekt selbst, sondern an seinen Ordnungsprinzipien.

Ein solcher „Schritt ins Ungewisse“ schien das richtige bzw. zumindest nicht das falsche Rezept zu sein – und verglichen mit zuvor angewandten Vorgehensweisen persönlich auch das reizvollere.

„Schritt ins Ungewisse“



SS 2011 – Seminararbeit

„Eero Saarinen – Die Suche nach Form“

neue logische Formen

Im Zuge einer Seminararbeit (251.115 Ideen und Konzepte der Architektur) sollte man sich mit dem Werk eines – etwa aus einer vorliegenden Liste oder aber frei gewählten – amerikanischen Architekten genauer befassen. Nach einer schnellen Recherche wurde entschieden, über Eero Saarinen zu schreiben – von ihm geschaffenes schien interessant, anders, unkonventionell.

kein einheitlicher Stil

Saarinen war ständig auf der Suche nach neuen – strukturell logisch gefolgerten – Formen bzw. Konstruktionen. Was andere kritisierten – das Fehlen eines einheitlichen Stils in seiner Bauweise – schien für Saarinen selbstverständlich: Alles müsse anders sein, schon alleine, weil jede Aufgabe andere Anforderungen stellt.

individueller Prozess

Er wusste über die Weiterentwicklung im eigenen Schaffensprozess Bescheid: Frühe Bauten erschienen ihm bald als „klobig“, später adaptierte er anhand neuer Erkenntnisse seine Vorgehensweise. Auch im Entwurfsprozess einzelner Bauten versuchte er, die Konstruktion stetig strukturell zu optimieren; war ständig auf der Suche nach noch besseren, noch stimmigeren Lösungen.

Auch „psychologische“ Aspekte sind flossen in seine Entwürfe ein, So lag das Auge später oft auf dem Aus- bzw. dem Eindruck seiner realisierten Gebäude – wie diese auf den Besucher wirken.

Er erkannte die positiven Aspekte von Interdisziplinarität und forcierte die Anwendung neuer Techniken – so bemerkte er etwa, dass der jeweilige technologischer Fortschritt in der Regel erst mit Verspätung Einzug in den Bereich der Architektur findet.

gesellschaftlicher Einfluss

So wurden auch hier wiederum gesellschaftliche – auch stilistische – Entwicklungen behandelt; speziell jene in der „2. Hälfte der Moderne“, jener Zeit, als die neue Architektur aus den alten – oft auf die Grundform des Rechtecks reduzierten – Formvorstellungen ausbricht und den strukturellen Ansprüchen an das moderne Bauen erst beginnt gerecht zu werden.

Saarinens kurze Wirkungsdauer bringt große Vielfalt und fällt direkt mit dieser Ausweitung des modernen Formverständnisses in der Architektur zusammen. In der Folge führt sein Wirken – die weitere Öffnung der Architektur für neue Formen – die Entwicklung jedoch nicht direkt zu größerer Vielfalt an strukturell logisch gefolgter, sondern zu mehr semantisch aufgeladener Struktur – zwei der drei Hauptinitiatoren der Postmoderne waren Schüler von Eero Saarinen.

Logik im Entwicklungsprozess

Von hier an sehe ich das „Moderne“ an der gegenwärtigen Architektur nicht in bestimmten stilistischen bzw. formalen Aspekten, sondern in der Logik des Entwicklungsprozesses – strukturell, als auch funktional logisches bzw. sinnvolles Bauen. Unterschiedliche Aufgaben bedürfen unterschiedlicher Vorgehensweisen, das Argument „weil man es eben so macht“ gilt nicht. Dies führte zur endgültigen Befreiung von den „Zwängen“, so zu bauen, „wie eben gebaut wird“ bzw. von strikten Formvorstellungen auszugehen. Früh wurde erkannt, dass die für einen Bau zu behandelnden Fragen wohl nie als Gesamtheit bzw. bis ins letzte Detail geklärt werden können – müssen sie auch nicht, und es braucht auch kein „so tun als ob“. Die entstandene Skepsis über die persönliche Sinnhaftigkeit des Architekturstudiums – bzw. über das architektonische Schaffen selbst – wurde dadurch aufgelöst. Von vorherrschenden Meinungen entbundenes Entwerfen, sowie Fokussierung bzw. Vertiefung auf einen eigenen Prozess ist ein legitimer Weg und – im Gegensatz zur Orientierung an vorherrschenden Formvorstellungen – eher mit dem eigenen Denken und Schaffen vereinbar. Diese Einsicht kam gerade zur rechten Zeit und fällt zusammen mit dem Übergang zum Master-Studiengang.

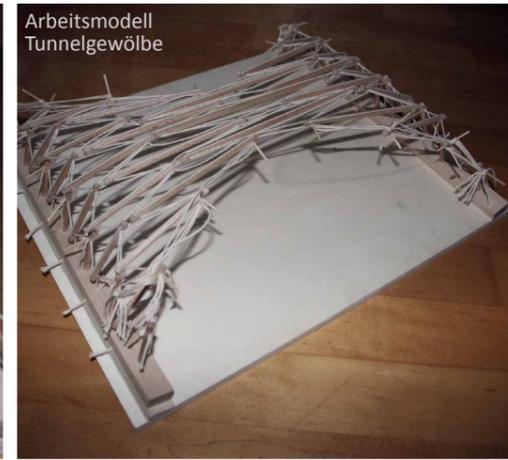
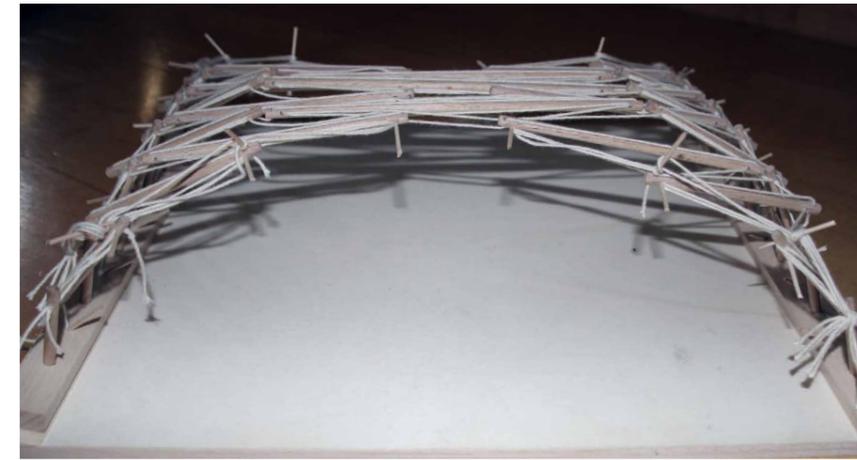
keine Vorwegnahme strikter Formvorstellungen

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



projektübergreifende Weiterentwicklung

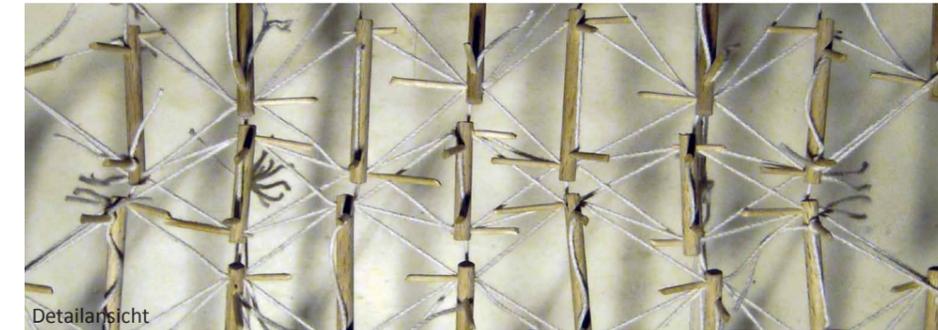
Die folgenden praktischen Entwurfsprojekte können nicht nur getrennt betrachtet werden: Zuerst wurde am zuvor entworfenen Tensegrity-Prinzip weitergearbeitet. Später wurde – mit ähnlicher Methodik sowie Anwendung einiger zuvor erlangter Erkenntnisse – mehr und mehr ein Ausweiten des behandelten konstruktiven „Spektrums“ angestrebt. Bei den drei großen Entwurfsprojekten wurde jeweils mit vorhandener – ursprünglich außeruniversitär entworfener – Grundlage begonnen; jedoch wurde das Konstruktionssystem nur das erste Mal beibehalten, ansonsten wurde der Strukturentwurf jeweils von Neuem eingeleitet. Die Anwendung einer experimentellen bzw. modellbasierten Entwurfsmethodik geschah bei all diesen Projekten ausschließlich nach eigenem Ermessen und nicht aufgrund universitärer Vorgaben. Die daraus resultierenden Ergebnisse sollten die Richtigkeit dieser Wahl durchgehend bestätigen.



Arbeitsmodell Tunnelgewölbe

Tonnengewölbe

Wieder war ein universitäres Entwurfsprojekt „fällig“; die Wahl fiel dabei auf einen Pavillonentwurf (EXPO 2015, ITI WS 2011/12). Bereits vor Beginn wurde angefragt, ob an der zuvor entworfenen Struktur weitergearbeitet werden könne.



Detailansicht

Anpassung an räumliche Gegebenheiten

Behandelt wurde diese in der Folge jedoch nicht direkt als Kuppelform – der resultierende Raum war für die Anforderungen der zu bebauenden Fläche nicht ideal. Länglichere Bauformen schienen funktional attraktiver, so wurde das Prinzip zu einer Art „Tonnengewölbe“ umgewandelt. Die realisierten Modelle wurden zuerst als einfaches Netz gebaut, dann als Hängestruktur fixiert und in der Folge umgedreht. Einzelne Elemente wurden wiederum nicht gleichmäßig, sondern zunächst exponentiell steigend dimensioniert. Die Stabilität des ersten Versuchs lässt etwas zu wünschen übrig – das grundlegende Prinzip sollte aber dennoch funktionieren.

Adaption zur Stabilisierung

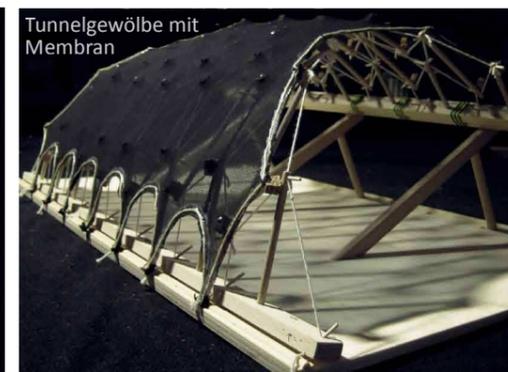
Im folgenden Schritt wurde die Größenentwicklung der Ebenen umgedreht – je weiter oben, desto kürzer. Bei gleichbleibender Winkeländerung ergibt sich so eine statisch effektivere Form – dies wurde wiederum am Modell getestet. Nachdem ersichtlich wurde, dass der Verformung durch Horizontallasten zusätzlich entgegengewirkt werden sollte, wurden Verspannungen hinzugefügt, welche die Struktur an mehreren Stellen unterspannen. Später wurde das Modell einseitig gekürzt und so an die Ausführung im Pavillonentwurf angepasst.

Kombination mit Membran

Um die Möglichkeit der Kombination mit einer Hüllfläche zu testen, wurde am Modell schließlich ein gespanntes, feinmaschiges elastisches Netz angebracht. Nach dem Entwurf sollte diese Membran nicht als zusätzliche Ebene realisiert werden, sondern mit Kanälen für Zugverspannungen ebenfalls in den Querschnitt der linearen Druckelemente integriert sein. Der Instabilität durch die einfache Krümmung könnte anstatt durch Unterspannungen auch durch ein „Ausdrehen“ der Eckpunkte entgegengewirkt werden. So wurde der Strukturentwurf zu einer aus kombinierten Rotationsflächen resultierenden, doppelt gekrümmten Fläche umgestaltet. Diese wurde jedoch (noch) nicht als Modell realisiert.



Tunnelgewölbe mit Unterspannungen



Tunnelgewölbe mit Membran

Modul „Logik der Struktur“

Schon durch die Arbeiten gegen Ende des Bachelor-Studiums hatte ich mir einige Gedanken über die Logik und „Natürlichkeit“ von Strukturen bzw. Konstruktionen gemacht. Bei der Modulauswahl schien es daher naheliegend, dass die Entscheidung auf das Modul „Logik der Struktur“ des ITI (Institut für Tragwerkslehre) fällt.

Effizienz von Tragwerken in Natur und Technik

Die „vielversprechendste“ und schließlich – auch wegen der eigenen Vertiefung – „nachhaltigste“ Lehrveranstaltung war dabei „Effizienz von Tragwerken in Natur und Technik“ – wiederum bei Vinzenz Sedlak. Der Fokus lag einerseits auf einer *Gegenüberstellung* von natürlichen und technischen Konstruktionssystemen, andererseits auf der *Effizienz* und der strukturellen *Optimierung* dieser Konstruktionen. So wurde auch die geschichtliche Entwicklung zur Effizienzsteigerung technischer Konstruktionen bis zu den Methoden und Erkenntnissen von Frei Otto (bic) bzw. bis hin zu modernen, computerunterstützten Optimierungsmethoden behandelt (Finite-Elemente-Methode).

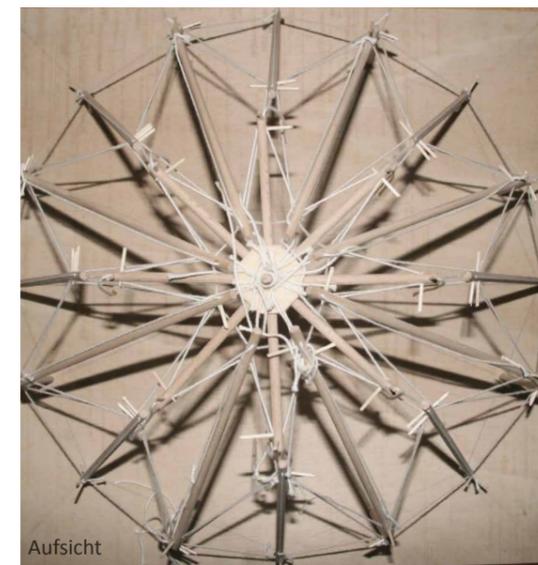
Weiterführung praktischer Strukturentwicklung

Kuppelform durch Materialisierung überprüft

Bereits zuvor wurde überlegt, dass jenes als Turm realisierte Konstruktionsprinzip auch als Kuppel realisierbar sein sollte. Die einzelnen Instabilitäten sollten mittig zusammengeführt und so ausgeglichen werden. Das Prinzip wurde – außeruniversitär – als Modell realisiert. Die exakte Formgebung war etwas schwierig, jedoch die Festigkeit – speziell am Mittelknoten – weit höher als selbst zuvor erwartet.

Die Modellbautechnik wurde etwas variiert: Zugverbindungen, deren Realisierung zuvor noch mit Metalldrähten erfolgte, wurden für die schnellere Baubarkeit aus Hanfschnüren gefertigt, welche – durchlaufend über eine gesamte Umrundung des Gewölbes – mithilfe von Zahnstocherspitzen befestigt wurden. Diese Steckverbindung ist weniger komplex und ermöglicht ein einfaches Verstellen; die durchlaufenden Schnüre erfordern jedoch jeweils ein Nachspannen der gesamten Ebene.

↔ universitär
↔ außeruniversitär



Aufsicht



Arbeitsmodell Tensegrity-Kuppel

Weiterentwicklung Kuppelgeometrie

Im folgenden Semester stand als Entwurfsprojekt die Planung eines Mondhabitats zur Auswahl (*DESTINATION MOON, HB2, SS 2012*), die Bauaufgabe schien passend, um an den vorausgehenden Überlegungen weiterzuarbeiten. Auch die Kuppelform schien hier nicht allzu fehl am Platz zu sein, so wurde erneut noch vor Beginn der Lehrveranstaltung zu experimentieren begonnen:

Beim Versuch, das erarbeitete Prinzip nach den alten Plänen und ausgehend vom bereits realisierten Modell als mehrstufige Kuppel zu realisieren, wurden zwei wichtige Anpassungen an der erdachten Struktur vorgenommen; auch das Modell wurde mehrfach adaptiert. Zunächst stellte sich heraus, dass die Spannrichtung bzw. die Anordnung selbst – von unten nach oben – für die Stabilität der Konstruktion nicht passend ist. Als einfacher bzw. richtig stellte sich der Konstruktionsprozess mit dem Mittelknoten als Startpunkt und stetigem Spannen der nächsten Ebene heraus. So wurde die Netzstruktur vom Untergrund gelöst und erneut als Hängemodell positioniert. Für die Transportfunktion vorgesehen, jedoch nicht im Modell

berücksichtigt, war die mögliche Komprimierbarkeit der Struktur durch Adaptionen im Material. Durch elastische Zuelemente an den Meridianen und dem so ermöglichten Faltprozess könnte dies erreicht werden.

außeruniversitär optimiert

Im Folgenden wurde für diese Lehrveranstaltung jedoch nicht weiter an diesem Prinzip gearbeitet. Nach genauerer Recherche über die technischen und funktionalen Ansprüche, also auch über die am Mond herrschenden Bedingungen, erschien die entworfene Struktur als nicht mehr ideal an die Herausforderungen angepasst. Trotzdem wurde sie – außeruniversitär – weiter optimiert:

Die einzubringende Eigenspannung nimmt von Ebene zu Ebene mit steigender Entfernung zum Mittelknoten ab. So wurden die zuvor vier frei hängenden Ebenen für eine tatsächlich zufriedenstellende Stabilität auf drei reduziert. Das Ergebnis überrascht in seiner Festigkeit, bei lokalen Instabilitäten ist der Mittelpunkt überaus stark belastbar. Eine Fortführung der Studien und die Realisierung in größerem Maßstab bleibt so weiterhin aktuell.

Mittelknoten stark belastbar



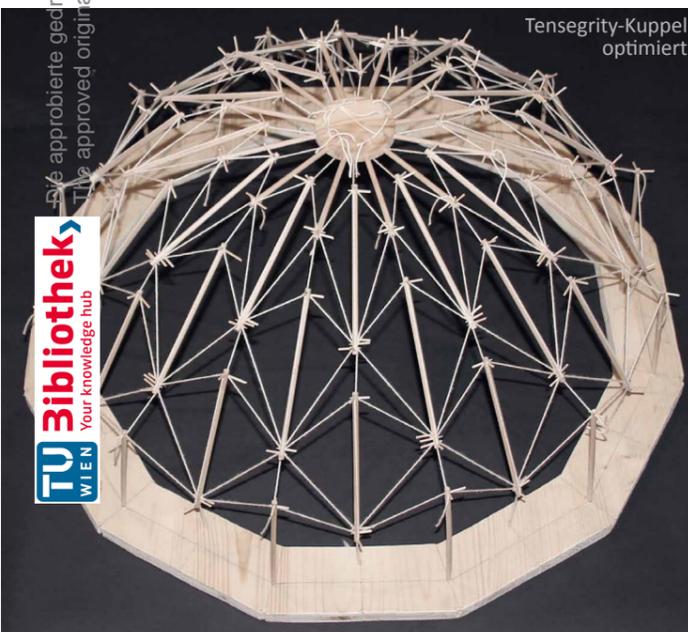
Materialisierung



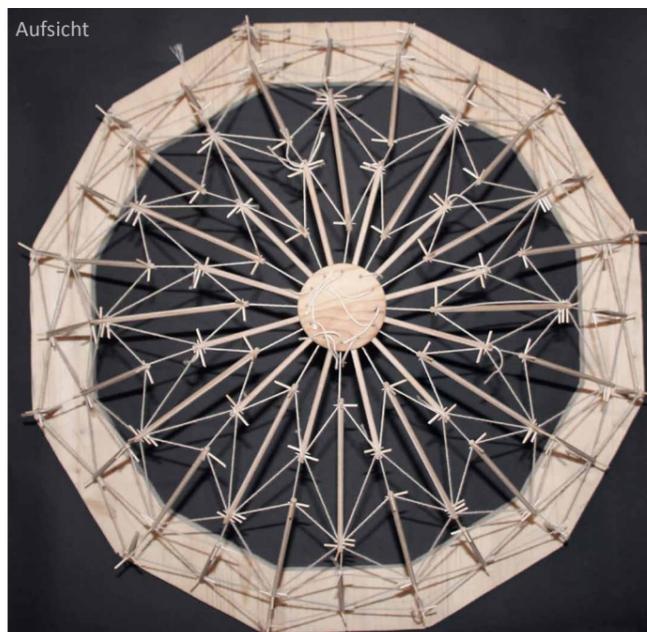
Zwischenstadium



Zwischenstadium



Tensegrity-Kuppel optimiert



Aufsicht

Mondhabitat

Die zu Beginn dieser Veranstaltung erarbeitete Lösung entstand nicht direkt aus der gegebenen Aufgabe, sondern unabhängig zur gegebenen Problemstellung aus dieser vorausgehenden Entwicklungen.

neuer Lösungsansatz

Die neu begonnene Lösungssuche spielte mit der Möglichkeit einer Nutzung der Hüllfläche der für den Transport benötigten Raketenstufe für die spätere Anwendung als Schale eines in einem schützenden Krater platzierten Habitats.

hexagonale Faltung

Nach Überlegungen und praktischen Versuchen schien es einen möglichen Mechanismus zu geben, der dies durch sechs längliche Segmente ermöglicht, welche zusammen einen Zylinder ergeben und zu einem Ring bzw. einem Hexagon transformiert werden können. Ein kleines Modell bestätigte diese Annahme.

Annahme durch Modellierung bestätigt

Hexagonalfaltung Schale Arbeitsmodell



Transformation Zylinder zu Hexagon



entfaltet

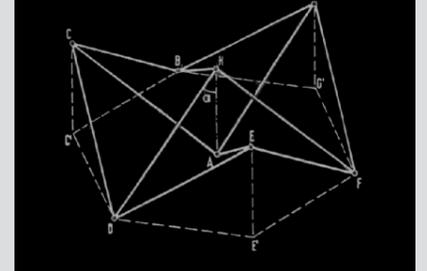


Konvergenz

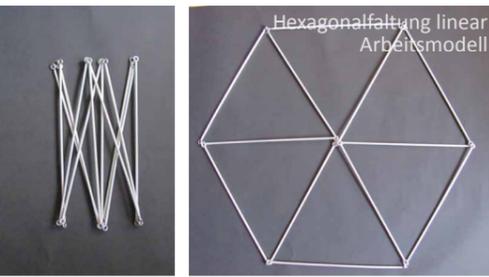
In einer folgenden zwischenzeitlichen Recherche zu anderen Faltmechanismen fand ich dann genau jenes Transformationsprinzip wie soeben selbst angedacht – jedoch rein linear und mathematisch klar aufbereitet. Das entdeckte – ein Auszug aus einem Werk¹ unter Beteiligung von Félix Candela – diente als Bestätigung der eigenen Überlegungen sowie als Grundlage für den folgenden Entwicklungsprozess. Hätte ich jene der unerwarteten Entdeckung vorausgehenden Gedanken zum besagten Faltmechanismus nicht gehabt, wäre er bei der Recherche womöglich gar nicht aufgefallen bzw. verstanden und für relevant erachtet worden. Auch hier handelt es sich um konvergente – also ähnliche, aber getrennt entstandene – Entwicklungen.

¹ „Arquitectura Transformable“, 1993, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla, F. Candela, E. P. Piñero, S. Calatrava, F. Escrig, J. P. Valcárcel, Seite 58

Konvergenz in externer Quelle



selbes Prinzip in externer Quelle



Das Habitat wird – in einem Krater liegend – von einer zusätzlichen Membran überspannt, um mit aufgeschüttetem Material noch besser vor Strahlung abzuschirmen. Die daraus resultierende Form wurde mithilfe eines einfachen Arbeitsmodells – ein in einer Schüssel liegender und mit einer flexiblen Membran überspannter Luftballon – überprüft.

chanismus stabilisierend wirkende Mittelachse – an welcher etwa auch das Lebenserhaltungssystem angebracht ist – am Mittelpunkt des Kraters.

Machbarkeit vereinfacht getestet

Zuerst wurde durch Anbringen von linearen biegeweichen Elementen bzw. Schnüren am Modell erfolgreich getestet, ob der angedachte Faltvorgang grundsätzlich auch in Verbindung mit einer Membran möglich ist – er wird sogar erleichtert bzw. „geleitet“. So wurde auch das zu bewohnende, sich mit Druckluft füllende Volumen durch das Verschweißen von PVC-Folien als Modell realisiert und mit der Linearstruktur inklusive Mittelachse verbunden. Der Faltvorgang vollzieht sich automatisch durch aktive Luftzufuhr über ein Ventil.

Stabilisierung und Differenzierung

Auf die zuvor angedachte Kombination aus Schale und Pneu wurde – neben strukturellen auch aus funktionalen Gründen – verzichtet. Das Objekt wurde als geschlossene, unter Innendruck stehende Membranhülle entworfen; kombiniert mit automatisiert faltbaren linearen Elementen als Stützstruktur. Ausladende Teile liegen am Kraterrand auf. Die für den Me-



Um das Volumen ideal auszunutzen zu können, sind Stützstrukturen auf mehreren Ebenen vorteilhaft. So wurde überlegt und erfolgreich versucht, zwei parallel liegende Faltflächen – innen liegend – zusammenzuschalten. Der Mechanismus an der Mittelachse wird aufgeteilt und nun durch hexagonal angeordnete Stützen ermöglicht, welche die nötige vertikale Verschiebung gewährleisten. Um Transportvolumen zu sparen, wurden des Weiteren ausladende Elemente mit zusätzlichen Gelenken versehen. Am Modell funktionierte all dies zunächst wie erhofft.

durch Modellierung Fehler erkannt

Der Mechanismus wird mit dieser Elementanordnung zwar als lineare Struktur ermöglicht, jedoch – wie sich schließlich herausstellte – in Kombination mit der Hüllfläche wegen ihrer ausstreifenden Wirkung nicht mehr zugelassen.

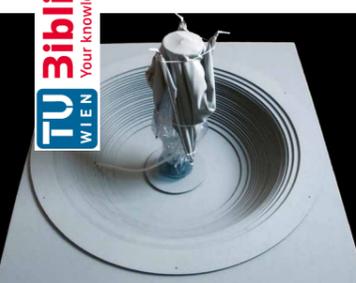
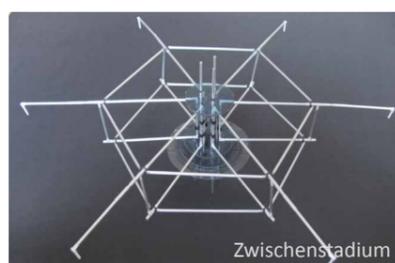
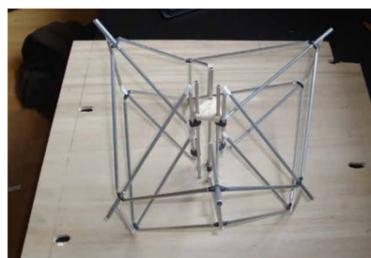
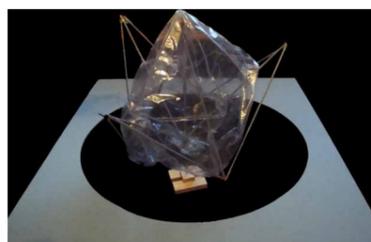
Um diesen hinderlichen Effekt zu umgehen, wurde im nächsten Schritt die Randstruktur eines einzelnen faltbaren Hexagons zunächst wiederum an den Kraterrand gelegt – biegeweiche Verspannungen sind nur innen liegend vorteilhaft. Der Faltprozess niedriger liegender Stützelemente wird einzeln an den Hauptmechanismus gekoppelt. Die Transformation kann so durch den zusätzlichen Bewegungsraum für die Membran auch gemeinsam mit dieser ausgeführt werden.

Kombination dreier Konstruktionsarten

Schließlich wurde – fürs abschließende Modell des gesamten angedachten Konstruktionssystems – eine zusätzliche, alles überspannende elastische Membran an die bereits modellierte Struktur bzw. deren stabile Umrandung angebracht – mit berücksichtigter Fensteröffnung. Der Faltvorgang läuft auch bei dieser „Komposition“ dreier unterschiedlicher Konstruktionsarten ohne Probleme ab.

Faltvorgang automatisiert

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



Konvergenz

Nach Abschluss dieses Projekts wurde eine zu diesem Zeitpunkt erstaunliche Ähnlichkeit ersichtlich: Funktionsweise und auch Querschnitt des eigenen Entwurfs zeigen Parallelen zu den im Zuge der Bachelorarbeit untersuchten traditionellen samischen Konstruktionen (Seite 10). Beide – auch zeitlich weit voneinander getrennten (wiederum konvergenten) – Entwicklungen weisen eine Versenkung in den Untergrund sowie eine Umhüllung aus lokal vorkommendem Material auf – zum besseren Schutz vor den Außenbedingungen sowie für die Minimierung der für den Transport notwendigen Materialmenge. Beide sind für eine temporäre Benutzung und so auch transportabel konzipiert.

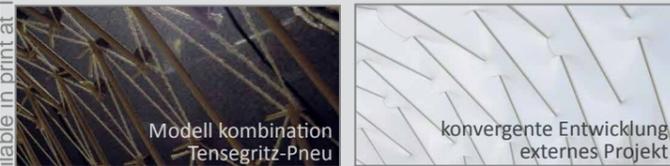
Auch wir stehen – wenn wir an die Grenzen des uns möglichen gehen – vor ähnlichen Problemen, wie früherer Gesellschaften, die ihrerseits versuchten die Grenzen der bewohnbaren Welt auszuweiten bzw. in einer eigentlich unwirtlichen Umgebung zu bestehen.

Ähnlichkeit in Gestalt und Funktion



Konvergenz

Bald sollte sich eine vergleichbare Auffälligkeit ergeben: Etwa zur selben Zeit – die Beschäftigung mit flächigen Tensegrity-Konstruktionen lag schon länger zurück – wurde ich von einem Studienkollegen auf ein – in der Zeitschrift „DETAIL“² veröffentlichtes – Projekt der Universität Tokio aufmerksam gemacht, welches erstaunliche Ähnlichkeiten zu den vorausgehenden eigenen Studien aufweisen sollte. Und tatsächlich; es zeigt eine realisierte Tensegrity-Struktur mit fast identischer Anordnung der Druckstäbe. Die Zugkräfte werden hier allerdings alleine von der Membran übernommen und nicht durch integrierte lineare Zugverspannungen. Auch ich hatte diese Möglichkeit des gänzlichen Weglassens von Zugseilen als prinzipiell möglich erachtet. So dient dieses – fremde, jedoch konvergente – Projekt auch mir als „Gedankenstütze“. Es ist nicht mehr zwingend nötig, das Prinzip selbst zu realisieren, da ich bereits sehe, dass es funktioniert. Was ich jedoch ebenso erkenne, sind einzelne „Schwachstellen“, an welchen die Form schwer zu kontrollieren scheint. Stünde ich vor der Frage, wie diese Konstruktion strukturell verstärkt werden könnte, würde das selbst aufgebaute Wissen hier wohl große Hilfe leisten – schließlich ist es kaum wahrscheinlich, dass diese Konstruktion über denselben Weg gefunden wurde.



2 „Minimalistischer Leichtbau: Temporärer Pavillon in Noda“ Tokyo University of Science, Noda Campus, DETAIL2012/10

Kuppelgeometrie faltbar

Auch durch eigene Reisen im vorausgehenden Sommer, wurde der allgemeinere Bedarf an faltbaren Zeltkonstruktionen erkannt und die Möglichkeit ins Auge gefasst, eventuell auf längere Sicht in diese Richtung zu denken – auch vielleicht das zuvor untersuchte Prinzip auf diese Bauaufgabe anzuwenden. Um so passender, dass sich im folgenden Semester die Möglichkeit bot, an eben solchen Strukturen im Zuge eines Entwurfsprojekts für eine faltbare Notfallunterkunft für Mars Expeditionen zu arbeiten (*Emergency Shelter for Mars Expeditions, HB2, ÖWF, WS 2012/2013*). Die bereits am Anfang des vorherigen Projekts entwickelte Tensegrity-Struktur wurde adaptiert und nun als faltbare Konstruktion im Modell realisiert. Elastische Spannschnüre entlang der Meridiane ermöglichten das Einfalten – dies war jedoch leider nur ein einziges Mal möglich. Ein Wiederaufspannen schien aufgrund hoher Komplexität und Eigenspannung ausweglos; einzelne Elemente wurden für andere Projekte „wiederverwertet“.

Modell nur einmalig komprimierbar

verbundene Druckelemente

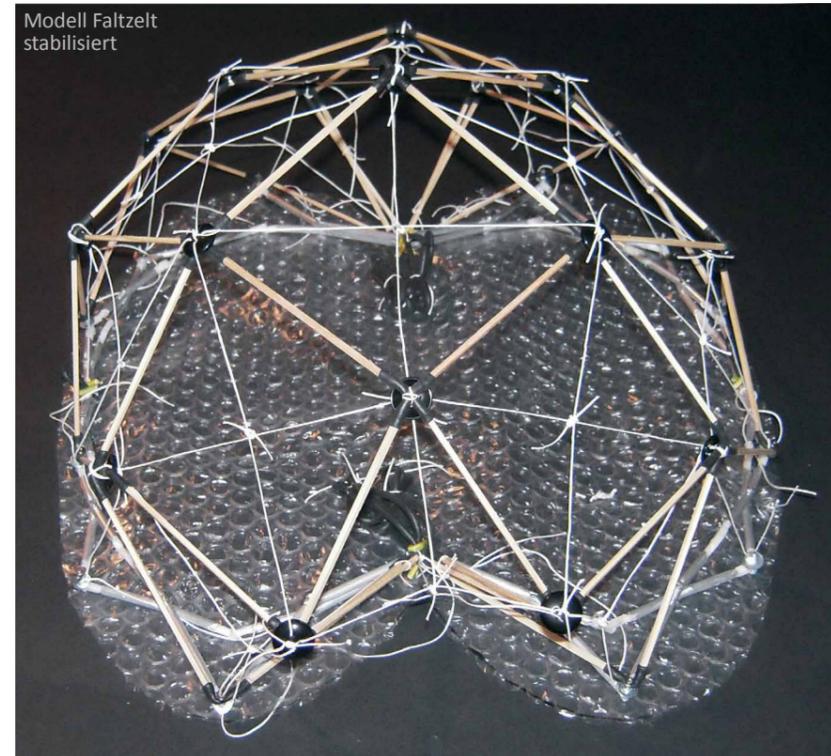
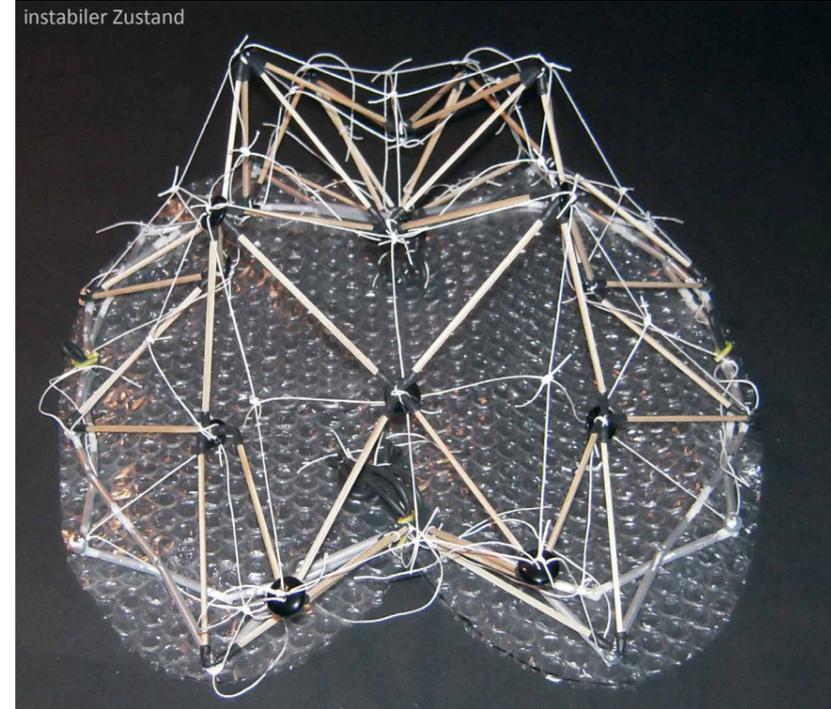
In der Folge wurde jedoch – auch wegen der allgemein herrschenden Unerfahrenheit mit Tensegrity-Strukturen – „umgeschwenkt“ und es wurden Strukturvariationen erarbeitet, welche zusammenhängende Druckelemente aufweisen.

Soll die Struktur faltbar sein, so wäre es förderlich, hätten alle Einzellelemente dieselben Längen. Mit Hilfe von Skizzen wurde überlegt und erkannt, wie dies mit einer radialen Verteilung – ähnlich der zuvor angewandten – ermöglicht werden kann: durch das Orientieren der Struktur an „Meridianen“ und folglich der Möglichkeit gleich langer Elemente bei Variation der jeweiligen Schrägstellung. Die resultierenden Felder bzw. Rauten verlaufen von lang und schmal an den Polen zu kurz und dick am Äquator. Die Struktur sollte – später wurde dies im Modell bestätigt – durch Einfalten an mehreren Knotenpunkten in einen regelmäßig und kleinstmöglich faltbaren Zustand übergehen.

Kombination mit Scherenmechanismus

Für das realisierte Modell wurden Holzstäbe mit Moosgummi zu einem Netz verbunden. Knöpfe an den Knotenpunkten – für den Faltprozess abwechselnd außen und innen liegend – dienen als Befestigung der Zugverspannungen aus Schnüren. Um den Faltvorgang zu leiten bzw. die Konstruktion aufspannen zu können und die Auflagerpunkte exakt zu definieren, wurde die Hüllstruktur mit einem Scherenmechanismus kombiniert. Auch diese konstruktive Lösung wurde in der Folge zwar nicht universitär, wohl aber in Eigeninitiative weiterverfolgt.

außeruniversitär weiterverfolgt



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





Arbeitsmodell
Funktionalität



Entwurf



Prototyp Emergency Shelter

Nachdem alle Teilnehmer des Entwurfsprojekts begannen, gemeinsam an diesem Konzept zu arbeiten, wurde neben der Erforschung des genauen Platzbedarfs intensiv an der Realisierung eines in der Wüste Marokkos zu testenden Prototyps gearbeitet. Mit Blick auf die Fertigung, wurde Michael Schultes (experimonde) von mir kontaktiert und miteinbezogen. Die Wahl fiel zunächst auf den Bau der einfachen, nicht erweiterbaren Version.

Adaptivität

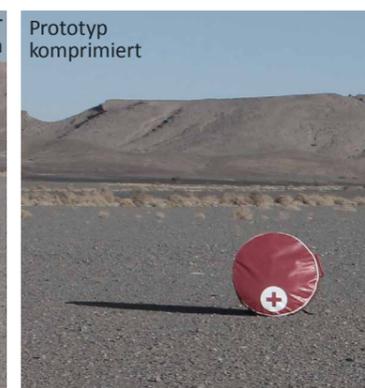
Nachdem dieser Realisierungsprozess der zu testenden Konstruktion bereits begonnen hatte, erschien es mir nach einigen Überlegungen dennoch möglich, manche der zusätzlichen Funktionen auch im kleinen Raumvolumen unterzubringen: Die Konstruktion muss ohnehin aufgrund ihrer Form – sowohl im Entwurf, als auch im Prototyp – zusätzlich mit einem System aus pneumatischen „Kissen“ gestützt werden. Wird dieses Abstützen auf mehrere Kammern entlang der Rück- bzw. Unterseite verteilt, könnte durch den einfachen Austausch von Luft und Innendruck bzw. durch das Umleiten des Füllmaterials zwischen den einzelnen Abschnitten, die Sitzposition in eine Liegeposition übergeführt werden. Bei bestimmten Notfallsituationen sowie längeren Aufhalten ist dies von großem Vorteil und auch ein Einsatz in Hanglage wäre so möglich. Im realisierten Prototyp kann die Betätigung dieses Mechanismus durch eine Person im Inneren des Zeltens automatisiert erfolgen.



ÖWF Feldsimulation MARS 2013 MAROKKO

Bei den Tests im Südosten von Marokko waren auch – einschließlich mir – 3 Studenten, sowie Betreuerin Polina Petrova beteiligt. Gemeinsam mit den „Analog-Astronauten“ im ihrerseits zu testenden Raumanzug wurden – zuvor im Detail geplante – Tests durchgeführt. Auch wurde das Team des ÖWF mit der selbstständigen Handhabung des Prototyps vertraut gemacht – für die erfolgreiche selbstständige Bedienung im anschließend folgenden weitestmöglich isolierten Missions-Abschnitt. Alle Tests sowie das erhaltene Feedback zu Benutzung und Bequemlichkeit waren durchwegs positiv – nie zuvor hätten die Analog-Astronauten die Möglichkeit gehabt, so angenehm zu verweilen.

Tests und Feedback
durchwegs positiv





Großmodell
rautenartiges Falzelt
komprimiert

außeruniversitäre
Weiterentwicklung

Wie bereits erwähnt, wurde trotz des vollzogenen Wechsels zu einem anderen Materialsystem nach Fertigstellung und Verschiffung des Prototyps – wiederum außeruniversitär – auch am ursprünglich entwickelten Falzprinzip weitergearbeitet.

als Großzelt realisiert

Nach der vorausgehenden Realisierung des Rautensystems, wurde festgestellt, dass die für die Überführung in einen stabilen Zustand notwendige Flexibilität nur dadurch gegeben ist, dass die Struktur als Gesamtes den nötigen Freiraum durch fehlende Präzision der Modellbauweise ermöglicht. Im großen Maßstab müsste dies wohl anders erreicht werden. Die Lösung fand sich in den Materialeigenschaften, welche auch bereits für den Falzprozess des schlussendlich in Marokko getesteten Objekts grundlegend sind – nicht nur hierfür hatte ich mir einige unterschiedlich dimensionierte (als

Kilometerware erhältliche) Rundprofile aus glasfaserverstärktem Kunststoff besorgt. Durch ihr Biegeverhalten können diese Profile nun den nötigen Bewegungsraum für die Entfaltung und Fixierung der Konstruktion gewährleisten. Bald wurde die Struktur leicht abgewandelt als Zelt realisiert; anfangs mit dem Vorhaben, dieses in Marokko selbst zu benützen – wovon jedoch aufgrund mehrerer Aspekte abgesehen wurde. Ein Problem war – kaum überraschend – dass die Struktur etwas zu „optimistisch“ bzw. zu komplex und kleinteilig geplant war, sodass der Winkel, in dem die nötige Stabilität gegeben ist, nur sehr gering ist. Auch die Eigenspannung entfalter Bereiche ist beträchtlich, sodass sich die Konstruktion bereits durch leichte Ungenauigkeiten oder möglicherweise auch schlechte Materialwahl schwer handhaben und nicht einfach als Ganzes wie vorgesehen fixieren lässt. Von der Mitnahme und direkten Anwendung wurde daher abgesehen.



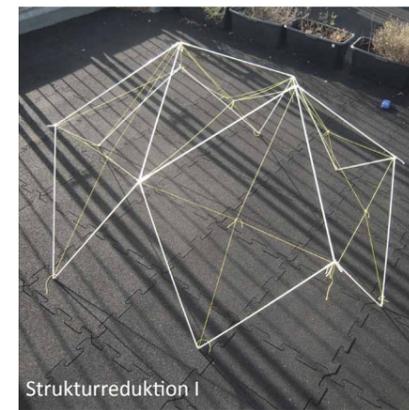
Entfaltungsprozess



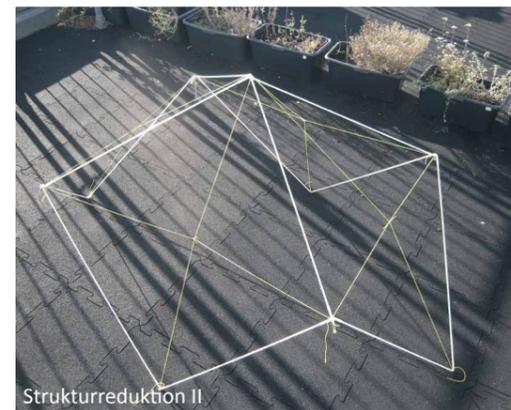
Großmodell Falzelt

Strukturreduktion

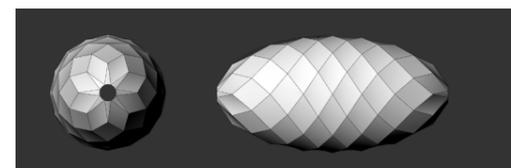
In weiterer Folge wurden auch geometrisch weniger komplexe Varianten – mit Seilverspannungen anstelle von Membranen – realisiert. Kurzzeitig war angedacht, an diesem Prinzip im Zuge eines „Freien Entwerfens“ oder gar im Zuge der Diplomarbeit intensiver zu arbeiten; dazu sollte es jedoch nicht kommen. Auch kam mir zu Ohren, dass das Konstruktionssystem möglicherweise bereits existieren könnte – der Bericht über die Handhabung einer Zeltkonstruktion eines Freundes ließ mich nichts anderes vermuten. Nun kommen jedoch – mittlerweile ist jede Interpretation schon sehr fragwürdig – auch wieder Zweifel an deren tatsächlicher Ähnlichkeit bzw. Konvergenz auf. Die Weiterentwicklung der Konstruktionsweise sollte gegebenenfalls doch wieder aufgenommen werden.



Strukturreduktion I

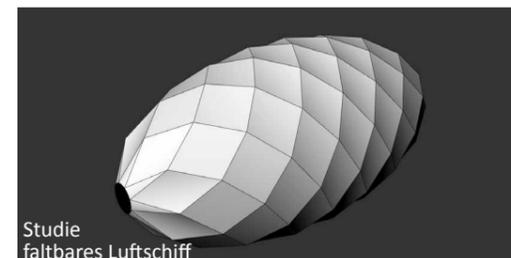


Strukturreduktion II



faltbares Luftschiff

Eine angedachte Weiterentwicklung dieses Konstruktionssystems ist die Anwendung als faltbares Luftschiff – etwa für prinzipiell mögliche bemannte Expeditionen in die Atmosphäre der Venus.



Studie
faltbares Luftschiff

freie Studie „Krümmung und Struktur“

einseitige Stabilität für einseitige Belastung

Noch Während des Entwurfsprozesses zum Mars-Projekt kam mir spontan – beim Spazieren gehen – der Gedanke, dass ein Stab bzw. ein Balken – speziell wenn einseitig belastet – eigentlich nur in eine Richtung stabil sein muss, in die andere jedoch flexibel reagieren kann. So ist es hierfür etwa möglich, sich gelenkig verbundene und einseitig überlappende aneinandergereihte Elemente vorzustellen. Eine ebenso daraus folgende Überlegung war, dass sich bei Biegung Druck- und Zugbereich bilden, die Leitung von Druckkräften jedoch durch einfachen Kontakt und ohne fest verbundene Struktur erfolgen kann. Nur wo Zugkräfte herrschen, wäre dies nötig. Auch andere konstruktive Überlegungen bezogen auf das zuvor behandelte Mars-Projekt hatten mit der übergeordneten Thematik der „Krümmung“ zu tun – etwa wurde für eine automatisierte Aus- bzw. Einfaltung anfänglich auch die Möglichkeit einer ein- bzw. doppelseitigen Ausstattung mit pneumatischen „Muskeln“ angedacht.

Seminararbeit adaptive Architektur

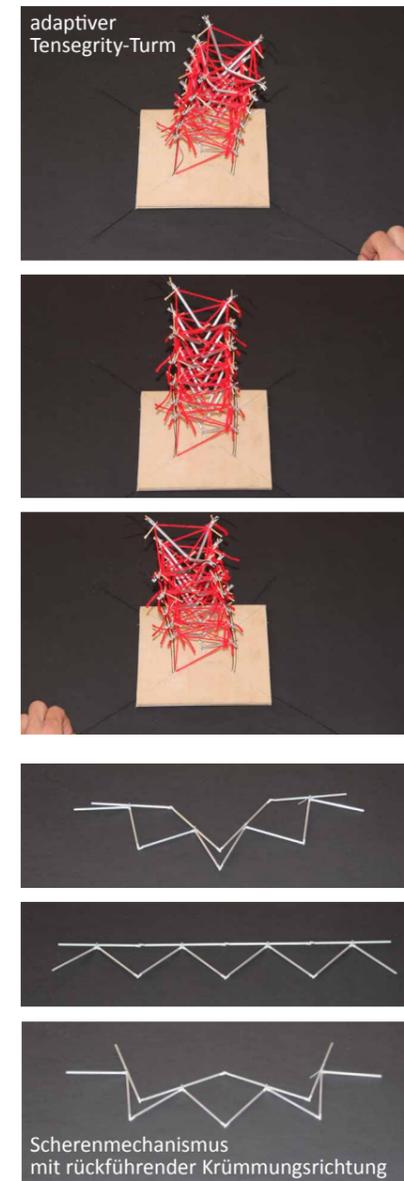
Es schien naheliegend, diese Aspekte und damit verbundene konstruktive Prinzipien im Zuge einer ohnehin nötigen Seminararbeit fürs Modul „Emerging Fields in Architecture“ im Fach „Adaptive Architecture“ genauer zu ergründen. Die Folge war eine – selbst als „Freie Studie“ bezeichnete – theoretisch-praktische Arbeit zum Thema „Krümmung und Struktur“. Basis waren grundsätzliche Überlegungen zu den selbst bereits erarbeiteten Konstruktionsystemen bzw. zu allem, was meinem Verständnis zum Thema „Krümmung“ in Bezug auf „adaptive Architektur“ zu entlocken war. Ziel war ein schnelles, effektiv-productives „Abscannen“ der sich ergebenden Möglichkeiten; durch fortlaufendes Einordnen neuer Ideen und Schließen von konstruktiv sowie theoretisch auftretenden „Argumentationslücken“. Ergebnis waren Arbeitsmodelle, einige abschließende Modelle und viele – nicht realisierte, jedoch grafisch artikulierte – konstruktive Systemvarianten zur adaptiven Ausführung unterschiedlichster Funktionalitäten. Es ist vorgesehen, auch weiterhin an manchen der Ergebnisse zu arbeiten – etwa an den Überlegungen zu faltbaren Hängemattenkonstruktionen.

konvergente biologische Entwicklungen

Gegen Ende der Arbeit bzw. bei ihrer theoretischen Ausarbeitung und Analyse wurden Ähnlichkeiten bzw. Konvergenzen der zuvor selbst entworfenen Lösungen zu Strukturen in der Natur ersichtlich – ohne, dass diese als Vorbild dienten. Konkret war dies etwa ein adaptiver Tensegrity-Turm, welcher dieselbe Funktionsweise und auch ähnliche Elementierung aufweist wie eine Wirbelsäule – Wirbel, welche über Bandscheiben gelagert und mit Sehnen verspannt sind, sowie mit Muskeln betätigt werden. Eine weitere solch nachträglich erkannte Ähnlichkeit betrifft den Mechanismus des entworfenen und optimierten Knickstabes und die Funktionalität von Fingergelenken.

„systematisiertes Querdenken“

durch Aufwerfen von Möglichkeiten zu Vielfalt

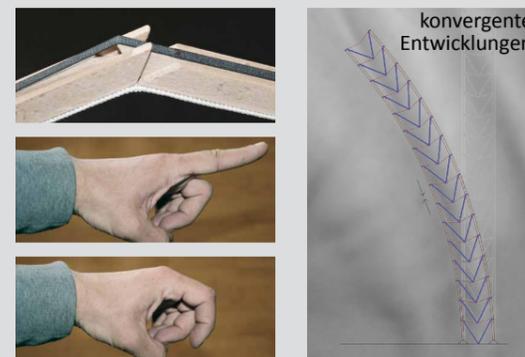


Methodik

Noch wichtiger als die praktischen Ergebnisse erschien mir (neben den zuvor genannten Auffälligkeiten zu konvergenten Entwicklungen) die Methodik hinter dieser Suche. Im Zuge der Studie wurde die – generell und eben auch speziell bei dieser Arbeit angewandte und im Grunde aus eigenen „natürlichen“ Verhaltensmustern gefolgerte – Entwurfsmethodik genauer durchdacht, artikuliert, definiert und zusammengefasst: Es handelt sich um eine Analyse durch intuitives Hin- und Herspringen; schnelles Aufwerfen theoretischer bzw. praktischer Möglichkeiten, um dadurch zu größerer Vielfalt zu gelangen; um bewusstes „in die Breite“ gehen. Viele Entwicklungsschritte dieser experimentellen Methodik spielen sich dabei auf rein theoretischer oder grafischer Ebene ab. Bereits einige Zeit zuvor wurde fokussiert intensive Gedankendokumentation – konstruktiv und rein theoretisch – betrieben; wohl schon immer wurde „quer“- bzw. lateral gedacht. Hier wurde diese bewusste Anwendung schließlich als „systematisiertes Querdenken“ bezeichnet. Das Wechselspiel von einerseits der weiterentwickelten eigenen „chaotischen“ Suche und andererseits dem darauf folgenden analytischen Aufarbeiten der Ergebnisse wurde hierfür als Gesamtheit „systematisiert“. Die Methodik gilt jedoch nicht nur speziell für diese Arbeit, auch nicht nur für praktische, sondern ebenso für theoretische Untersuchungen. Die bereits gemachte Erfahrung wurde als Hinweis für ihre Effizienz bzw. ihre Innovationskraft gewertet.

logische Folgerungen zu praktischen Ergebnissen

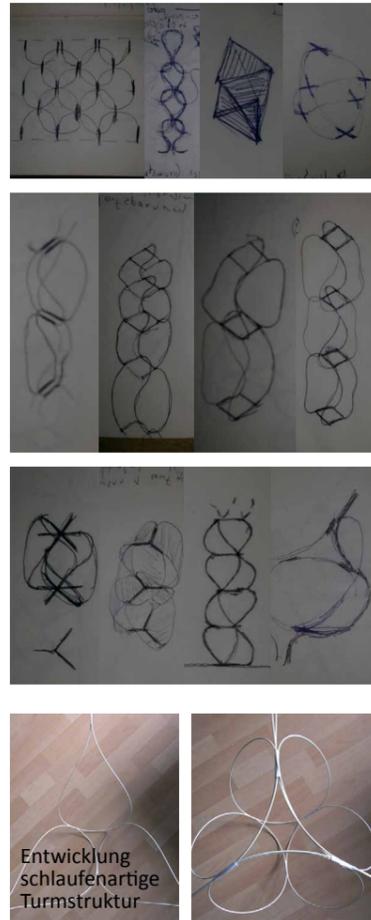
Die eigene Vorgehensweise erschien mir – bezogen auf diese Arbeit – als „wissenschaftlich“ – dennoch gab es hierzu Meinungsunterschiede. Logische Folgerungen führten zu praktischen Ergebnissen; für die theoretische Aufarbeitung wurden die einzelnen, fürs Verständnis bzw. für die Argumentation notwendigen Schritte grafisch dargestellt. Dass einige dieser „originär“ entstandenen Gedanken nicht zum ersten Mal jemandem in den Sinn kamen, versteht sich von selbst (wäre doch traurig wenn es anders wäre). Dass die konstruktiven wie argumentativen Zwischenschritte für eine „wissenschaftliche“ Analyse – besonders mit Blick auf die schlussendlich entstandenen Modelle – hoch relevant, für die dargelegte Herleitung eigentlich notwendig, zumindest aber förderlich sind, sollte eigentlich nicht zur Diskussion stehen. Auch, dass die Arbeit aus eigenen Gedanken und nicht aus dem Zitieren anderer Forscher entstanden war, wurde als mangelnde Wissenschaftlichkeit gesehen. Doch das Wesen dieser Arbeit war eine schnelle, aus eigener Erfahrung gefolgerte und selbst erdachte Analyse. In der „Wissenschaft“ müsste es doch Platz für diese Freiheiten geben – erst recht, wenn es um die Suche nach neuem „Wissen“ geht. Und ist nicht auch speziell eigenes rationales Denken eine Grundlage von Wissenschaft? Ist dann Wissenschaft überhaupt (noch) wissenschaftlich? Oder ist Wissenschaft doch nur reines – „blindes“ – Befolgen von Konventionen?



Unvorhersehbarkeit neuer Ideen

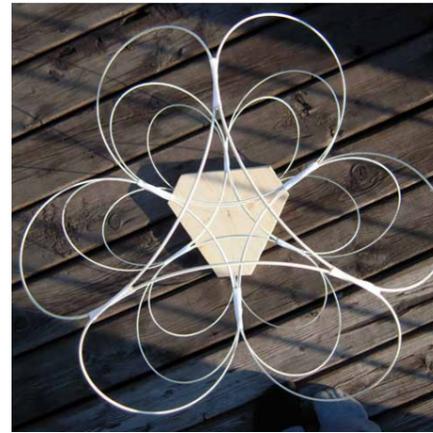
Zu diesem Zeitpunkt war ich bereits „auf den Geschmack“ gekommen, selbst frei konstruktiv zu entwerfen bzw. zu denken sowie diese Gedanken in der Folge zu materialisieren und so zu überprüfen. Zwar wurden schon zuvor jene sich ergebenden Fragestellungen frei beantwortet, nun werden jedoch auch die Fragestellungen selbst gesucht – als ungezwungene Suche nach neuem, nach anderem. Allerdings ist dies keine gänzlich aktive Suche, sondern auch ein „Warten“ auf die nächste zu verfolgende Idee – und wann diese kommt, ist naturgemäß nicht im Vorhinein zu bestimmen, sie tritt unerwartet bzw. „spontan“ auf. Frei entworfen wird also immer dann, wenn „eben gerade nichts Besseres zu tun ist“, sozusagen zwischendurch – oder aber wenn spontane Einfälle dies erfordern. Mit relevanten Gedanken bzw. Ideen muss in jeder Situation gerechnet werden – auch ihre sofortige Dokumentation ist ohne Zweifel vorteilhaft. Diese konstruktiven Ideen beziehen sich entweder auf die Weiterentwicklung bzw. Adaption/Variation einer bereits zuvor erdachten Struktur, oder aber auf die „Neuschaffung“ einer solchen. Auch ergeben sich Ideen oft aus der Vereinigung von konstruktiven und funktionalen Überlegungen – welche wiederum oft in alltäglichen Situationen auftreten. So wird etwa – auch für den zukünftigen Schaffensprozess – ab dieser Zeit bewusst keine klare Grenze zwischen Arbeits- und Freizeit gezogen. Ebenfalls bereits gute Erfahrungen gemacht wurde mit dem Wechsel zwischen dem selbstständigen Erarbeiten von Lösungen einerseits, sowie universitären Lehrveranstaltungen andererseits. Auch scheinen etwa lange Reisen – und speziell das Erleben und Bewältigen von zuvor Unbekanntem – wegen des Eröffnens neuer Problemstellungen eine gute Inspirationsquelle zu sein.

Bereits zu diesem Zeitpunkt wird also auf ein aktives Beeinflussen dieser vorwiegend „passiv“ bzw. eigendynamisch ablaufenden Prozesse hingearbeitet – im späteren Verlauf dieser theoretischen Beschäftigung liegt ein Schwerpunkt auf eben diesem aktiven Herausfordern von spontan auftretenden „Zufällen“.



Entwicklung schlaufenartige Turmstruktur

grundlegend für einhergehenden Entwurfsprozess



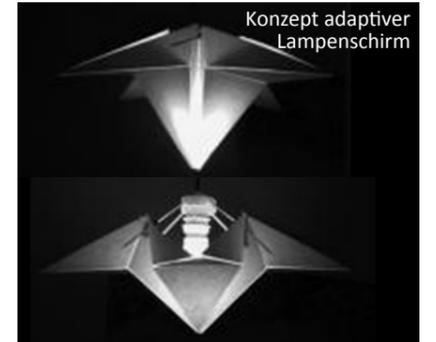
schlaufenartige Turmstruktur unerwartet faltbar



Faltpaneele mit selbstständiger Geometrie mittige Öffnung variabel



flächige Ausgangsgeometrie



Konzept adaptiver Lampenschirm



erst möglich durch jeweils vorausgehendes Projekt

freie Weiterführung konstruktiver Studien

Beobachtung von Knospen

Zu den nun außeruniversitär entstandenen Entwurfsprojekten gehören wiederum weiterführende Studien mit Profilen aus glasfaserverstärktem Kunststoff. So wurden – basierend auf der Beobachtung von sich öffnenden Knospen – faltbare „Blatt-“ bzw. „Blütenstrukturen“ entwickelt und materialisiert, welche etwa als adaptiver Lampenschirm mit unterschiedlichen Lichtsituationen einzusetzen wären.

schlaufenartige Turmstruktur

Ein anderes Projekt – aus demselben Material – ist eine sich vertikal erstreckende und aus mehreren „Zellen“ aufgebaute Konstruktion. Entstanden war diese Struktur wiederum aus der Überlegung – diese Problemstellung wurde vom zuallererst behandelten Projekt übernommen – sinnvoll „in die Höhe“ zu bauen. Zwar ist das Objekt weniger stabil als erwartet, jedoch ermöglicht es – auch dies wurde nicht vorhergesehen – ein ganzliches Zusammenfallen der aneinandergereihten Zellen und somit auch der Gesamtstruktur. Dieser Entwurf ist grundlegend für den später behandelten und im Zuge der hier verfolgten Thematik begonnenen einhergehenden Entwurfsprozess.

unerwartete Faltbarkeit

Faltpaneele

Des Weiteren wurden etwa – in Anlehnung an die Materialeigenschaften der Membranhülle des zuvor entworfenen rautenartigen Falzeltens – faltbare Plattenstrukturen entworfen. Es wurde – mehr oder weniger erfolgreich – versucht, sich der Überlegung experimentell anzunähern, einzelne Elemente zwischen unterschiedlichen Rautengeometrien variieren zu können. Zunächst sollten diese – anfangs auch mit Blick auf die Diplomarbeit angedacht – als bewegliche Paneele einem audiosensitiven Veranstaltungsraum dienen.

verschachtelte Anordnung

So konnten auch über die ursprüngliche Zielsetzung hinausreichende Mechanismen bzw. konstruktive Zusammenhänge und

Effekte erkannt werden, wie etwa die Kopplung der Winkelvariation mit einer Öffnungs- und Schließfunktion der mittig liegenden Aussparung. Ermöglicht wird dies durch zentrische Wiederholung einer spezifischen – schrittweise optimierten (selbstständlichen) Paneelanordnung

Beleuchtung (Kooperation)

Die ursprünglich angedachte Anwendung wurde nicht weiterverfolgt. Aus den zugehörigen realisierten Modellierungen entstand in der Folge zunächst jedoch wiederum ein – gemeinsam mit Thomas Gröbner bearbeiteter – Entwurf für eine Innenraumbeleuchtung, basierend auf der Verbindung von vier quadratischen Faltpaneele.

4-Personen-Wippe

Schließlich führte auch deren Materialisierung zu einer sich neu eröffnenden Möglichkeit: Ein ungeplant aufgetretener (als Leuchte zu stabilisierender) Mechanismus koppelt Auf- und Abwärtsbewegung der sich jeweils gegenüberliegenden ausladenden Elemente. Die sich kreuzenden Achsen reagieren dabei gegengleich. So könnte aus diesem Effekt eine Wippe für 4 Personen realisiert werden, wobei die Bewegung jedoch nicht – wie derzeit allseits verbreitet – entgegengesetzt der jeweils in direktem Blickkontakt sitzenden Person erfolgt, sondern gemeinsam mit dieser (Das gezeigte Modell wurde erst im Anschluss an den einhergehenden Entwurfsprozess realisiert).



faltbare Blütenstruktur Konzept adaptiver Lampenschirm

„Verselbstständigung“ grafischer Studien

auf tretende Eigendynamik

Bereits im Zuge der erarbeiteten Entwürfe wurden – als Hilfsmittel für die Entwicklung – konstruktionsbezogene Gedanken grafisch dokumentiert. Diese Überlegungen beinhalten das Erkunden rein geometrischer Ordnungsprinzipien – oft abseits vom direkten Bezug zu einem physischen Modell. Auch diese Studien wurden parallel zur konstruktiven Tätigkeit intensiviert, schließlich sollte sich auch diese rein grafische Struktursuche eigendynamisch fortsetzen und dadurch zu nicht vorhergesehenen Ergebnissen führen.

Freiheiten im digitalen Raum

So wurde – zunächst zur Ergründung der Möglichkeiten für die erwähnten rautenförmigen Faltflächen – CAD-unterstützt nach potentiellen Ordnungsweisen hierfür gesucht. Bald jedoch – im selben Dokument – wurde diese Suche spontan ausgeweitet. Neue grafische Fragestellungen wurden erkannt und verfolgt – wohl auch aufgrund der prinzipiell endlosen räumlichen grafischen Ausbreitung im digitalen Medium. Des Weiteren können durch die einfach zu vollziehende Vervielfältigung einzelner Bereiche einerseits sehr große, andererseits – durch die Variation von Ordnungsweisen – auch sich jeweils unterscheidende Strukturen ohne großen Aufwand generiert werden.

selbstähnliche Geometrien

Wiederum aus jenen konstruktiven Studien zu Faltflächen – bereits hier wurde die Möglichkeit der Anwendung selbstähnlicher Prinzipien erkannt – wurde begonnen, auch diese komplexeren Zusammenhänge – die Wiederanwendung geometrischer Prinzi-

pien auf sich selbst – grafisch zu ergründen. Zu erwähnen ist hier wiederum die Möglichkeit der freien Ausbreitung sowie die prinzipiell uneingeschränkte Skalierbarkeit im digitalen Raum. Neben der endlosen Expansion nach „außen“, erlaubt dieser sozusagen auch eine endlose Weiterführung nach „innen“. Ergebnis nach längerer Suche war eine – auch zum 33. Österreichischen Grafikwettbewerb eingereichte – Bildstrecke, welche mehrere Stadien einer solchen geometrischen Entwicklung darstellt. Aus Sicht des Betrachters werden infolge der laufenden Komplexitätssteigerung – neben der scheinbaren Räumlichkeit – auch die Grenzen unserer Wahrnehmung erkennbar. Erscheinungen reichen von klar überschaubaren und im Detail fassbaren, über ganzheitlich fassbare jedoch nur bedingt überschaubare, bis hin zu optisch „überladenen“ Strukturen. Auf Grundlage derselben Grafiken wurden auch Animationen generiert, welche – als Endlosschleife ausgeführt – die suggerierte Räumlichkeit tatsächlich sichtbar machen.

Ordnungsweisen regelmäßiger Polygone

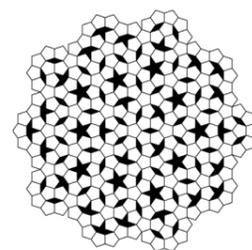
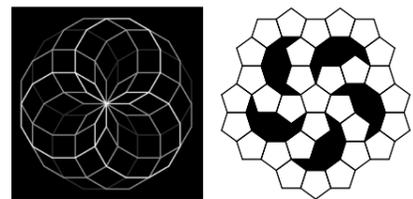
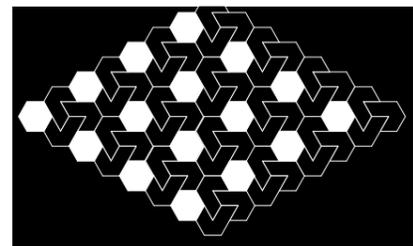
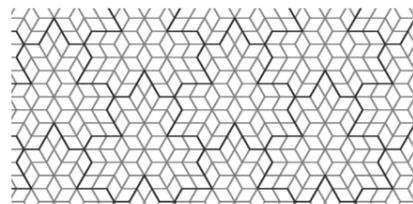
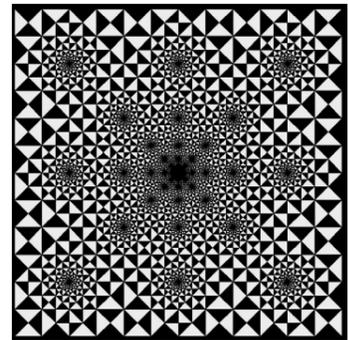
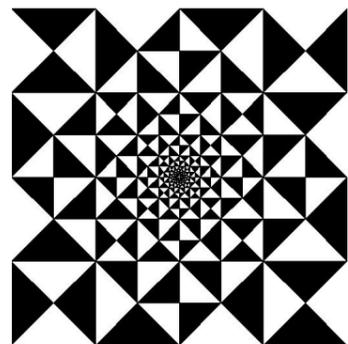
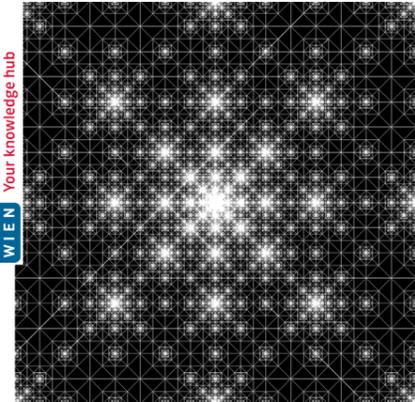
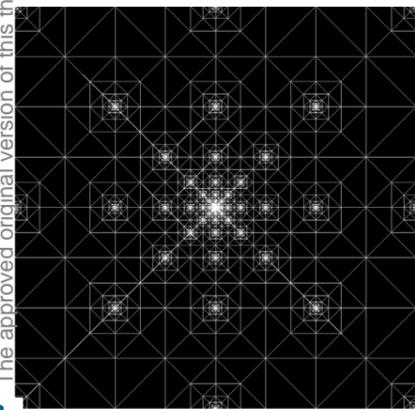
Im Laufe der folgenden Monate wurden diese Überlegungen mit der Weiterbehandlung angefangener grafischer Studien fortlaufend ausgeweitet bzw. differenziert; etwa wurden auch die grundlegenden Ordnungsweisen anderer regelmäßiger Polygone ergründet. Erst viel später wurde von sogenannten „Penrose-Parkettierungen“ erfahren, welche aufgrund selber Winkelverhältnisse eine starke Analogie bzw. Konvergenz zu eigenen Grafiken auf Basis regelmäßiger Pentagone aufweisen. Auch wurde – mit anfangs noch mäßigem Erfolg – wiederum versucht, stimmige selbstähnliche bzw. ineinander verschachtelte Ordnungsweisen für diverse Polygone zu finden.

3-wöchige Suche

Erst im Zuge einer langen Reise im folgenden Sommer – 6 Wochen zu Fuß durch Griechenland – konnte diese Problemstellung mit Hilfe von Handskizzen auf logisch gänzlich stimmige sowie optisch ansprechende Weise gelöst werden. Dies geschah jedoch nicht ohne „Umwege“: So wurde – eher spontan – versucht, Kreise regelmäßig anzuordnen, sodass sich diese – schrittweise skaliert – wiederum ineinander verschachteln und jeweils an den Berührungspunkten miteinander verbunden sind (Die CAD-basierte Bestätigung der Richtigkeit wurde erst im Anschluss an die Reise erlangt). Nun sollte – so die eigene Hypothese – diese Systematik auch auf

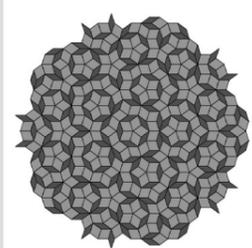
Hexagonalstrukturen anwendbar sein, da diese sehr ähnliche Ordnungsweisen zu Kreisen aufweisen. Diese Annahme konnte erst nach einer 3-wöchigen intensiven Strukturrecherche bestätigt werden: Nach vielen weitreichenden – nicht gänzlich zufriedenstellenden – Versuchen, fand sich die Lösung schließlich in einer überraschend einfachen Anordnungsweise, welche über lange Zeit nicht bedacht wurde. Die restliche Dauer der Reise galt dem Erkunden der Variationsbreite an möglichen flächigen Ausfüllungen der linearen Struktur bzw. möglichen Erscheinungsformen. Wiederum suggerieren die Grafiken Räumlichkeit, auch kann eine gewisse „Bewegung“ wahrgenommen werden.

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

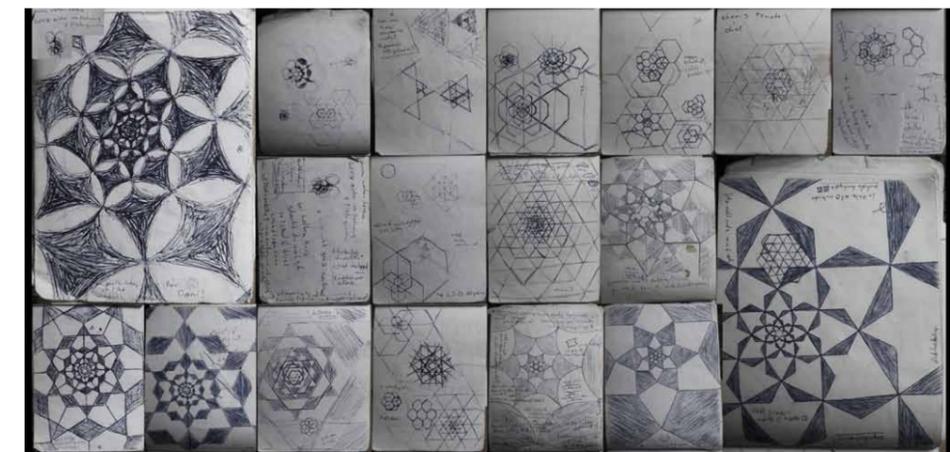


eigene Studie zu Pentagonen

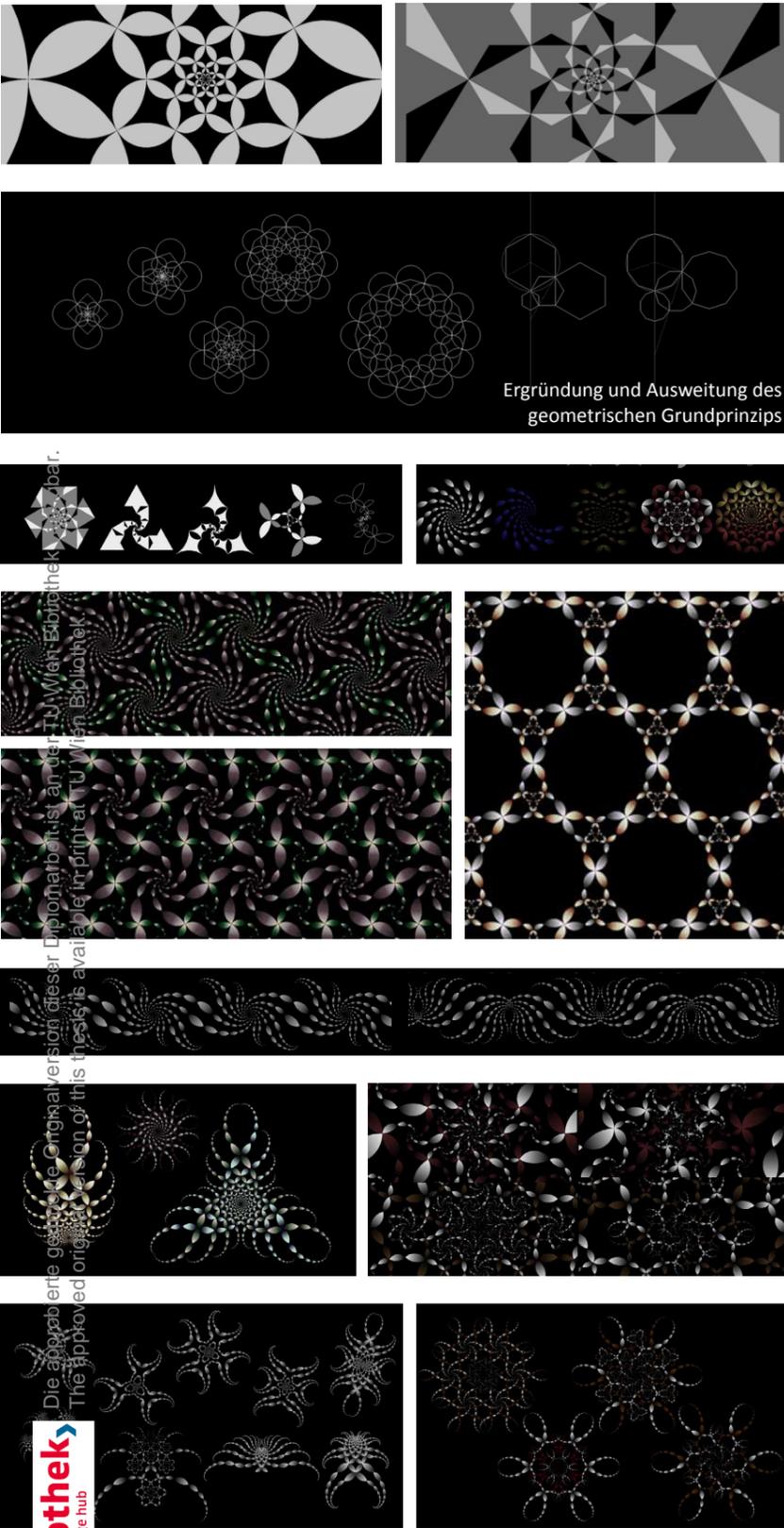
Konvergenz zu „Penrose-Parkettierungen“



3 <https://de.wikipedia.org/wiki/Penrose-Parkettierung>



digitale Überprüfung und Ausweitung vorausgehender Ansätze

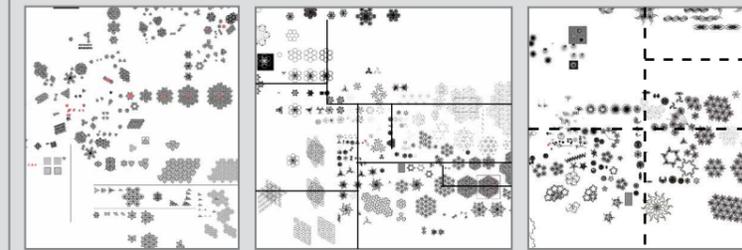


Ergründung und Ausweitung des geometrischen Grundprinzips

Zuhause angekommen, wurden die gemachten Erkenntnisse sogleich digital überprüft und bestätigt. Bald sollte sich jedoch wiederum – aufgrund unterschiedlicher Wahrnehmung und anderen Möglichkeiten im virtuellen Raum – eine neuerliche Ausweitung der verfolgten Studien ergeben. Strukturen wurden fortlaufend – gelegentlich nur in Teilen – dupliziert und abgeändert. Eigenheiten unterschiedlicher Ergebnisse wurden miteinander kombiniert, was wiederum zu neuen Lösungen führte. Zu rein mathematischen bzw. geometrischen Lösungsansätzen – etwa ist die grundlegende Systematik auch auf 10-Ecke anzuwenden, bezogen auf Kreise sogar nahezu gänzlich frei – treten zunächst als Symbol wahrgenommene Variationen, bald flächige Ordnungsweisen und später wiederum zentrisch skalierte, verschachtelte Strukturen. Schließlich konnte erneut – nun bezogen auf Hexagone – eine überaus stimmige Möglichkeit gefunden werden, das geometrische Grundprinzip rückbezüglich anzuwenden. Resultierende Ergebnisse sind sehr komplexe, einzig aus Hexagonen generierte sowie auch optisch sehr ansprechende Grafiken.

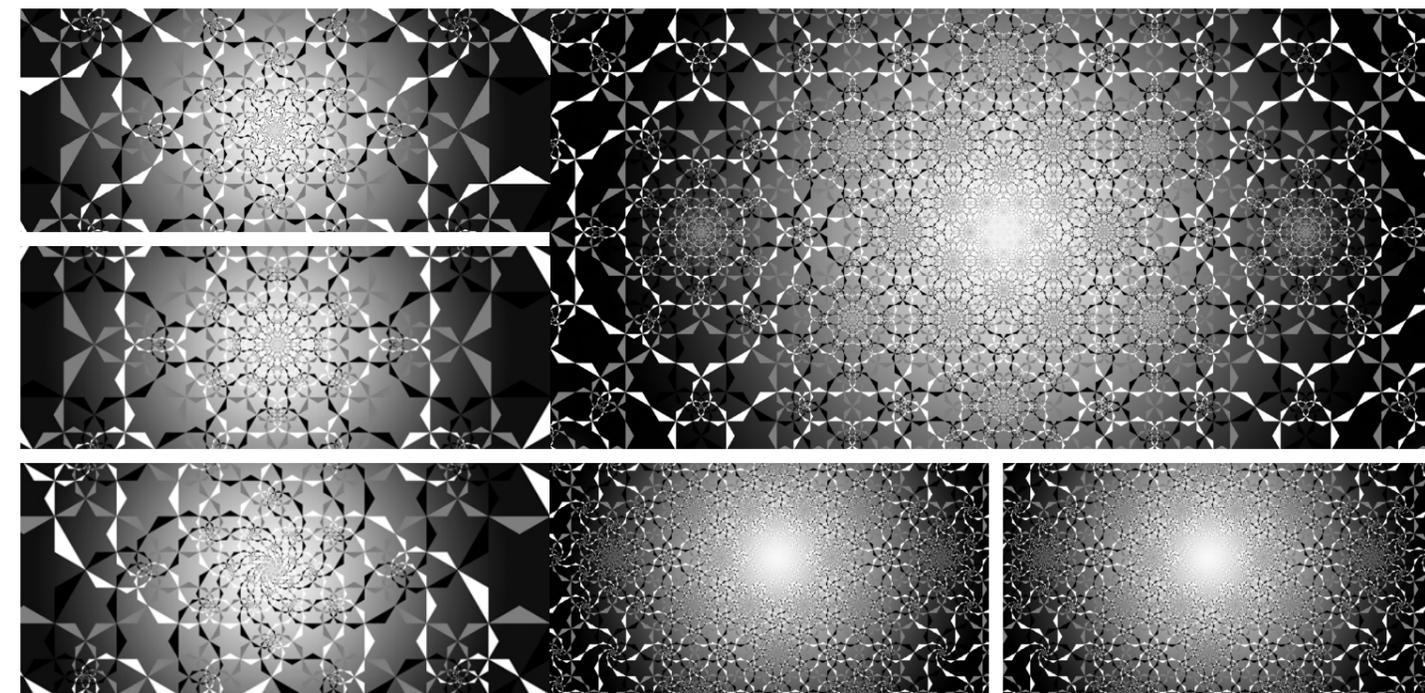
Überleitung in konstruktive Entwürfe

Auch ohne direkten Bezug zu einer zu materialisierenden Konstruktion, konnten durch diese rein grafischen Studien oft überraschend stimmige geometrische Zusammenhänge ergründet werden. Jedoch wird seit jener „Abkehr“ stets angedacht, gemachte Erkenntnisse auch in neue konstruktive Studien überzuleiten bzw. diese auf weiter zurückliegende Überlegungen anzuwenden. Etwa können zuvor frei entworfene Ordnungsprinzipien als physisch existent uminterpretiert werden – z.B. durch die gedankliche Überprüfung vom möglichen statischen bzw. dynamischen Verhalten. Im Zuge der gezeigten grafischen Studien zu Hexagonalstrukturen (und wohl beeinflusst durch auftretende Problemstellungen während der erwähnten Weitwanderung), wurde etwa angedacht, den bereits im Zuge des Mond-Projekts entworfenen hexagonalen Faltmechanismus auch für die Funktion als faltbarer Vakuum-Solargrill einzusetzen (mit sich aufspannenden doppelt gekrümmten Spiegelfolien). Nach längerer Zeit wird auch dieses Projekt wohl bald erneut fortgesetzt.



Systematik grafischer Studien

Das Zustandekommen bzw. der Aufbau dieser grafischen Suche ist auch vergleichbar mit der generell angewandten eigenen konstruktiven Strukturentwicklung. Mit einer einzelnen Überlegung wird begonnen, anschließend wird diese zur Weiterentwicklung – oft nur teilweise – kopiert und abgewandelt. Je mehr Abwandlungen es gibt, desto mehr Stellen und mehr Möglichkeiten gibt es, wiederum zu neuen Variationen zu gelangen. Oft ergibt sich bei einer solchen Abwandlung bzw. durch den Vergleich mehrerer Variationen eine spezielle Eigenheit bzw. ein Ordnungsprinzip, auf welches im weiteren Entwicklungsprozess eingegangen wird, um wiederum – speziell auf diese Eigenheit hin – die sich ergebende Bandbreite an Möglichkeiten auszuloten. Mit der Kombination unterschiedlicher Ordnungsprinzipien steigt auch deren Komplexität weiter an. Es ergibt sich ein sich ständig erweiterndes „Netzwerk“ aus sich unterscheidenden, bezogen auf ihre „Abstammung“ aber dennoch zusammenhängenden Entwicklungsschritten. Ähnlich wie im eigenen Gesamtprozess ergibt sich auch in diesem veranschaulichten Beispiel eine scheinbar chaotische, sich frei ausbreitende Dokumentstruktur – man erkennt jedoch einzelne aus den jeweiligen Entwicklungslinien hervorgehende Kategorien bzw. „Familien“, wobei die darin inkludierten Objekte enge Gemeinsamkeiten aufweisen, sich von anderen jedoch stärker unterscheiden.



Die angesprochenen Penrose-Parquettierungen verweisen dagegen auf Einsatzbereiche speziell flächiger Strukturentwürfe. Auch konnte das eigene geometrische Verständnis – hilfreich im bald darauf eingeleiteten einhergehenden Entwurfsprozess – durchaus signifikant erweitert werden. Eine intensive Beschäftigung zur – funktional „sinnvollen“ – Materialisierung der fortgeschrittenen eigenen grafischen Struktursuche ist jedoch noch ausständig.

Die abgebildete Gestaltung dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien-Bibliothek registriert. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



1.1.2 frühe entwurfstheoretische Überlegungen bzw. anfängliche Reflexion der eigenen Entwurfs- und Arbeitsmethodik

Noch vor der intensiven theoretischen Befassung im Zuge dieser Arbeit, wurden einige später genauer ergründete Überlegungen bzw. methodikbezogene Aspekte erörtert. Wie ebenfalls bereits dargelegt, wurde so auch ein – zu diesem frühen Zeitpunkt noch sehr einfach gehaltener – „Leitfaden“ dieser angewandten und weiterzuentwickelnden Entwurfsmethodik definiert.

gemachte Erfahrungen ←

↳ neue Möglichkeiten

Im fortlaufenden (offen-)experimentellen Entwurfsprozess können auf Grundlage gemachter – jedoch zuvor nicht vorherzusehender – Erfahrungen neue Möglichkeiten gefunden und verfolgt werden, welche in noch weiterer Folge wiederum die Grundlage für noch spätere – ebenfalls nicht vorherzusehende – Entwicklungen bilden. Diese freie bzw. eigen-dynamische Entwicklung sollte zunächst – auch etwa in Kombination mit dem eigenen, „von Natur aus“ angewandten und nun im Konstruktionsentwurf eingesetzten Querdenken bzw. lateralem Denken – als Voraussetzung dafür dienen, sich ein eigenes Bild der zu erreichenden konstruktiven Möglichkeiten zu machen.

freies Entwerfen

Entworfen wird frei nach geometrischen sowie statischen und dynamischen Möglichkeiten; auch nach potentiell funktionalen Anwendungen, wobei diese gelegentlich (mittlerweile meist) erst in weiterer Folge aus eben jenen statischen bzw. dynamischen Eigenheiten gefundener Strukturen abgeleitet werden.

eigener Zugang

Die eigene Entwurfspraxis ist keiner speziellen konstruktiven Thematik unterzuordnen, Konstruktionssysteme werden bewusst nicht nach vordefinierten Kategorien gegliedert. Behandelte Schwerpunkte ergeben sich aus dem Prozess selbst. Die Ergebnisse werden – wenn überhaupt – erst rückbezüglich auf Grundlage ihrer Gemeinsamkeiten und Unterschiede sowie ohne feste Grenzziehung gruppiert. Konstruktionssysteme werden ständig erweitert und frei kombiniert. Einzelne Themen greifen stets ineinander – eine starre Kategorisierung scheint für einen ungebundenen Erkundungsprozess kaum förderlich. So werden jedoch nicht nur keine „externen“ Kategorisierungen übernommen; auch zu konkreten konstruktiven Entwicklungen anderer wird bewusst eine gewisse Distanz gehalten bzw. wird das eigene Erarbeiten von Lösungswegen diesen stets vorgezogen. Erst nach einer tiefgreifenden eigenen Beschäftigung mit einer Thematik, werden von anderen entwickelte Lösungswege eingesehen und studiert. So soll gewährleistet sein, dass zu übernehmende Erkenntnisse in bereits gemachte eigene Erfahrungen eingegliedert werden können, und nicht etwa alle zukünftigen eigenen Erfahrungen in diesem Gebiet in den jeweiligen Denkmustern anderer betrachtet werden müssen.

keine starre Zielsetzung

Oft wird bewusst „frei“entworfen – ohne ein unbedingt zu erreichendes Ziel. Wofür eine entworfene Struktur schließlich anzuwenden ist, wird nicht Vorweggenommen. Selbst wenn eine solche Anwendung bereits während des Entwerfens angedacht wird, kann sich dieses zu verfolgende Ziel ändern, oder neue zu verfolgende Richtungen können zu diesem hinzukommen. Dies geht etwa auch damit einher, dass vorwiegend unabhängig von der jeweiligen Dimensionierung entworfen wird. Da versucht wird, Einschränkungen für zukünftige Entwicklungen zu vermeiden, sind Skalierung und Maßstab der schlussendlichen Konstruktion speziell im grundlegenden Strukturentwurf wohl eher hinderlich. Erst in Bezug auf den Materialisierungsprozess sowie die funktionale Anwendbarkeit gewinnen auch die damit einhergehenden und in unterschiedlichen Dimensionen jeweils variierenden Materialeigenschaften an Bedeutung.

Entwurf und Materialisierung

So ist bezogen auf die Methodik der eigenen experimentellen Praxis des Weiteren anzumerken, dass gerade das Wechselspiel von Entwurfs- und Materialisierungsprozessen für die Entwicklung zentral ist. Etwa gibt es auch unzählige Entwicklungsschritte bzw. Strukturvariationen, welche selbst nicht realisiert wurden bzw. gar nicht realisiert werden können, jedoch als Zwischenschritt oft unerlässlich sind. Von zunächst rein theoretischen, lediglich erdachten bzw. – mit analogen oder digitalen Hilfsmitteln – grafisch artikulierten Strukturen wird zu tatsächlich physisch existierenden Gestalten bzw. Konstruktion gelangt.

Potential von Unstimmigkeiten und direkter Interaktion

Überaus relevant ist dabei, dass sich die schließlich materialisierte Konstruktion oft anders verhält, als zuvor erwartet wurde, und dadurch ein Anpassen des zugrundeliegenden „Gedankenkonstrukts“ an das tatsächliche Modell erforderlich wird. Auch können sowohl theoretischer Entwurf und die physische Konstruktion gemeinsam adaptiert werden. Denkfehler können so ausgebessert werden; und da das Modell auch als „Gedankenstütze“ dient, werden auch weiterführende Überlegungen vereinfacht. Konstruktionen müssen nicht mehr selbst erdacht, sondern können physisch wahrgenommen werden. Häufig offenbaren sich durch die Materialisierung einer erdachten Struktur und durch das so ermöglichte physische Hantieren bzw. experimentieren am realen Objekt eine ganze Reihe an unerwarteten Erkenntnissen und neuen Möglichkeiten.

Differenz im Entwurf statischer bzw. dynamischer Konstruktionen

Bezogen auf den experimentellen Entwurfsprozess ist so etwa zwischen dem Entwurf statischer, sowie dem dynamischer Konstruktionen zu unterscheiden – bei letzteren kommt dabei zur Räumlichkeit quasi eine zusätzliche „Zeitdimension“ hinzu.

Soll von einer flexiblen bzw. instabilen oder unkontrollierten zu einer statisch möglichst stabilisierten Struktur gelangt werden, stellen alle auftretenden Instabilitäten zu behebbende Fehler dar. Dagegen werden beim Entwurf dynamischer Konstruktionen einzelne Bewegungen der Struktur nicht unterbunden, sondern gesucht bzw. „gelenkt“ – das Ergebnis ist kein Zustand, sondern ein Prozess. *Instabilitäten* – welche oft erst durch den Materialisierungsprozess bzw. durch die physische Interaktion am Modell ersichtlich werden – stellen so keine Fehlerquellen, sondern *neue Entwicklungsmöglichkeiten* dar. Auch speziell aus diesem Grund gilt die eigene Erforschung nun vermehrt solch adaptiven Strukturen bzw. Formwandlungsprozessen. Dass nicht mehr versucht wird, alle Veränderungen der Form zu unterbinden, sondern diese zu erlauben, geht mit einer „Öffnung“ dieser zuvor eher einengenden Suche einher. Diese strategische Anwendung in der Praxis bzw. deren Anpassung resultiert aus eben dieser Fülle an sich meist ungeplant ergebenden neuen möglichen Entwicklungsrichtungen. Instabilitäten der Konstruktion sind keine Fehler mehr, sondern mögliche Wege – das so forcierte Aufwerfen neuer Möglichkeiten gilt dem so laufend vorschreitenden Prozess und dem dadurch wohl steigenden Potential innovativer Entwicklungen.

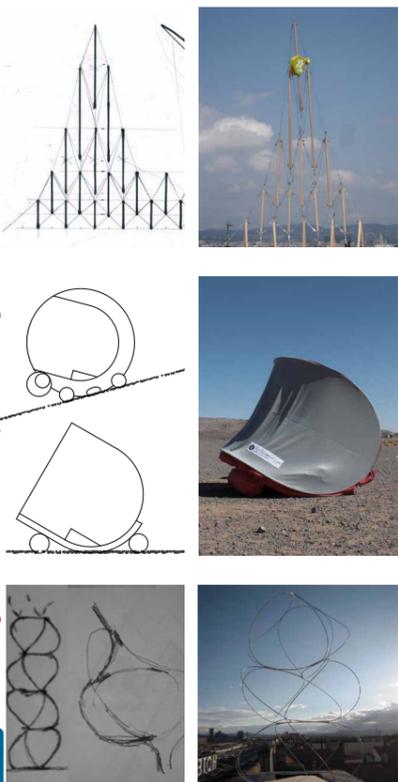
↗ Entwurfstheorie
Entwurfspraxis ↙

Speziell hervorzuheben ist die wechselseitige Beziehung von Theorie und Praxis im eigenen Entwurfsprozess, welche auf unterschiedlichen Ebenen ersichtlich wird.

Etwas resultieren jene aus der Analyse eigener praktischer Entwurfsprozesse hervorgehende Überlegungen zur angewandten Methodik in einer Adaption der jeweiligen Anwendungsweise – und werden so wiederum direkt in der Praxis überprüft. Jedoch nicht nur solch weitgreifende – bezogen auf die generell angewandte Arbeitsweise *strategische* bzw. sich erst über Umwege auf die eigene Praxis und deren Ergebnisse auswirkende – entwurfstheoretische Überlegungen zeigen diese enge Wechselbeziehung:

↗ Materialisierung
Strukturentwürfe ↙

Auch detailliert betrachtet, bildet der eigene experimentelle Entwurfsprozess ein Wechselspiel von theoretischen Überlegungen und praktischen Ausführungen bzw. Versuchen. Die für die Realisierung bzw. Materialisierung wohl wichtigste Antriebskraft ist der Drang zu wissen, ob das, was zuvor überlegt wurde auch in der Praxis tatsächlich so funktioniert. In der Folge braucht – wie bereits erwähnt – das zuvor vorgestellte nicht mehr selbst erdacht, Zusammenhänge brauchen nicht mehr vorauskalkuliert, sondern können direkt am realen Objekt nachvollzogen werden. Die physische Modellierung anfänglich rein theoretischer Überlegungen dient so nicht nur der Überprüfung scheinbar vollendeter Entwürfe, sondern – da die Vorstellungskraft bald an Grenzen stößt – auch als „Gedankenstütze“ zur Dokumentation des derzeitigen Gedankenstandes. So kann – anstatt des Festhaltens an einem bestimmten Wissensstand – sich gedanklich wieder der Suche nach darauf aufbauenden neuen Möglichkeiten zugewandt werden. Speziell durch physische Interaktion – also dem Ausprobieren bzw. Experimentieren am Objekt selbst – kann zu besserem Verständnis bzw. zu neuen Erkenntnissen zur erdachten Struktur gelangt werden. Sich durch physische Einwirkung einstellende Reaktionen können beobachtet werden um aus diesem „Feedback“ der Struktur selbst Schlüsse zu ziehen und auf dieses im fortlaufenden Prozess einzugehen.



spontaner Einstieg
bewusste Vertiefung
bewusste Ausweitung

Im zuvor behandelten fortlaufenden bzw. vorausgehenden Entwurfsprozess handelt es sich bei den richtungsweisenden Faktoren scheinbar um ein Gegenspiel von bewussten Entscheidungen und eher als „passiv“ wahrgenommenen situationsbedingten Fügungen (Im späteren Verlauf der Arbeit wird der Fokus speziell auch auf die Klärung dieser Frage nach der eigenen aktiven Stellung gelegt). So kann der eigene Entwurfsprozess aufgrund der resultierenden Eigendynamik zwar als „chaotisch“ bzw. unkontrolliert wahrgenommen werden, jedoch ist er dies in seiner Gesamtheit – und ebenso im Detail – nur bedingt: Zwar wurde anfangs eher „spontan“ ein intensiver Entwicklungsprozess mit dem Entwurf eines bestimmten Konstruktionsystems begonnen, welches in der Folge jedoch bewusst tiefgreifend erörtert und um neue Aspekte bzw. Erkenntnisse erweitert wurde. Später wurde bei sich anbietenden Gelegenheiten bewusst von diesem ursprünglichen Ansatz „weggedacht“, um die behandelte Bandbreite an Konstruktionen zu erweitern. Schließlich wurde angestrebt, das zur Verfügung stehende „Spektrum“ an konstruktiven Möglichkeiten durch eine bewusst offene und „großflächige“ Struktursuche zu erforschen.

resultierende
Eigendynamik

Projektbezogene &
Projektübergreifende
Strukturentwicklung

So kann die eigene Strukturentwicklung einerseits bezogen auf einzelne Projekte betrachtet werden – wie sich mehrere konstruktive Aspekte zu einem Entwurf zusammenfügen. Oder aber diese wird projektübergreifend erfasst – wie sich diese Aspekte von Projekt zu Projekt verändern, sich ergänzen und anders weitergeführt werden, bzw. wie neue Aspekte und Konstruktionssysteme hinzukommen und mit bereits zuvor behandelten kombiniert werden.

Verlauf bzw.
Entwicklungsrichtung
nicht vorherzusehen

Da neue Entwürfe auf den Erfahrungen aus vorausgehenden Entwicklungen beruhen, bzw. spätere auf vorherigen aufbauen, bleibt es stets unvorhersehbar, wohin die jeweils gegenwärtige Entwicklung den sich auch zukünftig fortsetzenden Prozess leiten wird (In späterer Folge wird bei einer solchen Anhäufung von Erkenntnissen von kumulativen Prozessen bzw. von Erwartungs-Erfahrungs-Kreisläufen gesprochen). Auch bezogen auf den Entwurf einzelner Projekte sind der jeweilige Verlauf sowie das Endergebnis nicht vorherzusehen.

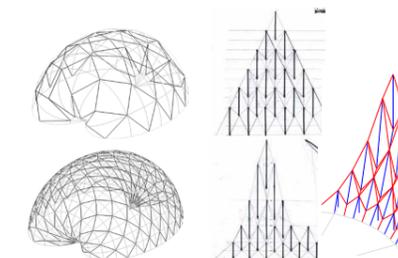
Entwicklungen im Einzelprojekt

schrittweise Verknüpfung
von Einzelaspekten

Jedes Projekt hat einen zugehörigen Entwicklungsprozess. Bis zum Endergebnis addieren sich einzelne Aspekte und Überlegungen zu einem stimmigen Entwurf – entweder als Weiterentwicklung eines bereits ergründeten Prinzips, oder neu konstruiert. Strukturen werden im Entwicklungsverlauf oft von einer (noch) nicht stabilen bzw. stimmigen Anordnung durch gezieltes Positionieren, Einfügen und Entfernen einzelner Elemente, sowie durch Ändern der Ordnungsprinzipien schrittweise zu einer stabilen Konstruktion weiterentwickelt – sowohl gedanklich, als auch als physisches Modell.

konstruktive Logik

Oft liegt der entworfenen Struktur eine gewisse sich fortsetzende Logik zugrunde. Eine Änderung der Struktur erfolgt durch eine Variation in diesem „Algorithmus“ und bezieht sich auf das gesamte Objekt. Ein Teil dieser Regeln beschreibt dabei, wie die einzelnen Bestandteile bzw. konstruktive Details aufgebaut sind, ein anderer Teil beschreibt, wie weit dieses Prinzip ausgeführt wird (Stufenanzahl). So können – durch die Vorgabe geringer Informationsmengen und aufbauend auf einfache Prinzipien – komplexe Strukturen entstehen, deren Geometrie und Ausdehnung sich selbst limitieren oder endlos weiterführen.



resultierend in bzw. aus
anderem Projekt

Wird beim – mehr oder weniger starren – Verfolgen neuer Problemstellungen nach Lösungen gesucht, so wird meist zuerst unter den vorhandenen, selbst entwickelten Strukturen nach- und weitergeforscht. Findet sich keine Lösung, wird der Strukturentwurf – mit dem Problem „im Hinterkopf“ – von Neuem begonnen. Gelegentlich führt etwa auch erst das Erkennen eines bestimmten Mechanismus bzw. Effekts zur Einleitung eines neuen Projekts. So liegen die Anfänge eines solchen spezifischen Entwicklungsprozesses oft bereits im Verlauf einer vorangehenden Entwurfsarbeit bzw. in einer ganzen Reihe von Projekten.



Entwicklung über mehrere Projekte hinweg fortlaufender Entwicklungsprozess

aus unerwartet
erkannten Möglichkeiten
erkannte Möglichkeiten
ermöglichen das
unerwartete Erkennen
neuer Möglichkeiten

projektübergreifende
strukturelle
Weiterentwicklung

So konnte bei der nachfolgenden Analyse – und auch bereits während des Entwurfsprozesses – eine teils ungeplant und teils bewusst erfolgte *projektübergreifende strukturelle Weiterentwicklung* beobachtet werden – ebenfalls Lösungen, welche ohne die vorausgehenden Entwicklungen nicht zustande kommen hätten können. Auch konnten dabei mehrmals dieselben bzw. nur leicht abgeänderte bzw. variierte Lösungswege für unterschiedliche Probleme angewandt werden.

über Zielsetzung
hinausreichende
Sinnhaftigkeit

Das Wissen über diese Mehrfachanwendung bzw. die mögliche spätere Relevanz entworfenen Strukturen gibt spezifischen Entwicklungen eine Bedeutung, welche über das ursprüngliche Ziel hinausreicht. Im Umkehrschluss ergibt sich die Möglichkeit, auch in Entwicklungen ohne konkretes Ziel trotzdem einen tieferen Sinn zu sehen, da Erkenntnisse und gefundene Prinzipien später für etwas anderes (evtl. „sinnvolles“) „wiederverwertet“ bzw. neu angewandt werden können.



Entwicklungslinien

Einerseits – ersichtlich etwa anhand der eigenen „Tensegrity“-Studien – finden sich Entwicklungen, welche über mehrere Projekte weitgehend „geradlinig“ verlaufen. Andererseits werden durch die Abkehr von diesen Entwicklungslinien und die Verfolgung anderer Lösungsansätze auch neue eröffnet. Weitgehend lineare Weiterentwicklungen können sich dabei in ihrem Verlauf ebenso externer Aspekte bedienen, wie davon getrennt entstandene Lösungen sich auf Erkenntnisse des linearen Entwicklungsprozesses beziehen können. So erfolgt durch ein solches Verfolgen neuer Richtungen ein „Aufzweigen“ von Entwicklungslinien, gelegentlich werden diese durch eine solche neuerliche Bezugnahme jedoch auch wieder vereint.

Problemstellung

- ↳ Suche nach Lösung
- ↳ Suche nach Problem

Lösung

Oft werden Lösungen zu bereits bekannten bzw. selbst neu erkannten Problemen gesucht. Jedoch werden im Zuge eines mehr oder weniger zielgerichteten Entwurfsprozesses gelegentlich unerwartet konstruktive Möglichkeiten bzw. Effekte gefunden, welche erst in der Folge auf ein damit zu lösendes – zuvor noch unbekanntes bzw. selbst nicht bedacht – „Problem“ verweisen.

Auch werden zu gefundenen Strukturen bewusst noch weitere Anwendungsmöglichkeiten gesucht, für welche die jeweilige Entwicklung nützlich sein könnte. Anders ausgedrückt könnte man meinen, nicht nur Probleme erfordern neue Lösungen – auch neue Lösungen erfordern neue Probleme – oder zumindest das Bewusstsein über diese.

Repertoire an Bauweisen durch unterschiedliche Entwicklungsrichtungen

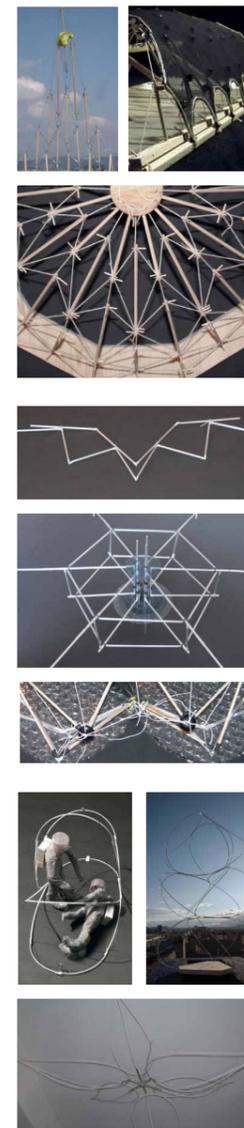
Durch Strukturentwürfe in unterschiedliche Entwicklungsrichtungen lässt sich die Gesamtentwicklung auch in unterschiedlich ausgeprägte Konstruktionsarten gliedern – ähnlich der „Familienbildung“ der zuvor gezeigten grafischen Studien. Durch fortgesetztes freies Entwerfen und das Anwenden von selbst gefundenen Lösungen, stellen diese auch fortlaufend neu bereitgestellte „Entwurfswerkzeuge“ dar. So soll(te) sich im Laufe der Zeit mit der steigenden Vielfalt eine Art eigene „Datenbank“ bilden, auf welche in zukünftigen Überlegungen zugegriffen wird. Bei einer solchen zukünftigen Wiederaufnahme wäre etwa „Originalität“ quasi vorprogrammiert – aufgrund originär entstandener Entwicklungen basierend auf eigenen Gedanken. Wenn nun – ohne bestehende Vorbildwirkung – doch Ähnlichkeiten zu Lösungen anderer auftreten (wie bereits geschehen), so ist dies als „konvergente“ Entwicklung (und dadurch wohl eher als „Zufall“) zu betrachten.

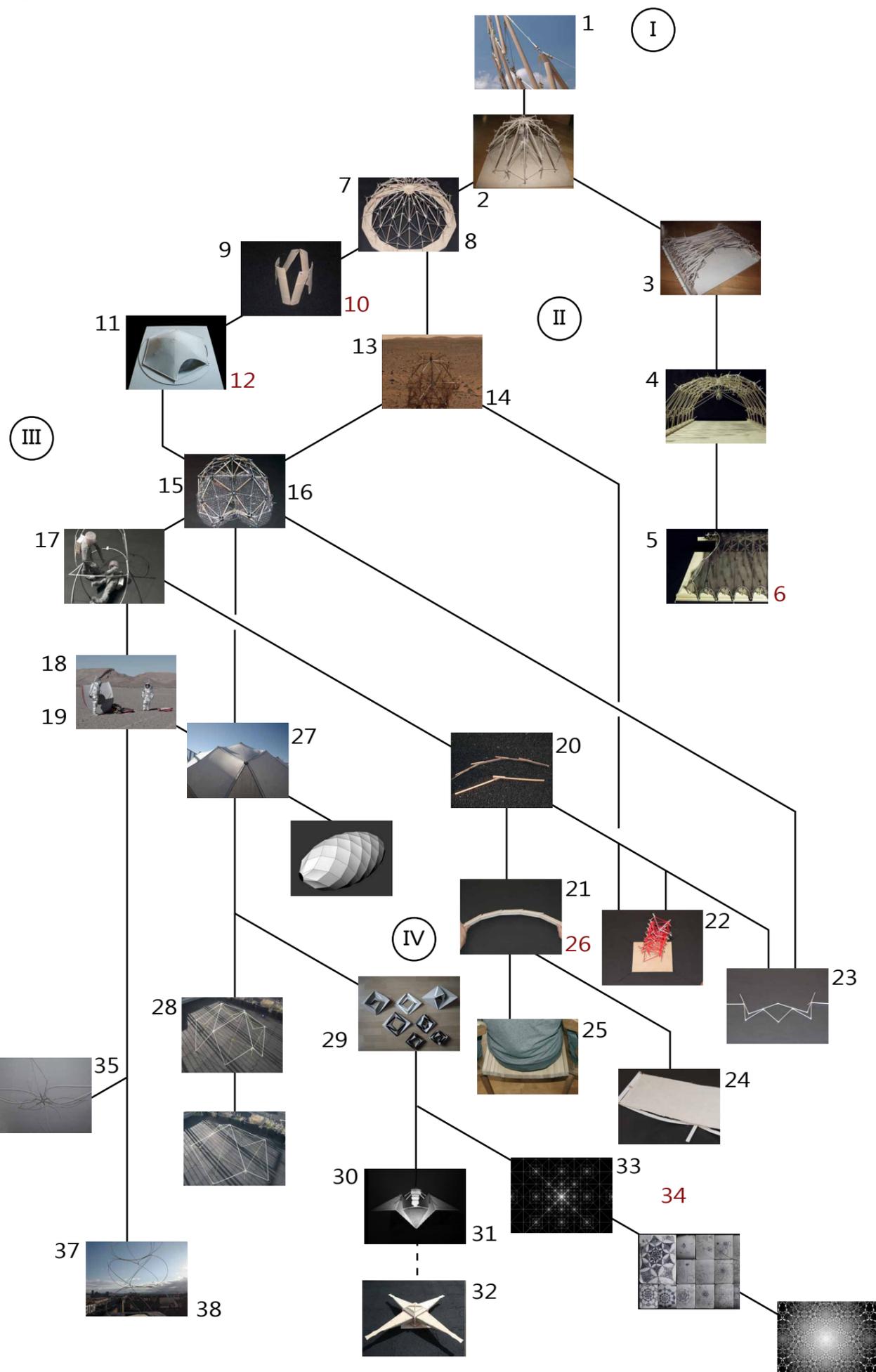
steigende Vielfalt an Möglichkeiten

So gibt es ständig viele offene Pläne, erst zu realisierende Überlegungen oder zu ergründende Fragestellungen – in ihrer Gesamtheit wohl mehr als es vorhandene Zeitressourcen zulassen. Trotz oder sogar wegen der fortlaufenden Beschäftigung, werden je mehr Lösungen gefunden werden, umso mehr Möglichkeiten bzw. zu verfolgende Entwicklungsrichtungen ersichtlich.

„ideale“ Ergebnisse

Ein „ideales“ Ergebnis dieser Suche wäre etwa die Entwicklung einer Struktur bzw. eines Konstruktionssystems, mit dem sozusagen „alles mögliche“ möglich ist. Bezogen auf den fortlaufenden und aufbauenden (kumulativen) Prozess gilt dieses Ideal dem Ziel, ständig neue Entwicklungsmöglichkeiten zu erhalten – Strukturen zu entwerfen, auf deren Grundlage wiederum neue Entwürfe ermöglicht werden, welche so erneut neue Lösungswege bereitstellen. Der weitere Prozessverlauf ist dabei aufgrund der sich einstellenden Eigendynamik bzw. der Unkenntnis über zukünftige Erfahrungen, Erkenntnisse und daraus folgende Entscheidungen grundsätzlich nicht vorherzusehen.





vorausgehender Entwurfsprozess

Wendepunkte der angewandten Methodik

- I erstmalige Anwendung der experimentellen Entwurfsmethodik
- II mehrere Möglichkeiten mit demselben Konstruktionssystem
- III bewusste Ausweitung des behandelten konstruktiven Spektrums
- IV Definition der eigenen offenen Entwurfsmethodik

thematisch relevante Aspekte im Entwicklungsverlauf

- 1 schrittweises Stabilisieren von instabiler Detailkonstruktion
- 2 außeruniversitäre Studien zu Universitätsprojekten
- 3 Anpassung an räumliche Gegebenheiten
- 4 Strukturänderung für gesteigerte Stabilität
- 5 Kombination unterschiedlicher Materialsysteme
- 6 **Konvergenz zu externer technischer Lösung**
- 7 zunächst falsche Strukturrichtung bei Modellierung erkannt
- 8 gegenseitiges Ausgleichen von Instabilitäten
- 9 neuerlicher Strukturwurf aufgrund gegebener Problemstellung
- 10 **Konvergenz zu externer technischer Lösung**
- 11 konstruktives Stabilisieren von Dynamik
- 12 **Konvergenz zu traditioneller bzw. geschichtlicher technischer Lösung**
- 13 einmalige Faltbarkeit durch Modellbautechnik
- 14 nicht weiterverfolgt aufgrund hoher Komplexität und Unerprobtheit
- 15 wesentliche Änderung von Konstruktionsprinzip
- 16 Kombination unterschiedlicher Konstruktionssysteme
- 17 Analogie zu technischer Lösung
- 18 nachträgliche Entwicklung alternativer Adaptionmöglichkeiten
- 19 externe Erprobung
- 20 spontanes Erkennen konstruktiver Möglichkeit
- 21 schrittweise Optimierung
- 22 Variationen aus derselben konstruktiven Thematik
- 23 bewusstes Aufgreifen bereits erprobter Konstruktionsarten
- 24 unerwartete Lösung für zuvor erkanntes Problem
- 25 Verweis auf neu erkannte Problemstellung
- 26 **Konvergenzen zu natürlichen Strukturen**
- 27 Selbstüberschätzung bei funktionalem Modellbau
- 28 Strukturreduktion
- 29 experimentelles Erkunden und schrittweise Optimierung
- 30 Nutzung von erkanntem Mechanismus
- 31 Instabilitäten als neue Möglichkeiten
- 32 Verweis auf zu lösende Problemstellung (gelöst)
- 33 Verselbstständigung grafischer Studien
- 34 **Konvergenz zu externer grafischer Lösung**
- 35 angelegter Materialvorrat für freies Experimentieren
- 36 Naturbeobachtung zu technischer Lösung
- 37 Neuanwendung vorhergehender Zielsetzung
- 38 unerwartete Faltbarkeit (später genutzt)

„Evolution“?

Zu Beginn der intensiven theoretischen Beschäftigung mit dieser Thematik der prozessbezogenen Weiterentwicklung, gewann durch den Vergleich unterschiedlicher Strukturen entwickelnder Bereiche (Kap. 1.2.1) bald die Frage an Relevanz, inwiefern auch hier von einem „Evolutionsprozess“ zu sprechen ist – zunächst wurde dieser Begriff wegen fehlender Begründung bewusst nicht verwendet. Jedoch wurde bald erkannt, dass sowohl biologische Entwicklungen, als auch der eigene Prozess auf einem solchen – mehr oder weniger zufälligen – Aufwerfen von Möglichkeiten und der darauf folgenden Auswahl der jeweils geeigneteren Variationen basieren, um auf deren Grundlage wiederum neue Variationen zu erhalten. So führt eben diese ähnlich (offen-)experimentell ablaufende Methodik auch zu einer vergleichbaren Eigendynamik im fortlaufenden Entwicklungsverlauf. Im Laufe des folgenden Erkenntnisprozesses (Kap. 1.3) konnte sich diese Fragestellung – speziell durch Kontaktaufnahme mit Systemtheorie und Verallgemeinerter Evolutionstheorie – schließlich zugunsten der Anwendung des Evolutionsbegriffes klären.

1.1.2.3 Zielsetzung und Gedankenfindung

offene Zielsetzung

Stark beeinflusst wird die eigene Struktursuche durch die jeweilige Zielsetzung. Gibt es ein Ziel? Was ist das Ziel? Grundsätzlich stellt sich zunächst die Frage, ob im Zuge eines Entwurfsprojekts einzig versucht werden soll, mit der Lösung der jeweiligen Problemstellung ein „nahes“ Ziel zu erreichen. Oder aber hat man – mit Blick auf den fortlaufenden Prozess oder etwa methodikbezogene Aspekte – „Größeres“ im Sinn und definiert daher laufende Projekte sogar als vordergründig weitgehend „ziellos“ bzw. einzig auf spezifisch zu erlangende konstruktive Erkenntnisse bezogen – jedoch zugleich als Entwicklungsschritt in eine noch unbekannt Zukunft? Schließlich ist wohl stets beides wichtig und notwendig: Gedanken an Naheliegendes sowie Überlegungen zu solch größeren Zusammenhängen stehen fortwährend im Wechselspiel.

Der Entwicklungsprozess einzelner Projekte setzt sich genauer betrachtet aus dem Setzen, Verfolgen und Erreichen vieler aufeinander aufbauender Zwischenziele zusammen. Gibt es keine vorweg definierte Richtung, so besteht die Möglichkeit, jedem einzelnen sich anbietenden Ziel zu folgen. Auch auf der Suche nach etwas bestimmten, werden oft andere, zuvor nicht bedachte Aspekte gefunden, welche jedoch auf zusätzliche Möglichkeiten hinweisen.

Nach der eigenen Definition einer *offenen Zielsetzung* dürfen bzw. sollten sich gesetzte Ziele und verfolgte Richtungen also gegebenenfalls ändern. So wird etwa versucht, sich einem vorzugsweise nur sehr vage definierten Ziel – etwas übertrieben formuliert – auf „irgendeine“ Art, also nicht zwingend geradlinig anzunähern. Oft gelingt dies, gelegentlich aber nähert man

sich durch das Folgen sich ergebender Möglichkeiten spontan einem anderen Ziel. Beim Lösen spezifischer Problemstellungen können also noch weitere zu verfolgende Richtungen gesehen werden, welche stets dokumentiert und gegebenenfalls wieder aufgegriffen werden sollten, um deren Potential zu ergründen. In der Regel sind schließlich erreichte Ziele also vor bzw. während des Entwurfsprozesses noch unbekannt bzw. ist die jeweilige Lösung nicht vorwegzunehmen. Jedoch können wie erwähnt Ziele bzw. Probleme oft erst durch das Finden ihrer Lösung erkannt werden – eine für funktionale bzw. innovative Produktentwicklungen wohl sehr wichtige Erkenntnis. So gilt die eigene Suche nicht nur dem Finden konstruktiver Lösungen bzw. dem Erreichen gesetzter Ziele, sondern auch speziell dem Finden funktionaler „Problemstellungen“ bzw. neuer möglicher Zielsetzungen.

(Im weiteren Erkenntnisprozess konnte dieser Aspekt auf fachlich fundierter Basis genau ergründet werden: Evolutionär betrachtet resultieren stabile Selektionskräfte bzw. feste Zielsetzung in gerichteten Entwicklungen. Mit deren Restabilisierung bzw. durch offene Zielsetzung im Entwurfsprozess ändert sich also auch die verfolgte Richtung. Aus funktionaler Sicht betrachtet zeigt sich, dass Variationen neben Effekten, welche einen jeweiligen Nutzen bedienen und als Hauptfunktion mit den gegebenen Selektionskriterien einhergehen, auch mit einer Reihe von Nebeneffekten einhergehen. Durch Änderung von Zielsetzung und Selektionskräften können diese jedoch einem neuen Nutzen zugeführt werden und so in der Ermöglichung neuer Funktionen resultieren.)

Ideensuche

Die eigene Suche nach „Erkenntnis“ bzw. nach „Ideen“ – sowohl konstruktiv, als auch rein theoretisch oder mit Bezug auf die Methodik – erfolgt mittlerweile bewusst intuitiv und erscheint so auf den ersten Blick zufällig bzw. „chaotisch“. Im Denkprozess ist sie dies wohl tatsächlich, jedoch werden die so erlangten Gedanken bzw. Ergebnisse in der Folge durch die bewusste Verbindung unterschiedlicher Blickwinkel analysiert und überprüft, Zusammenhänge werden gesucht, Kategorisierungen gefolgert sowie weiterführende Schlüsse gezogen.

nicht-lineare Gedankenfindung

An der bereits dargelegten konstruktiven Struktursuche und auch am bisher geschriebenen ist es wohl bereits abzulesen – die eigene Gedankenfindung verläuft meist kaum geradlinig, für gewöhnlich wird schnell zwischen unterschiedlichen Bereichen bzw. Aspekten gedanklich „hin- und hergesprungen“ bzw. werden diese parallel behandelt. Selbst ist die Art und Weise, wie diese Gedanken bzw. Aspekte zusammenhängen offensichtlich und aufgrund der eigenen Herleitung unmittelbar rational begründbar. Um diese Verbindung auch anderen zugänglich zu machen, bedarf es jedoch oft weiterer Ausführungen. Dieses bereits lange angewandte und nun bewusst gewordene sowie erfolgreiche, reflektierte bzw. „systematisierte“ Querdenken sowie laterales Denken sind wohl Teil der eigenen natürlichen Persönlichkeit, aber wohl ebenso ganz normaler – mehr oder weniger ausgeprägter – Bestandteil des Denkens von jedem einzelnen.

Dokumentation und Analyse von Gedanken

Diese Vorgehensweise einer solchen nicht-linearen Gedankenentwicklung, deren Potential früh erkannt wurde, wird grundsätzlich nicht versucht zu vermeiden. Es wird umgekehrt angestrebt, die „Konsequenzen“ bzw. die ermöglichten Vorteile aus diesem „ins Nichtsdenken“ zu ziehen. So wird bereits seit einigen Jahren eine konsequente Dokumentation von möglichst allen, auf weitere Sicht als relevant erachteten „zufällig angetroffenen“ eigenen Gedanken verfolgt.

Unerlässlich hierfür ist etwa das ununterbrochene Bereithalten eines Notiz- bzw. Skizzenhefts. Unterschiedlichste Überlegungen werden schließlich in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen strukturiert, kategorisiert und analysiert, um dahinterstehende Verbindungen sowie Gedankenmuster zu erkennen. So wird durch

diese Darlegung etwa auch versucht, Erkenntnisse besser ins eigene Unterbewusstsein zu implementieren, um in weiterer Folge von neuer Basis aus wiederum intuitiv agieren zu können. Auch soll so für zukünftige Überlegungen „voraus gearbeitet“ werden, da es – wenn der Moment der Erkenntnis spontan eintritt – meist mehrere dieser selbst oft unvollendeten Ansätze braucht, um sie durch deren Kombination zu einer neuen Idee zusammenschließen. Ein weiterer Grund für diese Gedankendokumentation ist die Möglichkeit, soeben erdachtes „vergessen“ bzw. „loslassen“ zu dürfen, um an anderer Stelle oder auch darauf aufbauend weiterdenken zu können (Ähnlich verhält es sich beim Modellierungsprozess – auch dieser stellt eine Gedankenstütze bzw. eine Dokumentation des jeweiligen Gedankenstandes dar).

freies Denken

Stets leitet das eigene Querdenken den weiteren Prozessverlauf. Durch dieses „freie“ Denken, Gedanken „vorbeiziehen“ lassen, diese „abscannen“ und alle wichtigen Aspekte dokumentieren; sich gedanklich in bestimmte (fach-)Bereiche begeben bzw. sich in diese hineinversetzen, usw., ergibt sich schließlich – bildlich gesprochen – eine Art „Netzwerk“ aus Gedanken bzw. eine „Gedankenwelt“, die an ihren Rändern – und auch ins Detail blickend – scheinbar uneingeschränkt erweiterbar ist. So kann durch ein solches – nur kurzzeitig womöglich sinnloses – „ins Nichtsdenken“ und das spätere Verbinden dieser losen Gedanken, das eigene Gedankennetzwerk ständig weiter ausgebaut werden.

offene Gedankensuche ↴
↵ analytische Aufarbeitung

Entwicklung von Gedanken

Dadurch, dass seit einigen Jahren intensiv nicht nur rein konstruktive, sondern alle wichtigen Gedanken möglichst konsequent dokumentiert werden, wurden – wie wohl nicht allzu schwer erkennbar – auch viele Überlegungen zu Denkprozessen selbst bzw. „Gedanken über das Denken“ tiefgehend erfasst und versucht zu ergründen. Viele behandelte Aspekte sind so eher philosophisch-theoretischer Natur, jedoch durch die Verbindung mit der eigenen entwerferischen Praxis auch mit architekturtheoretischem Bezug. Der Entwurf von Strukturen gründet schließlich auf der Entwicklung von Gedanken (im weiteren Verlauf dieser Arbeit konnten diese Überlegungen zu kognitiven Prozessen fundiert erörtert werden). Gedacht wird in Bedeutungen bzw. Zusammenhängen, man weiß nie genau, welche Gedanken kommen, oder wann – alle könnten sich später als relevant herausstellen. Aktiv geschaffenes – Konstruktionen und Grafiken, aber auch Sprache, Schrift usw. – kann dabei wohl als Ausdruck bzw. Expression der eigenen Gedanken gesehen werden. Im Gegensatz dazu stehen Impressionen – alles, was von außen auf diese einwirkt und wahrgenommen wird.

Aufgrund der vielen externen Einflüsse, welche den eigenen Denkprozess leiten – selbst Expressionen wirken als Impressionen zurück – sowie das eigene fortlaufende logisch gefolgerte situationsbedingte *Reagieren* auf sich ergebende Situationen, schien es oft, als lägen getroffene Entscheidungen meist kaum an mir selbst. Als würde mir die jeweilige Situation diese quasi „vorlegen“. Als ließe sozusagen ich die Welt sich selbst weiterentwickeln – durch das Zur-Verfügungstellen meines eigenen Denkens und Handelns (Im weiteren Verlauf konnte dieser Aspekt durch die Befassung mit den Grundlagen von Entwicklungsprozessen sowie der genauen Erörterung der aktiven Stellung weitgehend aufgeklärt werden. Jede *Aktion* ist nicht nur als *Reaktion* und damit resultierend aus vorangehenden Wechselwirkungen zu betrachten, sondern – nach eigener Formulierung – auch als „*Präaktion*“, also auf zukünftige Wechselwirkungen, Situationen sowie Erkenntnisse einwirkend. Das eigene aktive Denken und Handeln ist trotz der resultierenden Eigendynamik am zukünftigen Prozessverlauf also entscheidend beteiligt – jedoch zu einem großen Teil auf nicht vorhersehbare, unbeabsichtigte Weise, durch jene „not intended consequences of human action“).

durch eigenen Zugang ohne externe Kategorisierung zu originären Lösungen

Spätestens seit den Erfahrungen zu Beginn der hier behandelten eigenen konstruktiven Tätigkeit – speziell den Studien zu „Tensegrity“-ähnlichen Strukturen – wird bewusst dazu tendiert, sich zuerst *selbst* mit behandelten bzw. zu behandelnden Themengebieten zu beschäftigen und erst *später* gegebenenfalls auf verfügbares externes Fachwissen zuzugreifen. In besagtem Fall zeigte dieses eine signifikant andere Herangehensweise, ausgehend von geschlossenen Raumzellen.

Die Erfahrung brachte so die Erkenntnis, dass durch einen eigenen Zugang einerseits zu einem tieferen Verständnis für eine Thematik, andererseits wohl auch leichter zu innovativen – weil originären – Lösungen gelangt werden kann. Gelegentlich entstehen – alleine durch die Kenntnis über die Existenz einer Thematik – so viele neue Einfälle, welchen gefolgt werden kann bzw. welchen zu folgen ist, dass auch bereits gefundene Litera-

tur vorerst bewusst *nicht* gelesen wird. Wird im Vorherein über fremde, bereits vorgedachte Bahnen in eine Thematik eingestiegen, so führt dies möglicherweise – auch nachhaltig – zum Verlust der Freiheit, sich zu dieser Thematik ein von Grund auf *eigenes* Bild zu machen (Dies ist natürlich als idealisiert zu verstehen – jeder bezieht Informationen aus unzähligen externen Quellen. Das „eigene“ Bild ist also generell zu hinterfragen). Erst wenn schließlich zu eigenen Ergebnissen gelangt wurde, ist die Kenntnis über Lösungswege anderer wichtig: Wie deren Herangehensweise ist, mit welchen Erkenntnissen diese einhergehen, ob sie mit den eigenen korrelieren, oder sich von ihnen unterscheiden. Die eigenen Folgerungen und der eigene Zugang bleiben – selbst wenn sich eigene Ansichten weiterentwickeln und durch externes Wissen erweitert werden – grundlegend, auch weil diese als einzige weitestmöglich zugänglich und hinterfragbar sind.

späterer Abgleich zur verminderten Beeinflussung durch externe Herangehensweise

Befassung mit externem Wissen auf grundlegender Ebene

Auch wird bei der Beschäftigung mit bzw. bei der Recherche von „fremdem“ Wissen – wiederum für einen fundierten Erkenntnis- bzw. Entwurfsprozess, sowie um eine zu starke Beeinflussung der spezifischen eigenen Gedanken zu vermindern und nicht in bestehenden Denkmustern festzuhängen – darauf Wert gelegt, sich mit den wirklichen *Grundlagen* der jeweiligen Sachlage zu beschäftigen. Dies gilt (neben der Thematik dieser theoretischen Arbeit) etwa statischen und dynamischen Zusammenhängen anstatt stilisierenden konstruktiven Merkmalen. Und eben auch dadurch – durch die Beschäftigung auf übergeordneter (bzw. tiefgreifenderer) Ebene und etwa entgegen der externen Kategorisierung von Konstruktionsystemen – hängt alles behandelte zusammen; ist mehr oder weniger das Gleiche, eben „ein Bisschen mehr so, oder ein Bisschen mehr so“. Wenn überhaupt, sollten Grenzen und Kategorien nach eigenem Verständnis gezogen werden, anstatt Konventionen als gegeben zu akzeptieren und diese blind zu übernehmen. Es werden selbst Wege gesucht und gefunden, Bereiche bzw. Begrifflichkeiten gegenüberzustellen – wiederum sowohl konstruktiv, als auch rein theoretisch. Wohl auch dadurch scheint es selbst recht einfach, zwischen nur scheinbar weit auseinanderliegenden Bereichen gedanklich hin- und herzuwechseln.

Differenzen zwischen eigenem und zunächst erfahrenem Wissenschaftsbild

experimentelle Methodik sowie nachvollziehbare Logik in Herleitung und Argumentation Wegen der dargelegten Vorgehensweise der eigenen Erkenntnisfindung sowie aufgrund möglicher Konvergenzen in der grafischen Darstellung eigener Argumentations- bzw. konstruktiver Entwicklungsschritte, mussten auch – wie berichtet – leichte Auseinandersetzungen bezüglich ihrer „Wissenschaftlichkeit“ geführt werden (Freie Studie „Krümmung und Struktur“). Meiner Meinung nach sollte diese gegeben sein; Argumente sind logisch gefolgert, nachvollziehbar und durch experimentelle Überprüfung oft auch physisch materialisiert. Es wird versucht, alle Argumentationslücken zu schließen – und letztlich wird neues „Wissen“ geschaffen. In unserer „Wissenschaft“ müsste es doch Raum geben für freiere aber dennoch rationale Methoden. Oft sind beanspruchte Zeit und Motivation beim Entdecken von Neuem wohl besser verwendet, als bei an der Analyse von bereits existierendem – oder dem Festhängen in einer idealisierten Methodik. Überdies ist für mich auch die Frage, wie „Wissenschaft“ zu praktizieren ist, bzw. was „Wissenschaft“ überhaupt ist, eher eine *philosophische* und die Antwort daher wohl kaum streng wissenschaftlich festzulegen (in späterer Folge wurde diese Ansicht auch von externer Seite untermauert). Dagegen wird die tatsächliche „Wissenschaftlichkeit“ dieser erfahrenen Ansichten von mir selbst teilweise bezweifelt. Etwa wurde argumentiert, ein reines Vorweisen der Endergebnisse – also quasi eine „Verschleierung“ des Entwicklungsprozesses – wäre der eigenen logisch gefolgerten Argumentation vorzuziehen. Nur durch Unmengen an weiteren Ausführungen wäre dies zufriedenstellend zu bewerkstelligen.

Grundlagenforschung ohne Einschränkung

Mir persönlich würde alleine die Erkenntnis reichen: *ich suche, ich finde – ich forsche*. Jedoch stellt(e) sich trotzdem die Frage, ob „Wissenschaft“ bzw. „Wissenschaftlichkeit“ nur eine reine Konvention darstellt, oder nicht doch natürlich begründbar und nach eigener Logik abgrenzbar ist. Speziell im Bereich der Grundlagenforschung – der das eigene Schaffen wohl zuzuordnen ist – sollten doch auch eher unkonventionelle Methoden dennoch wissenschaftlich sein.

(Im weiteren Verlauf dieser Arbeit konnte das eigene Bild von Wissenschaft als Teil unserer kulturellen Evolution geschärft werden. So ist zu unterscheiden zwischen kollektiven bzw. kulturellen, sowie individuellen Erkenntnisprozessen – alle Neuerungen im kollektiven Wissen entstammen dabei individuellen Lernprozessen bzw. individueller kognitiver Evolution. Individuell erlangte Erkenntnis geht durch kulturelle Tradierung aufs Kollektiv über- bzw. wird durch diese weitergegeben. Wissenschaft als ein solch kollektiver Erkenntnisprozess ist dabei also nicht zu verwechseln mit einer überlieferten, vermeintlich „allgemein angewandten“ – wohl dogmatisierten und wenig hinterfragten – „wissenschaftlichen Methodik“, welche strikt definiert, auf welche Art und Weise diese Erkenntnisfindung und -weitergabe zu erfolgen hat.)

im Zuge des folgenden Erkenntnisprozesses aufgeklärt

1.1.2.5 definierte Arbeitsmethodik und angedachte Anwendungsweise in dieser Arbeit

durch freies Denken zu größtmöglicher Übersicht

Die eigene (offen-)experimentelle Arbeitsmethodik ist von freiem Denken geprägt – ohne die genaue vorherige Kenntnis über das endgültige Ziel oder den übernächsten Schritt. Wird versucht, sich einer Sachlage thematisch anzunähern bzw. diese zu erörtern, werden zunächst mit größtmöglicher Übersicht sozusagen gedanklich „Kreise“ um den zu definierenden Punkt gezogen, um diesen so besser zu verstehen. Obwohl dabei während des Entwerfens bzw. des Denkens durch oftmalige Richtungsänderungen das Ziel „verschwimmt“ und im „Hinterkopf“, bzw. nicht mehr im direkten Bewusstsein verweilt, wird so oft dennoch – quasi über Umwege – genau dort hin gelangt. Anstatt etwas spezifisches zu entwerfen bzw. Endergebnisse vorwegzunehmen, entwerfe ich – wohl etwas übertrieben formuliert (jedoch einhergehend mit der Zufälligkeit in Variationsprozessen) – „irgendwas“ und beobachte, ob es sich womöglich im weiteren Verlauf in diese Richtung entwickelt – oder eben in ein andere, dennoch relevante. Stets wird dabei – vor dem Einbeziehen von externem Wissen – auf einen eigenen Zugang Wert gelegt.

Diese Methodik ist nicht nur auf direkt praxisbezogene Bereiche beschränkt und sollte auch bei der Erörterung theoretischer Zusammenhänge – so auch in dieser Arbeit – konsequent angewandt werden.

eigene Entwurfsmethodik präzisieren bzw. optimieren

Aus diesen Überlegungen – dem technisch-konstruktiven bzw. praktischen Ansatz sowie einem eher theoretisch-philosophischen Zugang – konnte bereits eine effektive Methodik gebildet werden. Basierend auf systematisiertem Querdenken – von einer Schlussfolgerung wird zur nächsten gelangt, von einem Thema zum nächsten, stets den sich ergebenden Zusammenhängen folgend – resultiert daraus ein *fortlaufender*, stets *offener* Prozess. Dagegen mit der Methodik kaum vereinbar ist ein starres Beharren auf einem isolierten Thema. Mit der „freien Studie“ über die theoretischen und daraus gefolgerten praktischen Zusammenhänge von „Krümmung und Struktur“ wurde die hier angewandte Methodik erstmalig definiert und artikuliert. Durch die gute Erfahrung – Sinnhaftigkeit und Effizienz sind bereits erprobt – war und ist speziell auch ihre Weiterführung bzw. Weiterentwicklung angedacht (Der gesamte theoretische Zusammenhang war anfänglich noch nicht ergründet, was sich jedoch im Laufe der intensiven Beschäftigung im Zuge dieser Arbeit bzw. des weiteren Erkenntnisprozesses zusehends änderte).

Diese vorausgehenden eigenen entwurfstheoretischen Überlegungen basieren auf der Analyse des eigenen Verhaltens bzw. der Erfahrung aus der Anwendung dieser Methodik, sowie dem daraus resultierenden Entwicklungsverlauf. Sie stützten sich jedoch noch weitgehend auf Vorurteile, Hypothesen bzw. noch nicht gänzlich bis ins Detail ergründete Annahmen. Durch eine genauere Analyse sowie ein Abgleichen mit zugänglichen entwicklungstheoretischen Überlegungen anderer Entwerfer, Forscher bzw. Denker, sollten diese so bestätigt oder ausgeräumt werden, um im Zuge dieser Arbeit die eigene Methodik zu präzisieren.

theoretische bzw. fachliche Ergründung vorausgehender Überlegungen

I don't know what I'm searching for... ...I'm searching for things I don't know

(neue) Einfälle & Aspekte ↘
↗ analysiert, kategorisiert

Wird eine Thematik (wie im Fall dieser Arbeit auch die Methodik selbst) erörtert, wird sozusagen versucht, die „Logik dahinter“ zu ergründen, um so auch jene darauf aufbauenden Folgerungen zu verstehen. Hierfür werden alle Einfälle dargelegt, sortiert und analysiert – was wiederum zu neuen Überlegungen führt (Im Zuge dieser Arbeit geschah dies wiederholter Weise). Aspekte werden zuerst unsortiert ausgebreitet, der Blick wird so weit als möglich ausgeweitet, um größtmögliche Übersicht zu erlangen, sowie in weiterer Folge „passendes“ zusammenzufinden und so quasi eine eigene „natürliche Ordnung“ für die Thematik zu finden. Zuerst wird möglichst alles selbst durchdacht, um Überlegtes später mit Erkenntnissen anderer abzugleichen. Laufend werden dabei neue Fragen aufgeworfen und es wird versucht, auch diese zu erörtern. Manche mögen erneut nicht fundiert zu beantworten sein, ihre Lösungsmöglichkeiten müssen wiederum als Spekulationen, Hypothesen bzw. Vorurteile verharren, sind jedoch – besonders bezogen auf den weiteren Erkenntnisprozess – dennoch von Relevanz.

eigene Gedankensuche ↘
↗ Einbindung ext. Wissens

Aufwerfen von Einzelaspekten um „Logik dahinter“ zu ergründen

Bezogen auf diese Arbeit waren zunächst jene – immer irgendwie zusammenhängenden – Beobachtungen der vorausgehenden Jahre zu strukturellen Entwicklungsprozessen klar darzulegen. Durch Kategorisieren, Reflektieren, Abgleichen, Kombinieren und Ergänzen werden bzw. wurden in weiterer Folge Schlussfolgerungen und Rückschlüsse gezogen, um die weitreichenden Aspekte zu einem „Paket“ zusammenzufassen. Nicht nur Einzelheiten, sondern auch große Zusammenhänge sollten so verstanden werden. Anfangs war ein gänzlich „Umschließen“ der Thematik (wie es bald möglich war) nicht absehbar, also auch nicht erklärtes Ziel der Arbeit – sofern trotzdem genügend Rückschlüsse bezogen auf das eigene Schaffen gezogen werden könnten. Es ging – und geht weiterhin – um das breite Sammeln von Erkenntnissen über die grundsätzliche „Natur“ der Strukturentwicklung, um sich derer bewusst zu werden und sie so für die weitere eigene Struktur- bzw. Konstruktionsforschung im Unterbewusstsein zu implementieren und dadurch die eigene Methodik zu optimieren.

Weiterführung praktischer Strukturentwicklung zur Überprüfung theoretischer Erkenntnisse

Auch die praktische Weiterführung des konstruktiven Entwurfsprozesses bzw. die Anwendung und einhergehende Überprüfung theoretisch erlangter methodikbezogener Erkenntnisse im Zuge dieser Arbeit, wurde bereits zu Beginn der intensiven Beschäftigung angedacht. Jedoch konnte auch hier nicht vorhergesehen werden, in welcher Form bzw. in welchem Ausmaß dies geschehen würde (Erst nachdem die Thematik schließlich als Ganzes erfasst werden konnte, wurde aus dieser heraus der einhergehende, fortlaufende sowie offen-experimentelle Entwurfsprozess eingeleitet.

1.2 anfängliche Themensuche

1.2.1 Strukturen entwickelnde Bereiche

Entwicklung von Strukturen

Allgemein betrachtet, möchte ich mich nicht zu sehr auf einzelne Details konzentrieren, bevor ich weiß, in welchem Rahmen ich mich eigentlich bewege. Dies gilt besonders im Wissen, dass dieser Rahmen weitreichender ist, als man ihn selbst kennt, dass jedoch die Möglichkeit besteht, einen größeren Überblick zu erlangen. Ist der Fokus bei der Suche nach einer einleitenden Fragestellung nur auf Einzelaspekte gerichtet, sind die Möglichkeiten exponentiell zunehmend – sodass man sich wohl gedanklich „verlieren“ würde. Sucht man hingegen nach den größeren Zusammenhängen, wird das Ergebnis – anders als möglicherweise zu erwarten – laufend eingegrenzt. Anfangs als grundsätzlich wahrgenommene getrennte Fragestellungen haben oft eine noch weiter zurückreichende gemeinsame Grundlage.

Bezogen auf die Praxis resultierte dies zuerst in der Hinterfragung des eigenen Schaffens selbst – Was mache ich hier eigentlich? Begriffe wie „Wissenschaft“ und „Kunst“ erschienen mir als Antwort unzureichend. Bei der vorausgehenden Analyse wurden bereits einige Zusammenhänge erörtert und es wurde auch (vorläufig) „erkannt“, „mit was“ ich es hier nun „zu tun habe“. Auch erste grundlegende Aspekte für die Formulierung einer Thematik waren so an diesem Punkt bereits vorliegend. Etwas vergleichbar ist sie mit jener der Seminararbeit zu Eero Saarinen, – die Suche nach Form“ – jedoch als eine Frage nach den Grundlagen der eigenen „Suche nach Strukturen“ durch experimentelles bzw. offen-experimentelles konstruktives Denken und Tun. Auf Reisen kam dann die wichtige Erkenntnis:

„I don't know what im searching for, i'm searching for things i don't know“. Das Unwissen alleine und schließlich das Gefundene rechtfertigen also bereits die Suche danach. Kernpunkt bei dieser Suche ist auch, dass ich diese Strukturen fortlaufend weiterentwickle bzw. auf Grundlage von Gefundenem wiederum Neues erkunde und eben dadurch zu nicht vorherzusehenden Möglichkeiten und Ergebnissen gelange.

vorliegendes und zukünftiges Forschungsfeld

Abseits der Frage *Was* ich genau mache, ist jene *Warum* ich dies tue schwer – und wohl teilweise unnötig – im Detail zu klären: Ich weiß, *dass* ich es will, *weil* ich es mache; handle zu einem großen Teil unterbewusst und bei der nachfolgenden Reflexion werden nur „Unstimmigkeiten“ ausgebessert. Zusätzlich werden bewusst neue Initiativen ergriffen. Jedenfalls scheint bzw. schien es förderlich, über die genaue Thematik der eigenen strukturellen Überlegungen Bescheid zu wissen, um das vorliegende sowie zukünftige Forschungsfeld zu präzisieren – als Selbstzweck sozusagen.

Doch der eigene Entwurfsprozess stellt nicht die letzte Ebene der aufgeworfenen Fragen dar – Strukturentwicklung findet nicht nur hier statt. Auch in anderen bereits behandelten Bereichen wird nach Strukturen gesucht bzw. werden Strukturen fortlaufend weiterentwickelt. Dies betrifft etwa kollektive, traditionelle bzw. baugeschichtliche Entwicklungsprozesse oder jene biologischer Organismen. Des Weiteren scheinen hier teils erhebliche Gemeinsamkeiten zu bestehen.

aktive und passive Sicht

Anfänglich wurden die Aspekte der (eigenen) aktiven Stellung hinterfragt. Einerseits gibt es die aktive Suche nach Strukturen bzw. das aktive Entwickeln von Strukturen als Methodik – Wie suche ich? Wie suchen andere? Gibt es eine „beste“ Suchmethode? Gibt es hierfür Vorbilder? Warum überhaupt wird gesucht? Andererseits – etwa die resultierende Eigendynamik im Entwicklungsprozess zeigt dies – gibt es noch die „passive“ Betrachtungsweise, wie sich Strukturen weiterentwickeln (schon früh gab es jedoch Unklarheiten mit dieser Kategorisierung Aktiv/Passiv). Die Sichtweise des „Entwerfers“ und die des Betrachters von „außen“ – also sowohl die Analyse wie gesucht wird, als auch wie sich die Struktur schlussendlich entwickelt – sind relevant. Es kann Abweichungen geben, sodass die tatsächliche Entwicklung anderen Wegen folgt, als zuvor erwartet bzw. angedacht.

Schon im eigenen Schaffensprozess ist die aktive Stellung in eigendynamischen Prozessen schwer zu entschlüsseln. Auch im Bereich traditioneller, und wohl auch in jenem biologischer Entwicklungsprozesse ist diese Frage von Bedeutung. Aktiv suche ich und aktiv suchen andere – einzeln und im Kollektiv. Wie „sucht“ die Natur? Man könnte meinen auch die biologische Evolution sucht – durch das Aufwerfen unzähliger Möglichkeiten – ständig nach neuen funktionsfähigen Strukturen. Jedenfalls „findet“ sie ständig welche. Und genau dieses „Finden ohne danach gesucht zu haben“ gibt es – wie berichtet – auch im eigenen experimentellen Entwurfsprozess.

Sowohl Tier- und Pflanzenarten, als auch menschliche Techniken sind bei ihrer Weiterentwicklung an die gegebenen klimatischen Bedingungen sowie an herrschende Naturgesetze bzw. grundlegende „mathematische“ Prinzipien gebunden. Schon beim Entwerfen ist den Anforderungen der Struktur zu folgen – man spielt nach *ihren* Regeln. Ich selbst kann keine dieser Regeln bzw. Naturgesetze aufstellen, nur das von der Natur vorgegebene „Regelwerk“ für die eigene Anwendung eingrenzen bzw. diese an die herrschenden Bedingungen anpassen. Sowohl natürliche Individuen, als auch technische Objekte als „Erweiterung“ des Menschen müssen einerseits an ihre Umgebung angepasst sein und andererseits muss auch auf eine Veränderung dieser reagiert werden. Dieses fortlaufende Reagieren auf bestimmte Bedingungen ist wohl auch – durch resultierende vergleichbare Anforderungen – einer der Grundlagen für die Ähnlichkeit von getrennt entstandenen Ergebnissen bzw. konvergenten Entwicklungen. Die Ergebnisse sind also natürliche Entwicklungen – auch im eigenen Entwerfen: Konstruktionen, wie sie auch die Natur machen könnte – einfach weil sie eben genau so funktionieren.

Gemeinsamkeiten in unterschiedlichen Bereichen der Strukturentwicklung

Noch vor der Erörterung *wie* bzw. *warum* Strukturen weiterentwickelt werden, war aufzuschließen, welche *Bereiche* nun auf ihre Gemeinsamkeiten und Überschneidungen in ihrer Funktionsweise zu untersuchen sind. „*Wer*“ diese Strukturen entwickelt (bzw. aus welchen Systemen diese hervorgehen) und ebenso, wie deren Stellung zueinander ist.

Gemeinsamkeiten sowie Beziehungen ergründen

(Erst Im späteren Verlauf dieser Arbeit wird bezogen auf diese „Strukturen entwickelnden Bereiche“ – welche des weiteren allesamt „Erfahrungs-Erwartungs-Kreisläufe“ darstellen – neben der *biologischen* Evolution („Gen“-basiert) von *individueller* und *kultureller*, sowie *technologischer Evolution* (kognitiv und „Mem“-basiert) gesprochen. Diese stellen eine für komplexeres Leben notwendige „Erweiterung“ der genetisch gespeicherten Information dar.)

Strukturentwicklung im individuellen Entwerfen

Hier dient die eigene Strukturentwicklung als Grundlage, jedoch sind auch speziell die individuellen Entwurfsprozesse anderer Planer und Architekten von Relevanz (etwa P. L. Nervi, V. G. Suchov, Antoni Gaudi, Eero Saarinen, Frei Otto, Buckminster Fuller,.. – wie haben sie gearbeitet?).

Die Erfahrung aus vorausgehenden theoretischen Arbeiten zeigt etwa auch, dass einzelne Entwerfer/Denker bzw. Individuen große Auswirkungen auf den geschichtlichen bzw. kollektiven Prozess haben können.

Strukturentwicklung in Geschichte und Tradition

Bei traditioneller und baugeschichtlicher Strukturentwicklung entwickeln nicht einzelne Individuen, sondern ganze Gesellschaften Techniken bzw. technische Produkte fortlaufend weiter. Wie geht diese kollektive Strukturentwicklung – wie etwa der Wandel von Baukonstruktionen – im Laufe der Zeit genau vonstatten?

Strukturentwicklung „natürlicher“ Strukturen

Naturgeschichtliche Strukturentwicklung bzw. Konstruktionen in der Natur umfassen sowohl die Entwicklung von Strukturen biologischer Organismen, als auch jene der gebauten Konstruktionen von diesen – etwa Techniken von Tieren wie Ameisen, Spinnen, Vögeln oder Bibern. Warum und wie entwickeln sich diese „natürlichen“ Strukturen (weiter)?

1.2.2 spezifische Aspekte sowie mögliche Überschneidungen

bereichsübergreifende Behandlung von Einzelaspekten

Die anfängliche – bewusst offene – Suche nach möglichen Gemeinsamkeiten der unterschiedlichen Bereiche verläuft thematisch ungerichtet. Zu bedenkende Aspekte wie und warum (auch diese Kategorisierung wurde bald aufgegeben) sich Strukturen weiterentwickeln bzw. weiterentwickelt werden, wurden vorerst unsortiert dargelegt und erst später genau analysiert. Durch dieses bereichsübergreifende Behandeln zeigt sich, dass die jeweiligen Funktionsweisen sich teilweise ähneln, und auch die Gründe für Weiterentwicklungen oft dieselben sind. Im darauf folgenden Erkenntnisprozess (Kap. 1.3) wird diese weiterhin prinzipiell offene Sammlung an Überschneidungen um viele neue Erkenntnisse erweitert und präzisiert.

Gemeinsamkeiten in Ergebnissen und Funktionsweise bzw. Methodik

Anpassung an Umgebungsbedingungen

- Ein allgemein wichtiger Aspekt ist Anpassung an sich *ändernde Umgebungsbedingungen* sowie die bessere Anpassung an *gegebene Verhältnisse* – wohl auch um durch Optimierung einen Vorteil gegenüber anderen Entwicklungen zu erlangen.

neuer Lebensraum

- Die Eroberung von *neuem Lebensraum* ist sowohl in natur- als auch in baugeschichtlichen Bezügen relevant – und ebenso für eigene Entwicklungen (etwa für extraterrestrische Anwendungen).

nötige vs. mögliche Entwicklungen

- Sowohl durch neue Anforderungen benötigte Funktionen, resultierend in einem Bedarf an neuen Strukturen, als auch das Entstehen neuer Strukturen, welche erst in der Folge neue Funktionen ermöglichen, sind zu ergründen. Wichtig scheint also so eine Gegenüberstellung von Weiterentwicklungen, welche vorwiegend auftreten, weil sie *möglich* sind, und jenen, die auftreten, weil sie *dringend nötig* sind – sozusagen durch eine „gezwungene“ bzw. gerichtete Suche. Einerseits ist die Entwicklung frei und zeitlich unbegrenzt, resultierend in einem „Warten“ auf unerwartete Innovationen, Ideen bzw. Funktionen. Andererseits steht die Weiterentwicklung unter Zeitdrang – was etwa in der Wahl der „erstbesten“ Möglichkeit resultieren könnte, es wird schließlich nur nach Lösungen für spezifische Problemstellungen gesucht.

Einschränkung durch Ressourcen

- Ebenfalls relevant scheint also die jeweilige *Einschränkung* des ermöglichten Lösungsrahmens durch die verfügbaren *Ressourcen* – nicht nur (nicht) vorhandene Material-, sondern auch Wissens-, sowie Denkre-sourcen limitieren diesen.

Adaption von vorhandenem vs Neubildung

- Die Möglichkeit, einerseits auf ein vorhandenes Strukturrepertoire zurückzugreifen und benötigte Funktionen durch *Adaption* einer bereits verfügbaren Struktur zu erlangen, und andererseits der grundlegend neue Entwurf bzw. die Entwicklung und Entstehung gänzlich *neuer Lösungen*, sind ebenso bezogen auf alle Bereiche zu erörtern.

Durch ein *Umfunktionieren* von Strukturen können schon *kleine Änderungen* in einem *großen Unterschied* der Funktionalität resultieren. So sind Strukturen bzw. ihr grundlegender topologischer Aufbau wohl nicht zwingend an die jeweilige Funktionen gekoppelt – Säugetiere entwickelten aus ihren anfänglich wohl übereinstimmenden Gliedmaßen sowohl Organe zum Gehen, zum Greifen, zum Schwimmen, als auch zum Fliegen. Auch im Entwurfsprozess kann mit demselben Grundprinzip eine Brücke, ein Haus oder ein Turm geplant werden – nur „wenige“ Entwicklungsschritte liegen dazwischen.

Zufälligkeit

- Ein wirklich zentraler Aspekt bei der Weiterentwicklung von Strukturen ist wohl der *Zufall*. In der Natur gibt es zufällige Durchmischung und zufällige Mutationen; in der Strukturentwicklung der Pflanzen- und Tierwelt wurde diese Zufälligkeit also systematisiert bzw. ist diese selbst Teil ihrer Methodik. Auch in freien Entwurfsprozessen und bei unerwarteten Entwicklungen wird von „Zufällen“ gesprochen bzw. werden diese selbst hervorgerufen. Allgemein sind wohl alle unvorhersehbaren Prozesse bzw. „zusammenfallenden“ Ereignisse als „Zufälle“ zu bezeichnen. Überall gibt es diese, man sucht quasi den einen Zufall unter allen, welcher besonders und nützlich ist.

Aufwerfen von Möglichkeiten, Auswahl der tauglichsten

- So gibt es Gemeinsamkeiten bezogen auf die allgemein jedoch etwas differenziert angewandte Methodik, mehr oder weniger zufällig Möglichkeiten aufzuwerfen, um diese so auf ihre Funktionalität zu prüfen („Trial-and-Error“-Prinzip). Unser experimentelles technisches Arbeiten gründet auf theoretischem oder praktischem Ausprobieren mehrerer Möglichkeiten und Weiterentwicklung der tauglichsten. Jenes biologischer Entwicklungen gründet auf *Variation* und *Selektion* – Begriffe, welche ebenso im technische Entwerfen angewandt werden können

Zwischenschritte

- Unterschiede gibt es etwa bei der Entwicklung von *Zwischenschritten*: Während bei der Weiterentwicklung von natürlichen Organismen jeder Einzelschritt funktionsfähig zu sein hat, muss dagegen eine von uns entworfene Struktur diesen Ansprüchen erst nach der Entwicklung von selbst nicht zwingend funktionierenden Zwischenstadien entsprechen. Daraus ist auch möglicherweise zu folgern, warum durch technische Entwürfe größere Entwicklungsschritte auftreten können, Organismen sich dagegen anhand kleiner Änderungen fortlaufend weiterentwickeln.

Notwendigkeit von „Sackgassen“

- In biologischen Entwicklungs- aber auch in technischen Entwurfsprozessen gibt es viele „Sackgassen“. Aber sind diese *nicht funktionsfähigen Schritte* möglicherweise sogar notwendig für eine erfolgreiche Weiterentwicklung?

Kontinuität und Rückkreuzen

- Eine Eigenschaft biologischer Entwicklungsprozesse ist also wohl deren *Kontinuität*. Ein „Rückkreuzen“ ist auf natürliche Weise kaum (bzw. mit dem Fortschritt in der Gentechnik mittlerweile nun vermehrt) möglich. Beim konstruktiven Strukturentwurf dagegen ist dieses Verbinden unterschiedlicher Lösungswege sozusagen das „Ass im Ärmel“. Prinzipien können an anderer Stelle erneut angewandt werden, ohne diese gänzlich neu erfinden zu müssen.

Vielfalt als treibende Kraft

- Je mehr Ansatzpunkte vorhanden sind, desto mehr mögliche Entwicklungsrichtungen könn(t)en beschritten werden. Kann *Vielfalt* also allgemein als treibende Kraft angesehen werden? So sind etwa Steigerung und Reduktion der Vielfalt, sowie ihre Gründe und Auswirkungen bereichsübergreifend zu erörtern.

Überzüchtung?

- **Überzüchtung** – Es stellt(te) sich die Frage, ob es Vergleichbares auch in der Technik bzw. Architektur gibt. Wie verhält es sich mit der Stilisierung von technischen Strukturen, etwa „funktionslosen“ Säulen und Fassaden, oder „unsinnigen“ Geometrien (kantig wenn gerade nötig; gerade wenn „kein Grund“ dafür). Wie verhält es sich demgegenüber mit – nur scheinbar stets hinderlichen – Pfauenfedern?

Verdrängung und Aussterben

- Einzelne Strukturen bzw. sowohl Tier- und Pflanzenarten, als auch Bauweisen können von anderen – wohl zumindest temporär bzw. scheinbar vorteilhafteren – verdrängt werden und „Aussterben“. Was sind die genauen Gründe und Auswirkungen eines solchen *Informationsverlustes*? Was, wenn dadurch grundlegende Funktionen verloren gehen, welche bei geänderten Bedingungen wieder relevant werden bzw. wären? Inwieweit kann auf alte Information zurückgegriffen werden? Inwiefern kann diese länger erhalten bleiben?

Tradition und Konvention bzw. Etablierung

- Sind Tradition und Konvention bzw. die *Etablierung* bestimmter Strukturen eher negativ für die Weiterentwicklung, oder doch vorwiegend förderlich für die Ausbreitung und Erhaltung funktionaler Lösungen?

Epochen hoher Weiterentwicklung

- Inwieweit unterscheiden sich Zeiten mit intensiver neuer Formfindung bzw. innovative Epochen von jenen, in welchen die Weiterentwicklung kaum voranschreitet? Welche Vorgänge bzw. Zustände wirken hinderlich, welche förderlich? Was ist die Grundlage für besonders kreative Epochen in der Baugeschichte, in welchen verhältnismäßig „mehr weitergeht“ als in anderen (frühe Antike, Römisches Reich, Renaissance, 1. Und 2. Industrielle Revolution, 2. Hälfte der Moderne)? Können einzelne Innovationen (wie etwa die Dampfmaschine) ganze Epochen prägen bzw. eine neue kreative Phase einleiten? Wie ist die Stellung einzelner Persönlichkeiten, welche das im kollektiv verfügbare Strukturrepertoire maßgeblich erweiterten (da Vinci, Suchov, Nervi, Saarinen, Frei Otto, Fuller, usw.)? Wie verhält es sich mit besonders innovativen Zeiten in der Naturgeschichte, in welchen sich verhältnismäßig viele neue Tier- und Pflanzenarten entwickeln? Auch hier könnten – zusätzlich zu großen Katastrophen, welche sozusagen „Platz schaffen“ für neue Arten – einzelne Innovationen maßgeblich sein, etwa beim Vorstoß in neue Lebensräume. So führte wohl der erste Landgang zu vielen neuen landlebenden Tierarten, ebenso resultierte etwa die Entwicklung der Flugfähigkeit wohl in vielen neuen Vogelarten. Was sind demgegenüber die Grundlagen von Epochen, in denen kaum Fortschritt stattfindet bzw. auch von Zeiten, in welchen etwa die biologische Vielfalt zurückgeht?

konvergente Entwicklungen

- In unterschiedlichen Bereichen werden getrennt voneinander ähnliche Formen und Strukturen entwickelt (konvergente Entwicklungen; Mondstation/Gamme, Knickstab/Fingergelenk, Tensegrity-Turm/Wirbelsäule, usw.). Grund hierfür scheinen etwa vergleichbare Umstände oder Anforderungen an die Struktur zu sein. So wird trotz anderer Wege – und wohl aufgrund einer vergleichbaren Methodik – zu ähnlichen Ergebnissen gelangt. Möglicherweise ist für konvergente Entwicklungen – damit einhergehend – auch ein eingeschränkter Möglichkeitsrahmen ausschlaggebend (etwa gibt es für fliegende Strukturen wohl kaum Alternativen zu Tragflächen).

strukturbezogene und funktionale Bedingungen

- So scheinen jene konstruktiven Bedingungen, an welcher sich die Strukturentwicklung in den unterschiedlichen Bereichen zu orientieren hat, allgemein ähnlich zu sein. Was definiert jene – wohl universell gültigen „mathematischen“ bzw. physikalischen Voraussetzungen? Wie verhält es sich dagegen mit funktionalen Bedingungen – sind sie den mathematischen über- oder untergeordnet? Ist in Entwurfsprozessen die Einschränkung durch eine Vorwegnahme der Funktion hinderlich, oder hat sich die Geometrie der Funktion zu „unterwerfen“? Was sind die wohl gegensätzlichen Auswirkungen auf den Prozess? Im Endeffekt ist wohl die Funktionalität maßgebend, Mathematik/ Geometrie dient dieser jedoch als Grundlage. Könnten Struktur und Funktionalität in der Natur ausgewogen sein und hier „Hand in Hand“ gehen?

Strukturoptimierung

- Erforderlich ist eine Unterscheidung zwischen *Strukturentwicklung* im Allgemeinen und *Strukturoptimierung* im speziellen. Diese ist „perfektionierend“ und so wohl funktionsbezogen sowie überwiegend im späteren Teil eines Entwicklungsprozesses wichtig. Auch können sich durch einen starr geradlinigen Optimierungsprozess wohl generell keine gänzlich neuen Funktionen ergeben.

Auch bei lebenden Organismen liegt die schlussendliche, optimierte Form wohl nicht direkt im Erbmaterial, sondern entsteht erst in Interaktion mit äußeren Einflüssen (Baumform, Muskelgröße,...). Gespeichert ist also wohl nicht die endgültige Form, sondern nur die Information, wie mit diesen Einflüssen umzugehen ist. Klar zu unterscheiden ist wohl zwischen dieser individuellen Optimierung einzelner Lebewesen und generationsübergreifenden Optimierungsprozessen.

bewusst – unterbewusst – unbewusst

- Beim freien Entwerfen handelt es sich um ein „Spiel“ aus mehr oder weniger zufälliger Veränderung und situationsbedingt gefolgertem Feedback. Aus den Auswahlmöglichkeiten wird – mehr oder weniger intuitiv – selektiert, um diese fortlaufend weiterzuentwickeln. Welche Rolle genau spielt dabei das *Bewusstsein*, was geschieht *unterbewusst* oder sogar *unbewusst*? „Wie entwickeln sich Strukturen?“ führt also auch zur Frage „Wie entwickeln sich Gedanken“. Auch im eigenen Entwerfen wird eine Struktur zuerst gedanklich entwickelt, um sie später in der Realität umzusetzen. Die Kenntnis einzig über die materielle Entwicklung von Strukturen – abseits der zugrundeliegenden „Gedankenkonstruktionen“ – bringt mich für meine eigene – zu einem großen Teil rein theoretische – Suche nach Strukturen wohl nur bedingt weiter.

denkendes Bewusstsein und evolutionäres System

- Einerseits steht ein denkendes Bewusstsein und andererseits ein „chaotisches“ evolutionäres System – welche bezogen auf die Strukturentwicklung jedoch eine ähnliche Rolle innehaben. Ist also auch ein evolutionäres System ein „kreierendes“ System? Wo steht der eigene kreative Prozess demgegenüber? Sind alle Prozesse, die Strukturen bzw. Konstruktionen hervorbringen „kreative“ Prozesse? Sind nicht all diese Prozesse „evolutionäre“ Systeme?

1.2.3 verbindende Aspekte und grundlegende Prinzipien

Stellung einzelner Bereiche zueinander

Überschnidungen gibt es jedoch nicht nur bei den Ergebnissen, sowie der jeweiligen Funktionsweise der diversen Strukturen entwickelnden Bereiche. Da diese allem Anschein nach ineinander übergehen, ist auch deren *Stellung zueinander* genau zu ergründen.

individuelle/gesellschaftliche Entwurfsprozesse

Zwischen individuellen und kollektiven bzw. baugeschichtlichen/traditionellen Entwicklungsprozessen besteht ein direkter Zusammenhang: Einzelne Individuen bedienen sich der im Kollektiv zur Verfügung stehenden Erkenntnisse. Umgekehrt können individuell erlangte Erkenntnisse ins „kollektive Wissen“ übergehen. Der gesellschaftliche Entwicklungsprozess stellt in seiner Gesamtheit sozusagen die Summe aller einzelnen Entwicklungsprozesse bzw. individuellen „Lebenswerke“ dar.

natur- und baugeschichtliche Entwicklungsprozesse

Ebenso stellt innerhalb der natürlichen Strukturentwicklung die gesamte biologische Evolution die Summe der Entwicklung einzelner Arten dar und diese wiederum die Summe der Entwicklung einzelner Individuen. Auch die Menschheitsgeschichte bildet in ihrer Gesamtheit einen solchen biologischen Entwicklungsprozess – einer Spezies, welche sich technischer Hilfsmittel bedient und auch diese im Kollektiv weiterentwickelt. So besteht wohl nicht nur ein Schnittpunkt von individuellen zu kollektiven technischen Entwurfsprozessen, sondern auch von bau- zu naturgeschichtlichen Entwicklungen.

„gemeinsamer Nenner“?

All diese Bereiche scheinen ineinander zu greifen – könnten also technologische Struktur- bzw. auch Wissensentwicklung, sowie biologische Strukturentwicklung gar auf einen „gemeinsamen Nenner“ zu bringen sein?

1.2.4 anfängliche Definition und vorläufige Umschließung der Thematik

Logik der Entwicklung von Strukturen

Anfänglich schien die übergeordnete Thematik der eigenen Überlegungen schwer zu erfassen. Stets ging es weniger um die Strukturen selbst, als um den Unterschied einzelner Strukturen, um die *Weiterentwicklung* von Strukturen – um die Mechanismen *wie* und *warum* sich Strukturen weiterentwickeln bzw. zu neuen Strukturen gelangt wird. Wie und warum erfolgen *einzelne Entwicklungsschritte* und wie *unterscheiden* sich Vorgänger- und Nachfolgestruktur? Relevant war und ist weniger die Frage, wie die Struktur *ist*, als wie sie so *wurde* bzw. werden konnte – in Natur, Tradition sowie im individuellen Entwerfen bzw. der eigenen konstruktiven Forschung. Was ist die zugrundeliegende „Logik“ vorliegender Strukturen und was jene ihrer Entstehungsprozesse? In welcher Beziehung stehen diese unterschiedlichen Prozesse zueinander? Es geht also um grundlegende Prinzipien der Strukturentwicklung – bzw. gar um eine allgemein zu betrachtende „Evolution“ von Strukturen.

So galt es zunächst eine gewisse Ordnung in den anfangs kaum überschaubaren Überlegungen zu finden. Diese, aus dem isolierten Betrachten einzelner Aspekte resultierende Unübersicht lichtete sich zu einem Teil bereits. Etwa wurden durch das Erfassen größerer Zusammenhänge einige scheinbar *allgemein gültige Gesetzmäßigkeiten* erkannt. Auch stehen einzelne Strukturen hervorbringende Bereiche nicht mehr frei, sondern es wurde versucht, diese zueinander in *Beziehung* zu setzen.

Thematik soweit umschlossen

Selbst war zu diesem Zeitpunkt das Thema bereits „greifbar“ und wurde als in seinen Grundzügen vorläufig definiert bzw. zumindest theoretisch *umschlossen* angenommen. (Der eigene Fokus in diesem zunächst breit greifenden Themengebiet wurde erst im Zuge des folgenden Erkenntnisprozesses gefunden.) So wurde in der Folge jene Phase begonnen, in welcher auf thematisch relevantes „Fremdwissen“ bzw. auf Fachliteratur zugegriffen werden sollte.

Zugriff auf externes Fachwissen

1.3 fachlich unterstützter Erkenntnisprozess und Präzision der Thematik

Erkenntnishaft zugängliche durch konsequente Gedankendokumentation

Während des gesamten fortlaufenden Erkenntnisprozesses im Zuge dieser Diplomarbeit wurden – etappenweise bzw. immer nach relevanten Änderungen der eigenen Sichtweise – die jeweils temporär zentralisierten Aspekte dargelegt, um so die Entwicklung des eigenen Verständnisses bzw. die eigene „Erkenntnishaft“ besser nachvollziehen zu können. So leitet dieses Kapitel über vom ersten Kontakt mit „Fremdwissen“ bis zum vorläufig abschließenden Erkenntnisstand.

Bis zu diesem frühen Punkt galten die eigenen Überlegungen der selbstständigen Erarbeitung einer zu behandelnden Thematik. Durch die vielen Berührungspunkte mit unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen wurde die Ausarbeitung zunächst quasi als Grundlage für einen interdisziplinären fachlichen Diskurs gesehen. Dieser würde wohl übergreifende Fachkenntnis erfordern – praktisch (konstruktiv, experimentell,...) wie theoretisch (Mathematik/Geometrie, Geschichte, Biologie, Psychologie, Philosophie,...). Neben dem einerseits möglichen „Betreuungsbedarf“ in einigen dieser Felder – auf welchen jedoch erst im weiteren Verlauf zugegriffen wurde – galt dies der Zuhilfenahme von themenspezifischer Literatur; sowohl aus den einzelnen in Verbindung stehenden Fachrichtungen, als auch zu jenen noch grundlegenden Zusammenhängen.

externe Legitimation

Nicht erwartet wurde, dass sich die Grundzüge der individuell erarbeiteten Thematik durch eine fundierte, theoretisch sehr hilfreiche Quellenrecherche schnell bestätigten würden. Eigene Hypothesen zeigten sich nahtlos eingebunden in heute wissenschaftlich weitgehend etablierte Theorien (Systemtheorie, evolutionäre Erkenntnistheorie, verallgemeinerte Evolutionstheorie). Die eigene intensive Beschäftigung mit dem Thema wurde dadurch auch von externer Seite legitimiert, auch konnte so für dessen weitere Erörterung auf wissenschaftliche Vorarbeit zugegriffen werden.

Systemtheorie
evolutionäre Erkenntnistheorie
verallgemeinerte Evolutionstheorie

eigener Fokus erkannt

Innerhalb dieser anfänglich einerseits zwar eingegrenzten, andererseits aber doch sehr ausweitenden eigenen Thematik und stark differenzierenden Fragestellungen wurde bald – bereits in universitärer Wechselwirkung – der Bedarf nach dem eigenen Fokus ersichtlich. Dieser liegt wiederum speziell auf der Stellung des individuellen bzw. des eigenen konstruktiven Schaffens – auf jener angewandten bzw. anzuwendenden offen-experimentellen Entwurfsmethodik. Offen-experimentelle Prozesse wie der eigene sind tatsächlich mit biologischen Entwicklungen vergleichbare evolutionäre Entwicklungen. Die Eigenheiten dieser sich eigendynamisch fortsetzenden Abläufe wurden nach dem genauen Erfassen mit dem eigenen Wirken in Bezug gesetzt – bis alle bisher aufgetretenen Unklarheiten fachlich bzw. argumentativ aufgearbeitet werden konnten. Mit der hier weiter optimierten – weil nun bereits um einige Erkenntnisse erweiterten – praktischen Vorgehensweise, wurde des Weiteren der (in Kap. 2 behandelte) einhergehende und fortlaufend offen-experimentelle Entwurfsprozess begonnen und wechselwirkend mit der sich dadurch ebenfalls weiterentwickelnden theoretischen Erarbeitung fortgesetzt.

ganzheitliche Vermittlung theoretischer bzw. thematischer Grundlagen

Durch das in diesem Kapitel vervollständigte Darlegen des eigenen Zugangs bzw. des Zustandekommens der auch in weiterer Folge grundlegenden Erkenntnisse, soll dieses umfassende Verständnis in seinen Grundzügen vermittelt werden. In seiner Gesamtheit fach-

lich detailliert bzw. in thematisch strukturierter Form dargelegt werden, soll es – aufgrund der sehr weitreichenden theoretischen Ausführungen – erst im Zuge der folgenden universitären Studien – deren Grundlage jene hier erlangten umfangreichen Erkenntnisse sein sollen.

detailliert aufbereitete Erörterung in nachfolgender Arbeit

1.3.1 anfängliche Literaturrecherche sowie einhergehende Bestätigung und „Legitimation“ der Thematik

Überschneidungen eigener und externer Studien

Zunächst wurde mit Bedacht nach übereinstimmender – fachlich möglichst umfassender – Literatur gesucht, welche mit Frei Ottos „Gestaltwerdung : zur Formentstehung in Natur, Technik und Baukunst“⁴, „Der umgekehrte Weg : Frei Otto zum 65. Geburtstag“⁵, sowie der Aufsatzsammlung „Wissenschaft - zum Verständnis eines Begriffs“⁶ auch gefunden werden konnte.

externe Bestätigung eigener Hypothesen

Beim Durcharbeiten dieser ersten Werke verlief der eigene Erkenntnisprozess rasant: Sich abzeichnende – nach vorherigen Fragestellungen als mögliche (noch nicht fundierte, also gründlich zu hinterfragende) „Schlussfolgerungen“ angesehene generelle Folgerungen wurden bald von unterschiedlichen Seiten untermauert. Die Verbindung einzelner Bereiche sowie einige Aspekte, welche ich zuvor versucht hatte, in eine gewisse Ordnung zu bringen, lagen später klar und mehr oder weniger detailliert aufbereitet vor mir. Viele dieser Überschneidungen fanden sich etwa bei der anfänglichen Beschäftigung mit den Gedanken Frei Ottos.

Weiterentwicklung eigener Ansichten und Formulierungen

Gelegentlich weisen eigene Notizen und später gelesenes den fast exakt gleichen Wortlaut auf. Manchmal ist die Gegebenheit nahezu identisch, der gelesene Ausdruck verwehrt sich jedoch zuvor meiner Kenntnis. Formulierungen werden entweder übernommen, oder die eigene Ausdrucksweise wird aufgrund besserer Eignung beibehalten und gegebenenfalls präzisiert. Auch eigene Ansichten entwickeln sich – nicht nur wegen der Einbindung von externem Fachwissen – fortlaufend weiter.

(evolutionäre) Systeme

So werden etwa die von mir zuvor noch als zu behandelnde Gebiete definierten „Bereiche der Strukturentwicklung“ – deren Zusammenhänge gesucht und ansatzweise bereits gesehen, aber noch nicht im Detail ergründet wurden – als in direktem Bezug stehende und jeweils aus einander hervorgehende (evolutionäre) „Systeme“ beschrieben.

Erweiterung des eigenen Zugangs

Schließlich bin ich jedoch – wie bei der eigenen konstruktiven Struktursuche – froh, mir die einleitenden Gedanken selbst gemacht zu haben, um so zu einem eigenen

Zugang zu gelangen. In der Folge konnte auf dem erfolgten Bestätigen und dem einhergehenden Festigen vieler eigener Erkenntnisse aufgebaut und wiederum weitergedacht werden. Schließlich wurden jene zu diesem Erkenntnispunkt doch noch etwas unübersichtlich scheinenden grundlegenden Aspekte sowie neu hinzugekommene Überlegungen erneut einander gegenübergestellt und ergründet.

Bestätigung von Nebenaspekten

Im Zuge der frühen Recherche konnten auch andere Erkenntnisse – abseits von der „Hauptbahn“ dieser Thematik – erlangt werden. Etwa wurden Überlegungen in Bezug auf die eigenen entwerferischen „Ausflüge“ in rein geometrische Studien mit einhergehendem (temporärem) Abwenden von Materialität und Nutzungsmöglichkeiten untermauert – die Erfahrungen sollten später in etwas anderem fruchten. So „stellt sich nämlich immer wieder heraus, dass die tiefen und schönen Ergebnisse innerhalb der reinen Mathematik, und seien sie zunächst noch so abstrakt, zu wichtigen Anwendungen führen.“⁷

„Müssten Architekten, Ingenieure, Künstler, Wissenschaftler und Politiker, jeder für sich und auch gemeinsam, sich dieser Suche nicht anschließen?“

Frei Otto

4 Otto FREI, *Gestaltwerdung : zur Formentstehung in Natur, Technik und Baukunst*, Köln 1988
5 Otto FREI, *Der umgekehrte Weg : Frei Otto zum 65. Geburtstag*, Köln 1990
6 J.M. SCHNEIDER, *Wissenschaft - zum Verständnis eines Begriffs*, Köln 1988
7 Silke SUTER, „Mathematik - und wie die Mathematiker sich sehen“, in J.M. SCHNEIDER, *Wissenschaft - zum Verständnis eines Begriffs*, S. 8f

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



Bereits im Zuge des länger zurückliegenden und anfänglich dargelegten eigenen Einstiegs ins experimentelle konstruktive Entwerfen wurde ich – eher oberflächlich – mit einigen Methoden und Ergebnissen Frei Ottos konfrontiert. So war etwa neben manchen seiner Modellbautechniken bekannt, dass er sich „die Natur als Vorbild nahm“; auch etwa die von Otto eingeführte Maßeinheit „bic“, um unterschiedliche Konstruktionen – biologisch wie technisch – mit Blick auf deren Optimierungsgrad vergleichen zu können. Ebenso wusste ich von Überschneidungen zwischen meinen Überlegungen zu pneumatischen Konstruktionen zu den seinen – ich ahnte, dass er viel nachdenkt. In der Folge wurde die eigene Gedankenwelt – konstruktiv wie theoretisch – jedoch abseits von der Frei Ottos aufgebaut. Soweit mir bekannt war, setzte auch er das eigene Schaffen in Bezug zur Natur – so schien für diese Arbeit eine Beschäftigung mit seiner Strukturentwicklung, sowie den damit einhergehenden Gedanken jedenfalls besonders angebracht. Dies sollte sich bestätigen, seine Überlegungen standen den eigenen um einiges näher als angenommen.

Erkannte Überlagerungen ziehen sich von der behandelten theoretischen Thematik – Frei Otto war auf der Suche nach denselben grundlegenden Zusammenhängen, die auch ich zu finden anstrebte – bis zu Ähnlichkeiten in der angewandten Methodik. Otto machte – wie wohl auch ich – „kaum Architektur im herkömmlichen Sinn“. „Das Erfinden von neuen Konstruktionen ist eine besondere Leidenschaft Frei Ottos; er hat es regelrecht systematisiert. Zu Beginn einer Aufgabe entstehen zahllose Skizzen, in denen alle möglichen Varianten und Kombinationen ausprobiert werden. Die entsprechende Formenwelt wird umfassend ausgelotet.“⁸

Nach Otto besteht unser Universum bzw. die uns umgebende Welt aus vielen – rein physikalischen/chemischen, biologischen, sowie technischen – „Formenwelten“, welche sich im Laufe der Zeit weiterentwickeln und um neue Formenwelten erweitert werden. Die genaue Kenntnis über die detaillierten Entstehungsprozesse all dieser Formen war für Otto zentral. Auch wollte er selbst die Entstehung neuer Formen bzw. Formenwelten vorantreiben.

Er suchte „übergreifende, in sich ruhende Formprinzipien“ und strebte „eine Gestaltlehre der erzeugten Form jenseits der Scheidung von Lebendem und Unbelebtem“ an.⁹ Durch diese „mit der Frage nach dem Werden und Vergehen aller Objekte der Natur“ verknüpften Suche nach der „Geschichte der Gestalt der realen Dinge“, schaffte er es, ein „genaueres Naturverständnis“ zu erlangen. Er regte alle an, ebenfalls „darüber nachzudenken“, hätte „gerne all die Lücken geschlossen“ gesehen und fragte daher selbst: „Müssten Architekten, Ingenieure, Künstler, Wissenschaftler und Politiker, jeder für sich und auch gemeinsam, sich dieser Suche nicht anschließen?“¹⁰

Dieselbe Erkenntnis, dass diese Suche nach den grundlegenden Entwicklungsprinzipien für das eigene Schaffen wichtig bzw. zentral ist, bewegte auch mich – nun bereits vor einigen Jahren – dazu, mich mit dieser Thematik tiefer zu beschäftigen. Als Folge der Reflexion des eigenen Entwurfsprozesses entstanden, wurde ihre theoretische Weiterbehandlung im Zuge einer institutionellen bzw. universitären Erarbeitung so auch von externer Seite legitimiert. Sinn

„Er begründet damit eine Grundlagenforschung, wie sie in ihrer Breite in den Ingenieurwissenschaften sonst nicht existiert. Sie schließt die Erforschung der Konstruktionen der Natur und deren Entstehung sowie das Studium der historischen Konstruktionen mit ein.“

und Zweck wurden bestätigt und sogar bekräftigt – auch speziell auch für das Feld der Architektur. Ottos Exkurs zur „Gestaltwerdung“, zur Entwicklung aller (physisch realen) Konstruktionen, wurde erst entdeckt, nachdem die eigene Thematik bereits erfasst wurde. Einige Gedanken korrelieren. Die eigene Beschäftigung mit Ottos „Experiment“ wirkte vertiefend, ergänzend und zusammenfassend. Auch stellte es sich als sehr hilfreich für ein besseres Verständnis von bereits bewussten Gegebenheiten, sowie fürs Weiterführen eigener bzw. für das Aufkommen neuer Gedanken heraus.

Otto war bei seiner Suche nicht alleine, er wusste von interdisziplinärem Kooperationsbedarf und arbeitete so gemeinsam mit Bauingenieuren, Biologen, Geistes- und Naturwissenschaftlern. Seine Erkenntnisse hatten auch fächerübergreifenden Einfluss, etwa werden durch das Erkennen stattfindender sowie generell vergleichbarer *Selbstbildungsprozesse* bei der Gestaltwerdung bzw. Morphogenese dank Otto Architekturmodelle nun auch in der Biologie eingesetzt – um die jeweilige Entstehung der Form von Organismen nachzuvollziehen. Er „begründet damit eine Grundlagenforschung, wie sie in ihrer Breite in den Ingenieurwissenschaften sonst nicht existiert. Sie schließt die Erforschung der Konstruktionen der Natur und deren Entstehung sowie das Studium der historischen Konstruktionen mit ein. Die Entstehungsprozesse und die Entwicklung von Formfindungsmethoden stehen dabei immer im Mittelpunkt – nicht die analytische Untersuchung, sondern die Synthese“.¹¹

Subsysteme Systeme Supersysteme

Nach der Betrachtungsweise der im Laufe des 20. Jh. formulierten und etablierten „Systemtheorie bzw. Systembetrachtung des Lebenden“ (Ludwig von Bertalanffy, allgemeine Systemtheorie 1973) – quasi einer „neuen Naturphilosophie“ – kann die uns umgebende Welt als ineinander verschachtelte Systeme beschrieben werden. Systeme – auch die hier behandelten „Strukturen entwickelnden Bereiche“, wie auch die Strukturen selbst – sind aus in bestimmter Wechselbeziehung stehenden Elementen bzw. Subsystemen zusammengesetzt und wiederum in größere Systeme eingeordnet. Etwa ist ein Organismus „ein hierarchisch organisiertes Gefüge, aufgebaut aus zahlreichen Subsystemen (Organen, Zellen, Molekülen) und selbst integriert in umfassendere Beziehungsgefüge (Populationen, Ökosysteme), die ihm gegenüber sozusagen Supersysteme darstellen.“¹²

Zeitlich betrachtet können Systeme neu entstehen und wieder vergehen, Systeme können sich weiterentwickeln und neue Systeme hervorbringen. So ist, wie es ebenso heißt, die „Idee der Evolution ... auf alle realen Systeme anwendbar. Es ist möglich und sinnvoll, von kosmischer, stellarer, chemischer, molekularer, organischer, sozialer, kultureller, wissenschaftlicher Evolution zu sprechen. Der Evolutionsbegriff bietet deshalb sogar eine Chance,

die vielen Einzelwissenschaften unter einem übergreifenden Gesichtspunkt zu betrachten, vielleicht sogar zu einem einheitlichen Weltbild zurückzuführen.“¹³ (Der hier noch eher schemenhaft wahrgenommene Evolutionsbegriff sollte sich in späterer Folge noch im Detail klären – etwa sind Entwicklungsprozesse vor dem Beginn der biologischen Evolution bzw. rein physikalische/chemische Prozesse – als „Vorformen Darwin'scher Evolution“¹⁴ – wohl eher als „Protoevolution“ zu bezeichnen. Aufbauend auf die Gen-basierte biologische Evolution treten schließlich im Laufe der Entwicklung Kognitions- bzw. „Mem“-basierte individuelle und kulturelle Evolution auf – aus welchen etwa auch die technologische Evolution resultiert.)

Ergründung von Wendepunkten

Um fundiert zu ergründen, wie die Entstehung solcher neuer Systeme genau vor sich geht bzw. wie die hier behandelten Bereiche selbst entstehen konnten, wurde nun durch eine eigene „geschichtliche“ Analyse nach den entsprechenden Wendepunkten bzw. Paradigmenwechseln gesucht. Seit wann bestehen die jeweiligen Prozesse und auf welcher Grundlage? Wo liegen die unschlüssigen Stellen, die fragwürdigen Übergänge bzw. die Grenzen zwischen den Systemen – können überhaupt klare Grenzen gezogen werden?

„Der Evolutionsbegriff bietet ... eine Chance, die vielen Einzelwissenschaften unter einem übergreifenden Gesichtspunkt zu betrachten, vielleicht sogar zu einem einheitlichen Weltbild zurückzuführen.“

von unbelebter zu belebter Natur

Etwa konnte – durch den Aspekt der *Selbstorganisation* – der Übergang von *nicht lebender* zu *lebender* Natur genauer erörtert werden. Bereits rein physikalische Natur neigt dazu „spontane Ordnung entstehen zu lassen, eine Ordnung, die sich selbst gesetzmäßig rekrutiert und auch in einer Form wandelt, die an evolutionäre Veränderung gemahnt.“¹⁵

Innerhalb dieser offenen Systeme haben sich mehr oder weniger geschlossene, „kohärente“ Einheiten gebildet, „die durch interne Aktion zu arbeiten vermögen, durch ihre energiewandelnde Tätigkeit Subjektcharakter gewinnen, autoformativ sich verhalten und automobiler sich in die Energie- und Materieströme der Natur einschalten. Die Konzeption der Selbstorganisation erhält eine neue ... Perspektive.“¹⁶

Jene dieser Selbstbildung bzw. -organisation zugrundeliegende genetische Information, „mit anderen Worten, die „Bauanleitung“ der Lebewesen“, stellt durch deren „allmähliche Abwandlung ... das Rohmaterial der Evolution dar.“¹⁷ Auch ist so der „Grad der genetischen Codierung oft viel geringer ..., als in der Biologie allgemein angenommen wurde. Die genetische Codierung stellt ... eine Vorplanung dar, die sich auf die Erzeugung der Randbedingungen und das Initiieren des Selbstbildungsprozesses beschränkt.“¹⁸

8 FREI, *Der umgekehrte Weg ...*, S. 4, 57

9 FREI, *Der umgekehrte Weg ...*, S. 73

10 FREI, *Gestaltwerdung ...*, S. 78

11 FREI, *Der umgekehrte Weg ...*, S. 6, 63ff

12 Franz M. WUKETITS, „Das Wissenschaftsverständnis in der Biologie“, in J.M. SCHNEIDER, *Wissenschaft - zum Verständnis eines Begriffs*, S.

13 Gerhard VOLLMER, „Verständnis-Schwierigkeiten: Zum Verhältnis von Physik und Biologie“, in J.M. SCHNEIDER, *Wissenschaft - zum Verständnis eines Begriffs*, S. 31

14 Gerhard SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur: eine Einführung in die verallgemeinerte Evolutionstheorie*, Heidelberg 2011, S. 140

15 FREI, *Der umgekehrte Weg ...*, S. 73

16 FREI, *Der umgekehrte Weg ...*, S. 75

17 WUKETITS, „Das Wissenschaftsverständnis in der Biologie“ ..., S. 20f

18 FREI, *Der umgekehrte Weg ...*, S. 55

Übergang zum Menschen

Des Weiteren galt es, den Übergang vom „Tier“ zum „modernen Menschen“ zu klären, bzw. auch das Verhältnis von Techniken und technischen Gestalten der Tiere zu jenen der Menschen. „Das Menschgemachte hat eine Verwandtschaft zu den Produkten der Techniken der Tiere“¹⁹. Durch gezielte Interaktion – wiederum das Einleiten spezifischer Wechselwirkungen – können unterschiedliche Lebewesen „Werkzeuge“ bzw. Gestalten außerhalb ihrer eigenen herstellen – von Spinnennetzen bis zu modernen Geräten. Zu unterscheiden ist jedoch, ob die jeweiligen Verhaltensweisen entweder genetisch gespeichert sind und als Instinkt abgerufen werden, oder aber ob diese im Laufe des Lebens selbst erlernt wurden – was neben menschlichen auch für einige tierische Techniken gilt. Dieses Stützen auf eigene Erkenntnisprozesse schien noch grundlegender und wichtiger oder zumindest ebenso relevant zu sein, wie eine Unterscheidung zwischen Tier und Mensch – welcher „der Notwendigkeit unterworfen (ist), sein Leben durch Lernen von anderen, durch eigene Bestätigung und Ergänzung von Wissen und dessen Weitergabe an andere zu bewältigen. Spätestens seit dem Erwerb des vollen Sprachvermögens muss dies unsere Spezies von allen anderen Arten auszeichnen haben.“²⁰ Auch die Frage nach der Stellung des eigenen experimentellen Entwurfs- bzw. Lernprozesses im Verhältnis zu biologischen Evolutionsprozessen sollte sich mit jener nach der Entwicklung des Denkens und Lernens klären.

evolutionäre Erkenntnistheorie

Als sehr hilfreich für diese Überlegungen stellten sich einige Darlegungen der „evolutionären Erkenntnistheorie“ heraus, welche die Systematik unseres rationalen Denkens bis zu den Anfängen der lebenden Natur zurückzeichnen. „Erkenntnis“ wird „... als natürliches, eben stammesgeschichtlich entstandenes Phänomen“ betrachtet und auch die biologische Evolution selbst als eine Art (unbewusster) Erkenntnisprozess beschreiben.²¹

In der biologischen Entwicklung wird genetisch vorhandene Information um neue „Erfahrungen“ erweitert. Nur bewährte genetische Information wird weitergegeben, ungeeignete wird eliminiert. Jene von reproduzierten Individuen stellt so eine gewisse – bei gleich bleibenden Verhältnissen potentiell erfolgreiche – „Erwartungshaltung“ dar.

„Die Evolution des Lebens selbst kann als Prozess der Erkenntnis beschrieben werden, als ein erkenntnisgewinnender Vorgang. Um Missverständnissen vorzubeugen, muss allerdings betont werden, dass dabei nicht von bewusster Erkenntnis die Rede sein kann.“²²

kognitive Prozesse

So ist des Weiteren zu erkennen, dass komplexe Organismen als „aktive Systeme“ schon alleine zur Interaktion mit der Umwelt in irgendeiner Form Informationen verarbeiten müssen, also gewisse Denkvorgänge bzw. eine Art „Software“ zur Bedienung ihrer materiellen Gestalt benötigen. Genetisch gespeichert und weiterentwickelt werden so – neben dem „Bauplan“ der jeweiligen materiellen Gestalt – auch diverse über viele Generationen etablierte bzw. erfolgreich selektierte Verhaltensweisen; quasi als weit in die Stammesgeschichte zurückreichende „vorbewusste“ Erfahrungen.²³

„Lebewesen kalkulieren ‚ihre‘ Welt und ihre Chancen in dieser Welt auf der Basis ratiomorpher (das heißt vorbereusster) Verhaltensanleitungen. Das Leben eines Organismus kann unter diesem Aspekt als ein Vorgang der Wechselwirkung von Erfahrung und (vorbewusster) Erwartung beschrieben werden: Das Lebewesen kalkuliert (vorbewusst) auf der Basis seiner Erfahrungen und erwartet (ebenso vorbereusst), dass sich die in den Erfahrungen gespeicherte Kenntnis der Wirklichkeit bestätigen werde. Die (vorbewussten) Erfahrungen reichen weit in die Stammesgeschichte der jeweiligen Gattung zurück.“ Eine solche Erfahrung ist etwa das über viele Generationen etablierte Verhalten von Igel, ihr Stachelkleid in Gefahrensituationen aufzustellen. „Natürlich beschränkt sich diese Erfahrung der Igel nur auf bestimmte Strukturen der Wirklichkeit, auf jenen Ausschnitt der Wirklichkeit, auf den in der langen Evolution der Igel auch fortgesetzt Bezug zu nehmen war“²⁴

‚erkenntnisgewinnende‘ Systeme

„Jeder Organismus muss bestimmte Bereiche der ihn umgebenden Wirklichkeit ‚realistisch‘ kalkulieren, um überleben zu können, er muss bestimmte Informationen haben, um sich in einer ihm insgesamt nicht gerade freundlich gesinnten Welt zurechtfinden zu können. Alle Organismen sind also informationsverarbeitende – letztlich ‚erkenntnisgewinnende‘ – Systeme“. Verarbeitet werden die jeweiligen Informationen als kognitive Prozesse durch „Informationsaufnahme und -verarbeitung durch Sinnesorgane und Gehirne“, wobei die jeweiligen Erkenntnisleistungen – auch bei uns Menschen – „von den im Organismus selbst liegenden Kapazitäten etwa des Lernens, in gewissem Sinn begrenzt werden.“²⁵

Zusätzlich können Organismen im Laufe ihres Lebens also selbst Informationen sammeln, verarbeiten und speichern – angewandte Verhaltensweisen können an gemachte eigene Erfahrungen anpasst und auf deren Basis weiterentwickelt werden. Dieses neuronale Netzwerk dient also auch speziell jenen für komplexeres Leben nötigen und weit über die genetisch verfügbare Information hinausreichenden individuellen Lernprozessen bzw. *individuellen Erfahrungs-Erwartungs-Kreisläufen*. So können etwa auch Techniken zur Fertigung technischer Gestalten kognitiv erlernt werden. „Die Erklärung für die Technik des Menschen ist in der Kombination von Handfertigkeit, Sprach- und Lernvermögen zu suchen. Seine Sprache ermöglicht es ihm, Erkenntnisse an Artgenossen mitzuteilen und somit weiterzureichen, sie erlaubt, Wissen anzuhäufen und abrufbereit zu speichern.“²⁶

kollektive Erkenntnisprozesse

Werden individuell erlernte Fertigkeiten weitergegeben und von anderen Individuen weiterentwickelt, so führt dies also zu *kollektiven Lernprozessen* und *kollektiven Erwartungs-Erfahrungs-Kreisläufen* bzw. zu *Kulturen, Traditionen* und letztlich – als mittlerweile globaler, institutionalisierter Erkenntnisprozess – auch zu unserer *Wissenschaft*.

So konnte auch „wissenschaftliche Erkenntnis, als ein systembedingter ... Prozess der Informationsverdichtung“²⁷ natürlich begründet und so abseits jeder konventionellen Auffassung besser verstanden werden.

„Frei Otto betrachtet das Erfinden nicht als eine einsame geniale Fähigkeit, sondern eher als eine eigene Art von Selbstbildungsprozess, welcher durch die entsprechenden Aufgaben und Fragestellungen in Gang kommt.“

resultierende Eigendynamik der Informationsanhäufung

So ist biologische Evolution ein „sich selbst planender Prozess“, dessen Selbstplanung „aus jenen Wechselbezügen von Organismus und Umwelt“ zu verstehen ist. Auch die aus den biologisch bedingten Erkenntnisleistungen entstandenen Kulturen, und damit einhergehend auch unsere Wissenschaft zeigen einen solchen eigendynamischen Verlauf.²⁸ Schon Frei Otto sah diese Art der Selbstorganisation auch in technischen Entwürfen: Er „betrachtet das Erfinden nicht als eine einsame geniale Fähigkeit, sondern eher als eine eigene Art von Selbstbildungsprozess, welcher durch die entsprechenden Aufgaben und Fragestellungen in Gang kommt.“²⁹ Auch der eigene Entwurfsprozess stellt also einen solchen individuellen Erfahrungs-Erwartungs-Kreislauf dar, durch dessen Methodik – eingebunden in kulturelle und biologische Entwicklungsprozesse die (Gesamt-)Entwicklung sogar bewusst eigendynamisch und unvorhersehbar vorangetrieben wird.

All diese fortlaufenden und Informationen anhäufenden, auf dem Aufwerfen von Möglichkeiten wechselwirkend mit kausal oder rational gefolgertem Feedback bzw. auf „Versuch und Irrtum“ gründenden Erfahrungs-Erwartungs-Kreisläufe bzw. experimentellen Prozesse haben im Grunde dieselbe Art eigendynamischer Informationserweiterung. All diese werden – ob genetisch oder kognitiv – als evolutionäre Prozesse beschrieben.

Evolving Structures

Etwa an diesem Erkenntnispunkt ergab und festigte sich die Thematik so auch begrifflich: „Evolving Structures“ vereint nicht nur die „passive“ Sichtweise von sich weiterentwickelnden Strukturen, sondern auch die Perspektive der eigenen aktiven Stellung und Teilhabe an diesen evolutionären Prozessen.

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



¹⁹ FREI, *Gestaltwerdung ...*, S. 38
²⁰ Hubert MARKL, „Seit Anbeginn der Menschheit: Wissenschaft als Gemeinschaftswerk“, in J.M. SCHNEIDER, *Wissenschaft - zum Verständnis eines Begriffs*, S. 5f
²¹ WUKETITS, „Das Wissenschaftsverständnis in der Biologie“ ..., S. 21f

²² WUKETITS, „Das Wissenschaftsverständnis in der Biologie“ ..., S. 21f
²³ WUKETITS, „Das Wissenschaftsverständnis in der Biologie“ ..., S. 21f
²⁴ WUKETITS, „Das Wissenschaftsverständnis in der Biologie“ ..., S. 21f
²⁵ WUKETITS, „Das Wissenschaftsverständnis in der Biologie“ ..., S. 21f

²⁶ FREI, *Gestaltwerdung ...*, S. 38
²⁷ WUKETITS, „Das Wissenschaftsverständnis in der Biologie“ ..., S. 22
²⁸ WUKETITS, „Das Wissenschaftsverständnis ...“ ..., S. 20f, 24
²⁹ FREI, *Der umgekehrte Weg ...*, S. 58

1.3.2 Einleitung des themenspezifischen bzw. einhergehenden Entwurfsprozesses

Einbindung Praxis

Da die Thematik zu dieser Arbeit aus Überlegungen zur eigenen Praxis resultierte und sich auf diese bezieht, wurde längere Zeit überlegt, wie der eigene Entwurfsverlauf am ehesten einzubinden ist. Als sich theoretische Aspekte anfänglich erst langsam zu einer greifbaren Thematik formierten – der *Entwicklung von Strukturen* – wurde einerseits (wie geschehen) angedacht, aufgrund der vielen thematischen Überschneidungen und auftretender Auffälligkeiten den eigenen vorausgehenden (bereits in Kap. 1.1 gezeigten) praktischen Entwurfsprozess zu behandeln. Des Weiteren war angedacht, mehr oder weniger frei an den offenen Entwicklungslinien konstruktiv weiterzuarbeiten. Anfangs womöglich außeruniversitär behandeltes sollte im Zuge eines universitären Entwurfsprozesses fortgesetzt werden, wobei auch neu erlangte methodikbezogene Erkenntnisse in die Praxis einfließen und so überprüft werden sollten.

Weiterführung von Entwicklungslinien

So wurde jedoch nicht wie erwartet ein „freies Entwerfen“ belegt, sondern – stets eingebunden in die nunmehrige Thematik der *Evolutions von Strukturen* – mit „The Art of Re-Creation“ (Institut für Architekturtheorie) ein Projekt bzw. ein fortlaufender, auf zuvor gemachten Erkenntnissen aufbauender und bewusst offener experimenteller Entwurfsprozess begonnen, welcher selbst für mich erstaunliche Ergebnisse hervorbrachte. Bereits vorab wurde mit dem Betreuungsteam abgestimmt, den folgenden eigenen experimentellen Entwicklungsverlauf im Rahmen dieser

Diplomarbeit genauer zu behandeln. Der Entwurfsprozess wurde auch in der Folge noch weit über dieses universitäre Projekt hinaus fortgesetzt: Im direkten Anschluss wurden einige konstruktive Ergebnisse im Zuge einer Kooperation mit *soma architecture* zu einer Rauminstallation im *Museum für angewandte Kunst* („Immanent Elasticity“, MAK Wien) weiterentwickelt. Später wurde der Prozess – nun wiederum ohne Zielvorgabe – erneut in mehrere unterschiedliche Richtungen vertieft. Die detaillierte Analyse dieses einhergehenden Entwurfsprozesses bildet den abschließenden praktischen Teil dieser Diplomarbeit. Auch der Letztstand verweist auf großes zukünftiges Entwicklungspotential, welches – etwa auch durch intensivierte interdisziplinäre Kooperation – im Rahmen der folgenden Dissertation weiter zu ergründen ist (Ausblick Seiten 144 bis 145).

„The Art of Re-Creation“ „Immanent Elasticity“ freie Weiterführung

kontinuierliches Wechselwirken von Praxis und Theorie

So stehen praktischer Entwurfsprozess und theoretische Erörterung auch weiterhin stets in direkter Wechselwirkung. Auffälligkeiten in der vorausgehenden Praxis führten zu ersten thematischen Überlegungen und erlangte Erkenntnisse resultierten in spezifischen „strategischen“ Überlegungen bezogen auf die später angewandte Methodik. Einige zuvor theoretisch behandelte Aspekte konnten während des Prozesses direkt beobachtet werden bzw. wurden einige bewusst eingesetzt – etwa um durch das laufende Folgen neuer Richtungen bzw. unvorhergesehener konstruktiver Eigenheiten die resultierende Eigendynamik zu fördern. So konnte durch die Analyse bzw. die detaillierte Aufarbeitung des Entwurfsverlaufs und der Systematik einzelner Entwicklungsschritte bzw. -phasen wiederum auch zu gänzlich neuen Erkenntnissen sowie zu einem noch fundierteren Verständnis für grundlegende Zusammenhänge gelangt werden.

Uminterpretation gegebener Thematik

Ein Aspekt, welcher damals – wenn auch nebensächlich – selbstverständlich erschien, kann heute als recht amüsant betrachtet werden: die eigene „Umdeutung“ des Entwurfsthemas „The Art of (Re-) Creation“ (in Anlehnung an „The Art of Co-Creation“, Konferenz in Umeå/Schweden). Dieses wurde verstanden als die hier thematisch zutreffende Stellung eines kreativen Prozesses, hervorgehend aus und eingebettet in andere Entwicklungsprozesse – bei etwas unglücklicher Wortwahl. Später wurde – gemäß der eigenen Deutung von „Re-Creation“ als dem neuerlichen, nun künstlerischen Durchlaufen eines evolutionären Prozesses – tatsächlich ein sich selbst organisierender Verlauf basierend auf sich selbstständig umstrukturierenden Konstruktionen entwickelt. Erkannte – allesamt ungeplant eingetretene – Selbstbildungsprozesse leiteten den Prozess in neue, nicht vorhergesehene Richtungen. Die von universitärer Seite ursprünglich angedachte Interpretation – „Re-Creation“ als „Erholung“ – wurde erst bewusst, als dies nicht mehr von Relevanz war.

1.3.3 weiterführende Überlegungen, frühe universitäre Kontaktaufnahme, Reflexion und Präzision der Thematik

auftretende Unübersicht

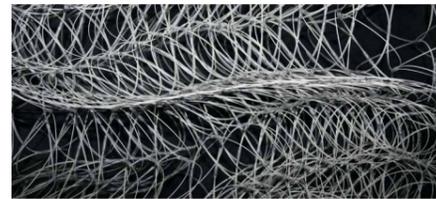
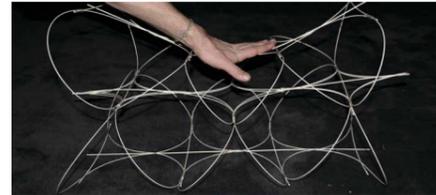
Nach der anfänglichen Quellenrecherche wurden jene theoretisch zu behandelnden Aspekte aufgrund der Vielfalt an neuen Informationen und Erkenntnissen wiederum etwas unübersichtlich. Das Verständnis war vorhanden, jedoch wäre es mir an diesem Punkt noch nicht möglich gewesen, die alles verbindende bzw. die für mich relevante Essenz selbst präzise artikulieren zu können. So wurden aufgrund der Fülle an neuen Gesichtspunkten auf neuer Grundlage neue Überlegungen angestellt.

grundlegende Faktoren

Von der anfänglichen, eher generalisierenden offenen Suche wurde Abstand genommen – der Fokus lag vermehrt auf der Erörterung einzelner wirklich grundlegender Faktoren, etwa auf den Gegensätzen *Materialität* und *Immaterialität*, der *Prozesshaftigkeit* selbst, oder auf den ebenfalls fundamental erscheinenden Aspekten *Zufälle*, *Wechselwirkungen* und *Selbstorganisation* bzw. *Eigendynamik*. So wurde durch das Durcharbeiten der einzelnen Punkte versucht, eine eigene Ordnung für relevant erscheinende Informationen, bzw. einen „roten Faden“ in der Argumentation zu finden. Der Inhalt sollte sich durch intensive Beschäftigung quasi „von selbst“ verpacken – was zusammen gehört, gehört zusammen; was untergeordnet ist, wird untergeordnet. Überlegungen, wie zu einer solchen natürlichen Strukturierung gelangt werden könnte, wurden schließlich – doch überraschend – durch das spontane Erkennen grundlegender Zusammenhänge „unterbrochen“:

Als zwischenzeitlich an der themenbezogenen Analyse der ersten Phase des einhergehenden Entwurfsprozesses gearbeitet wurde, zeigten sich bald einige der bereits gesuchten Zusammenhänge: So wurde erkannt, dass Entwicklungsschritte, welche zur Kategorie *Zufälle* gehören, auch *Wechselwirkungen* zuzuordnen sind – dieselben Schritte sind Grundlage der daraus resultierenden *Eigendynamik* im so *selbstorganisierenden* Prozess. Auch etwa *Kooperationen* gehören wohl zur *übergeordneten* Thematik der der *Wechselwirkungen* – und könnten als eine kollektive (bzw. intersubjektive) Variante der *Selbstorganisation* betrachtet werden, welche ganz allgemein betrachtet ebenfalls immer die logische Folge von *Wechselwirkungen* zu sein scheint. Auch *Zufälle* sind wohl das Ergebnis von *Wechselwirkungen*, was bereits lange Zeit so betrachtet wurde. Und wenn einzelne Elemente oder Akteure in *Wechselbeziehung* stehen, resultieren diese *Wechselwirkungen* wohl alleine schon aus der vorhandenen Zeitdimension bzw. der *Prozesshaftigkeit*.

einhergehender Entwurfsprozess
anfängliche Entwicklungen



Das fortlaufende Wechselwirken von mehr oder weniger zufälligem Aufwerfen von Möglichkeiten sowie logisch gefolgertem Feedback resultiert in einer Eigendynamik im Prozess und einem nicht vorherzusehenden Entwicklungsverlauf. Alleine durch das fortlaufende Reagieren auf womöglich zuvor selbst hervorgerufene Zufälle führt der Konstruktionsprozess quasi selbstorganisierend zu funktionsfähigen Strukturen – ohne am Anfang des Entwurfsprozesses wissen zu können, um welche Funktionen oder Formen es sich nun handeln wird. Sollten sie sich bewähren, werden sie erhalten, optimiert und weiterentwickelt.

frühe universitäre Kontaktaufnahme

Nach vorläufiger Fertigstellung des einleitenden Teils der schriftlichen Arbeit (frühe eigene Themenerarbeitung) und begonnenen sowie bereits tiefer greifenden, auf externes Wissen gestützten Überlegungen, schien es nun an der Zeit, eine weitere „Instanz“ miteinzubeziehen und mit dem angesammelten Material – theoretischen, sowie praktischen Studien – mit universitärer Seite in Diskurs zu treten. Zu Beginn war angedacht, die Thematik mit Kari Jormakka (Institut für Architekturtheorie) zu behandeln, was nun durch sein überraschendes Ableben jedoch leider nicht möglich war. So wurde, um die Thematik zu besprechen, zunächst Michael Seidl (Institut für Hochbau 2) kontaktiert – er war bereits vertraut mit einigen meiner vorausgehenden praktischen Entwürfe.

Es sollte versucht werden, einen thematischen *Fokus* in der vorliegenden Fülle an behandelten Aspekten zu finden. Dies wurde anfangs hinterfragt, bis ein solcher bzw. jene für die eigenen Studien wirklich relevante *Blickrichtung* schließlich doch klar ersichtlich wurde. Mir geht es in erster Linie um die bewusste Integration von Eigenheiten dieser nun vertieft theoretisch behandelten Prozesse in die eigene praktische Entwurfsmethodik. Die Thematik wurde mit fokussiertem Bezug auf diese neuerlich reflektiert, was wiederum die Relevanz der bereits erwähnten *offenen Zielsetzung* sowie die daraus resultierende *offen-experimentelle* Entwicklungsweise in den Vordergrund hob.

Suche nach Fokus

offen-experimentelle Methodik

Die dem konstruktiven experimentellen Entwerfen (bzw. den „Werkzeugen“ Variation und Selektion) entgegen biologischen Entwicklungen zusätzlich *übergeordnete* Ebene ist die den Prozess leitende *Zielsetzung* – ein bereits behandelte aber längere Zeit nicht bedachter Aspekt. Speziell *offen-experimentelles* Entwerfen stützt sich letztlich auf eine *offene Zielsetzung*. Auf sich ergebende Änderungen und Möglichkeiten kann so reagiert werden; unerwartet können neue Funktionen gefunden und neue Entwicklungsrichtungen verfolgt werden. Wohl durch eben diese offene Zielsetzung ergibt sich schließlich *Innovationspotential* – stets wechselwirkend mit *Optimierungsprozessen* bzw. zielgerichteten Entwicklungen durch *feste Zielsetzung*. So konnten weitere Aspekte zugeordnet werden – als *resultierende* Ebene experimentellen bzw. offen-experimentellen Entwerfens. Auch wird so bereits etwas genauer verständlich, warum dessen fortlaufende Anwendung so unerwartete bzw. innovative Ergebnisse hervorbringt – Kernpunkt der eigenen Studien.

(Durch welche richtungsgebenden evolutionären Mechanismen es nicht nur im eigenen Entwerfen, sondern auch in der biologischen Evolution ohne planende Instanz zu gerichteten Entwicklungen sowie zu neuen Funktionen kommt, klärte sich bald darauf mit der Ergründung von Auswirkungen der jeweiligen Stabilität von wirkenden und richtenden Selektionsfaktoren bzw. deren (Re-)Stabilisierung)

aktive Stellung

Bezogen auf gesteigerte Möglichkeiten der eigenen bzw. individuellen aktiven Stellung im offen-experimentellem Entwerfen ist die Fokussierung darauf, ein spezielles Ziel zu erreichen, nicht der Erkundung möglicher anderer Wege vorzuziehen. Jede Steigerung der Vielfalt erhöht die zukünftigen Möglichkeiten. Der Blick wird geweitet und man nimmt bzw. erkundet jede mögliche Abzweigung; achtet auf jede Auffälligkeit, welcher nachgegangen werden kann, auf möglichst alle Wechselwirkungen und unvorhergesehenen Zufälle – um potentiell nützliches bzw. innovatives zu finden. Freies Denken bzw. Querdenken erweitert so die Möglichkeiten. Konzentration, Dogmatismus, Konventionen und fremde Meinungen könnten die Möglichkeiten der Zielsetzung zwar womöglich gelegentlich ausweiten bzw. vertiefen, jedoch durch die Vorwegnahme von zu beschreitenden Wegen wohl auch zweifellos einschränken.

Jede Aktion ist sowohl Reaktion, als auch Präaktion: Sie resultiert einerseits aus den Wechselwirkungen der Vergangenheit und wirkt sich andererseits wiederum auf Wechselwirkungen in der Zukunft aus.

30 <http://www.projektmagazin.de/glossarterm/serendipitaet>

31 SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 387f

Zufälle herausfordern

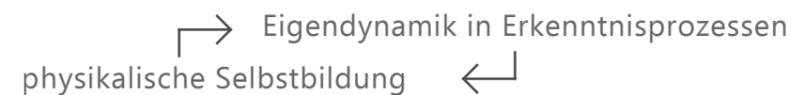
So ist einerseits für dieses Reagieren auf sich ergebende Möglichkeiten die jeweilige individuelle Wahrnehmung – Impressionen – ein grundlegender Faktor. Andererseits stehen Expressionen, durch welche eigene Gedanken ausgedrückt werden. Jedoch werden auch diese – etwa Skizzen oder Modelle – wie erwähnt in weiterer Folge erneut wahrgenommen, stellen wiederum neue Impressionen dar bzw. wirken als solche zurück. Dies geschieht oft anders, als zuvor erwartet werden könnte: Etwa können eigene Skizzen auf unterschiedliche Weise interpretiert werden. Auch erdachte und später modellierte Konstruktionen verhalten sich oft anders, als dies erwartet wurde, etwa wenn – wie im einhergehenden Entwurfsprozess des öfteren geschehen – nach Interaktionen sich unerwartet selbstständig fortsetzende Faltmechanismen auftreten. So werden neue Möglichkeiten und Lösungen zwar eher intuitiv bzw. „zufällig“ erkannt, diese Zufälle können aber auch selbst „herausgefordert“ bzw. kann auf deren Auftreten einge-

wirkt werden. Neben Experimenten geschieht dies etwa auch durch bewusstes „ins-Nichts-Denken“ – quasi für „erzwungene“ Intuition. Möglich ist auch das bewusste Beeinflussen der wahrzunehmenden Impressionen etwa durch Umgebungsänderung – neue Situationen resultieren in neuen zu lösenden Problemen, was wiederum zum Erkennen neuer Lösungen führen kann. Ähnliches gilt für das bewusste Einleiten von Lernprozessen oder etwa das Eingehen von Kooperationen.

Eigendynamiken initiieren

Jene zu neuen Entwicklungen führenden Wechselwirkungen können selbst eingeleitet bzw. initiiert werden und sich in der Folge mehr oder weniger eigendynamisch fortsetzen. Aufgrund der fehlenden Übersicht erscheinen die Resultate – weil nicht vorherzusehen – schließlich oft trotzdem als teils „zufällig“ (Das Nutzen hervorgerufenen Zufälle bzw. das Finden von zuvor unerwartetem wird, wie ei-

nige Zeit später erfahren wurde, als „Serendipität“ bezeichnet³⁰). So wird versucht, auftretende Eigendynamiken zu erkennen und Wechselwirkungen zurückzufolgen, um diese aktiv zu initiieren und so bewusst in die eigene Entwurfsmethodik zu integrieren. Etwa wird so auch vermehrt von „prä-agieren“ gesprochen: Jede Aktion ist sowohl *Reaktion*, als auch *Präaktion*; sie resultiert einerseits aus den Wechselwirkungen der *Vergangenheit* und wirkt sich andererseits wiederum auf Wechselwirkungen in der *Zukunft* aus. (Trotz des – soweit bekannt – Nicht-Vorhandenseins dieses nach eigener Ansicht benötigten Begriffes, wurde und wird dieser fortan angewandt. Schließlich konnte erfahren werden, dass er etwa im französischen Sprachraum – als „préaction“ – durchaus geläufig sein soll. Ebenfalls in weiterer Folge wurde vom wohl einhergehenden und in der Spieltheorie angewandten Ausdruck der „Meta-induktion“ – für jene im späteren Verlauf relevanten *strategischen* Handlungsweisen – erfahren.³¹)



Aufbauend auf diese Überlegungen sowie Erkenntnissen aus dem praktischen Entwurfsprozess konnten – bei der nun begonnenen textlichen bzw. argumentativen Aufarbeitung der zuvor in Verbindung gesetzten grundlegenden Aspekte – neue Erkenntnisse bezogen auf *selbstorganisierende* bzw. *evolutionäre* Prozesse erlangt werden. So wurde die gegenseitige Abhängigkeit bzw. die Wechselwirkung einerseits, und andererseits der *Eigendynamik in Erkenntnisprozessen* erkannt. Sowohl in offen-experimentellen Entwurfs-, als auch in biologischen Entwicklungsprozessen beziehen sich materielle

und informationsbezogene Selbstorganisation aufeinander und treiben sich so gegenseitig voran. Neue bzw. variierte und erfolgreich selektierte materielle Selbstbildungsvorgänge resultieren im eigendynamischen Fortschreiten der ihnen zugrundeliegenden Erkenntnisprozesse. Umgekehrt kann so durch die Dokumentation der jeweils physikalisch möglichen Ordnungsweisen und durch ihre Reproduktion bei schrittweiser Weiterentwicklung, die Breite und Tiefe bzw. Vielfalt und Komplexität materieller Selbstorganisation und damit biologischer sowie technischer Gestalten stetig erweitert werden.

So können sowohl biologische als auch technologische Evolution bzw. offen-experimentelles Entwerfen aus diesem Blickwinkel gegenseitig wirkender materieller und informationsbezogener Selbstorganisation beleuchtet werden. Sowohl im offen-experimentellen Entwerfen, als auch in der biologischen Evolution werden Gestaltwerdungsprozesse bzw. deren grundlegende Information variiert. Materialisierte Strukturen ordnen sich nach den tatsächlichen Verhältnissen mehr oder weniger vorteilhaft und werden infolge positivem rationalem oder kausalem Feedback reproduziert, um ausgehend von den nun bereits etablierten Konstruktionsweisen wiederum neu variiert zu werden.

1.3.4 vertiefende Quellenrecherche sowie abschließende Erkenntnisfindung

Einbeziehung zusätzlicher Fachliteratur

Über längere Zeit wurde das Einbeziehen von zusätzlicher Fachliteratur angestrebt. Aus unterschiedlichen Gründen wurde hierfür noch zugewartet, was sich jedoch als nicht unangebracht herausstellte, da stetig selbst neue Zusammenhänge gefunden und Erkenntnisse erlangt werden konnten. Anderenfalls hätten die meisten Argumentationslücken wohl nicht selbst geschlossen werden können.

Als schließlich auf zusätzliche (auch aktuellere) Fachliteratur und weiteres externes Wissen zugegriffen wurde, führte dies – thematisch – zu keinen umwälzenden Änderungen. Auch durch detaillierteres Befassen etablierten sich im Grunde bereits bestehende Ansichten. Speziell durch einen tieferen Einblick in die ausführlichen Darlegungen der verallgemeinerten Evolutionstheorie konnte fundiertes Verständnis über die evolutionäre Entwicklungssystematik – auch jene kognitiver Prozesse – erlangt werden. Möglich wurden so neben der Aufschlüsselung einzelner Entwicklungsphasen und Entwicklungsschritte des einhergehenden Entwurfsprozesses auch klare Formulierungen zur Essenz der eigenen Studien bzw. der eigenen offen-experimentellen Entwurfsmethodik.

bestehende Ansichten
etabliert und erweitert

verallgemeinerte Evolutionstheorie

Wiederum waren einige neue Begrifflichkeiten zu übernehmen. Zur genetischen *biologischen Evolution* treten etwa auf kognitiver bzw. neuronaler Grundlage *individuelle*, aufbauend auf diese wiederum *kulturelle Evolution*. Aus der menschlichen Kultur – alle Neuerungen stammen hier aus individuellen Lernprozessen – resultiert schließlich auch unsere *technologische Evolution*. Als Analogie zur biologisch reproduzierten und weiterentwickelten Information durch *Gene*, wird in der kulturellen bzw. der individuellen Evolution von der Variation und Selektion von Ideen, bzw. von kognitiv weiterentwickelten „Memen“ gesprochen. „Der Memebegriff wurde 1979 von Dawkins (1998) als ‚kulturelles Gegenstück‘ der Gene eingeführt. Unter Memen sind menschliche Ideenkomplexe und Fertigkeiten zu verstehen, die durch den Mechanismus der kulturellen Tradition reproduziert werden“³²

kumulative Evolution

Kulturelle Evolution findet zwar auch bei hochentwickelten Tieren statt – hier jedoch nicht *kumulativ*, nicht Erkenntnisse anhäufend. Etwa werden Techniken weitergegeben, auch regionale Differenzierung kommt vor, jedoch werden nur in der menschlichen Kultur konsequent auf vorherige Erkenntnisse neue aufgebaut. Ein solch kontinuierlich fortgesetzter Erwartungs-Erfahrungs-Kreislauf – also dieselbe Art *kumulativer* Entwicklung bzw. Evolution – ist auch Grundlage der Systematik des gesamten behandelten eigenen Entwurfsprozess.

³² SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 140f

1.3.4.1 Einbindung der verallgemeinerten Evolutionstheorie

biologische, individuelle und kulturelle Evolution

So gibt es eine Reihe von Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen biologischer, individueller und kultureller Evolution: Individuelle und kulturelle Evolution stehen in engem Zusammenhang, auch könnten beide nicht stattfinden, wenn es die biologische Evolution nicht gäbe. „Die kulturelle Evolution könnte zudem auch nicht ohne die individuelle Evolution existieren,“ denn erst deren Lernmechanismen „sorgen auch dafür, dass ... Meme in der kulturellen Evolution von der Folgegeneration erlernt werden können“. In unsere Individuelle Evolution – welche entgegen biologischer und kultureller Evolution „nicht unbegrenzt kumulativ“ sein kann – fließen die „tradierten Inhalte der kulturellen Evolution“ ein. Und schließlich ist es wichtige Aufgabe sowohl der individuellen, als auch der kulturellen Evolution, die aus der biologischen Evolution resultierenden Bedürfnisse zu bedienen.³³

Einige vorherige Überlegungen wurden so von fachlicher Seite vertieft. Etwa findet auf kognitiver Ebene statt diploider oder polyploider Vererbung partielle Vererbung bzw. Mischvererbung statt³⁴. Kulturelle Produkte bzw. technische Gestalten resultieren aus der Vermengung unterschiedlicher Vorgänger. Die damit einhergehende einfache Rückkreuzung führt etwa auch dazu, dass Stammlinien sich nicht nur verzweigen, sondern leicht wiedervereinigen können. Etwa teilen sich

³³ SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 257, 261

³⁴ SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 212

Sprachgemeinschaften bei räumlicher Separation, treten diese wieder in Kontakt, findet jedoch sprachlicher Austausch statt.³⁵ Dasselbe gilt etwa für Bautraditionen wie jene im Zuge der Bachelorarbeit behandelten skandinavischen Konstruktionsweisen. Und auch im eigenen Entwurfsprozess finden sich häufig solche Wiedervereinigungen einzelner Entwicklungslinien.

Variation und Selektion

Durch die Befassung mit der alle behandelten Bereiche umfassenden evolutionären Systematik, wurden grundlegende Aspekte dieser Prozesse im Detail erfasst. So konnten etwa Entwicklungsrichtung, offene und feste Zielsetzung bzw. Innovationen und Optimierung auf Basis der direkt angewandten experimentellen Entwurfswerkzeuge und damit einhergehender Mechanismen ergründet werden.

Vorwiegend ungerichtete *Variation* und richtende *Selektion* stehen in direkter Wechselwirkung und sind jene angewandten Werkzeuge, welche als „darwin'sche Module“ (einhergehend mit Reproduktion sowie kausaler Erzeugung) die Entwicklung quasi als kontinuierlich angewandter *evolutionärer Algorithmus* vorantreiben.³⁶ Alle Neuerungen entstehen durch Variation, Selektion definiert durch die jeweilige Auswahl die Entwicklungsrichtung. Bei bewusst gerichteten Variationen wird bereits selektiv variiert (Autoselektion³⁷).

³⁵ SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 222

³⁶ SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 132f

Stabilität von Selektionskräften

Gerichtete Entwicklungsprozesse resultieren folglich aus anhaltender *Stabilität* der wirkenden *Selektionskräfte*. Werden diese – ob intendiert oder nicht – *de- bzw. restabilisiert*, werden *neue Richtungen* verfolgt.³⁸ Innovationen und Optimierungsprozesse können schließlich als das Resultat dieser Neuausrichtung bzw. Beibehaltung bestimmter Selektionsparameter, Entwicklungsrichtungen bzw. Zielvorgaben betrachtet werden.

evolutionäre Systematik
(offen-)experimenteller
Entwurfsprozesse

De- bzw. Restabilisierung von Selektionskräften

Im (experimentellen) Entwurfsprozess wird durch die Definition von Selektionsfaktoren, also durch mehr oder weniger feste bzw. offene Zielsetzung (bezogen auf den grundlegenden Denkprozess auch durch Konzentration und Querdenken) und einhergehender Stabilisierung bzw. Restabilisierung der Selektionskräfte auf die jeweilige Richtung bzw. Neuausrichtung des Entwicklungsverlaufs eingewirkt.

³⁷ SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 234

³⁸ SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 191

Effekt und Nutzen

Des Weiteren sind Selektionsprozesse, Entwicklungsrichtungen und schließlich Innovationen und Optimierungsprozesse allesamt *funktionsbezogen*. Durch genaueres Beschäftigen hiermit, wurde neben den zugrundeliegenden Zusammenhängen auch das *Auftreten neuer Funktionen* leichter verständlich:

Bestimmte Funktionen setzen sich zusammen aus einem Merkmal bzw. Effekt und einem diesen nutzenden Bedarf bzw. einem damit bedienten Nutzen – einem Effekt welcher „in gewisser Weise wertvoll ist“. Bezogen auf den „evolutionären Funktionsbegriff“, welcher „ein Spezialfall des sogenannten ätiologischen Funktionsansatzes (Wright 1976)“ ist, hat der jeweilige Effekt „in der Geschichte der Spezies überwiegend zur evolutionären Fitness... beigetragen“. Funktionen „werden konstituiert durch die relative Selektionsgeschichte des fraglichen Merkmals“.³⁹

Konvergenzen

Ist die Anzahl an möglichen Effekten für bestimmte Nutzungsanforderungen bzw. zur Erlangung bestimmter Funktionen eingeschränkt, wird so etwa auch das Auftreten konvergenter Entwicklungen verständlich, da derselbe Effekt in unterschiedlichen Entwicklungslinien zur Anwendung kommt.

Nebeneffekte und Fehlfunktionen

Jedoch bringen Merkmale mit (Haupt-)Funktionen meist auch Neben- bzw. Nebeneffekte mit sich⁴⁰, welche in der Selektionsgeschichte nicht relevant waren – etwa Eigenschaften bzw. Fähigkeiten, welche die Entwicklung nicht entscheidend beeinflussten. Auch Fehlfunktionen können auftreten, wenn Effekt und Nutzen bzw. Selektionsfaktoren nicht mehr übereinstimmen. Wird nun jedoch

ein fehlerhafter oder ein vormals ungenutzter Nebeneffekt einem neuen Nutzen zugeführt und seine Wichtigkeit dadurch gesteigert, so wird dieser durch sich ändernde Selektionskräfte zur neuen Hauptfunktion, auf welche die Entwicklung fortan ausgerichtet wird.

So betrachtet, unterliegt die jeweilige Funktion und das damit einhergehende Merkmal bei anhaltend *stabilen* Selektionskräften bzw. fester Zielsetzung im schrittweisen Entwicklungsverlauf einem *Optimierungsprozess*. Durch die *Selektion* eines *Nebeneffekts* und einhergehender neuer Zielsetzung bzw. Abkehr und Restabilisierung von vorausgehenden Selektionskräften, wird eine *neue Funktionen* gebildet, welche wiederum selbst in der Folge einem Optimierungsprozess unterliegen kann.

neue Funktionen

Etwa in der biologischen Evolution ist dies leicht verständlich: Arten, welche als „Nebeneffekt“ schwimmen können, würden ihre Entwicklungsrichtung und ihre Gestalt – sollte diese Funktion für Überleben und Fortpflanzung zentral werden und über viele Generationen bleiben – aufgrund geänderter Selektionsfaktoren durch die Etablierung entsprechender Variationen auf diese Bedingungen hin ändern (vgl. Entwicklung d. Seehundes⁴¹).

Auch gelegentlich schon im behandelten *vorausgehenden*, speziell jedoch im *einhergehenden* Entwurfsprozess finden sich viele dieser Richtungsänderungen durch Selektion von ungeplant auftretenden Nebeneffekten. So war die später wesentliche Instabilität bzw. Faltbarkeit der zuvor entwickelten Turmgeometrie (Seiten 28 bis 29) ebenso ungeplanter Nebeneffekt bzw. Fehlfunktion, wie die später verfolgte – ursprünglich als Aufwollen sowie gelegentliches Festhängen auftretende – Radial- bzw. Helixfaltung (Seiten 96 bis 97).

Kognition

Diese eigenen Entwicklungen gehen einher mit den ebenfalls genauer behandelten kognitiven Lernprozessen, welche – mit manchen Ausnahmen – mit dem „Trial-and-Error“-Prinzip ebenfalls auf der evolutionären Systematik basieren.

„Nun sind die möglichen Umgebungen, die ein tierischer Organismus im Laufe seines individuellen Lebens potenziell durchwandern kann, viel zu komplex, um alle adäquaten Reaktionen auf mögliche Umgebungen in der Form von genetischen Programmen abzuspeichern zu können. Ein eigener Mechanismus wird nötig, um den Organismus im Laufe seines Lebens auf spezifische Umweltsituationen hin zu adaptieren.“⁴²

evolutionäre Systematik kognitiver Prozesse

Die bereits bei den meisten mehrzelligen Tieren auftretende Entwicklung von Verhaltensweisen durch *klassische Konditionierung* folgt dabei noch „nicht genau den darwin’schen Modulen“ und wird als „Umweltinduktion“ gewertet. Hierbei werden nämlich „nicht irgendwelche Assoziationshypothesen per Versuch und Irrtum ausprobiert und damit Voraussagen erstellt, vielmehr ist es hier die wahrgenommene Umwelt, die dem Individuum von vornherein die wahrscheinlichsten Hypothesen per induktivem Assoziationslernen aufprägt.“⁴³ *Operante Konditionierung* schließlich, „hierbei werden variierende Verhaltensweisen durch Versuch und Irrtum spontan erprobt und durch positives oder negatives Feedback der Umgebung in der Häufigkeit ihres Auftretens verstärkt („belohnt“) oder geschwächt („bestraft“), „bildet die Grundlage der individuellen Evolution von neuen Verhaltensweisen und Fähigkeiten und folgt den Modulen der darwin’schen Evolutionstheorie. Die Variationen des Verhaltens können zufällig oder gerichtet erfolgen.“⁴⁴

kognitive Modelle

Hinzu kommt – beim Menschen sowie bei hochintelligenten Säugetieren – die Fähigkeit der „Konstruktion *kognitiver Modelle*“ bzw. das daraus resultierende höhere Lernen durch „Einsicht“. „Die Konstruktion kognitiver Modelle erfolgt natürlich nicht blind, sondern gerichtet. Dennoch gehorcht auch kognitives Modelllernen den darwin’schen Modulen, denn die kognitiven Modelle sind hochgradig fehlerhaft und werden durch Versuch und Irrtum sukzessive verbessert.“⁴⁵

So gibt es eine Reihe von Aspekten, welche einer „Annäherung an die Wahrheit“ entgegenwirken, bzw. „neben den Wahrheitseffekten unserer Überzeugungssysteme auch die verallgemeinerten Placeboeffekte, die ihre Wirksamkeit unabhängig von ihrem Wahrheitswert entfalten“. Darunter fallen auch Selbstüberschätzung und Selbsttäuschung, wobei etwa „positive Illusionen“ auch durchaus von Nutzen sein können.⁴⁶

Auch in experimentellen Entwurfsprozessen wird eine zu modellierende Struktur zuerst als kognitives Modell erdacht, welches erst durch dessen Materialisierung überprüft werden muss. So haben, bezogen auf diese Prozesse, auch jene kognitiven Placeboeffekte bzw. Denkfehler und ihre Aufklärung besondere Relevanz: „Fehlfunktionen“ bzw. unvorhergesehene Effekte im physischen Modell basieren oft auf Fehlern im zugrundeliegenden kognitiven Modell, also auf selbst nicht bedachten Wechselwirkungen. Erst durch physische Modellierung können diese erkannt und Unstimmigkeiten gemäß der tatsächlichen Wirkungsweise richtiggestellt werden. So können gerade Fehleinschätzungen durch unerwartete Effekte bei sich ändernden Selektionsfaktoren schließlich auch die Basis neuer Entwicklungsrichtungen darstellen.

hohe Variationsrate bei schwacher Selektion

Grundlage für potentiell nützliche Entwicklungen sind nicht nur die bestimmenden Selektionsfaktoren, sondern auch die jeweils zur Auswahl stehende *Variationsvielfalt*, diese ist das „Rohmaterial der Evolution, an dem die Selektion als Auslesevorgang ansetzt“⁴⁷. So könnten grundsätzlich umso mehr Richtungen beschritten bzw. neue Funktionen erlangt werden, je mehr Effekte zur Auswahl stehen. Auch stellen einzelne Variationen mehr Effekte zur Auswahl als tatsächlich genutzt werden bzw. auf welche die Selektionsfaktoren zunächst ausgerichtet sind.

Abhängig davon, ob nicht erfolgreich selektierte Variationen so gleich eliminiert werden, oder aber – im Entwurfsprozess mit

Blick auf die Steigerung der Vielfalt für spätere Entwicklungen – erhalten bleiben, wird von *starker* bzw. von *schwacher Selektion* gesprochen, welche jedoch nur möglich ist, „wenn die Gesamtpopulation kontinuierlich wächst“.⁴⁸

So ist für das Auftreten innovativer Lösungen – neben richtungsbezogenen Aspekten – eine *hohe Variationsrate* bei lediglich *schwacher Selektion* förderlich, „denn die Einführung eines geringen negativen Feedback-Effekts verleiht besonders seltenen Variationen einen zusätzlichen Originalitätsbonus, der ihre Lebensdauer stark erhöht und damit in vielen Bereichen der Kunst bzw. Kultur im engeren Sinne für ein nachhaltiges Klima der Produktion von Vielfalt sorgt.“⁴⁹

Zusammenfassend gilt es für potentiell innovative Entwurfsprozesse also – die eigene offen-experimentelle Methodik gewährleistet dies – bei hoher Variationsrate und schwacher Selektion Zielvorgaben bzw. Selektionskräfte nicht gänzlich stabil zu halten, sondern in aussichtsreichen Situationen Instabilitäten bewusst zuzulassen und die Entwicklung neu auszurichten – auch weil nicht nur mit Bedacht auf geplante Hauptaspekte, sondern speziell aus ungeplanten Nebeneffekten oder Fehlfunktionen innovative neue Lösungen entstehen können.

Kognitives Modelllernen gehorcht den darwin’schen Modulen, „denn die kognitiven Modelle sind hochgradig fehlerhaft und werden durch Versuch und Irrtum sukzessive verbessert.

- 39 SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 157f
- 40 SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 158
- 41 http://www.deutschlandfunk.de/wie-walross-seehund-und-seeloe-we-zu-ihren-flossen-kamen.676de.html?dram:article_id=26371
- 42 SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 260
- 43 SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 258
- 44 SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 259
- 45 SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 260
- 46 SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 232, 393
- 47 WUKETITS, „Das Wissenschaftsverständnis in der Biologie“ ..., S. 18
- 48 SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 132
- 49 SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 236

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



1.3.4.2 vorläufig abschließende Einbindung weiterer thematischer Anknüpfungspunkte

In diesem letzten Abschnitt der theoretischen Bearbeitung der Diplomarbeit wurde neben weitgreifenderen Anknüpfungspunkten aus bereits behandelten Quellen auch zusätzliche thematisch relevante Fach-

literatur eingebunden. Überdies wurden manche Überschneidungen zu korrelierenden Bereichen selbst erkannt, andere gründen auf externen Hinweisen in Folge der abschließenden Institutionalisierung.

differenzierter Fokus

Eine abseits von externem Wissen erkannte Überschneidung könnte allgemein – und konnte auch selbst – zu besserem Verständnis für die freie Zielwahl in fortlaufenden offenen Prozessen beitragen:

Durch die Analyse unterschiedlicher Herangehensweisen beim *Fortbewegen* selbst, wurde ersichtlich, dass es auch hier – analog zu Entwurfsprozessen – *unterschiedliche Arten von Fokussierung* gibt: Einerseits steht der Fokus, *wohin man geht*, andererseits jener Fokus, *was man sieht* – wobei für gewöhnlich ein klar *vordefiniertes Ziel* bis zu einem gewissen Grad *limitiert*, was gesehen werden kann. Dieses Verhältnis kann jedoch sozusagen „umgedreht“ werden, indem erst was situationsbedingt erblickt bzw. erkannt wird *definiert*, wohin gegangen wird. So kann selbst *ohne die Vorwegnahme von Zielen* und Richtungen dennoch *von einem Ziel zum nächsten* gelangt werden – auch zu solchen, welche bei Fixierung und starrer Verfolgung von idealisierten Zielvorstellungen – quasi durch selbst auferlegte „Scheuklappen“ – nicht zu erreichen wären. Schließlich können in Erwartungs-Erfahrungs-Kreisläufen aufgrund des Unwissens über zukünftige Erfahrungen auch keine später möglichen Erwartungshaltungen vorweggenommen werden.

→ wohin man geht
← was man sieht

Metainduktion

Ebenso durch jene vorherige Quelle zur verallgemeinerten Evolutionstheorie wurde ich auf weitere Überschneidungen – diesmal zu *spieltheoretischen* Studien – aufmerksam. Ein spezieller Aspekt aus diesen, welcher etwa mit meinen Überlegungen des „Präagierens“ verknüpft scheint, ist jener der Induktion bzw. speziell der *Metainduktion* – methodischem bzw. *strategischem Handeln*.⁵⁰ Metainduktion wird hier auf Ebene der kulturellen Evolution zwar als das Einfließen von Erkenntnissen anderer in individuelle Lernprozesse dargelegt – etwa Präagieren als das Einwirken auf andere durch Lehren. Nach meinem Verständnis wäre der Begriff der Metainduktion jedoch auch auf rein individueller Ebene anzuwenden – als auf den eigenen Prozess rückwirkendes strategisches Handeln bzw. Präagieren, etwa durch Selbstmanipulation. Neben dieser Querverbindung des eigenen Schaffens mit spieltheoretischen Erkenntnissen sind wohl auch andere Überschneidungen zu dieser Fachrichtung denkbar und genauer zu ergründen.

Serendipität

Überdies relevant in diesem Zusammenhang sind etwa auch Ausführungen zur „Serendipität“ – dem nutzbar machen zufällig hervorgerufener Möglichkeiten⁵¹ – deren Grundlage jener auch hier wichtige Aspekt der „unintended consequences of human action“⁵² darstellt.

Wissensordnungen

Im offen-experimentellen Entwerfen werden durch offene Zielsetzung die jeweiligen Selektionsfaktoren sowie verfolgte Richtungen schlagartig geändert. Dieser fortlaufend offene Prozess zur Erkundung eines in seiner Gesamtheit unüberschaubaren „Suchraumes“ steht des Weiteren auch in Übereinstimmung mit Studien zu jenen „neuen Wissensordnungen im Sitterwerk“⁵³. So wird die heute bereits veraltete Informationssuche nach einfachen enzyklopädischen Prinzipien – mit ihrer überschaubar aufgelisteten Gesamtheit an Information – bereits abgelöst. Ersichtlich wird dies etwa bei der Internetnutzung – die Methodik zur Informationserlangung basiert aufgrund der zugänglichen Informationsmenge vermehrt ebenfalls auf diesem Prinzip des freien fortlaufenden Folgens von „Hyperlinks“. So wird auch hier ohne vorherige Eingrenzung des Suchraumes bzw. der zugänglichen Bandbreite an Information, frei von einer Information zur nächsten gelangt. Es wird möglich, nach eigenem Ermessen entweder gezielt in die Tiefe zu gehen, oder aber durch Querverbindungen einen größeren Überblick zu erlangen – weitgehend unabhängig von vordefinierten Kategorisierungen und Eingrenzungen.

50 SCHURZ, *Evolution in Natur und Kultur ...*, S. 387f

51 <http://www.projektmagazin.de/glossarterm/serendipitaet>

52 Helga NOWOTNY, *The Cunning of Uncertainty*, Cambridge 2016

53 Dorothee BAUERLE-WILLERT, *Archive der Zukunft : neue Wissensordnungen im Sitterwerk*, Sankt Gallen 2013

Effectuation

Verständlich ist, dass erst jene zur Verfügung stehenden Effekte zu neuen Funktionalitäten und Nutzungsmöglichkeiten führen. So eröffnete erst die Fähigkeit des Fliegens Luft als neuen Lebensraum. Dasselbe gilt für neue technische Lösungen und deren individuellen oder gesellschaftlichen Nutzen. Ökologische bzw. ökonomische Nischen – „Märkte“ – bestehen nicht schon von Grund auf, sondern werden durch innovative Entwicklungen – einer neuen Verbindung aus Effekt und Nutzen bzw. (ökonomischer) Wichtigkeit – erst eröffnet.

So gibt es seit einigen Jahren im Bereich der Unternehmens- bzw. Entrepreneurship-Forschung das Forschungsfeld der *Effectuation*⁵⁴, welches – selbst scheinbar ohne direkte Anknüpfung an evolutionäre Prozesse – relevante Beziehungen zu eigenen Studien aufweist:

Durch initiiertes unternehmerisches Handeln – „to effectuate“ ist am treffendsten mit „bewirken“ zu übersetzen – und dem folgenden Erhalten von gesellschaftlichem Feedback, kann das wirtschaftliche Potential bzw. der gesellschaftliche Nutzen von neuen Produkten ergründet werden, für welche aufgrund vorliegender Ungewissheit keine Möglichkeit von Marktanalysen oder -vorhersagen besteht. Das jeweilige Marktpotential wird also ergründet, indem der Markt bzw. die jeweilige ökonomische Nische selbst eröffnet wird. So sind jene relevanten Überschneidungen zu diesem Fachbereich – womöglich bei gegenseitiger Bereicherung – näher zu beleuchten.

initiiertes unternehmerisches Handeln

disruptive innovations

Auch in der Innovationsforschung finden sich thematisch relevante Aspekte. Behandelt wurden zunächst etwa bezogen auf den jeweiligen Markt weitgehend unerwartet aufkommende „disruptive Innovationen“ (engl. *disruptive innovations*⁵⁵). Oft treten diese als Folge einschneidender Veränderungen (engl. *disruptive changes*) auf. Werden neue Entwicklungen unterschätzt, so kann dies in weiterer Folge jene Unternehmen schädigen, welche weiterhin von nun veralteter Technik abhängig sind. Als Beispiel wird etwa die Entwicklung der Digitalkamera genannt, welche jene ihrer analogen Vorhänger beinahe schlagartig weitgehend zum Erliegen brachte.⁵⁶ Während der eigene Fokus beim Aufspalten bzw. bei der Divergenz von Entwicklungslinien, also beim Einschlagen und Vertiefen neuer Richtungen liegt, wird hier das Verdrängen zuvor etablierter Entwicklungen behandelt. Generell wäre erklärbar, dass sich durch „disruptive changes“ die Selektionsfaktoren schlagartig ändern, was im weiteren Prozess in neuen Entwicklungsrichtungen resultiert, während vormals aktuelles den Bedingungen nicht mehr genügt und von neuen, nun geeigneteren Produkten – „disruptiven Innovationen“ – abgelöst wird.

Aus evolutionärer Sicht wird etwa bei bedeutenden, zu Diversifizierung und neuen Nischen führenden Neuerungen von Schlüsselinnovationen (engl. *key innovations*⁵⁷) gesprochen. Da technologische Evolution auf individueller sowie kultureller Ebene stattfindet, war des Weiteren zu erkennen, dass aus *ökonomischer* Sicht erst dann von Innovationen die Rede ist, wenn sich neue technische Produkte in Folge ihrer Markteinführung gesellschaftlich etablieren – also etwa nicht bereits bei Prototypen. Erfolgreiche Innovationen stellen dabei oft die Kombination vorhandener technischer Lösungen dar.⁵⁸

Evolutionsökonomik

Mit „An evolutionary Approach to entrepreneurship“⁵⁹ zeigte sich ein anderes thematisch relevantes Feld im Bereich der Unternehmensforschung, welches die evolutionären Aspekte des Unternehmertums darlegt. Auch wurde bekannt, dass dieser Zusammenhang durch den Fachbereich der *Evolutionsökonomik*⁵⁹ auch bereits etabliert ist. Auch verweist diese Querverbindung wiederum auf jene behandelten baugeschichtlichen Aspekte.

Systemic Design

Schließlich sind wohl auch Aspekte der ebenfalls von externer Seite bereits erarbeiteten „Design Research Methods in Systemic Design“⁶¹ in den eigenen Erkenntnisprozess zu integrieren.

evolutionäre Entwurfstheorie?

Bisher nicht gefunden wurden jedoch Überlegungen einer evolutionenbezogenen bzw. „evolutionären Entwurfstheorie“ – eine nun offensichtliche und möglicherweise selbst zu bewerkstellende Aufgabe.

54 Michael FASCHINGBAUER, *Effectuation : Wie erfolgreiche Unternehmer denken, entscheiden und handeln*, Stuttgart 2013

55 *The seeds of disruptive innovation : ESA's Advanced Concepts Team*, ESA 2010

56 <http://www.gaswaerme.at/de/pdf/14-1/matzler.pdf>

57 <https://thenakeddarwin.wordpress.com/tag/key-innovations>

58 www.wired.com/insights/2015/01/innovation-vs-invention/

59 Howard E. ALDRICH, *An evolutionary approach to entrepreneurship selected essays*, Cheltenham 2012

60 Kurt DOPFER, Jason POTTS, *The General Theory of Economic Evolution*, Routledge 2008

61 Peter JONES, *Design Research Methods in Systemic Design*, Toronto 2014

1.3.5 Institutionalisierung, universitäre Abgrenzung sowie fachliche Einbindung

experimonde
Michael Schultes

Bereits vor längerer Zeit – und nun mit dieser Arbeit erneut – wurden eigene experimentelle Entwurfsprozesse mit Michael Schultes (experimonde, TU Wien, Universität für Angewandte Kunst Wien) behandelt. Neben der – auch wegen thematischer Übereinstimmungen – nun ebenfalls wiederum zu intensivierenden Zusammenarbeit mit *experimonde* als kooperativer und interdisziplinärer Knotenpunkt für experimentelles Schaffen, wurden im letzten Abschnitt dieser Diplomarbeit auch die eigenen theoretischen Studien in Abstimmung mit Michael Schultes weitergeführt. Des Weiteren wurde *Christine Hohenbüchler* (Institut für Kunst und Gestaltung) mit einbezogen.

Christine Hohenbüchler

freie Weiterführung
eigener Studien

So sollte – und konnte – die Thematik frei bzw. nach eigenem Ermessen erschlossen und zu „Ende“ gedacht werden – einige der zuletzt behandelten abrundenden Erkenntnisse und Teile der vertiefenden Quellenrecherche entstammen dieser abschließenden Phase. Zusätzlich wurde der praktische Entwurfsprozess durch die offen-experimentelle Weiterführung unterschiedlicher Entwicklungslinien erneut intensiviert. Auch die Einbeziehung weiterer akademischer Fachrichtungen sowie zusätzlicher fachkundiger Personen, Betreuer bzw. Prüfer wurde in weiterer Folge initiiert – auch mit Bedacht auf eine weitgreifende Vernetzung im Zuge der angedachten zukünftigen – praktischen wie theoretischen – Forschungstätigkeit.



unvorhergesehenes
Ausmaß theoretischer
und praktischer Studien

Beim Schließen der letzten wichtigen Argumentationsketten der eigenen theoretischen Erarbeitung, stellte sich die Menge an – hier nicht im Detail behandelten – relevanten Ausführungen als „beträchtlich“ heraus. Bei bewusst kleiner Schrift und kleinem Seitenrand summierten sich diese auf annähernd 200 Seiten Reintext. Auch der parallel hierzu weitergeführte praktische Prozess erreichte ein ebenso unvorhergesehenes Ausmaß.

universitäre Abgrenzung

Daraus resultierte die Erwägung, jene bereits fachlich aufgearbeiteten Studien bzw. die präzise Aufschlüsselung einzelner Zusammenhänge erst im Zuge einer auf diese Diplomarbeit folgenden Dissertation detailliert darzulegen. Sie soll dieser tiefgreifenden wissenschaftlichen Behandlung als Grundlage dienen und in diese einfließen.

Thematische Zusammenhänge sollten zunächst speziell bereits durch den hier erörterten eigenen Zugang in ihren Grundzügen vermittelt werden. Zusätzlich zu dieser Erläuterung des eigenen Erkenntnisprozesses wird auch in der folgenden Darlegung des einhergehenden offen-experimentellen, kumulativen bzw. evolutionären Entwurfsprozesses ein großer Teil der zugrundeliegenden theoretischen Aspekte anhand direkter Beispiele im Prozessverlauf bzw. anhand der jeweiligen Entwicklungsschritte klar verständlich gemacht.

anschließende Weiterführung

Wiederum aufbauend auf dieses hier bereits erarbeitete theoretische Fundament soll im Zuge der folgenden Arbeit speziell auch der praktische Entwurfsprozess fortgesetzt und ausgeweitet werden. So sollte jedoch nicht wie hier ein zwar fortlaufend in die Tiefe gehender, konstruktiv jedoch eingegrenzter Prozess resultieren, sondern ein sich von Anfang an in die Breite bzw. in möglichst viele unterschiedliche Richtungen erstreckender Entwicklungsverlauf. Etwa sind neben der Weiterführung einhergehender praktischer Studien auch die Fortsetzung von dieser Arbeit vorausgehenden Entwürfen und ebenfalls gänzlich neue Materialstudien angedacht. Des Weiteren sollte mit der Öffnung eigener Entwurfsprozesse – durch interdisziplinäre Kooperationen sowie initiiender Ideenfindung bei externer Weiterführung – die Eigendynamik kollektiver Entwicklungsprozesse weiter herausgefordert und so genauer ergründet werden (Ausblick S. 144 bis 145).

So sollten – wechselwirkend zur Praxis – auch alle noch folgenden theoretischen Erkenntnisse und Fragestellungen dargelegt und ebenfalls wissenschaftlich ergründet werden.

Diplomarbeit	Dissertation
Erarbeitung Methodik	fachlich detaillierte
Erarbeitung Thematik	Darlegung theoretischer
Erkenntnisprozess	Studien sowie erneute
einhergehender Entwurfsprozess	Ausweitung Praxis & Theorie

fachliche Einbindung

Wie bereits erörtert, ist die behandelte Thematik eingebunden in eine ganze Reihe bereits erarbeiteter und weitgehend etablierter theoretischer bzw. wissenschaftlicher Diskurse, Denkstrukturen und Theorien. Systemtheorie, verallgemeinerte Evolutionstheorie und evolutionäre Erkenntnistheorie haben grundlegende Relevanz. Bezogen auf eine selbst angedachte evolutionäre Entwurfstheorie kommen mit systembezogener Entwurfstheorie und Evolutionsökonomik fachlich wohl mit dieser einhergehende Ansätze hinzu. Aus Innovations- und Effectuation- bzw. Entrepreneurship-Forschung können schließlich noch weitere Verbindungen zur erarbeiteten offen-experimentellen Vorgehensweise sowie den zugehörigen theoretischen Studien gezogen werden.

offen-experimentelle Entwurfsmethodik zu akzeptieren, zu ergründen und zu vermitteln

Diese hier ergründete, selbst angewandte, jedoch wohl auch allgemein anwendbare Methodik offen-experimentellen Entwerfens sollte – mit Bedacht auf ihr Innovationspotential und ihre tatsächlich natürlichen Grundlagen – akzeptiert, weiter ergründet und überdies – um diese Entwurfsstrategie auch anderen zugänglich zu machen – wohl auch gelehrt bzw. vermittelt werden. Auf der Hand liegt jedoch, dass diese nicht als für jeden anzuwenden propagiert wird – es bedarf schließlich weiterhin auch zielgerichteter Planung.

Für die sich ergebende mögliche Richtung der auf diese Arbeit(en) folgenden Formulierung einer „evolutionären Entwurfstheorie“, wären die hier erlangten Erkenntnisse jedoch erst die Grundlage. Die Theorie müsste mehr umfassen, als die selbst angewandte Methodik und deren Abgrenzung. Alle Entwurfsprozesse bzw. entwerferischen Vorgehensweisen unterschiedlichster Art müssten ebenso detailliert aus evolutionärer Sicht betrachtet und ergründet werden.

evolutionäre Systematik von Entwurfsprozessen

2 einhergehender offen-experimenteller Entwurfsprozess

die Praxis zur Theorie

Grundlagen in
vorausgehenden Studien

Wie bereits einleitend erörtert, gründet der einhergehende Entwurfsprozess auf vorausgehenden praktischen Studien. Mit einem angelegten Materialvorrat von Längsprofilen aus glasfaserverstärktem Kunststoff unterschiedlicher Stärke, wurde bereits im vorausgehenden Prozess außeruniversitär begonnen, durch freies Entwerfen mit den Materialeigenschaften zu experimentieren und aus diesen resultierende konstruktive Möglichkeiten zu ergründen. Durch gezielten Einsatz der elastischen Eigenheiten des Materials konnten so auch bereits einige dynamische Strukturen bzw. durch Biegung ermöglichte Faltmechanismen ergründet werden.



angelegter Materialvorrat GfK



Silikonschläuche für
Verbindungselemente

kumulativer Prozess

Von Beginn an als *offener* sowie *kumulativer* Prozess angedacht, wurden diese vorausgehenden Entwürfe bzw. Entwicklungslinien – einhergehend mit der theoretisch verfolgten Thematik bzw. der entwickelten offen-experimentellen Methodik – zunächst im Zuge einer universitären Lehrveranstaltung aufgegriffen und weitgehend frei weitergeführt. In der Folge wurden daraus entwickelte Lösungen im Zuge einer Kooperation mit *soma architecture* für eine Installation im *Museum für Angewandte Kunst Wien* angewandt. Abschließend wurden praktische Studien wiederum mit Blick auf diese Arbeit frei fortgesetzt und erneut ausgeweitet.

individueller Prozess
phasenweise Kooperation

Es handelt sich um einen vorwiegend individuellen Entwurfs- bzw. Erkenntnisprozess bei phasenweiser Kooperation, wobei diese meist auf eine Koordination von Selektionsschritten beschränkt blieb. Strukturvariationen wurden stets weiterhin aus dem individuellen Entwurfsprozess sowie mit eigener Methodik entwickelt. Auch die Modellierung von Großmodellen geschah teilweise in Kooperation.



bis 2013
vorausgehende Studien,
universitär/außeruniversitär
Kapitel 1.1.1

2013/2014
The Art of Re-Creation
Institut für Architekturtheorie
ab Winter 2013 in Kooperation
mit *Nikola Witzmann*
Kapitel 2.1

2014
Immanent Elasticity
Museum für Angewandte Kunst
Kooperation mit *soma architecture*
Kapitel 2.2

2014/2015
freie Weiterführung
Kapitel 2.3

neuerliche Ausweitung
konstruktiver Studien

Auch eine zukünftige, diesen einhergehenden praktische Studien nachfolgende Weiterführung von Entwicklungslinien ist angedacht – auch in Bezug auf jene an diese Diplomarbeit wohl anschließende universitäre Beschäftigung.

Ausblick *Seiten 144 bis 145*

konstruktive Ergebnisse

aufeinanderfolgende Einzelschritte

Gezeigt werden – neben einigen Skizzen als Vor- und Zwischenstadien – rund 40 materialisierte Konstruktionen. Stets wurden für die Realisierung entworfenen Strukturen lineare Elemente aus glasfaserverstärktem Kunststoff durch deren gezieltes Zusammenführen in aus Silikonschläuchen gefertigten Elementen punktuell verbunden und so durch Biegung vorgespannt und räumlich stabilisiert.

dynamische Konstruktionen bzw. Umformungsprozesse

Bei den entwickelten Strukturen handelt es sich stets um (eigen-)dynamische Konstruktionen, Umformungsprozesse bzw. Faltmechanismen – einhergehend mit jenen diesen zugrundeliegenden oder aus diesen resultierenden statisch stabilen Ausformungen.

Sich durch Interaktion am Objekt ändernde Kraftverhältnisse resultieren schließlich in in einer – zunächst oft selbst nicht erwarteten – Umformung der ursprünglichen Gestalt, fallweise einhergehend mit der neuerlichen Stabilisierung einer solchen Form.

Diese aufeinanderfolgenden und aufeinander aufbauenden Entwicklungsschritte (Prozessverlauf Seiten 78 bis 79) variieren stark in deren Abmessung, Komplexität, Bauzeit, Funktionalität – und ebenso in ihrem Innovationsgehalt. Gerade anhand von Klein- bzw. schnell gefertigten Arbeitsmodellen wurden oft neue Möglichkeiten gefunden, welche neue Entwicklungslinien einleiten und erst in weiterer Folge auch in größeren Maßstäben bzw. schließlich funktional einsetzbar angewandt wurden.

unterschiedlich elastisch wirksam

Die realisierten Faltstrukturen reichen also von elastisch zu verformenden Konstruktionen – mit selbstständiger Rückführung in deren Ausgangsposition – bis hin zu Strukturen mit mehreren Stabilitäten und der Möglichkeit eines Wechsels zwischen unterschiedlichen Falt- bzw. Komprimierungsstadien.

Stets mit Blick auf deren dynamische Funktionsweisen wurden so ein- und mehrzellige sowie sich linear, flächig oder räumlich erstreckende Konstruktionssysteme entwickelt.

Ordnung und Chaos

Jene mit diesen zu erreichende Transformationen bzw. Ausformungen reichen dabei von gänzlich absehbaren und höchst symmetrischen, bis zu – stets auf schließlich verstandenen Kraftverhältnissen basierenden – zufälligen bzw. chaotischen Ordnungsweisen.

keine Vorwegnahme spezifischer Anwendungen

Formwandlungsprozesse bzw. Transformationen können neben der Anwendung als einfache Komprimierung durch Volumsreduktion auch der Ermöglichung unterschiedlicher anderer Funktionen dienen. So waren nur selten *spezifische* Anwendungen Grundlage für jeweils verfolgte Entwicklungslinien.

In der Regel sollte erst ein meist unerwartet erkanntes, selektiertes und weiterentwickeltes dynamisches/statisches Potential bzw. ein auftretender (Neben-)Effekt auf damit zu realisierende Anwendungsmöglichkeiten verweisen. Konstruktive Lösungen bzw. statische und dynamische Effekte sollten des Weiteren – resultierend aus offener Zielsetzung bei experimenteller Methodik sowie der bewussten Suche nach möglichst vielfältig anwendbaren Ergebnissen – durch zukünftige Entwicklungen vielfältigen Funktionen bedienen.

Hohe Variationsrate bei schwacher Selektion

Generell wurde stets auf eine hohe Variationsbreite hingearbeitet, wobei durch lediglich schwache Selektion stets Überlegungen und Ergebnisse, welche nicht so gleich weiterentwickelt wurden, auch späteren Entwicklungen weiterhin zur Verfügung standen.

Im fortlaufenden Prozess fand eine solche neuerliche Selektion durch die Wiederaufnahme vorausgegangener Entwicklungen oft statt. So wurde auch nur ein einzelner – durch vorherige Formvorstellung weitgehend gerichteter – Entwicklungsabschnitt anhand eher geringer Variationsbreite sowie – auf dieses eine Projekt bezogen – starker Selektion entwickelt.

Schließlich werden auch weiterhin prinzipiell alle geöffneten Entwicklungslinien nicht als beendet angesehen – auch in weiterer Folge soll an diesen weitergearbeitet werden (Ausblick Seiten 144 bis 145).

stets wechselwirkend mit thematischen Studien

Dieser praktische Entwurfsprozess ist stets einhergehend mit eigenen theoretischen bzw. thematischen Studien – zunächst war er aus diesen hervorgegangen um schließlich wiederum auf sie zurückzuwirken. Erlangte theoretische Erkenntnisse haben laufend direkten Einfluss auf Methodik und Entwurfsprozess; dessen erkannte Systematik wiederum Einfluss auf die Erlangung neuer theoretischer sowie thematisch relevanter Erkenntnisse. Die konsequent angewandte offener experimentelle Entwurfsmethodik konnte in diesem Zuge also weiterentwickelt und präzisiert werden.

strategische Ansätze bereits zuvor gefestigt

Einige Erkenntnisse und Methoden bzw. strategische Ansätze waren schon zuvor gefestigt. Der stets auf einer resultierenden *Eigendynamik* bzw. einem *offenen* Prozess liegende Fokus geht dabei etwa einher mit der Verfolgung neuer gefundener Möglichkeiten, welche sich aus der Materialisierung sowie der direkten Interaktion am physischen Modell ergeben. Bekannt war auch der daraus resultierende Bedarf einer Änderung von Zielvorgaben zum Einleiten neuer Entwicklungsrichtungen. Ebenfalls bereits gefestigt war die Strategie, erlangte konstruktive Erkenntnisse direkt in den so laufend voranschreitenden Prozessverlauf einfließen zu lassen – resultierend in einem fortlaufenden Erfahrungs-Erwartungs-Kreislauf, einem kumulativen bzw. Erkenntnis anhäufenden Prozess. Zentral war des Weiteren die bewusste Unkenntnis über zukünftige Erfahrungen und damit einhergehend auch über zukünftige Erwartungshaltungen und Zielsetzungen.

theoretische Einbindung

Entwicklungslinien

Kaum erwähnenswert ist wohl, dass der Fokus nicht auf gänzlich isoliert zu betrachtenden Einzelentwicklungen liegt, sondern auf fortgesetzten, sich in unterschiedliche Richtungen verzweigenden Entwicklungslinien, welche im Entwurfsprozess frei verfolgt und laufend erweitert werden. Aus dem kontinuierlichen Folgen von stattfindenden Wechselwirkungen und sich aus dem Prozess heraus eröffnenden Möglichkeiten bzw. aus der Unkenntnis über erst zu erlangende Erkenntnisse, resultiert schließlich auch die bewusste Unvorhersehbarkeit von Entwicklungsrichtungen und konstruktiven Ergebnissen.

Schließlich konnten durch diesen hier behandelten Entwurfsprozess die Zusammenhänge zwischen evolutionärer Systematik, offener experimenteller Methodik sowie dem Auftreten neuer Funktionen ersichtlich und besser verständlich werden.

evolutionäre Systematik

Durch das das fortlaufende - mehr oder weniger zufällige - Aufwerfen von Möglichkeiten (Variation), wechselwirkend mit situationsbedingt rational gefolgertem Feedback (Selektion) wird die Entwicklung eigendynamisch und kumulativ vorangetrieben.

Restabilisierung von Selektionskräften

Da Zielsetzungen die jeweilige Richtung des Prozesses durch Vorwegnahme und Stabilisierung der Selektionskräfte definieren, werden diese – für eine freie Weiterentwicklung, bzw. um neue Richtungen zu verfolgen und neue Entwicklungslinien zu eröffnen, sowie um neue unerwartete Funktionen zu erlangen – gegebenenfalls geändert bzw. werden Selektionskräfte konsequent restabilisiert.

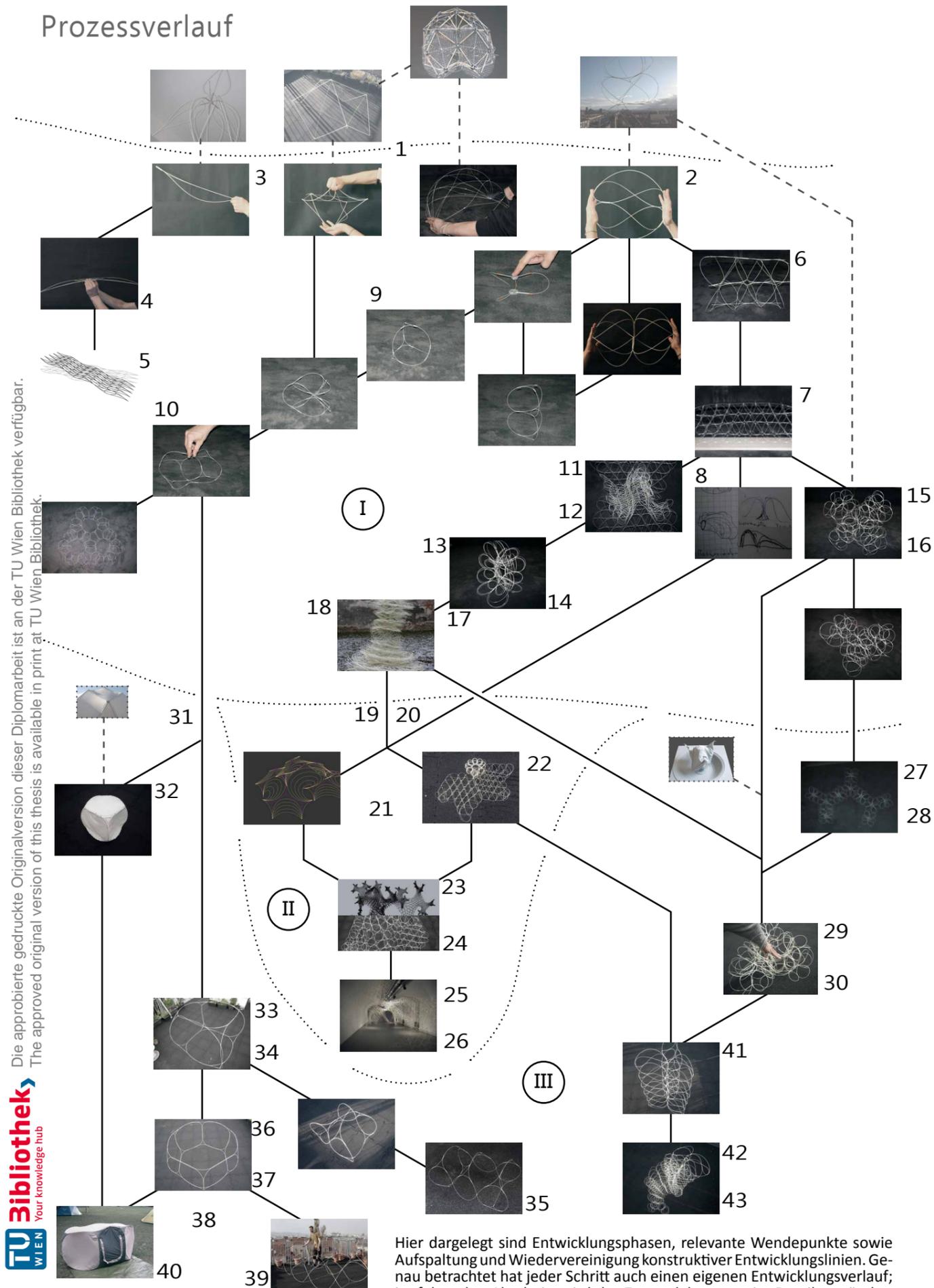
Selektion von Nebeneffekten

Die Zufälligkeit von Variationen zeigt sich etwa an jenen unerwartet auftretenden Nebeneffekten, welche zuvor nicht bedacht, sondern erst bei der Materialisierung bzw. Überprüfung der kognitiv erdachten Struktur ersichtlich werden. Wird ein solcher Nebeneffekt bzw. ein nach vorherigen Selektionsbedingungen als Fehlfunktion auftretender Effekt durch eine Änderung von Zielvorgaben und Selektionskräften einem neuen Nutzen zugeführt, so wird dieser zur neuen Hauptfunktion, auf welche auch die folgende Entwicklung ausgerichtet wird. Der einhergehende Entwurfsprozess zeigt ein kontinuierliches Selektieren und Weiterentwickeln solch ungeplant auftretender Nebeneffekte – resultierend in kontinuierlichem Fortschritt in unterschiedliche Entwicklungsrichtungen.

wechselwirkende Selbstorganisation

Selbst für ein noch tieferes Verständnis biologischer Evolution war dieser offener experimenteller Entwurfsprozess hilfreich – in beiden Bereichen ist die Wechselwirkung aus materieller Selbstbildung bzw. Gestaltwerdung sowie der Eigendynamik der Informationsanhäufung in Erkenntnisprozessen für die Weiterentwicklung zentral. Materielle und informationsbezogene Selbstorganisation treiben sich dabei gegenseitig an. Neu auftretende Ordnungsweisen werden durch positives rationales bzw. kausales Feedback im jeweiligen Erkenntnisprozess aufgenommen und setzen dessen Eigendynamik so fort. Umgekehrt können diese materialisierten Ordnungsweisen, da sie dokumentiert und auf neuer Grundlage weiterentwickelt werden, stetig komplexer werden.

Prozessverlauf



Hier dargelegt sind Entwicklungsphasen, relevante Wendepunkte sowie Aufspaltung und Wiedervereinigung konstruktiver Entwicklungslinien. Genau betrachtet hat jeder Schritt auch einen eigenen Entwicklungsverlauf; im folgenden Abschnitt wird das Zustandekommen im Detail ergründet.

einhergehender Entwurfsprozess

Entwicklungsphasen

	vorausgehende Studien	bis 2013
I	The Art of Re-Creation, ab Winter 2013 Koop. mit <i>Nikola Witzmann</i>	2013/2014
II	„Immanent Elasticity“, <i>MAK Wien</i> , Kooperation mit <i>soma architecture</i>	2014
III	freie Weiterentwicklung	2014/2015

thematisch relevante Aspekte im Entwicklungsverlauf

- 1 Selektion und Variation aus vorausgehenden Entwürfen
- 2 Faltbarkeit von Nebeneffekt zu Hauptfunktion
- 3 Variation durch Strukturreduktion
- 4 Kombination mit externer Entwicklung
- 5 (vorübergehende) Elimination aufgrund nötiger starker Selektion
- 6 Falschinterpretation eigener Expression
- 7 Unterschied von kognitiv erdachtem zu materialisiertem Modell
- 8 vorübergehende Elimination von Vorschlägen durch neue Erkenntnisse
- 9 erneute Steigerung der Variationsbreite durch Variation auf Grundlage regelmäßiger Polyeder
- 10 bewusste Erkundung von Unwissen durch Hervorrufen unerwarteter Faltmöglichkeiten
- 11 Zufall und Ordnung in auftretenden Faltmustern
- 12 Fehlfunktion bzw. Faltmuster von Nebeneffekt zu Hauptfunktion
- 13 Digitalisierung für exakte Größenverhältnisse
- 14 materielle Selbstbildung resultierend in Eigendynamik im so fortschreitenden (selbstorganisierenden) Prozess
- 15 Variation durch Kombination
- 16 optimale Faltbarkeit als Nebeneffekt erst durch Interaktion erkannt
- 17 optimale Flächigkeit bei Radialfaltung erst nachträglich erkannt
- 18 Wendepunkt durch unerwartete strukturbedingte Vorwegnahme der Faltrichtung
- 19 externe Selektion eigener Entwicklungen durch *soma architecture*
- 20 Neuselektion aus alten Pavillonvorschlägen als Entwicklungsgrundlage
- 21 Auftrennung und Wiedervereinigung von Entwicklungslinien
- 22 ideale Faltbarkeit erst während Modellierung gedanklich erfasst
- 23 konstruktive Lösung für zuvor abgetrennte Entwicklungslinie
- 24 digital unterstützter Planungsprozess
- 25 temporär starke Selektion bei geringer Variationsbreite (einzige Phase)
- 26 gerichtete Entwicklung durch feste Zielsetzung, Vorwegnahme der Selektionsfaktoren bzw. Formvorstellung
- 27 Neuselektion und Variation in Bezug auf optimale Faltbarkeit
- 28 experimentelle Grenzwertermittlung
- 29 spontane Kombination diverser Erkenntnisse bzw. Wiedervereinigung zuvor getrennter Entwicklungslinien
- 30 spontane Lösung für bekannte Problemstellung verzweigender Helixfaltung
- 31 Neuselektion aufgrund von erkanntem Faltpotential
- 32 geschlossenes Volumen durch Kombination mit Membran/Hüllstruktur
- 33 unerwartete ideale Komprimierbarkeit durch gezielte Interaktion erkannt
- 34 nachträgliche Vereinigung von Entwicklungslinien durch neuerliches Auftreten von Geometrien
- 35 Abwandlungen bei Erhaltung der Komprimierbarkeit
- 36 unerwartete Ausformung der entfalteten Hexagonalstruktur
- 37 große Erweiterung der Variationsbreite durch zusätzliche unerwartete Faltstadien der Hexagonalstruktur
- 38 abschließender Fokus auf Funktionalität
- 39 Weiterentwicklungen durch Variation von unerwartet aufgetretenem Faltstadium (Gewächshaus)
- 40 Benützung als Zeltfunktion
- 41 spontane Lösung bekannter Problemstellung
- 42 strukturelle Logik in Bezug auf erleichterte Faltbarkeit
- 43 mehrfache Abänderung der Gesamtgeometrie nach begonnener Materialisierung

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



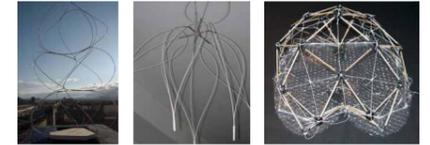
2.1 The Art of Re-Creation

eingebunden in Theorie

Bereits zu Beginn dieser Lehrveranstaltung wurde abgeklärt, dass der zu entwickelnde Prozess einen Teil der eigenen Diplomarbeit darstellt, um bezogen auf deren Thematik mit der Systematik offen-experimenteller Entwurfsprozesse tiefgreifender zu experimentieren.

Uminterpretation gegebener Thematik
 Heute kaum verwunderlich, wurde die gegebene Thematik „The Art of Re-Creation“ anders interpretiert, als von universitärer Seite vorgesehen. „(Re-)Creation“ wurde als (etwas unglückliche) Analogie zu evolutionären Entwicklungen; das Projekt quasi als ein erneutes künstlerisches Entwickeln und Durchlaufen einer solchen eigendynamischen Systematik verstanden. In weiterer Folge umfasste diese Interpretationsweise – bezogen auf die schließlich erlangten Ergebnisse – auch speziell den Entwurf selbstorganisierender Gestaltwerdungs- bzw. struktureller Umwandlungsprozesse. So konnte dieser praktische Entwurfsprozess auch auf die eigene theoretische Erkenntnisfindung signifikant einwirken.

Anfangsphase – Strukturvariation



Ansätze aus vorausgehenden Entwürfen

Da erste Lösungsansätze aus vorausgehenden Entwürfen gefolgt wurden, geht der eigentliche Beginn dieses Prozesses auf die Zeit vor dieser Veranstaltung zurück. Die Anforderungen von Elastizität bzw. einer daraus resultierenden Wandelbarkeit der Form waren bereits Ergebnis diverser vorausgehender – vorwiegend außeruniversitär behandelte – Projekte. Diese wurden nun erneut ausgewählt bzw. selektiert, um sie bezogen auf diese spezielle Anwendung hin erneut zu variieren bzw. abzuändern indem sie auf deren konstruktives Grundprinzip reduziert wurden.

Reduktion auf Grundprinzip

schlaufenartige Turmstruktur zu Einzelzelle

Zunächst wurde die entwickelte schlaufenartige *Turmstruktur* (Seiten 28 und 29) – welche statisch geplant wurde, sich jedoch durch deren Modellierung als faltbar herausstellte – als *Einzelzelle* gefertigt.

Der ungeplante *Nebeneffekt* der *Komprimierbarkeit* wurde so aufgrund der neuen Selektionskriterien zur *Hauptfunktion*.

Blütengeometrie zu Einzelblatt

Auch die – ebenfalls auf Elastizität basierende – Wandelbarkeit der entwickelten *Blütengeometrie* (Seite 28) wurde durch Reduktion auf ein *Einzelblatt* erneut aufgegriffen.

Gewölbestructur zu Einzelzelle

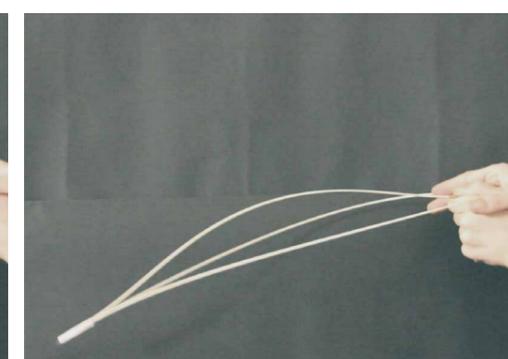
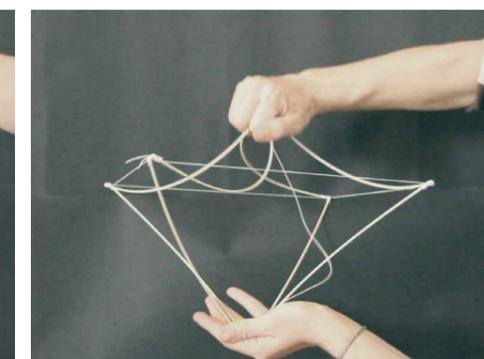
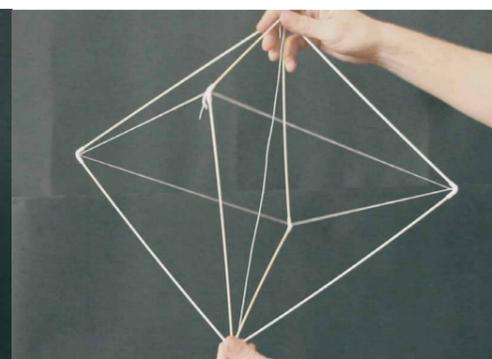
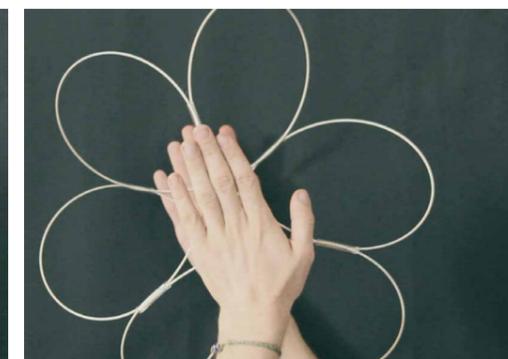
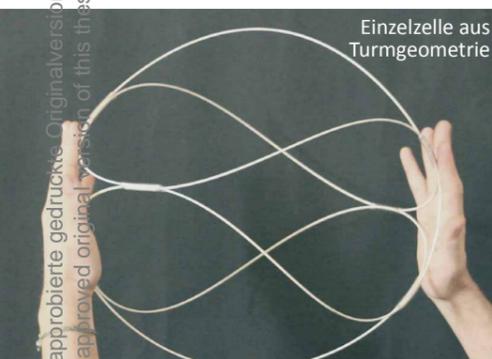
Auch das Grundprinzip der entworfenen Gewölbestructur (Seiten 21, 24 und 25) bzw. die entwickelte Möglichkeit, Stabilitätsverhältnisse durch Biegung einzelner Elemente zu ändern und die Struktur so – aus ihrem stabilen Zustand gebracht – komprimierbar zu machen, wurde an einer Einzelzelle in der resultierenden Form eines Oktaeders angewandt.

radiale Faltung zu Auffächerung

Schließlich wurde auch ein vierter anfänglicher Ansatz aus jener Gewölbestructur – nun aus ihrer *radialen Faltbarkeit* – abgeleitet. So wurden – anders als in der Vorgängerstruktur – durchgehende Linearelemente mehrfach regelmäßig verbunden, sodass sich diese – wenn gemeinsam gekrümmt – räumlich auffächern lassen.

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

TU Bibliothek
 WIEN
 Your knowledge hub



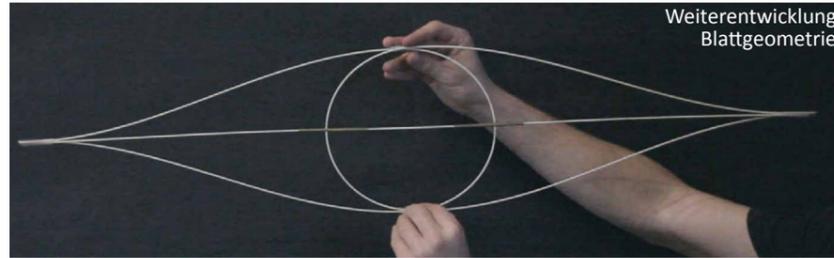
Weiterentwicklung schlaufenartige Blattgeometrie

mit externer Entwicklung gekreuzt

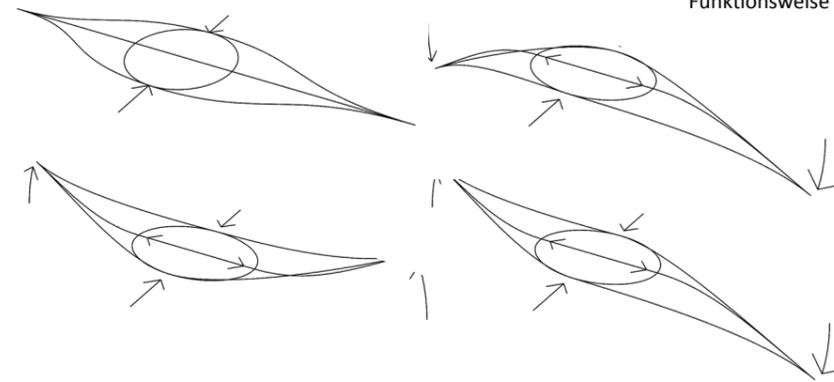
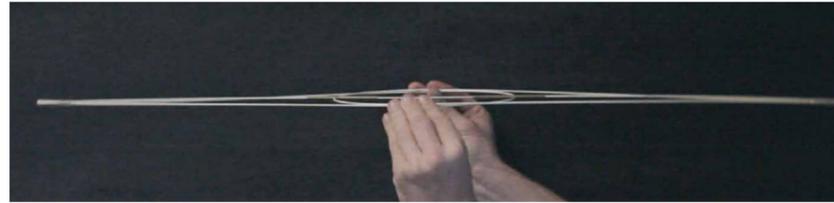
Die entwickelte Blattgeometrie wurde mit einer – im Zuge der Lehrveranstaltung gezeigten – faltbaren Plattenstruktur gekreuzt. Seitliche Komprimierung resultierte bei dieser aufgrund mittlerer Materialverdrängung in der Aufwölbung von flügelartigen Fortsätzen. Dasselbe Prinzip sollte – so angedacht – leicht abgewandelt auch als schlaufenartige Blattstruktur anwendbar sein.

unerwartete Möglichkeiten

Wie sich nach der Materialisierung unerwartet herausstellte, ist die eingeleitete Krümmung in beide Richtungen bzw. auch entgegengesetzt möglich (die Plattenstruktur war demgegenüber für eine einseitige Formänderung konzipiert). Sehr geringe Abweichungen zu Beginn definieren die resultierende Krümmungsrichtung – sie kann dem Zufall überlassen, oder durch gezieltes Betätigen selbst bestimmt werden.

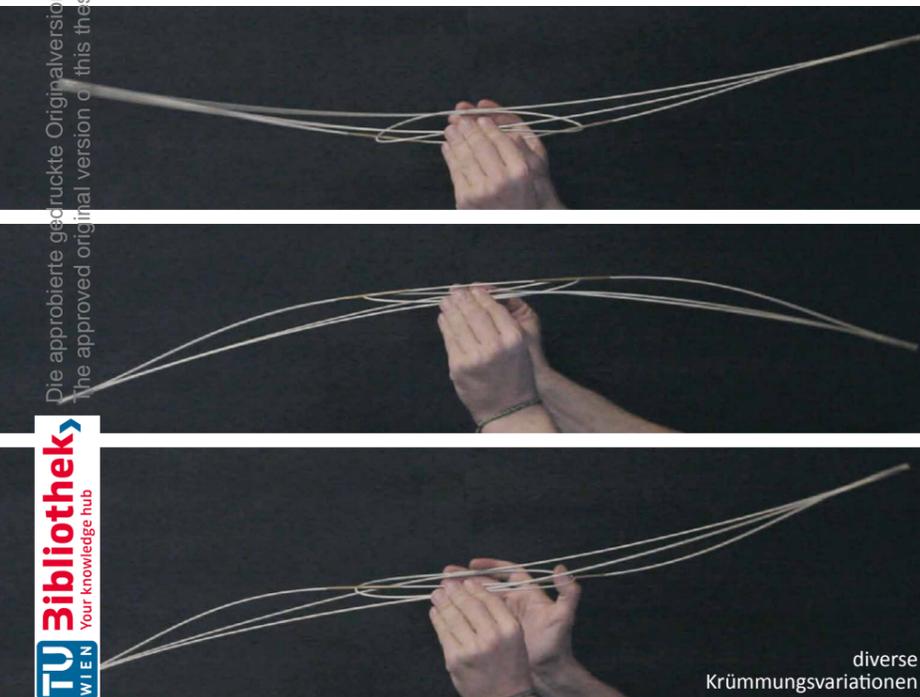


Weiterentwicklung Blattgeometrie



Funktionsweise

geringe Abweichungen definieren Richtung



diverse Krümmungsvariationen

Weiterentwicklung zellenartige Schlaufengeometrie

ebenenweises Kollabieren

Bereits bei der Faltung der Einzelzelle zeigte sich, dass etwa in der Mitte des Komprimierungsprozesses der größte Widerstand auftritt. In zusammengesetzten Zellanordnungen resultiert daraus, dass diese ebenenweise einfallen, indem bei fortlaufender Komprimierung der Gesamtstruktur jeweils einzelne Zellen kollabieren und die verbleibenden wiederum etwas entspannt werden.

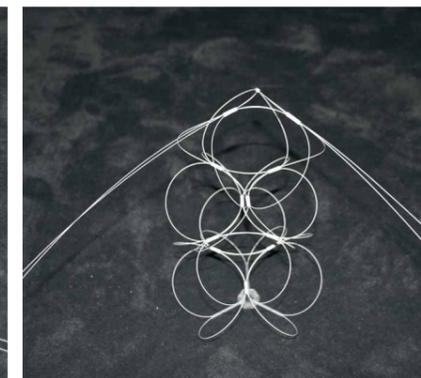
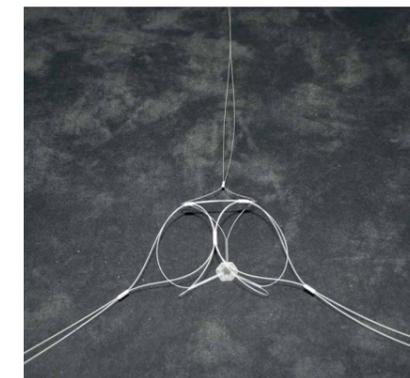
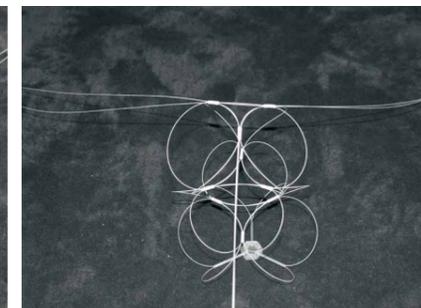
Auch hier definieren geringe – kaum vorherzusehende – Abweichungen die Reihenfolge, in welcher die aneinandergereihten Zellen zusammenfallen. Diese könnte jedoch – etwa durch variierende Zellgrößen – auch vorweg konstruktiv definiert werden.

Auch die Möglichkeit der externen Betätigung des Faltvorganges wurde durch Anbringung einer an beiden Endknoten befestigten Zugvorrichtung am Modell getestet.

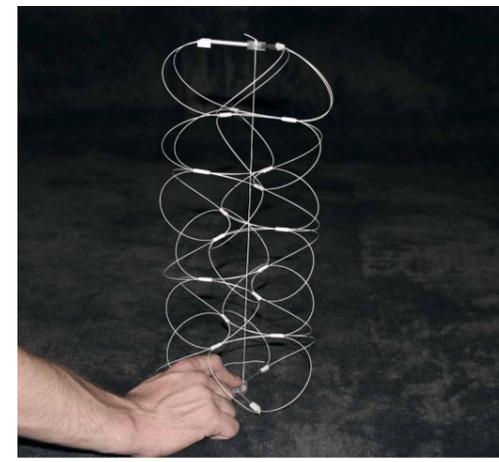
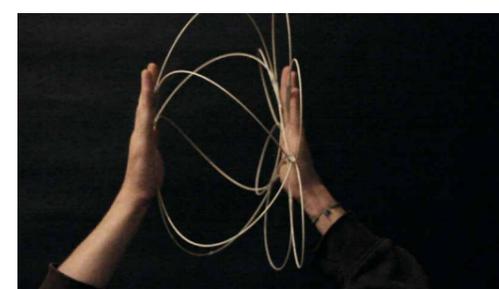
geringe Abweichungen definieren Reihenfolge



Materialisierungsprozess mehrzelliger Schlaufenstruktur



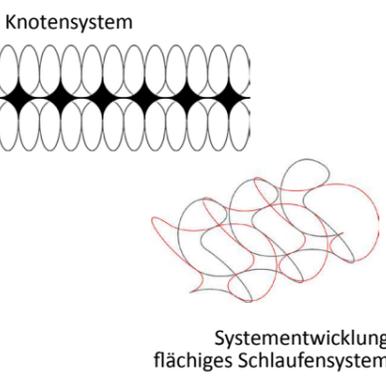
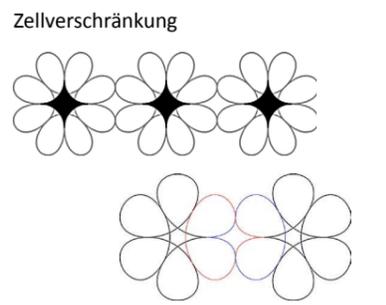
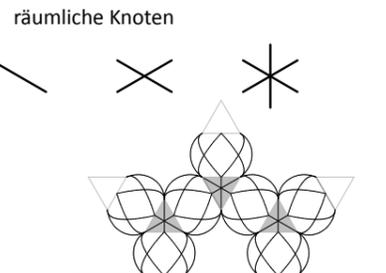
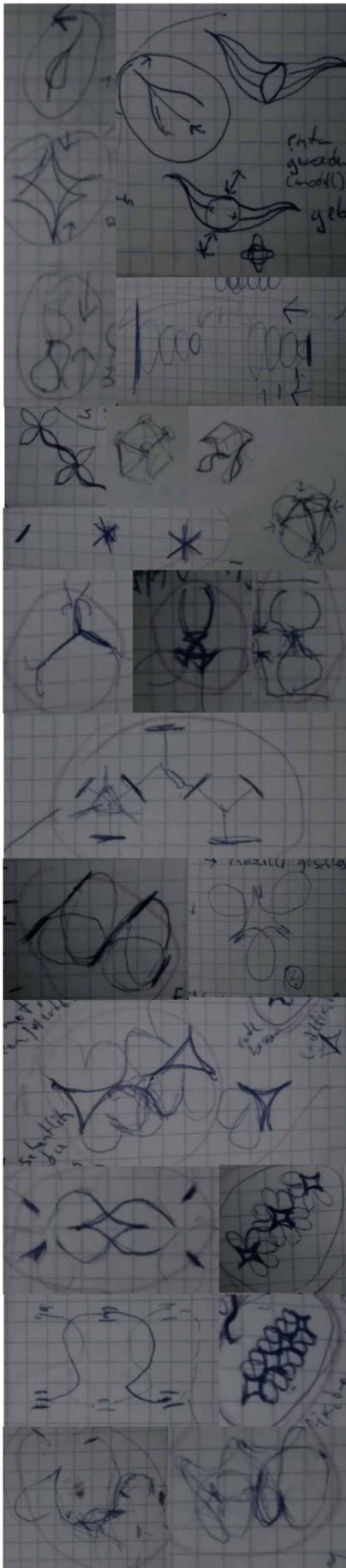
zusammengesetzte Zellgeometrie (Kollabieren von Zellen)



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



Zellgeometrie zu flächigem System



flächiges Schlaufensystem

Dagegen wurde die erarbeitete Zellgeometrie – über Umwege – zu einem flächigen Schlaufensystem weiterentwickelt. Dies geschah über mehrere Schritte, wobei das jeweilige dynamische Potential einzelner erdachter sowie skizzierter Strukturvariationen zunächst nur gedanklich überprüft wurde. Erst das – vermeintlich – stimmige Resultat dieser Suche wurde materialisiert.

mehrere Anschlussstellen bzw. räumliche Knoten

Zunächst wurden Zellen bzw. Knoten mit mehr als 2 Anschlussstellen angedacht, was entgegen der vorangehenden linearen Erstreckung in einer gitterartigen Anordnung resultiert. Die Faltbarkeit wird hier jedoch wohl infolge räumlich stabiler Knoten etwas eingeschränkt.

Verschränkung von Zellen

Im weiteren Verlauf wurde die Möglichkeit der Verschränkung einzelner Zellen überprüft, was jedoch im Faltprozess eine gegenseitige Verdrängung der einzelnen Mittelknoten erwarten lässt.

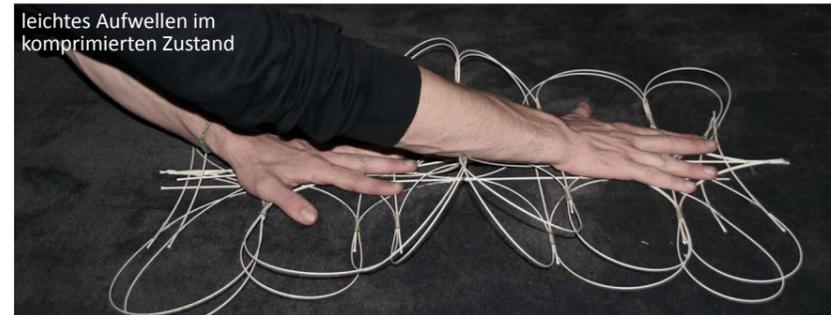
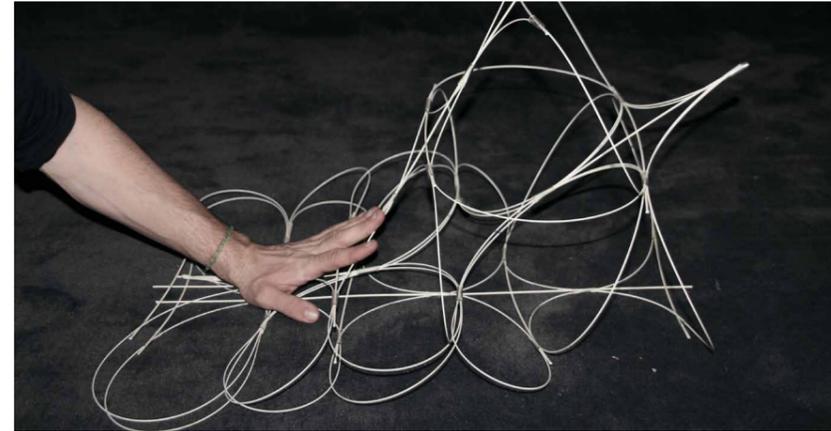
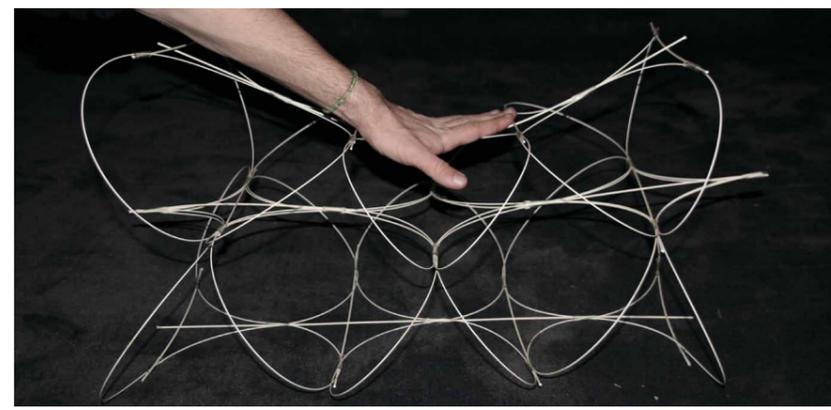
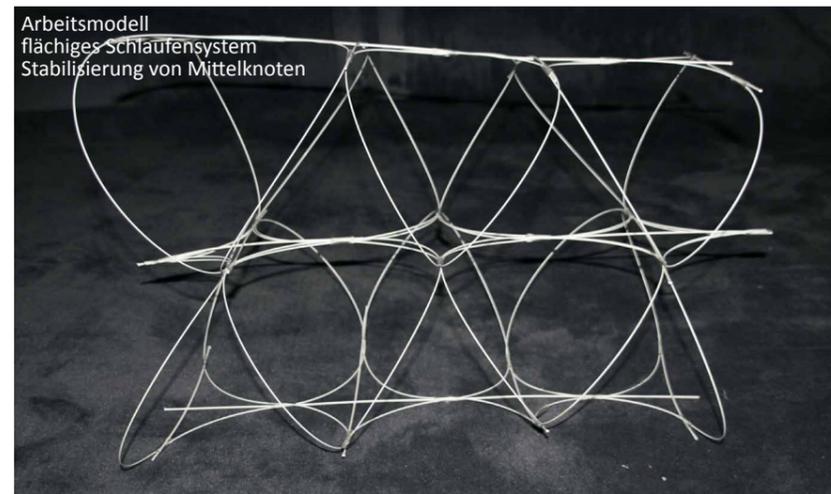
zusammenhängendes Knotensystem

Schließlich konnte die Lösung durch die unerwartete „Falschinterpretation“ einer zunächst anders erdachten Skizze erkannt werden: Sich auf unterschiedlichen Ebenen befindende Knoten erscheinen durch die flächige Projektion als Zusammenhängend. So wurde durch diese optische Täuschung die Möglichkeit eines *kontinuierlichen Knotensystems* ersichtlich, welches wiederum der seitlichen Verdrängung entgegenwirken sollte.

Falschinterpretation eigener Expression

Stabilität einzelner Knoten

Im ersten Arbeitsmodell lag der Fokus auf der Stabilität dieser Knoten im statischen Zustand, welche durch Realisierung eines einzelnen freien Knotens mit angrenzenden Bereichen überprüft und bestätigt wurde.



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



Konstruktionsystem mehrstufig materialisiert

In der Folge wurde ein mehrstufiges Systemmodell – nun mit vier übereinanderliegenden Struktur- bzw. Knotenreihen – realisiert. Neben der allgemeinen Überprüfung der grundsätzlichen Realisierbarkeit wurden durch diesen größeren Ausschnitt etwa auch die elastischen Eigenschaften des flächigen Schlaufensystems (zumindest jene im dekomprimierten Zustand) besser ersichtlich.

räumliches Aufspreizen

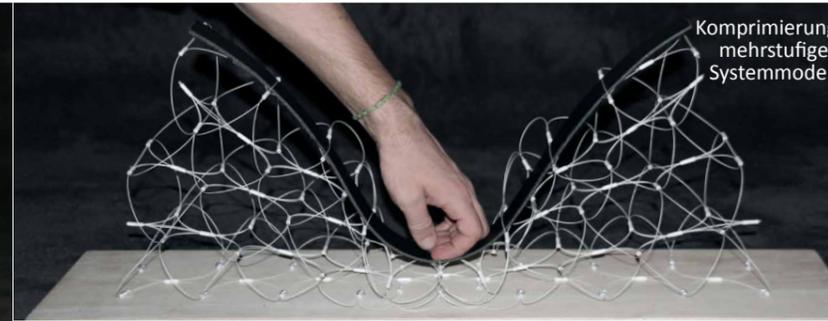
Jede Ebene setzt sich aus jeweils zwei gegenüberliegenden Schlaufenreihen bzw. zwei durchlaufenden linearen Elementen zusammen – diese bilden jedoch für sich noch *keine räumliche* Struktur. Erst mehrere aneinandergereihte Ebenen spreizen sich gegenseitig zu einer solchen auf – mindestens *zwei Ebenen* sind hierfür also nötig.

Einleitung von Schwingungen

Durch die ersichtlich gewordene Elastizität der Gesamtstruktur wurde etwa auch angedacht, durch einen bei Komprimierung *eindrehenden Zellbereich* ein Einleiten von Schwingungen zu generieren

automatisierte Betätigung

Durch das Anbringen eines Lederbandes an der oberen abschließenden Knotenreihe wurde des Weiteren ermöglicht, eine punktuelle Komprimierung durch das Rollen eines Rades bzw. ein Ziehen von dessen Achse über die gesamte Länge *automatisiert* ablaufen zu lassen.



Unstimmigkeit

So wurde nun des Weiteren ansatzweise erkannt, dass die tatsächliche Faltbarkeit dieses Systems mit der zuvor angedachten nicht gänzlich ident ist. Im Falle des ersten Modells zeigt sich diese Unstimmigkeit (welche den weiteren Entwicklungsverlauf entscheidend beeinflusst) einzig in einem leichten unerwarteten *Aufwellen* im komprimierten Zustand. Auch in diesem – mehrschichtigen – Modell zeigte sich dies durch ein – zu diesem Zeitpunkt als „Fehlfunktion“ angesehenes – gelegentliches *Festhängen* einzelner Knoten nach vollzogener Faltung.

nicht elastisch?!

Bis dahin wurde das entwickelte System als gänzlich elastisch – also in die Ausgangsposition zurückführend – angenommen, was sich nun jedoch als zweifelhaft herausstellte. Beide Anzeichen wurden zunächst ignoriert bzw. nicht gänzlich aufgeklärt. Das zugrundeliegende kognitiv erdachte Modell wurde erst später angepasst, als aufgrund von Faltpatterns, welche in folgenden Ausführungen bzw. größerem Maßstab auftraten und auf derselben Grundlage basieren, die genauere Aufschlüsselung dieser Umformung nahelegten.

später zu Hauptfunktion

Diese als Nebeneffekt auftretende Instabilität der Knoten wird in späterer Folge zur Hauptfunktion und grundlegend für den weiteren Entwicklungsprozess.

erste Pavillongeometrien

Erste, zu diesem Zeitpunkt resultierend auf den Entwicklungen als möglich erachtete interaktive Pavillongeometrien radialer Anordnung wurden – speziell durch die folgende Erkenntnis, dass das hier entwickelte Konstruktionsystem entgegen eigener Erwartungen nicht gänzlich elastisch wirkt – im Zuge dieser Lehrveranstaltung nicht weiterverfolgt. In noch späterer Folge diente jedoch eine dieser Überlegungen (pilzförmige Anordnung) als Ausgangspunkt der Strukturentwicklung für die Installation „Immanent Elasticity“ im Zuge der Kooperation mit *soma architecture* (Seite 108).



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. This thesis is available in print at TU Wien Bibliothek. TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

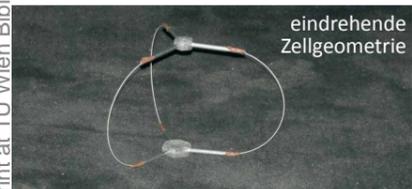
vertiefende Phase - Zellvariation

Kooperation mit Nikola Witzmann

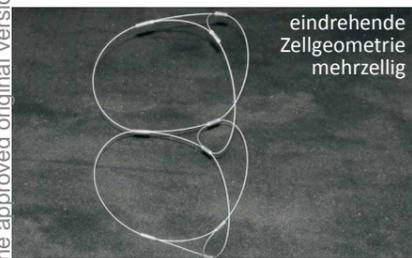
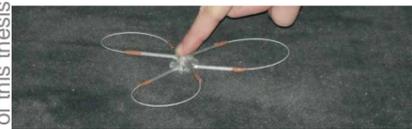
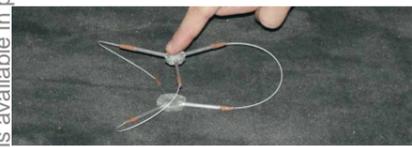
Nach universitärer Einteilung gemäß der jeweils behandelten Konstruktionsarten, wurde ab hier mit *Nikola Witzmann* zusammengearbeitet (ihrerseits wurden zuvor ebenfalls Gewölbestrukturen aus gebogenen linearen Elementen behandelt). Die Entwicklung bzw. das Aufwerfen und Verfolgen von Möglichkeiten wurde – auch weil eben einhergehend mit theoretischen Studien – weiterhin nach eigener Methodik fortgesetzt; Selektionsschritte bzw. die Auswahl der jeweils weiter zu verfolgenden Richtung geschah in Kooperation.

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

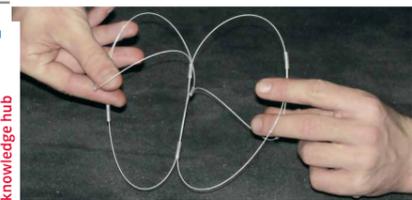
TU BIBLIOTHEK
WIEN
Your knowledge hub



eindrehende Zellgeometrie



eindrehende Zellgeometrie mehrzellig



Zur neuerlichen Steigerung der Variationsbreite wurden – durch Modellierung eigener Skizzen aus der Anfangsphase – vertiefende Möglichkeiten zu unterschiedlichen Zellvariationen getestet.

Eindrehung

Als Weiterentwicklung der zuvor behandelten Einzelzelle wurde – abgeleitet aus jener Überlegung, Schwingungen in ein flächiges System einzuleiten – die Struktur so realisiert bzw. reduziert, dass sich beim Zusammenführen der abschließenden Knotenpunkte, diese aufgrund der fehlenden ausgleichenden Stabilisierung um die Mittelachse selbstständig *eindreihen*. Die Rotationsrichtung resultiert wiederum aus geringen Abweichungen zu Beginn des Prozesses.

Diese Zellgeometrie wurde auch als mehrzellige Anordnung realisiert. Für die gezielte Faltung ist hier ein aktives Eindrehen der Endknoten nötig, da sich der mittige – freie – Knoten sonst dezentriert bzw. aus der Mittelachse bewegt.

geringe Abweichungen definieren Rotationsrichtung

Polyeder

In der Folge wurden zunächst – aus vorausgehenden Skizzen zu Zellen mit mehreren Anschlussstellen abgeleitet – an die Geometrie regelmäßiger *Polyeder* angelehnte Zellvariationen realisiert und auf ihre Faltbarkeit hin untersucht. Durch den Knotenaufbau sind deren Kanten gekrümmt und die Ecken genau genommen „abgestumpft“

Speziell die Würfelstruktur bzw. das (abgestumpfte) *Hexaeder* zeigte dabei sehr großes Faltpotential. Zwei bis drei Faltmechanismen wurden bereits im Voraus überlegt – eine Modellierung schien jedoch effektiver, was durch die unüberschaubare Menge an so gefundenen Transformationsmöglichkeiten auch schnell bestätigt wurde. Das (abgestumpfte) *Tetraeder* zeigte demgegenüber eher geringes Faltpotential.

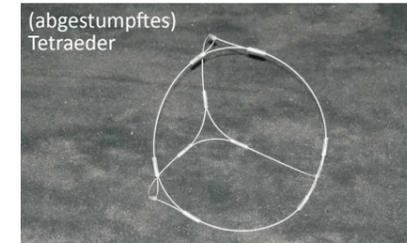
Bei der Modellierung des (abgestumpften) *Oktaeders* wurde bald erkannt, dass dieses nicht die zuvor angedachte Form annehmen würde. Das fehlende Aufspreizen bzw. das selbstständige Zusammenziehen einiger Kanten resultiert aus dem Aufbau der selbst nicht stabilen 4-eckigen Knoten.

flächige Würfelanordnung

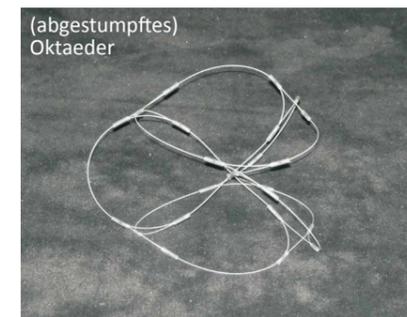
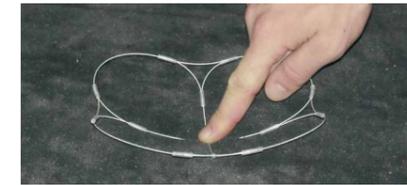
Die einzige direkt erfolgte Weiterentwicklung aus dieser vertiefenden Zellvariation stellt eine *flächige Würfelanordnung* dar, wobei jeder Würfel in der diagonal liegenden Ebene mit weiteren verbunden ist. Diese werden ihrerseits wiederum vereint, und das Prinzip in selber Ebene gleichbleibend flächig fortgesetzt. Aus den jeweils 3 verbundenen Würfeln – wodurch sich des Weiteren eine komplexere neue Knotengeometrie zeigte – resultiert dies aufgrund der regelmäßigen Winkel von 120° in einer hexagonalen Anordnung. Die Faltbarkeit ist – eingeschränkt – weiterhin gegeben. Zur Steigerung der Stabilität mussten sich diese verbundenen Zellen über mehrere Ebenen erstrecken.

neuerliches Auftreten

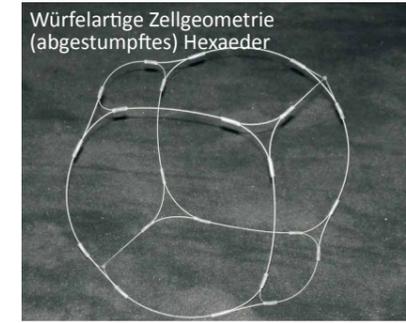
Erst einige Zeit später (Seite 122 bis 123) sollte sich schließlich herausstellen, dass sowohl Tetraeder, als auch die Form der ein-drehenden Zelle mögliche Faltstadien der Würfelgeometrie sind – diese also weit mehr gemein haben, als ursprünglich gedacht.



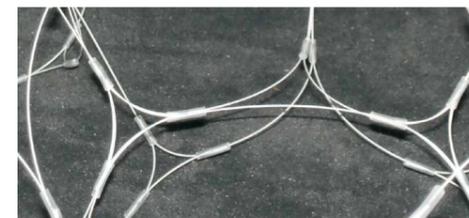
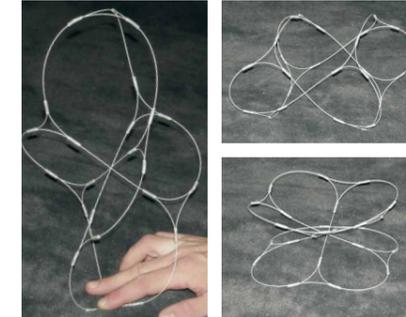
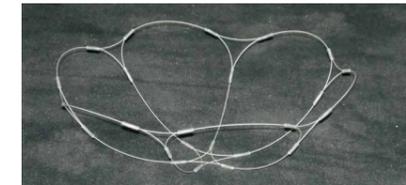
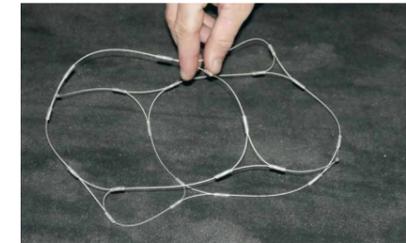
(abgestumpftes) Tetraeder



(abgestumpftes) Oktaeder



Würfelartige Zellgeometrie (abgestumpftes) Hexaeder



zusammengesetzte Würfelstruktur



Umformungsprozesse

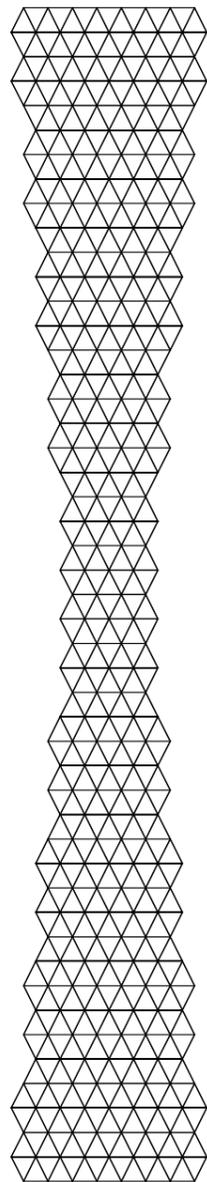
Speziell anhand der *würfelartigen* Struktur wurde bzw. wird die Relevanz des in dieser Arbeit zentralen Aspekts (eigendynamischer) *Umformungsprozesse* klar ersichtlich. Auch speziell das Potential von Materialisierung und direkter Interaktion am physischen Modell – resultierend aus diesem mehr oder weniger gezielten Aufwerfen bewusst nicht vorhergesehener Möglichkeiten – wird offensichtlich. Die Struktur kann durch externe Einleitung und damit einhergehendes Verändern der Wechselbeziehungen bzw. -wirkungen der auftretenden Kräfte in viele unterschiedliche Stabilitätszustände übergeführt werden, wobei sich Umformungsprozesse nach dem jeweiligen Initiieren oft selbstorganisierend fortsetzen und die letztlich konstante Anordnung selbst „finden“. So wäre es nicht möglich gewesen, einzig anhand von reinen Überlegungen – ohne Modellierung und Interaktion am Modell – nur annähernd dieselbe Menge an neuen Formen und konstruktiven Möglichkeiten zu erlangen; besonders bezogen auf die relative Einfachheit und den geringen Zeitaufwand dieser Methode der Erkenntnisfindung.

Modellierung effektiver

spätere Wiederaufnahme

Die gefundenen Faltstadien dieser Würfelstruktur – viele regelmäßige und Unmengen an unregelmäßigen – wurden in späterer Folge durch erneute Aufnahme dieser Versuche erweitert und begründen so eine ganze Reihe an Entwicklungen im abschließenden freien Entwurfsabschnitt (Seiten 122 bis 133). Im Zuge dieser Lehrveranstaltung wurde dagegen an dem in der Anfangsphase entwickelten Schlaufensystem weitergearbeitet – ebenfalls gestützt auf selbstorganisierende Umformungsprozesse.

vieltufiges Systemmodell



Strukturverlauf

Aufgrund der bereits tiefgreifenderen Überlegungen bzw. der „ausgereifteren“ Entwicklung eines funktionierenden flächigen (bzw. flächig-räumlichen) Falt-systems, wurden diese Studien nun weitergeführt und insgesamt 36 aneinandergereihte Ebenen modelliert – etwas mehr, als ursprünglich angedacht. Abmessungen erreichen dabei etwa 0,5 m x 2,5 m – bei einer Gesamtlänge der Linearelemente von rund 250 m. Von beiden Seiten ausgehend, folgt auf jeweils 4 Ebenen derselben Länge eine Verkürzung um eine halbe Zell- bzw. Knotenbreite pro Seite. Aufgrund der stufenweise versetzten Knotenanordnung ergibt sich so ein sauber gestalteter Übergang.

36
aneinandergereihte Ebenen

Zunächst war angedacht, anhand dieses großen Ausschnitts der Struktur ihre elastischen Eigenschaften im entfalteten Zustand sowie ihr Schwingungspotential zu überprüfen. Die mittige Verjüngung resultiert etwa aus später nicht mehr relevanten Überlegungen zu Material- bzw. Gewichtsreduktion im Falle einer Aufwölbung der Struktur. Auffällig hierbei war etwa das einseitige Einknicken einzelner Ebenen bei Überbelastung durch Biegung quer zur Fläche.

Die folgenden Überlegungen galten schließlich jenem den fortlaufenden Entwicklungsprozess schließlich entscheidend umlenkenden *Faltprozess* dieses ersten größeren Modells des anfänglich erarbeiteten Konstruktionssystems.

seitliche Platten und Zugseil für die externe Einleitung

Um den Faltvorgang zu erleichtern bzw. extern einzuleiten und so zu automatisieren, wurden in der Folge biegesteife Randplatten sowie ein durch diese – sowie durch die gesamte Länge der Struktur – geführtes Zugseil angebracht.

keine
elastische Rückführung

Zunächst wurde – dies war bereits beim einmaligen Ein-falten vor der Anbringung der Randplatten offensichtlich – die vorausgehende Überlegung, dass die Struktur entgegen anfänglicher Annahme im Komprimierungsvorgang ab einem gewissen Punkt nicht mehr elastisch wirkt und nicht selbstständig in die Ausgangsform zurückgeführt wird, endgültig bestätigt.

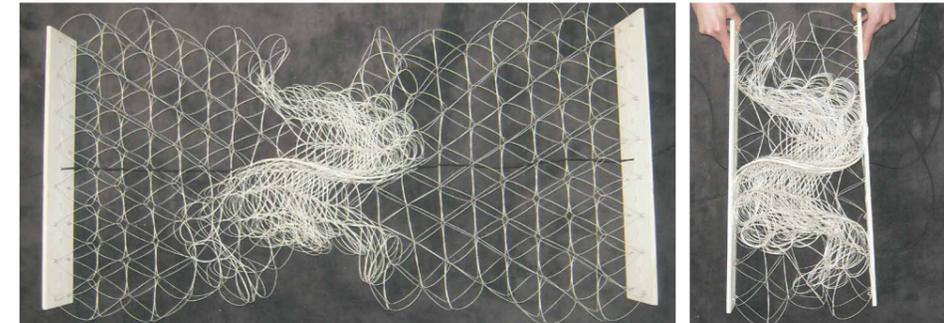
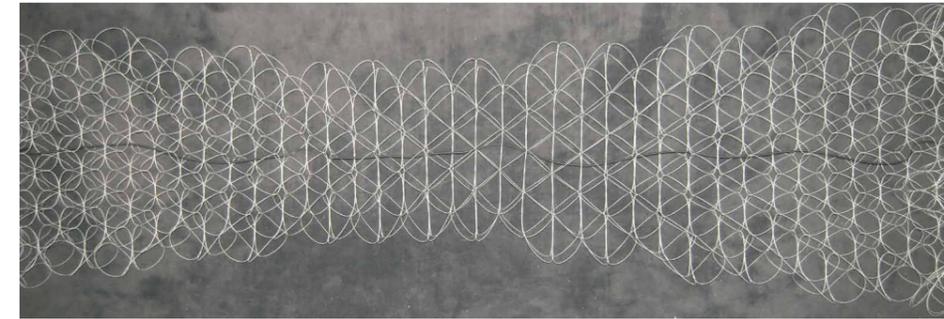
komplexe Musterbildung

Damit einhergehend, wird bei Einleitung der Komprimierung schließlich eine komplexe Musterbildung ersichtlich – allem Anschein nach wiederum wegen der bereits zuvor wahrgenommenen Instabilität der 4-eckigen Knoten im Faltvorgang.

So stellte sich des Weiteren heraus, dass auch diese Struktur in viele unterschiedliche Stabilitäten übergeführt werden kann; von allem Anschein nach – trotz zunächst fehlender Übersicht – gänzlich regelmäßigen Ausprägungen bis hin zu mehr oder weniger „chaotischen“ Zuständen.

Analyse erforderlich

Eine genaue Analyse der grundlegenden Mechanismen – resultierend in diesen sich selbstständig einstellenden bzw. selbstorganisierenden Gestalten – schien so gleich zentral und für die weiteren Überlegungen vorrangig.

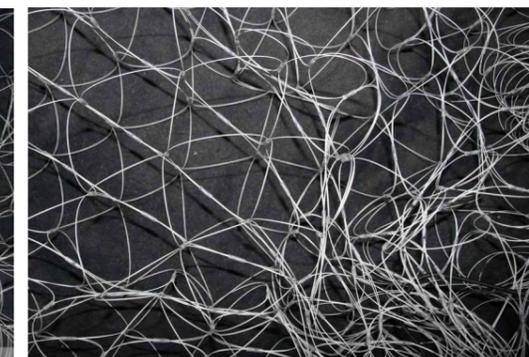
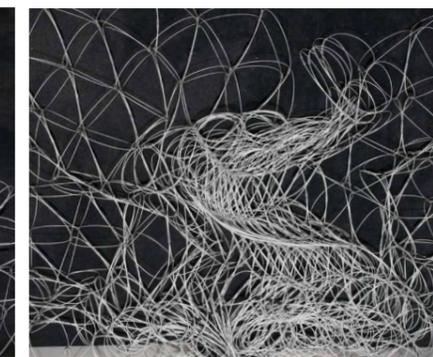
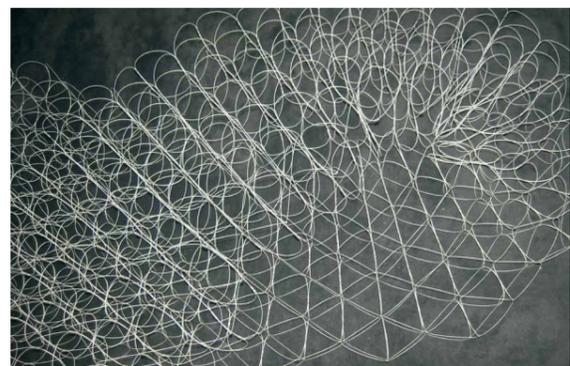
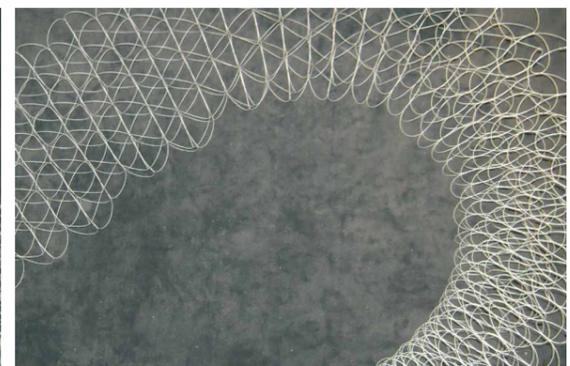
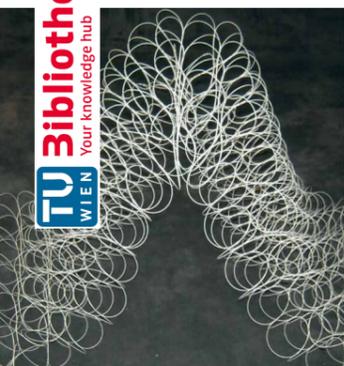


eigendynamische Transformation durch wirkende Kräfte

Das sich jeweils einstellende Faltmuster ist – neben der Lage der abschließenden Platten – direkt abhängig von wirkenden Kräften im Komprimierungsprozess. Liegt die Schlaufenstruktur etwa stellenweise am Boden auf, so resultiert dies in Unregelmäßigkeiten im Faltvorgang. Ist sie dagegen bei beidseitiger Auflagerung während des gesamten Verlaufs frei hängend, so fördert dies die Bildung regelmäßiger Faltmuster. Als (weiterer) Nebeneffekt stellte sich die – ursprünglich mit anderer Intention gefertigte – mittige Materialreduktion hierfür als „Sollbruchstelle“ heraus, welche zuerst kollabiert und auf deren Grundlage sich die restliche Struktur anreicht.

Nebeneffekt bzw. Fehlfunktion zu neuer Hauptfunktion

Ein nicht vorhergesehener *Nebeneffekt* bzw. jene nach vorausgehender Ansicht sogar als *Fehlfunktion* wahrgenommene Wirksamkeit wurde so – wie schon zu Beginn dieses Prozesses die ebenfalls ungeplant aufgetretene Faltbarkeit der entworfenen Turmstruktur – durch Änderung bzw. Neuausrichtung der Selektionskräfte zu einer neuen *Hauptfunktion*.

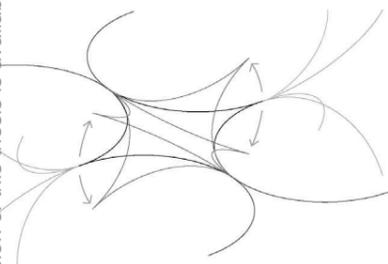


Analyse Faltmuster

Umklappen von Knoten durch Destabilisierung

Durch das Initiieren des Faltprozesses bzw. durch die vertikale Komprimierung der horizontalen Ebenen verändern sich die Kraftverhältnisse bzw. Wechselwirkungen des aus mittigem Knotensystem und stabilisierenden seitlichen Bögen aufgebauten Systems entscheidend: Knoten werden aufgrund des Wegfalls der zuvor ausgleichenden Stabilisierung der außenliegenden Bögen nicht mehr von oben und unten gleichsam gestützt. Dies führt schließlich dazu, dass sie – weil 4-eckig und ebenfalls unter Spannung stehend – umklappen; je nach Ausgangssituation entweder in die eine, oder in die andere Richtung.

geringe Unterschiede bei Initiierung definieren Faltrichtung



Umklappen einzelner Knoten

Umklappen zu Krümmung

So wurde zunächst versucht, die Entstehung der regelmäßigen Wellenform sowie in weiterer Folge jene der sich über längere Distanz fortsetzenden Krümmungen bzw. „Kranzbildung“ nachzuvollziehen. Stets sind es die jeweils umklappenden Knotenreihen – ebenfalls aus verbundenen, unter Spannung stehenden Bögen zusammengesetzt – welche die eingefalteten Strukturbereiche durch den auftretenden Spannungsausgleich und Aufspreizung zur Ausbildung solch gekrümmter Formen drängen.

definierte Faltrichtung versetzt überlagerter Knoten

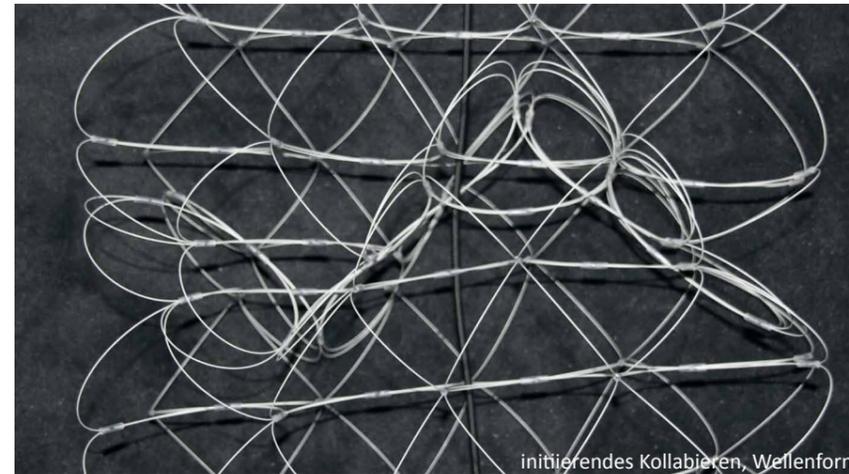
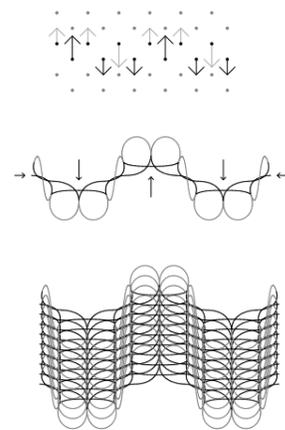
Es wurde erkannt, dass für die Transformation in eine stabilisierte, nicht mehr in die Ausgangsposition zurückführende Form das gemeinsame Einfalten zweier übereinanderliegender Knotenreihen nötig ist. Übereinanderliegende Knotenreihen sind jeweils versetzt angeordnet, was etwa dazu führt, dass, wenn ein Knoten kollabiert, dieser auch die Faltrichtung der 2 versetzt überlagerten Knoten der nächsten Ebene mit definiert. Er behindert diese nicht nur, sich in entgegengesetzte Richtung einzufalten, sondern drückt sie in dieselbe.

Wellenform durch ausgleichende Kräfte

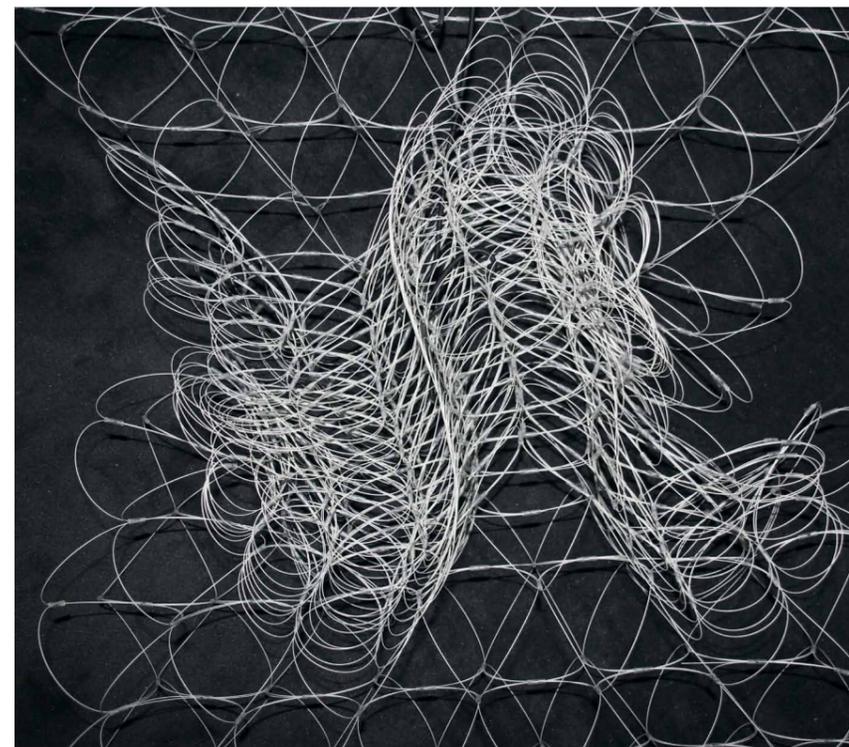
Bei ausgleichender Komprimierung neigt die Struktur dazu, sich möglichst gleichmäßig einzufalten. Da jedoch jeweils 3 Knoten gemeinsam in dieselbe Richtung umklappen müssen, kann auch die Krümmung erst nach diesen regelmäßigen Abständen wechseln, was wiederum zur resultierenden Wellenform führt.

eigendynamische Stapelung

Bei Fortsetzung der Komprimierung der Gesamtstruktur reißen sich restliche Abschnitte – jeweils wird die Faltrichtung angrenzender Knotenreihen vorweggenommen – Ebene für Ebene nach demselben wellenartigen Prinzip an den bereits eingefalteten Bereich. Diese Stapelung könnte horizontal wie vertikal prinzipiell endlos fortgesetzt werden.

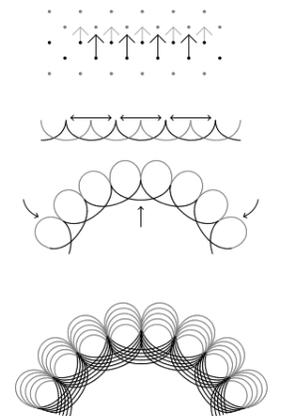


initiiertes Kollabieren, Wellenform

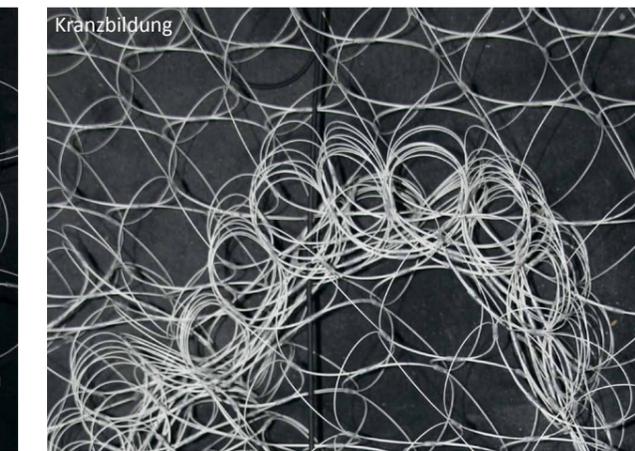
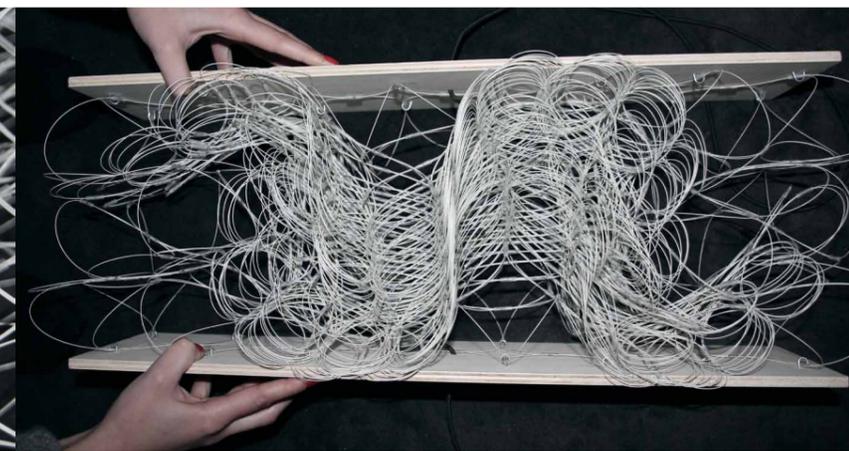


Unregelmäßigkeiten und einseitige Belastung zu Kranzbildung

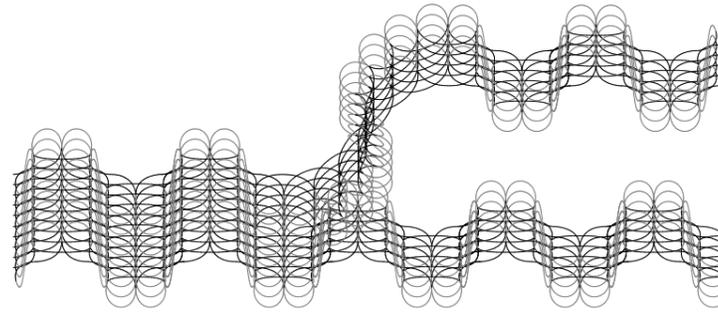
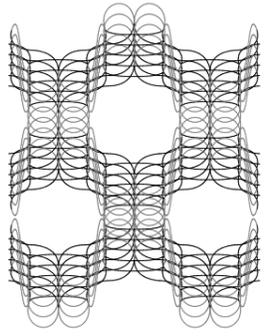
Während wellige Muster durch ausgeglichene Kräfte entstehen, können – bei unregelmäßiger bzw. einseitiger Belastung – auch größere Abschnitte zusammenhängender Knotenreihen in dieselbe Richtung Umfalten. Anstatt kurzer sowie abwechselnder Krümmungen, bildet sich so ein über größere Bereiche fortlaufender Kranz. Im Falle dieses Modelles – in später folgenden ist dies nicht der Fall – kann sich diese einseitige Krümmungsrichtung jedoch in der Ebene nicht endlos fortsetzen, da die entgegengerichteten Kräfte der angrenzenden Struktur dies behindern. Bis zu diesem Punkt ist auch diese einseitige Krümmung stapelbar und setzt sich eigendynamisch bzw. selbstbildend fort.



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



Kranzbildung



ungleiche Überlagerung

Zustandekommen unregelmäßiger Faltmuster

Kollabierende Ebenen wirken sich auf die Faltung der jeweils nächsten Ebenen aus – diese stapeln sich kontinuierlich übereinander. Geschieht dieses initiierende Umklappen an unterschiedlichen Stellen, so ist eine exakte Überlagerung der auftretenden Krümmungen – und daher auch ein exaktes Ineinandergreifen unterschiedlicher Stapelungen – unwahrscheinlich.

Daraus resultieren – durch versetzte Wellenanordnung oder durch das Aufeinandertreffen von unterschiedlichen Krümmungsbereichen – „Löcher“ in der Aneinanderreihung von gefalteten Strukturbereichen bzw. in diesen auch Abschnitte, welche in ihrem Ausgangszustand verbleiben und nicht kollabieren.

geringe Unterschiede definieren gesamten Prozess

Wiederum bestimmen geringe Unterschiede den jeweiligen Faltprozess – in vorausgehenden Strukturlösungen geschah dies jedoch nur in begrenztem Rahmen, in diesem Fall definiert dies auch die schließlich resultierende Form der Gesamtstruktur. Die Faltrichtung einzelner Knotenbereiche hat Auswirkungen auf den gesamten folgenden Gestaltwerdungsprozess.

Informationserhaltung

Dieses selbstständige Fortsetzen bestimmter Muster nach erstmaligem Auftreten gewisser Ausprägungen geht damit einher, dass diese initiierende Umformung bis zur speziell daraus resultierenden endgültigen Gestalt ersichtlich, die grundlegende Information also erhalten bleibt. Der jeweilige Zustand zeigt den vorausgehenden Faltprozess; zunächst im Übergang von noch entfalteten und bereits kollabierten Bereichen sowie bis zuletzt an der Aneinanderreihung von Bereichen unterschiedlicher Musterbildung.

getrennte Initiierung zu getrennter Musterbildung

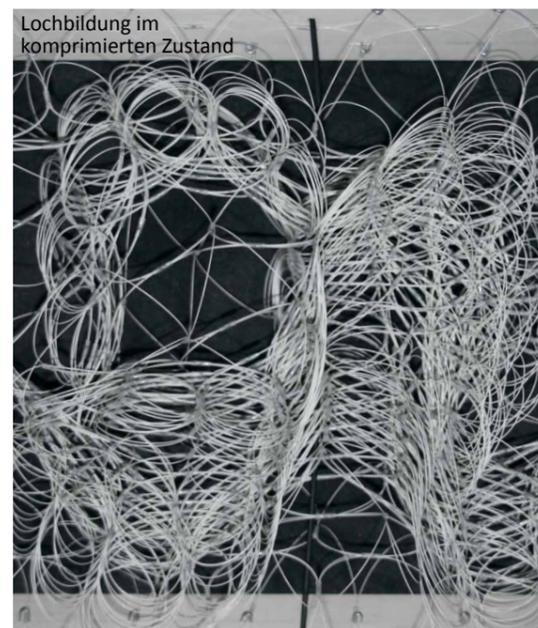


zufälliges Zusammenfallen

So entscheiden „Zufälle“ – in diesem Fall nicht nur das „Zusammenfallen“ einzelner wechselwirkender Prozesse, sondern ein tatsächliches Zusammenfallen einzelner Strukturbereiche – über den folgenden Komprimierungsverlauf. So wird ersichtlich, wie solch auftretende, nicht vorherzusehende Zufälle als Ergebnis vorheriger und Grundlage folgender Wechselwirkungen in selbstorganisierenden Abläufen resultieren.

Analyse unvollständig

Diese erste genauere Analyse des Faltprozesses des flächigen Schlaufensystems ist an diesem Punkt – weil einzig aus diesem Modell gefolgert – noch nicht vollständig. Speziell jener sich einseitig fortsetzende Faltmechanismus bei gleichbleibender Krümmungsrichtung und dadurch radialer Anordnung – in diesem Modell nur eingeschränkt möglich – sollte sein volles Potential bezogen auf kontinuierliche Fortsetzung und gänzlich flächige Umfaltung erst im nächsten Modell zeigen.



Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. This thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



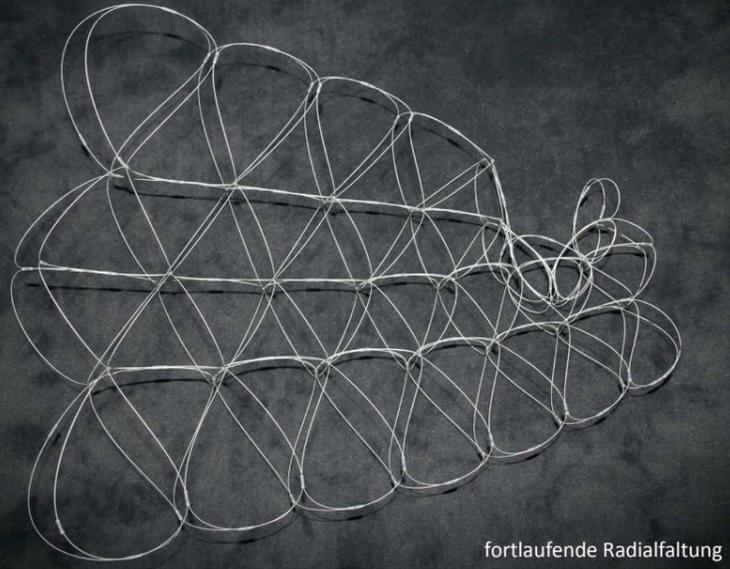
Systemvariation Krümmung/Größenverlauf

starke Selektion sowie neuerliche Variation

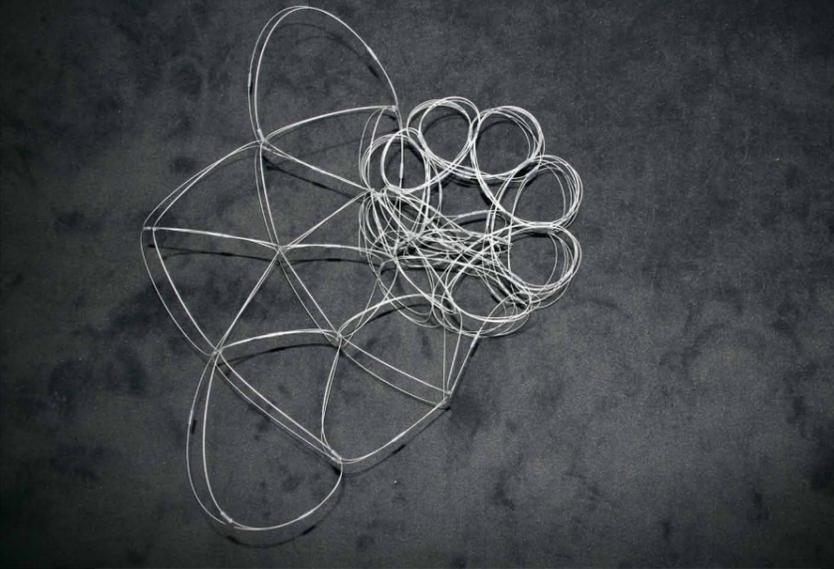
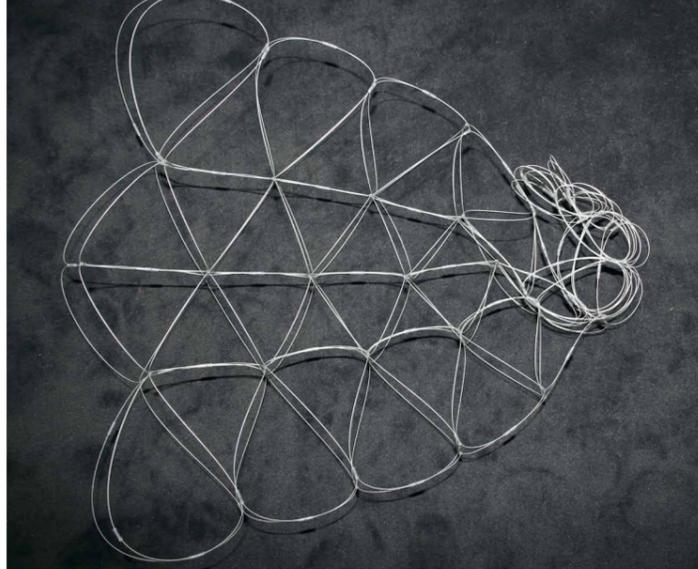
Nachdem das für diese Lehrveranstaltung beizubehaltende Konstruktionssystem feststand – in Bezug auf dieses Universitätsprojekt also starke Selektion angewandt wurde – wurde dieses nun durch das Erarbeiten mehrerer Variationsmöglichkeiten versucht auszuweiten. Zunächst wurde getestet, die zuvor durch konstante Elementlängen ebene und gleichmäßige Gestalt der flächigen Struktur durch vorweg definierte *Krümmungen* und variierenden *Größenverlauf* zu differenzieren.

digital unterstützt

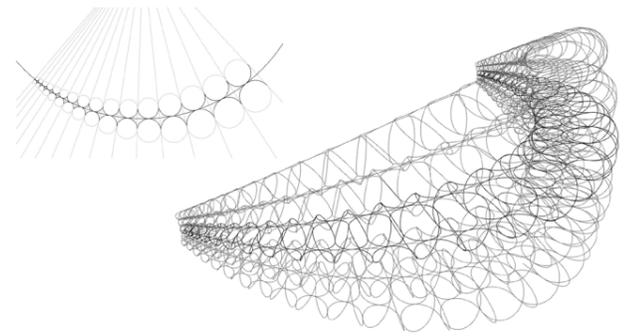
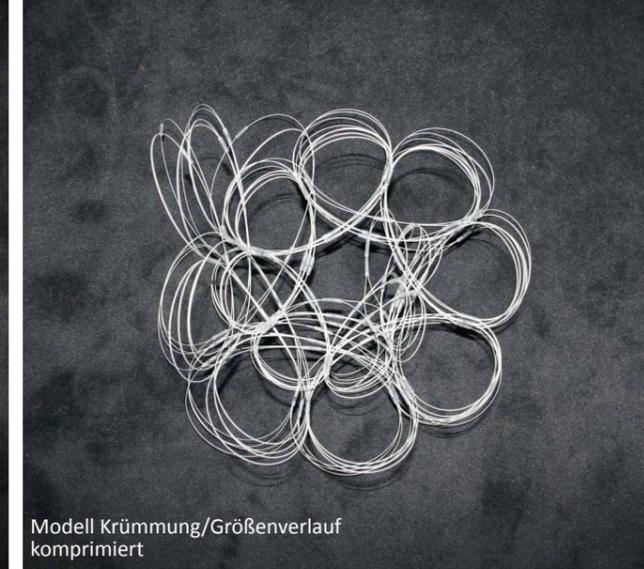
Hierfür wurde die Struktur digital unterstützt als Rotationsfläche bzw. Kugelausschnitt konstruiert, um die exakten Längenverhältnisse für die folgende Materialisierung zu erhalten. Die Relation der Größenverhältnisse von Knotensystem und angrenzenden Bögen sollten dabei – mit Ausnahme der Krümmunggebenden Unterschiede von Innen- und Außenseite – in allen Bereichen weitgehend konstant bleiben.



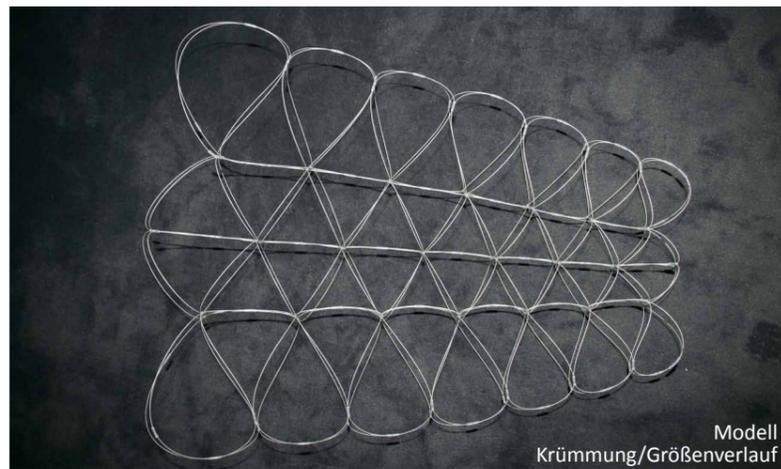
fortlaufende Radialfaltung



Modell Krümmung/Größenverlauf komprimiert



digitale Modellierung

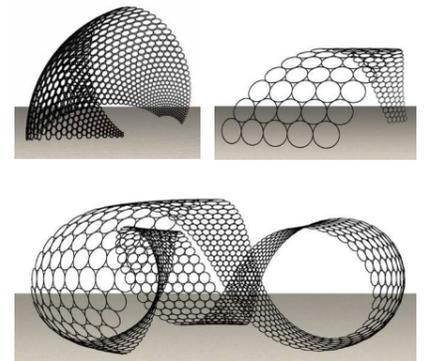


Modell Krümmung/Größenverlauf



radiale Faltung

Dem Modellbau vorausgehende Überlegungen bezogen sich wiederum auf den entfalteten bzw. unkomprimierten Zustand. Beim ersten Einfalten sollten sich dann sogleich neue Erkenntnisse durch nicht bedachte Mechanismen ergeben: Diesmal wurde das Modell ohne Randplatten realisiert, was dazu führte, dass der bereits ansatzweise erörterte, in fortlaufender einseitiger Krümmung resultierende Faltmechanismus nicht mehr eingeschränkt wird, sondern sich die Struktur kontinuierlich radial anordnet. Im Falle dieses Modelles weist die Struktur im gefalteten Zustand dabei aufgrund der Größenvariation eine Spiralform mit mittlerer Verjüngung auf.



Eigendynamik

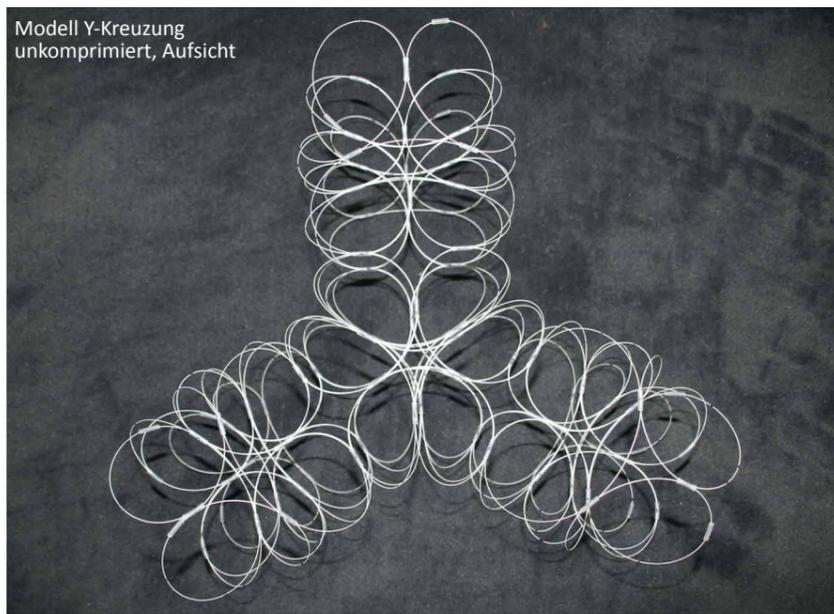
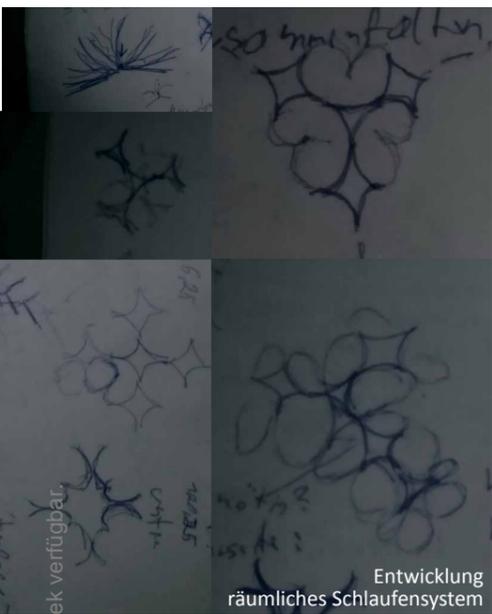
Da, wie bereits zuvor erkannt, einfallende Knotenabschnitte die Faltrichtung der jeweils nächsten Bereiche definieren, wird dieses radiale Faltmuster nach einseitigem Initiieren des Faltprozesses durch geringfügige externe Einwirkung eigendynamisch fortgesetzt.

Da anfänglich – ohne Bedacht auf die Faltbarkeit – die abschließenden Enden der einzelnen Knotenreihen ausgesteift gefertigt wurden, sollte das komprimierte Modell zunächst noch einen gewissen Grad an Räumlichkeit aufweisen – was schließlich auch zu dessen schneckenartiger Gestalt führte. Bald wurde erkannt – später wurde auch dieser ungeplante Aspekt zentriert – dass sich die Struktur jedoch auch gänzlich flach umfalten lässt.

Pavillongeometrien

Aus den erarbeiteten Studien zu Rotationsflächen erfolgten neuerlich Überlegungen und nun digital erstellte – bezogen auf die eigentliche Struktur geometrisch vereinfachte – Möglichkeiten für Pavillonanwendungen; zunächst ebenfalls als Kugel- dann auch als Torusausschnitte. Da die grundlegende Struktur unterschiedliche Variationen der Geometrieausrichtung erlaubt – auch diagonal zu den Meridianen bzw. zum Äquator – besteht hier die Möglichkeit, unterschiedliche sowie noch interessantere bzw. „schwungvollere“ Ausschnitte zu generieren. Die Installation sollte womöglich jedes Mal anders „wachsen“ bzw. komprimiert werden können, resultierend in unterschiedlichen Erscheinungsformen aus Wellen- und Radialfaltungen.

diagonale Strukturrichtung



räumliche Systemvariationen

Kombination aus Turm- und Flächenstruktur

Um Strukturen zu erhalten, welche sich räumlich erstrecken, wurden eine X-, sowie eine Y-Kreuzung durch Kombination von je einer mittigen Turmgeometrie (Seiten 28 bis 29) mit seitlich angreifenden Flächensegmenten geplant und im Modell gefertigt.

Darauf, dass die übereinanderliegenden Knoten eines solchen Turmes versetzt bzw. zueinander verdreht sind, musste reagiert werden, indem die – ebenfalls versetzt angeordneten – Knotenreihen der angrenzenden Flächenabschnitte nur jede zweite Reihe mit der mittigen Turmstruktur verbunden werden. Nur jede zweite Ebene weist daher ein durchgängiges, sich über die Kreuzung hinweg erstreckendes Knotensystem auf.

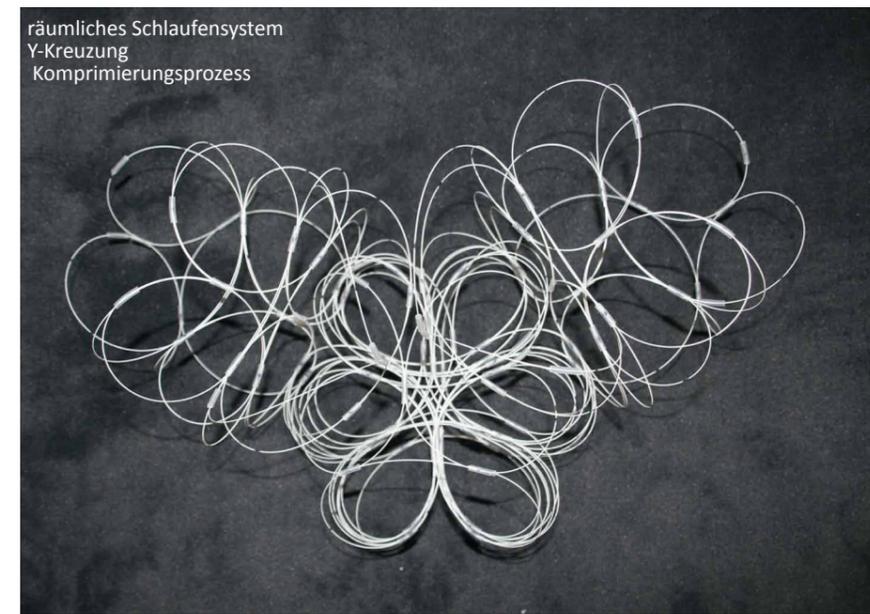
Anschluss
ebenenweise differenziert

optimale faltbarkeit als unerwarteter Nebeneffekt

Nicht erwartet wurde die optimale faltbarkeit beider räumlicher Systemvariationen – resultierend als Nebeneffekt der erwähnten nötigen konstruktionsbedingten Adaptionen sowie unvorhergesehene Folge der gewählten Modellierungsweise. Erst beim – durch vorausgehende Entwicklungen mittlerweile mit Vorfreude erwarteten – ersten Versuch, das gebaute Modell zu falten, wurden die daraus folgenden Auswirkungen ersichtlich: Überraschenderweise konnte die Struktur auf ein Minimum an benötigtem Volumen komprimiert werden – analog zur flächigen faltform der ursprünglichen Turmgeometrie.

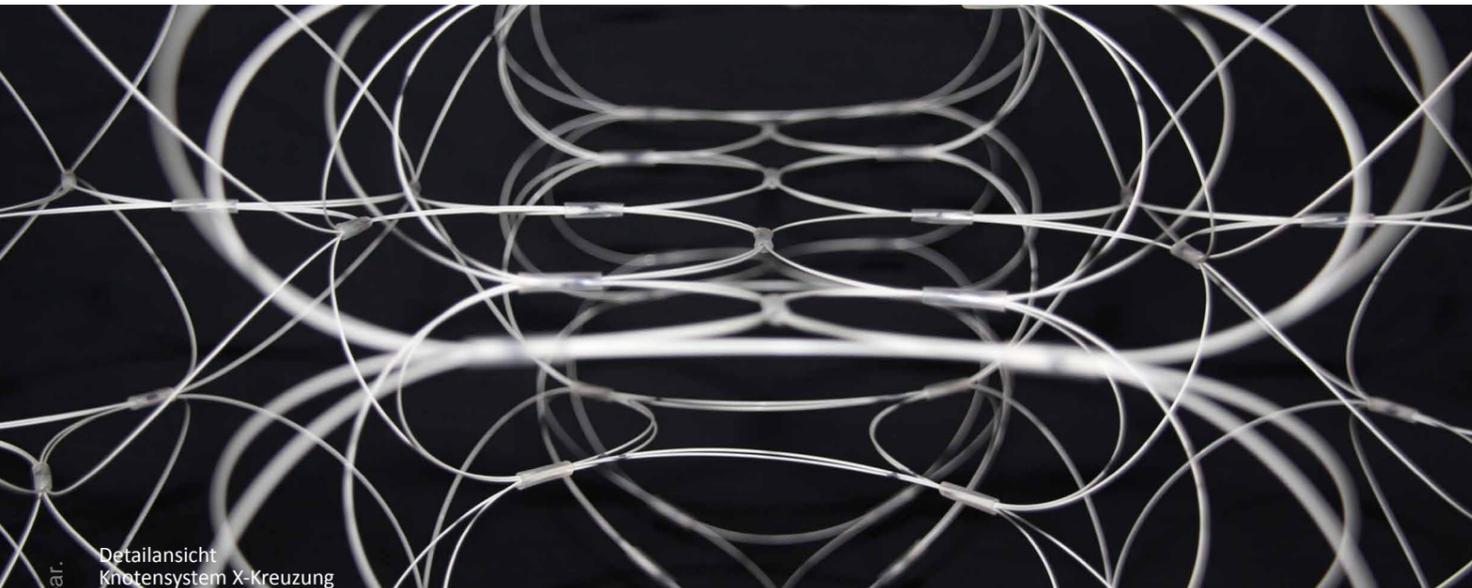
Grundlegend hierfür ist, dass die Ebenen der flächstücke, statt wie üblich aus jeweils 2 linearen Elementen, diesmal aus einem einzelnen durchgehenden Element gefertigt wurden. So befindet sich am Abschluss jeder Knotenreihe (wie auch im vorherigen Modell) ein stabilisierender Dreiecksknoten, welcher die sonst eintretende Querfaltung verhindert. Da diese Abschnitte beim – elastisch wirksamen – faltprozess in der Knotenebene verbleiben, lassen sich die angreifenden – sehr kurz gehaltenen – flächensegmente bei der faltung der Reihe nach gänzlich umklappen, um so den komprimierten Mittelabschnitt direkt zu überlagern. Auch dieser Nebeneffekt wurde sogleich ein zentraler Aspekt bzw. zu einer Hauptfunktion.

möglich durch
strukturbedingte Adaption
und Modellbauweise

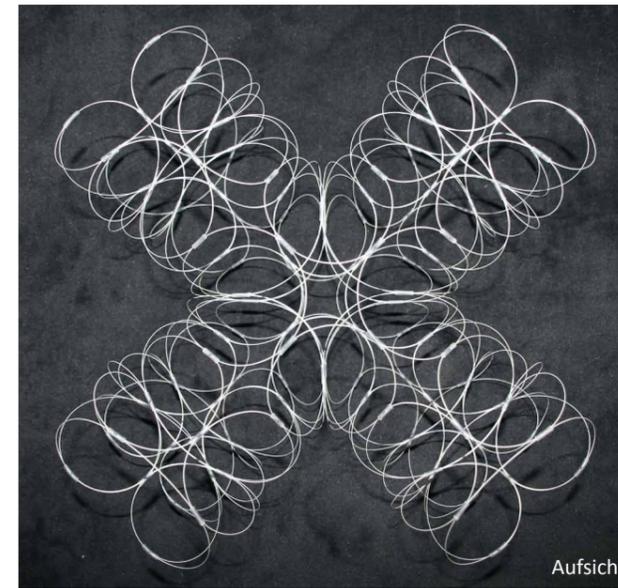


Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

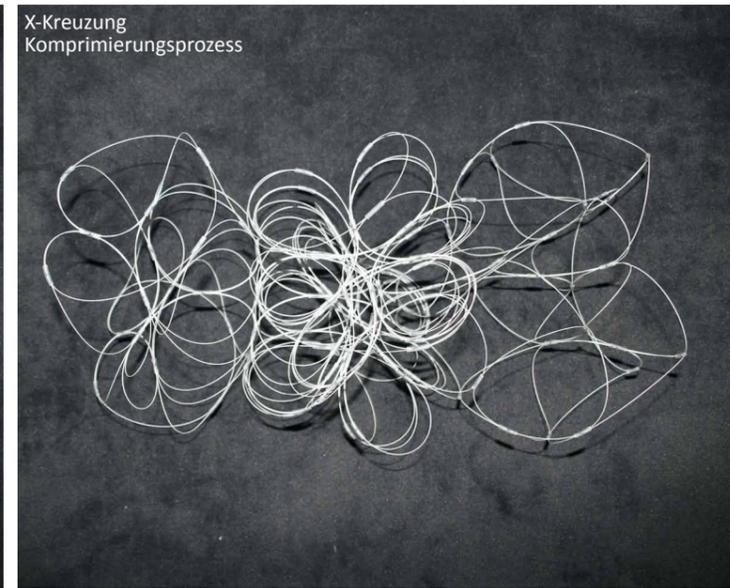




Detailansicht
Knotensystem X-Kreuzung



Aufsicht

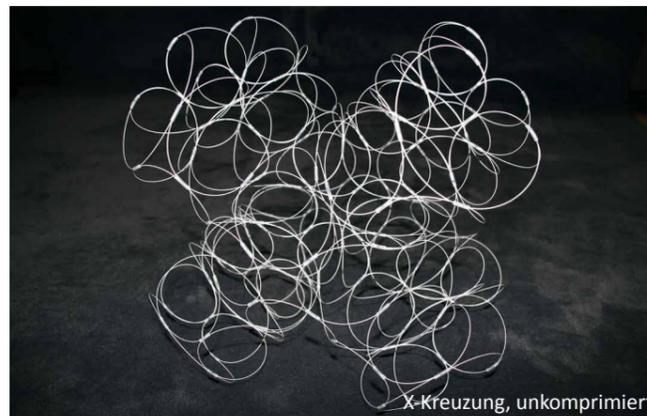


X-Kreuzung
Komprimierungsprozess

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. This thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

X-Kreuzung leicht optimiert

Im Vergleich zur Y-Kreuzung wurde beim nach dieser gebauten Modell einer X-Kreuzung die Stabilität durch einfache Adaption etwas optimiert, indem jene Knotenebenen, an welchen die seitlichen Abschnitte mittig verbunden sind, nach außen verlegt wurden. Die abschließenden Ränder weisen also durchgehende Knotensysteme auf.



X-Kreuzung, unkomprimiert

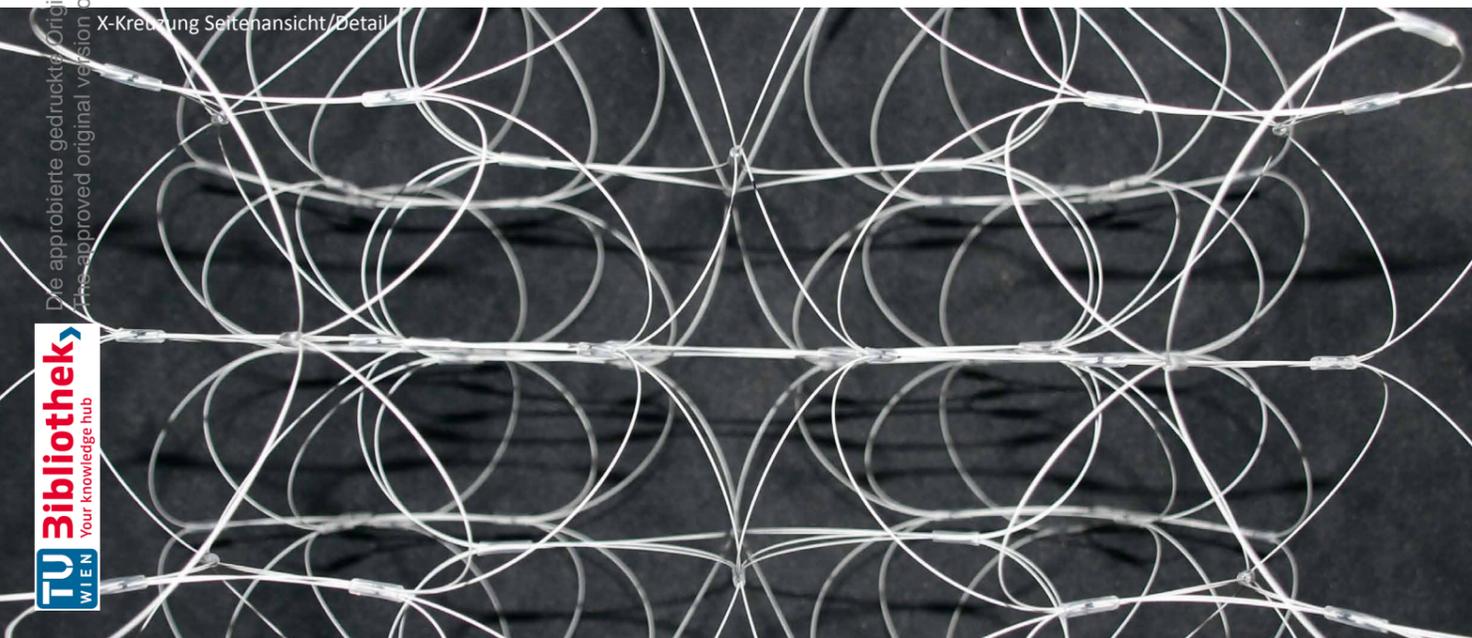
zunächst angedachte Anwendung als Pavillon

Die Möglichkeit wurde angedacht, diese räumliche Systemvariation auch für den abschließenden Pavillonentwurf heranzuziehen, jedoch wurde für diesen – aufgrund der nun erlangten Erkenntnis der Möglichkeit gänzlicher Umfaltung in Querrichtung – bei der rein flächigen Ausführung mit radialer Transformation geblieben.

spätere Wiederaufnahme und Weiterführung



X-Kreuzung
komprimiert



X-Kreuzung Seitenansicht/Detail

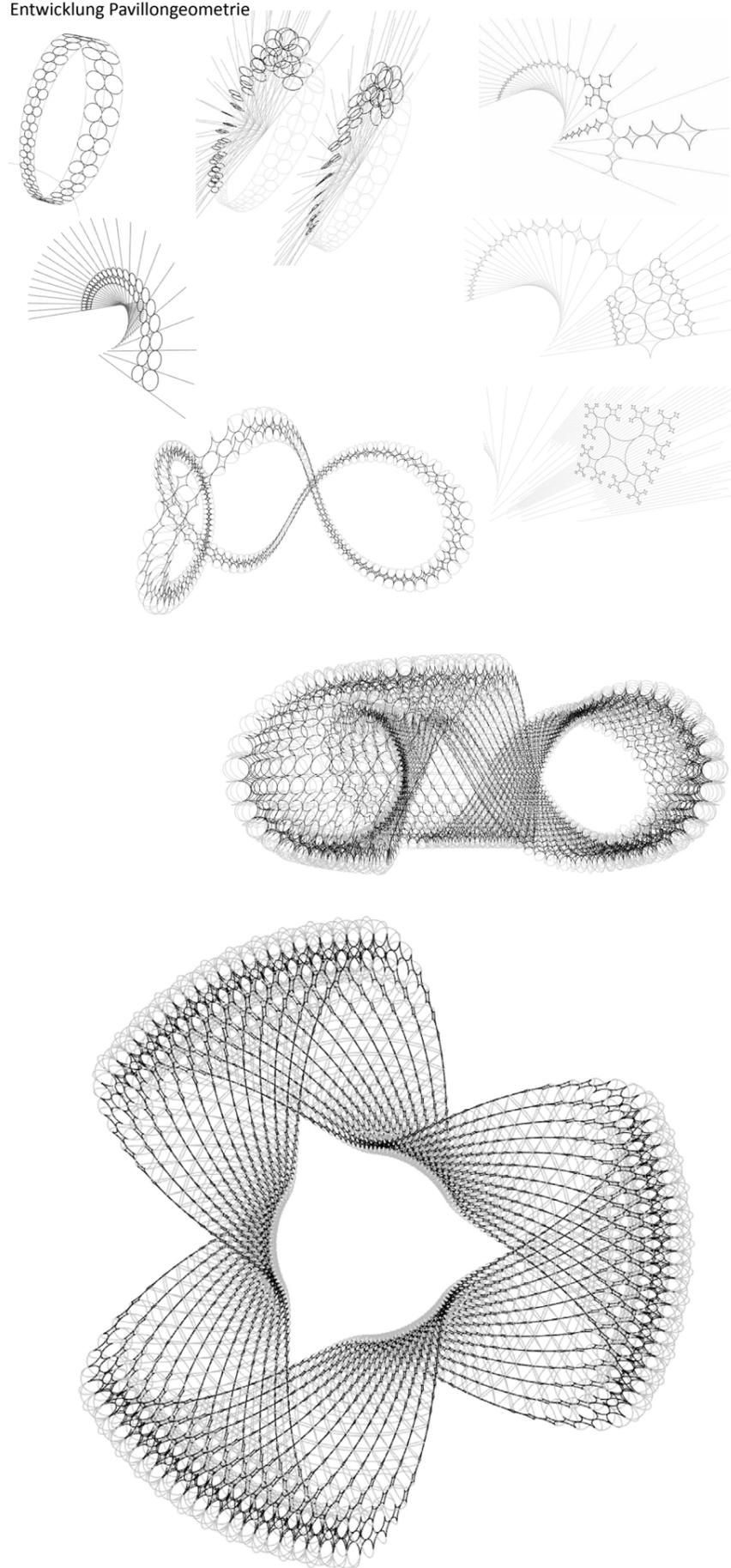
räumliche Variationen mit differenzierenden Faltmechanismen

Erst im späteren Verlauf (Seite 118) wurden diese Entwicklungen wieder aufgegriffen und mit Bedacht auf die ideale Komprimierbarkeit fortgesetzt. Auch sollten, neben dieser ersten Möglichkeit das entwickelte Flächensystem räumlich anzuwenden, auch noch weitere Lösungen mit diesem Ziel folgen, deren Faltmechanismen sich von den hier entwickelten signifikant unterscheiden (Seiten 120, 121 und 134 bis 143).





Entwicklung Pavillongeometrie



Pavillonentwurf

Endlosschleife

Aus den erarbeiteten Studien zu Pavillon-Geometrien (Seite 97) wurde ein Torusausschnitt gewählt und weiterentwickelt. Wie sich durch vorausgehende Studien weitgehend unerwartet herausstellte, führen dabei Zellreihen bzw. Knotenebenen nach diagonaler Strukturanordnung über drei Schleifen wieder zurück an ihren Ausgangspunkt. Damit einher geht ein sich dreimal wiederholender Größenverlauf bei kleinen innenliegenden sowie großen außenliegenden Strukturbereichen.

Für die Entwurfsgeometrie wurden Zellgrößen bzw. Knotenbreiten von je 15° gewählt, was bei voller Torusfläche 24 diagonale Strukturebenen ergibt, wovon für die geplante Konstruktion 12 Ebenen – also die halbe Gesamtfläche – zu realisieren wären.

Durch die sich wiederholenden Zellgrößen musste zur digitalen Modellierung lediglich 1/6 einer durchlaufenden Strukturebene konstruiert werden, um durch deren mehrfaches Kopieren und Rotieren die Endlosschleife zu vervollständigen.

Aufbauend auf vorherige Entwicklungen, wurden zwar noch weitere Variationen angedacht, jedoch wurde schließlich an der Ausführung des flächigen Grundsystems festgehalten.

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



Entwurfsmodell

Entwurfsmodell – Großmodell

rund 1/3 als Großmodell materialisiert

Von diesem Torusausschnitt bei diagonaler Strukturausrichtung wurde knapp 1/3 bzw. etwas mehr als ein gesamter Größenverlauf als Modell realisiert. Mit der Größenänderung im Strukturverlauf – Ebenenstärken reichen von etwa 10 cm bis ca. 50 cm – werden auch die eingesetzten Materialstärken der linearen Elemente variiert – von 1,0 mm bis 3,2 mm Durchmesser.

Der so modellierte Teil – bei einer Fläche von rund 1,5 m bis 5 m x 8 m – setzt sich aus Elementen mit einer Gesamtlänge von über einem Kilometer zusammen; der gesamte Torusausschnitt käme auf eine Distanz von 4.196 m.

Länge linearer Elemente	
Entwurf	4.196 m
Modell	~ 1.000 m

Materialstärken	
	1,0 mm bis 3,2 mm

Ebenenstärken	
	ca. 10 cm bis ca 50 cm



Helixfaltung, Faltrichtung und Wendepunkt



Entwurfsmodell unkomprimiert



Komprimierungsprozess



komprimiert

kontinuierlich flächige Helixfaltung

Die – wie zuvor erkannt – prinzipiell kontinuierlich flächig fortsetzbare Radialfaltung kann erst durch stetige Überlagerung der fortlaufenden Krümmung bzw. durch eine durchgängige *Helixfaltung* tatsächlich endlos weitergeführt werden.

auftretende Nebeneffekte

Im Falle der entworfenen bzw. materialisierten Entwurfsgeometrie treten dabei im Faltprozess – als ungeplante, noch vor dem ersten Einfalten erkannte Nebeneffekte der diagonalen Strukturausrichtung sowie der damit einhergehenden, ebenfalls diagonal gerichteten Komprimierung – unterschiedliche strukturbedingte Eigenheiten dieser Helixfaltung auf:

Richtung vorgegeben

So stapeln sich Bereiche unterschiedlicher Größe ineinander, bei radialer Faltweise sollten folglich kleinere Bereiche innen, und größere außen liegen, sodass sich diese möglichst wenig behindern. Daraus resultiert zunächst, dass die Falt- bzw. *Krümmungsrichtung* der Helixfaltung bereits strukturell *vorgegeben* ist.



Helixfaltung und Wendepunkt Detailsicht

Faltrichtungen zu Wendepunkt

Jedoch wechseln diese Größenunterschiede im Strukturverlauf mehrfach ihre Richtung – sodass sich bei gleichbleibender Helixfaltung bald kleine Bereiche an größere innenliegende Bereiche anreihen würden. So ergibt sich daraus des Weiteren die Ausprägung eines Wendepunktes dieser Krümmungsrichtung. Dieser liegt *exakt* an den Stellen kleinster bzw. größter Strukturbereiche – also an den Wendepunkten des Größenverlaufs.

Räumlichkeit

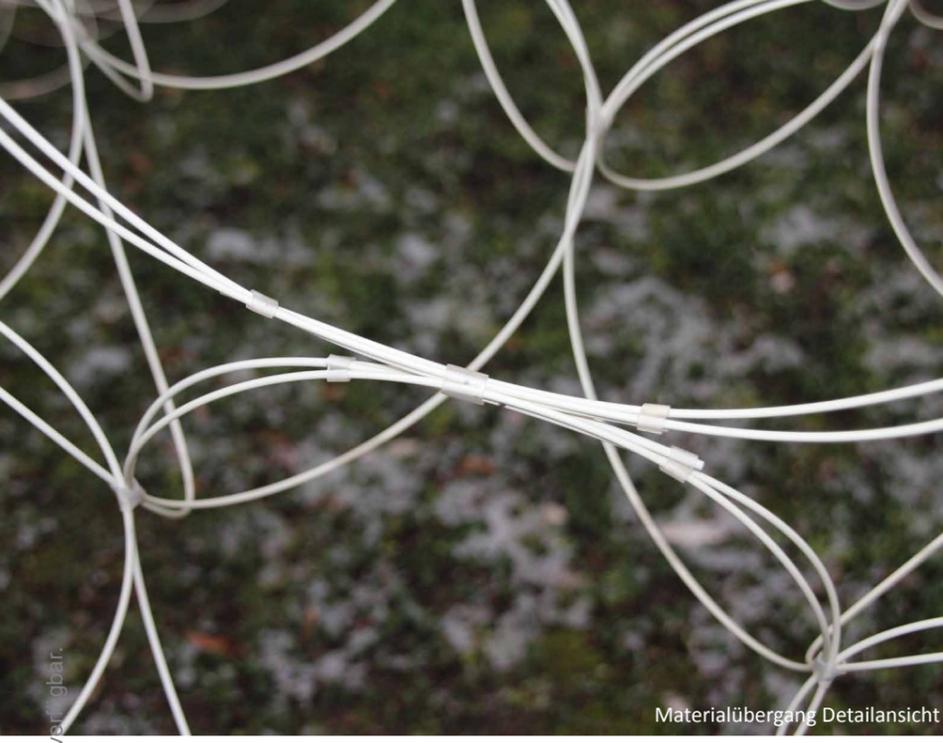
Die Komprimierung der materialisierten Konstruktion erfolgt daher von beiden Seiten ausgehend, sodass diese entgegengesetzten Helixfaltungen mittig aufeinanderstoßen. Einzig an diesem Punkt behält die – sonst kontinuierlich flächig umfaltende Struktur – ihre Räumlichkeit bis zu einem gewissen Grad. Analog zur bereits behandelten wellenartigen Form ändert sich die Ausrichtung von umfaltenden Knoten und Bögen – einhergehend mit deren räumlicher Aufsprezung, welche sich über mehrere Knotenlängen erstreckt.

Wellenform durch aktives Umfalten

Auch ein Umfalten in diese – zuvor selbstorganisierend aufgetretene – *Wellenstruktur* ist realisierbar; sie muss jedoch *aktiv geformt* werden. Eine kontinuierliche *Helixfaltung* ist demgegenüber – weil *eigendynamisch* weiterführend – die strukturbedingt wohl „natürlichere“ Faltmethodik.



Wellenform



Materialübergang Detailansicht



Detailansicht unkomprimiert



Verwindung unkomprimiert



maximale Komprimierung



2.2 Immanent Elasticity

Museum für Angewandte Kunst Wien

Kooperation mit *soma architecture*

Anfrage von *soma architecture*

Die folgende Entwurfsphase resultierte auf die *Anfrage von soma architecture* (Kristina Schinegger und Stefan Rutzinger betreuten auch die vorausgehend behandelte universitäre Lehrveranstaltung), ob das zuvor entwickelte Konstruktionssystem im Zuge einer Ausstellung im MAK Wien zur Anwendung kommen könne – sowie ob ich mich aufgrund meiner Erfahrung als dessen Begründer ebenso an der Entwicklung beteiligen würde. Wiederum wurde zu Beginn klargestellt, dass die folgenden Entwicklungen Teil des eigenen Entwurfsprozesses sind und damit einhergehend ebenso einen Teil der eigenen Diplomarbeit darstellen.

Die *Faltbarkeit* des Konstruktionssystems wurde mit der realisierten – rein statischen – Installation *nicht* direkt gezeigt, jedoch für deren Fertigung abseits des Ausstellungsraumes, für den Transport sowie die zwischenzeitliche platzsparende Lagerung genutzt.

Planungsphase (Detailplanung übernommen)

kooperative Wechselwirkung

Durch mehrere Treffen und mehrmaliges Abgleichen der Überlegungen bei sonst getrennt stattfindender selbstständiger Weiterentwicklung, wurde die Planung für die zu realisierende Konstruktion stetig vorangetrieben. Die zuvor angedachte potentiell förderliche kooperative Wechselwirkung – welche als äußerst relevant für die eigenen theoretischen Studien angesehen wurde und wird – funktionierte nur) bedingt.

extern erarbeitete Grundlage



Neuselektion aus vorausgehenden Studien

Einführung anderer in konstruktive Grundlagen

Anfangs steht die Einführung anderer in die konstruktiven Eigenheiten des selbst entwickelten und nun anzuwendenden Systems (nach 2 Wochen Beschäftigung war das wahrgenommene Verständnis weiterhin ausbaufähig).

Pilzstruktur als Neuselektion

Von externer Seite bezogen auf eine mögliche Installationsgeometrie erarbeitetes, beschränkte sich zu diesem Zeitpunkt auf eine freistehende Fläche – ohne Krümmung oder Größenvariation. So wurden jene vorausgehend erarbeiteten Überlegungen zur räumlichen Erstreckung der Struktur (Krümmung, Größenvariation,



Kreuzung, Radialflächen,..) dargestellt. Der Fokus lag schließlich auf der – bereits länger zurückliegend in Skizzen festgehaltenen – Anwendung als „Baum-“ bzw. „Pilzstruktur“ („Schwammerl“, Seite 87) – quasi als Neuselektion von bereits zuvor entworfenem. Die Möglichkeit wurde besprochen, den Ausstellungsraum durch eine Anordnung mehrerer dieser Baumstrukturen zu füllen.

getrennte Weiterentwicklung

In der Folge wurden diese Überlegungen getrennt voneinander weiterentwickelt, was zunächst in unterschiedlichen Entwicklungsrichtungen resultierte.

eigener Zugang aus Detaillösungen

Der eigene Zugang ist ausgehend von konstruktiven Detaillösungen – welche zur Differenzierung der daraus resultierenden Möglichkeiten wiederum erweitert wurden. Eine Problemstellung war dabei etwa die nach einfacher Anwendung ungeeignete Größenentwicklung in der Relation von oberen und unteren Strukturbereichen.

Erweiterung konstruktiver Möglichkeiten

So wurde zunächst die bereits zuvor angedachte Möglichkeit einer differenzierten *Strukturausrichtung* in Erinnerung gerufen, um aus einem solchen V- bzw. W-förmigen Knotenverlauf gefolgte Lösungsvariationen zu erhalten. Etwa könnten so – durch Skizzen ergründet – im oberen Bereich zusätzliche Strukturebenen geschlossen werden.

Scheitelpunkt

Auch wurde eine Aufgabelung der Stammstruktur in mehrere Äste angedacht und überlegt, welche konstruktiven Details hierfür nötig wären. Jener Punkt, an welchem einzelne Seitenbereiche sich mittig verzweigen, könnte dabei – als „Scheitelpunkt“ für ein flaches (und nicht wie zuerst angedacht spitzes) Auseinanderlaufen von Ästen – durch eine etwas abgewandelte Anwendung der angedachten Differenzierung der Knotenausrichtung gelöst werden. Als verbundene, jeweils in einem Winkel von 120° angeordnete Bereiche V-förmiger Strukturordnung resultiert daraus eine geschlossene, sich zentrisch erstreckende Fläche.

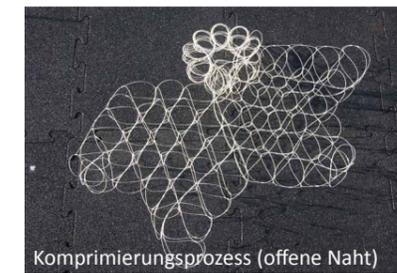
differenzierte
Strukturausrichtung

ideale Faltbarkeit während Materialisierung erfasst

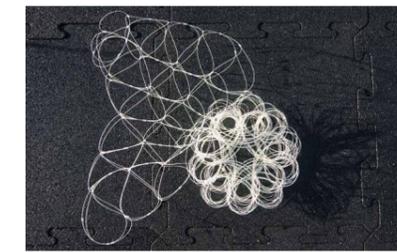
Die Faltbarkeit dieser Detaillösung wurde erst während des auf diese Überlegungen folgenden Materialisierungsprozesses gedanklich erfasst. Beim jeweiligen Strukturwechsel könnte – so angedacht – ein „Zusammenklappen“ von V-förmigen Ebenen gewährleistet werden. Im realisierten Modell resultierte dies – weitgehend unvorhergesehen – in einem direkten *Ineinandergreifen* bzw. fortsetzen angrenzender Radialfaltungen. Eine geschlossene Anordnung würde dies verhindern, die Komprimierung zu einer einzelnen Helix ist also nur möglich, wenn die Struktur an einer einzelnen „Naht“ nicht verbunden wird.



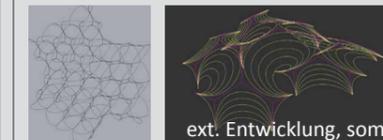
eigene Detaillösung
differenzierte Strukturausrichtung



Komprimierungsprozess (offene Naht)



komprimiert



Wiedervereinigung von Entwicklungslinien

Beim nächsten Treffen wurde ersichtlich, dass die sich zunächst trennenden Entwicklungslinien in weiterer Folge jedoch zur selben konstruktiven Problematik führten. Die einerseits entwickelte Lösung sollte so auch andererseits angewandt werden können: Sowohl eigene Überlegungen zur Variation unterschiedlicher baumartiger Stützen, als auch die externe Entwicklungslinie von sich vereinigenden, trichterförmigen Flächen als zusammenhängende wolkenartige Struktur (nach eigener Interpretation quasi der „Rest“ eines geschlossenen „Schwammerlwaldes“ nach Entfernen der unteren Stammen) wiesen jene durch die eigene Detailplanung zu realisierende Scheitelpunkte auf – wiederum ein Beispiel konvergenter Entwicklungen. Die von externer Seite entworfene Struktur war bezogen auf konstruktive Details noch nicht durchdacht. So sollte hierfür jene für eine andere Verwendung geplante Detaillösung herangezogen werden – angelehnt an diesen externen Entwurf als Y-Kreuzung sich aufzweigender Flächen (laut externer Interpretation als „L-System“). Die zunächst getrennten Entwicklungslinien wurden so wiederum zusammengeführt.

selbstständige Annäherung

In der Folge wurde durch selbstständiges Entwerfen ein Annähern an die getätigte Formvorstellung angestrebt – nach eigener Methodik und Interpretation. So führte dies – durch weitgehend feste Zielsetzung und einhergehende Vorwegnahme von Selektionsfaktoren – zu einer weitgehend gerichteten Entwicklung. Nur Selektionsschritte wurden gelegentlich mit externer Seite koordiniert.

weitgehend gerichtete Entwicklung

Aufgrund knapper Zeitressourcen sowie durch die Vorwegnahme von Zielvorgaben zeigt diese Entwurfsphase – um den Prozess stetig voranzutreiben – eine verhältnismäßig geringe Variationsbreite bei starker Selektion. Unterschiedliche nicht weiterverfolgte Entwicklungen, Variationen bzw. Erkenntnisse – etwa weiterführende Überlegungen zur Differenzierung der Strukturrichtung – bleiben jedoch für den eigenen zukünftigen Prozess relevant; Selektionsschritte sind nur bezogen auf dieses Einzelprojekt eliminativ.

Rastervariationen

Durch analoge sowie digitalisierte Skizzen wurden Rastergeometrien entwickelt, um die zuvor entwickelte Detaillösung anzupassen und eine Gekrümmtheit der außenliegenden Ebenen zu erreichen. Mit fortlaufender Annäherung zum Randbereich werden Zellreihen soweit verzerrt, dass sie in einer durchgehenden Rundung resultieren.

mit und ohne Mittelgrat
Auch von der ersten Lösung abweichende *Rastervariationen* wurden erarbeitet, etwa wurde die Möglichkeit der Ausprägung eines *mittigen Grates* erörtert.

Kreuzungspunkte verzerrt
Im ersten Strukturentwurf bleibt die Struktur in einem hexagonalen Bereich um die Kreuzungsmittelpunkte gänzlich regelmäßig, erst in den dazwischenliegenden Abschnitten treten Verzerrungen auf. So wurde erfolgreich versucht, diese Strukturverteilung *umzukehren* und die Regelmäßigkeit der Struktur *zwischen* diesen Kreuzungspunkten anzusetzen, Verzerrungen also direkt *an* diesen zu generieren. Dies resultiert zwar in einem gleichmäßigeren Übergang, welcher jedoch erst bei hoher Ebenenanzahl signifikant wird. In der angedachten Anwendung ist dies vernachlässigbar (Mehr Ebenen wären kleinteiliger, was sich auch auf die Dicke der Gesamtfläche auswirkt).

Randbereich unverzerrt
Eine weitere Rastervariation wurde so konzipiert, dass die gesteigerte *Regelmäßigkeit* einzelner Zellen an die *Randebene* verlegt wurde; Zellreihen also verzerrter werden, je weiter diese an der Mittelachse der Fläche liegen.

Unverzerrtheit reduziert
Des Weiteren wurde die Möglichkeit erörtert, den zunächst hexagonalen Bereich *ohne Verzerrung* auf ein *Dreieck* zu reduzieren. Ausgewählt wurde schließlich das *zuerst* entwickelte Rastersystem.

freie Erstreckung

Die folgenden Studien wurden zur schnellen Erkenntnisfindung zunächst wiederum geometrisch vereinfacht erstellt.

Bei einer Anordnung als *flächiges* Raster würden sich die verzweigenden Flächenbereiche bereits nach drei aneinandergereihten Kreuzungen *gegenseitig behindern*.

Verwindung
So wurde zunächst versucht, dies durch gleichmäßige *Verwindung* im dadurch räumlichen Strukturverlauf zu umgehen. Einzig durch diese Maßnahme kommt es nach einigen Schritten jedoch ebenfalls zu einer solchen Behinderung durch das *Verschneiden* einzelner Bereiche.

Größenverlauf
Nun wurde versucht, dies durch eine zusätzliche Verjüngung bei fortlaufender Entfernung vom Ausgangspunkt bzw. einem *Größenverlauf* mit Faktor 1,5 je Kreuzungspunkt zu lösen. Durch diese Maßnahmen wird schließlich eine ungehinderte Erstreckung im Raum ermöglicht.

Auch zusätzliche seitendifferenzierte Größenvariation sowie zusätzliche Verkrümmung in den Kreuzungsbereichen wurden durch Skizzen ergründet, jedoch *nicht weiterverfolgt*. Dasselbe gilt für weitere Variationen der Struktur- bzw. Faltrichtung, um die bereits zuvor erkannte eingeschränkte Falbarkeit der Fläche im gänzlich geschlossenen Zustand zu *umgehen* und die Konstruktion so zu konzipieren, dass diese als Gesamtheit zu einer durchgehenden Helix komprimierbar wäre.

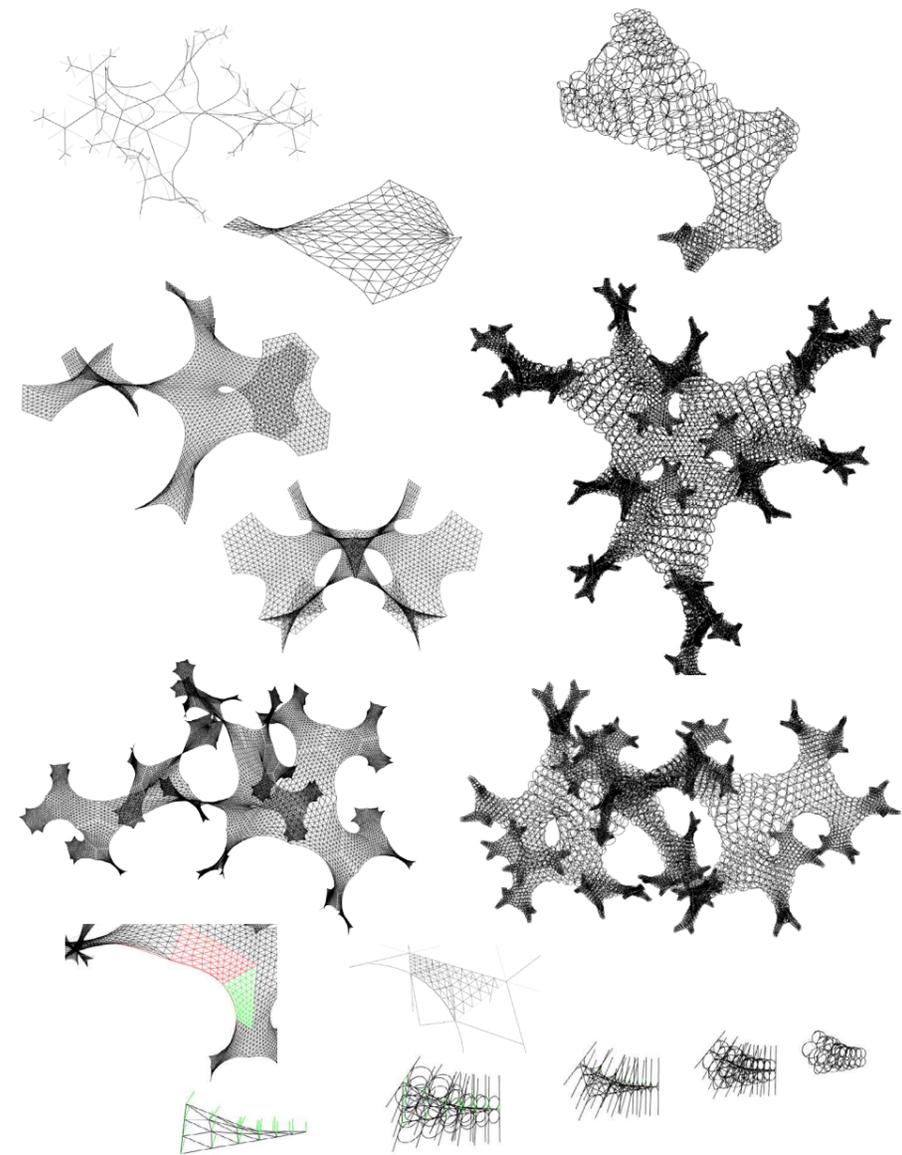
nicht weiterverfolgte Adaptionen

Gesamtgeometrie

Nachdem das detaillierte, verwendete Rastersystem generiert wurde, wurden mehrere Variationen der *Gesamtgeometrie* angedacht und in Bezug auf deren Anwendung als begehbare Installation gedanklich überprüft. Eine gänzlich regelmäßige Anordnung der grundlegenden Variante mit konstanter Verkleinerung im Faktor 1,5 schien – raumbildend wie optisch – wenig vielversprechend.

Lösung kopfüber liegend
Erst als stellenweise Unregelmäßigkeiten eingearbeitet wurden, konnte mit dem Größenverlauf *klein – groß – klein – sehr klein* eine passende Ausführung gefunden werden. Bezogen auf deren Anwendbarkeit erschien diese jedoch zunächst noch *kopfüber liegend* – umgedreht sollte hingegen ein Unterschreiten bzw. Durchschreiten der sich über den Besuchern hinweg sowie zwischen diesen erstreckenden Konstruktion ermöglicht werden. Neben der Funktionalität schien diese Verteilung auch optisch ansprechend, was ebenfalls zu deren Auswahl beitrug.

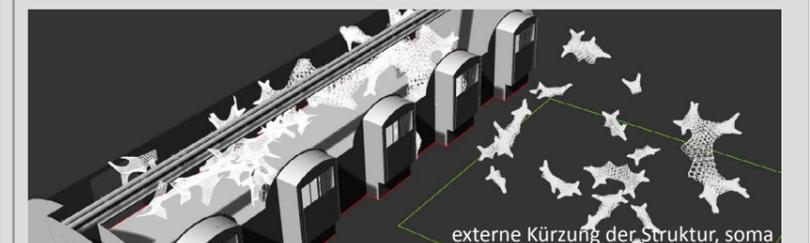
Elementoptimierung
Durch die gewählte Strukturverteilung wären eigentlich *zwei* sich geringfügig unterscheidende Elementierungen nötig – abhängig davon, ob aneinandergereihte Elemente in ihrer Größe variieren oder gleichen. Dies wurde durch die Konstruktion eines – geometrisch zwischen diesen beiden liegenden – Rasterelements optimiert. Für die Materialisierung wird folglich – im jeweiligen Faktor skaliert – nur *eine einzelne Segmentgeometrie* benötigt. Dieses Rastersegment wurde in der Folge in Bezug auf das tatsächliche Konstruktionssystem durchgeplant um jene für die Realisierung benötigten Längenverhältnisse zu erhalten.



Entwicklung Installationsgeometrie

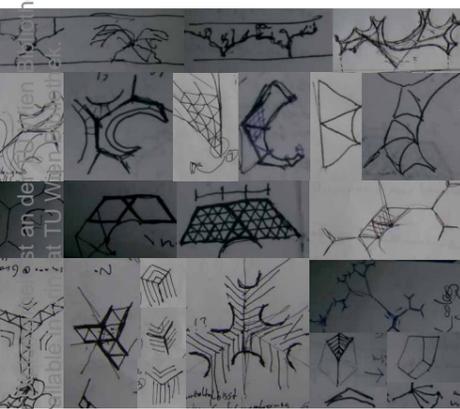
von externer Seite gekürzt

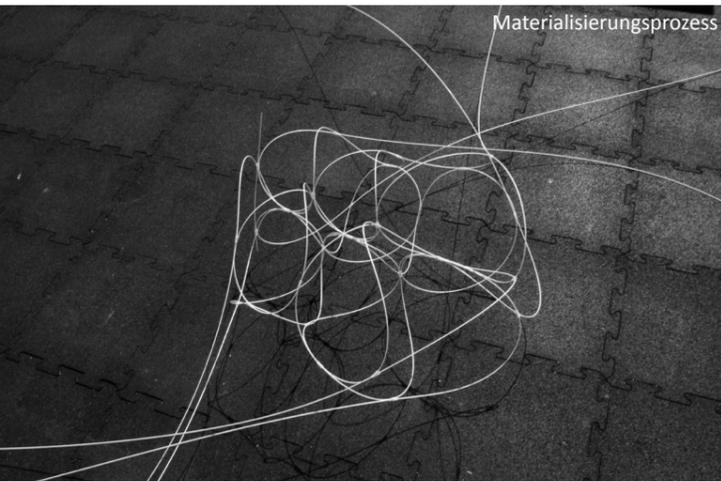
Das durchkonstruierte, für die Realisierung durch einheitliche Elementierung bereits optimierte System wurde schließlich – mit Bedacht auf den auszufüllenden Raum – von externer Seite doppelt positioniert und stellenweise gekürzt, was wiederum in zusätzlichen Unregelmäßigkeiten resultierte. Nach der selbst durchgeführten tabellarischen Ermittlung der Längen einzelner zu materialisierender Elemente, sowie der aus diesen (aufbauend auf eigenen Erfahrungen) ermittelten Materialstärken, wurden die passenden GfK-Elemente sowie Silikonschläuche besorgt, um sogleich mit der Realisierungsphase beginnen zu können.



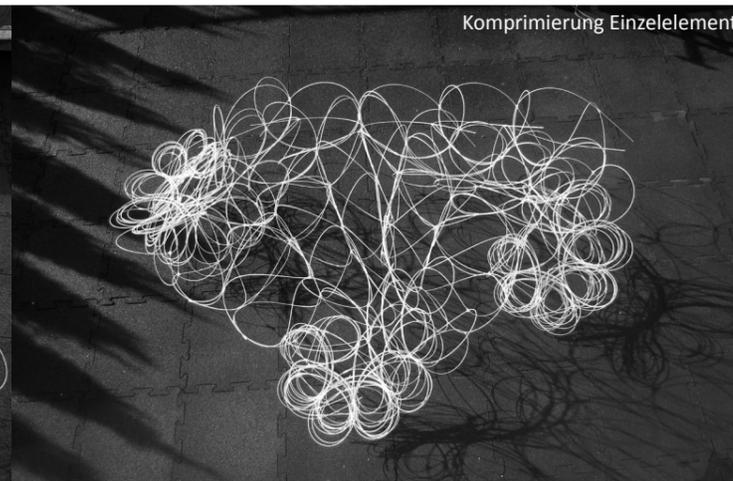
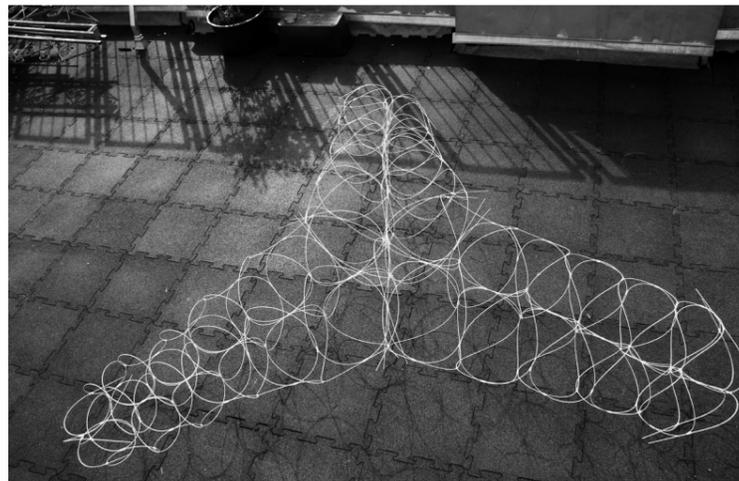
externe Kürzung der Struktur, soma

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

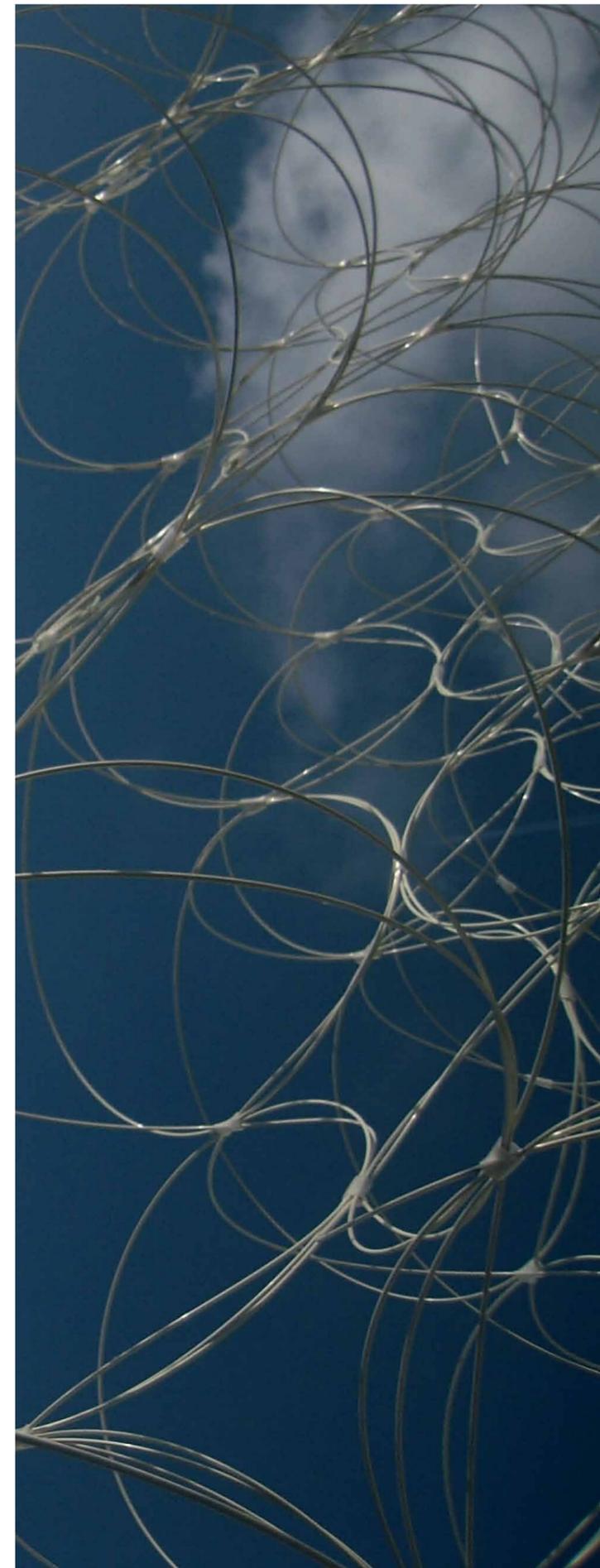
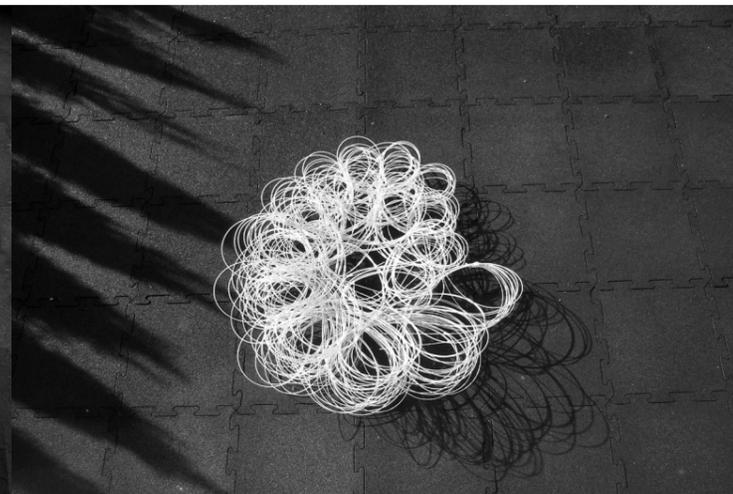
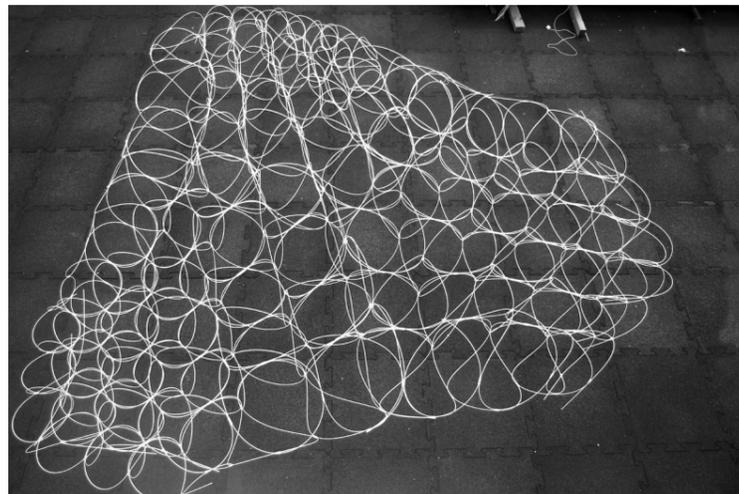
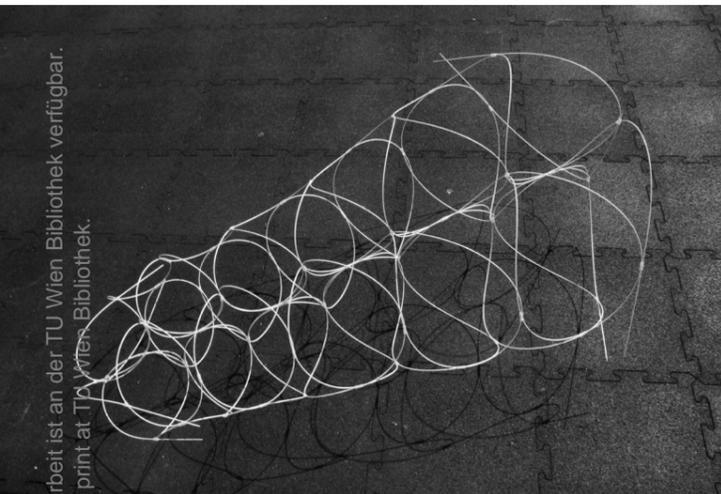




Materialisierungsprozess



Komprimierung Einzelement



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



Realisierungsphase (Projektleitung)

Fertigung von Einzelementen

Die Modellierung einzelner – zunächst getrennt gefertigter – Elemente unterschiedlicher Materialstärke und Abmessung geschah individuell durch das 4-köpfige Konstruktionsteam. Bei den größten Elementen greifen jeweils sechs (3x2) gleich große Segmente ineinander. Wiederum wurde eine „Naht“ nicht geschlossen, um die Faltbarkeit für Lagerung und Transport weiterhin zu gewährleisten. Die daran anschließenden kleineren „flügelartigen“ Elemente wurden aus jeweils vier (2x2) Segmenten gefertigt, welche zunächst ebenfalls komprimiert und erst beim späteren Aufbau mit den jeweils größeren Abschnitten verbunden wurden.



Entfaltung Einzelement mit Größenvergleich

Lagerung und Transport

Die für die Entwicklung des Konstruktionsystems grundlegende, jedoch im Zuge der Installation nicht dargestellte Faltbarkeit der Struktur erlaubte durch platzsparende Lagerung und problemlosen Transport der Elemente deren Fertigung außerhalb des Ausstellungsraumes. Erst in diesem sollten sie zusammengesetzt, positioniert und inszeniert werden.



Komplettierung

Bei Verfügbarkeit der Ausstellungs-räumlichkeiten und nach erfolgtem Transport, wurden getrennt gefertigte Elemente vor Ort entfaltet und miteinander verbunden. Ausstehende Nähte der großen Teile wurden vervollständigt, daran anschließende Abschnitte wurden an diese angebaut. Aufgrund ihrer Verformbarkeit konnte dabei die gesamte Struktur am Boden liegend komplettiert werden.

Die zunächst noch vorhandene schützende Bodenabdeckung der zuvor neu gestalteten Räumlichkeit wurde im Laufe dieses Prozesses entfernt.

Positionierung

In der Folge wurden alle Aufhängungspunkte – an Kreuzungspunkten der schwereren sowie weitgehend horizontal ausgerichteter Elemente – aus der digitalisierten Installationsgeometrie ermittelt sowie mithilfe von laserunterstützten Messgeräten auch im Ausstellungsraum ausgemessen, am Boden markiert und anschließend auf die Decke projiziert, um die jeweiligen Verankerungen zu montieren. Der Reihe nach wurden die Befestigungspunkte der verbundenen Struktur an den Ankerpunkten mit transparenten Nylonschnüren angehoben und in geeigneter Höhe fixiert.

Inszenierung

Für die Ausleuchtung der Struktur wurden von Seite des Museums variabel einzusetzende Lichter zur Verfügung gestellt und an der durch den Raum führenden Mittel-leiste montiert.

Des Weiteren wurde – um Kontraste optisch besser hervorzuheben – die rückseitige Wand in derselben Farbe gestrichen, welche auch die Bodenfläche aufweist. Die richtige Ausleuchtungsweise wurde schließlich in Koordination aller im Planungs- und Realisierungsprozess beteiligten Personen gefunden und festgelegt.



Transport komprimierter Einzelemente



Positionierung und Inszenierung



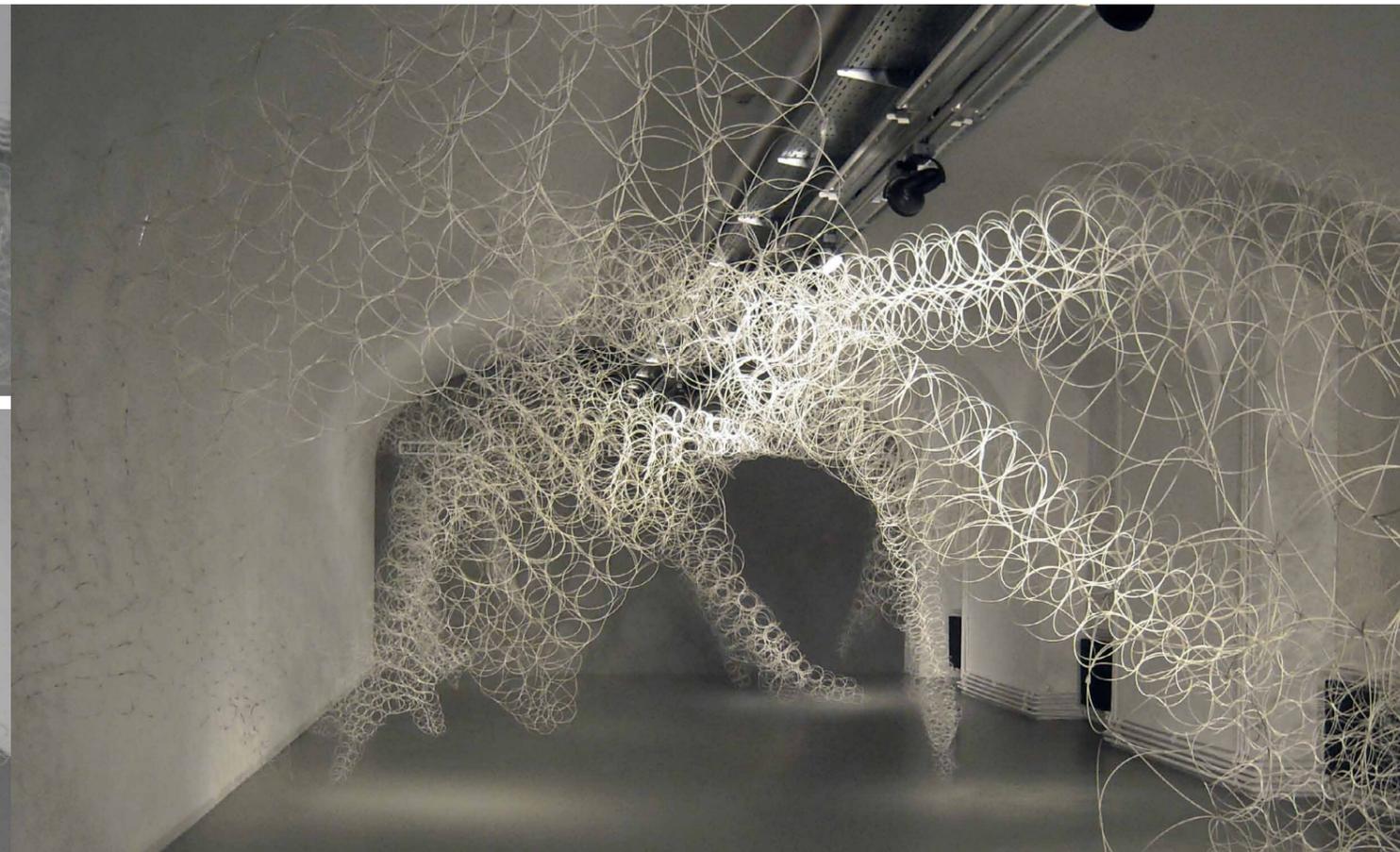
Entfaltung von Einzelementen



Verbindung von Einzelementen



Komplettierung



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





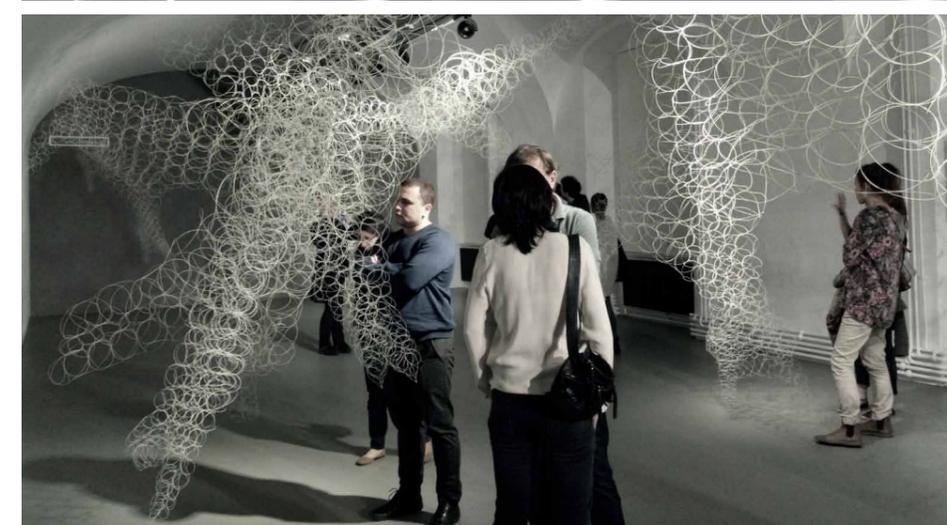
fertiggestellte Rauminstallation
4-köpfiges Konstruktionsteam

Museum für angewandte Kunst Wien

„Immanent Elasticity“

in Kooperation mit
soma architecture

MAK DESIGN LABOR
Ausstellungseröffnung im
Zuge der Feierlichkeiten
zum 150-jährigen Bestehen
des MAK Wien



Ausstellung „Immanent Elasticity“

13. Mai 2014 bis 14. September .2014

Ausstellungseröffnung

Nach erfolgreicher Fertigstellung der Installation fand die gut besuchte *Ausstellungseröffnung* im Zuge der Feierlichkeiten zum *150-jährigen Jubiläum* des *Museums für angewandte Kunst Wien* statt, einhergehend mit der Eröffnung des zu diesem Anlass neu sowie modern gestalteten *MAK Design Labors*.

**„Ein federleichtes
Gebilde schwebt in
der MAK-Galerie.
Ein wolkenartiges
Ensemble aus
weißen, miteinander
verflochtenen
Schleifen.“**

...
Der Entwurf für die
begehbare Raum-
installation basiert auf
einer Diplomarbeit an
der TU Wien und
entstand in Teamarbeit
zwischen Architekten
und Studenten.“

derStandard artpaper Mai 2014

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

Ausstellungseröffnung
MAK Design Labor



2.3 freie Weiterführung praktischer Studien

freie Erweiterung konstruktiver Entwicklungslinien

Bereits begonnene Entwicklungslinien wurden nun vertiefend fortgesetzt und ausgeweitet – um weitere konstruktive Möglichkeiten zu ergründen, sowie den im Zuge dieser Arbeit behandelten Entwurfsprozess voranzutreiben und so ebenfalls jene damit einhergehenden methodik- bzw. themenbezogenen Erkenntnisse theoretischer Studien auszubauen bzw. direkt zu überprüfen.

Weiterführung Kreuzungsstruktur

Zunächst wurde die Struktur jener im Zuge der vorangehenden universitären Veranstaltung entwickelten Kreuzungsvariation (Seiten 98 bis 99) bezogen auf deren Faltbarkeit weiterentwickelt und als sich im Winkel von 120° räumlich mehrfach verzweigende bzw. mehrere „Nischen“ bildende Konstruktion im Großmodell realisiert. Durch schrittweises Umfalten ist es dabei möglich alle Einzelabschnitte zu einem gemeinsamen sowie sich geometrisch ideal überlagernden komprimierten Stapel optimal zu falten.

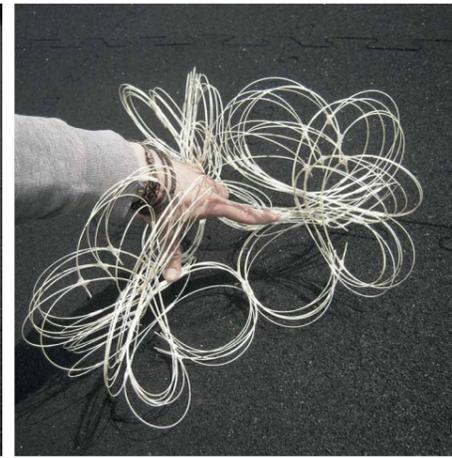
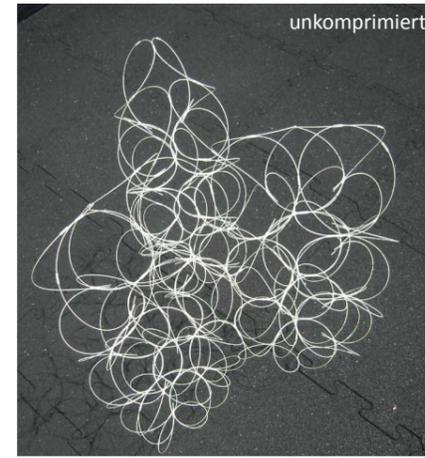
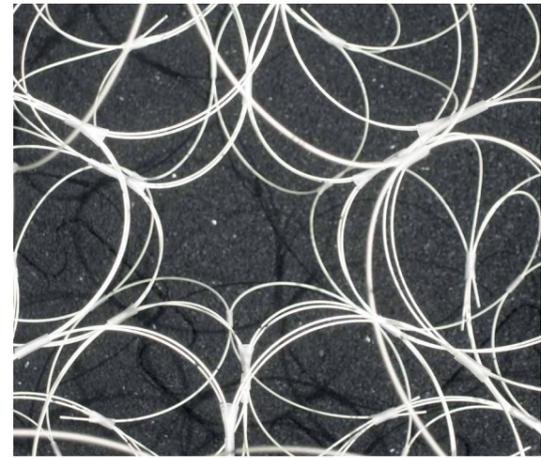
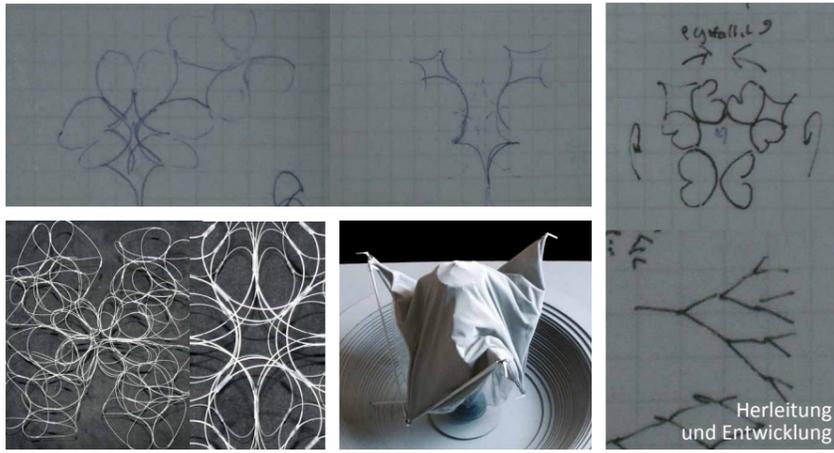
experimentelle Grenzwertermittlung

Ein Augenmerk bei der Materialisierung lag auf den – auch aus der Skalierung resultierenden – höheren Anforderungen bezogen auf das Verhältnis von *Eigengewicht*, *Materialstärke* und erforderlicher *Eigenspannung* der Struktur. So wurde versucht, den Materialverbrauch sowie das Eigengewicht zu minimieren bzw. bezogen auf die gewählte Materialstärke bei großer Zellabmessung möglichst viele Ebenen zu realisieren. Durch die zur experimentellen Ermittlung gewählte, sich im Verzweigungsverlauf differenzierende Höhenentwicklung – von vier bis hin zu sechs Strukturebenen – stellte sich so etwa heraus, dass jenes am höchsten Kreuzungspunkt befindliche Turmelement sein Eigengewicht nur in Kombination mit angrenzenden Abschnitten, nicht aber alleine stehend tragen kann.



Großmodell Kreuzungsgeometrie Aufsicht

komprimiert



räumlich fortlaufende Helixfaltung

spontane Lösung bekannter Fragestellung
Über längere Zeit wurde – wegen des daraus wohl resultierenden Potentials innovativer Entwicklungen – erwogen bzw. die Möglichkeit „erseht“, auch räumliche Verzweigungen durch die zuvor entwickelte fortlaufende flächige Helixfaltung zu komprimieren. Es wurde bei gelegentlichem Skizzieren einzelner Ansätze quasi auf die Lösung bzw. das eigene Erkennen einer Möglichkeit hierfür gewartet – erste Überlegungen schienen noch nicht gänzlich zielführend. Durch die spontane Verbindung unterschiedlicher Erkenntnisse bzw. durch die Kombination vorausgehender Entwicklung konnte schließlich doch eine Lösung hierfür gefunden werden.

Verschiebung von Eckpunkten

Beim genaueren Betrachten der zuvor entwickelten X-Kreuzung (Seiten 100 bis 101) in einem teilkomprimierten Zustand, wurde eine ähnliche Dynamik erkannt, wie bei der faltbaren Struktur des lange zurückliegenden Mondentwurfs (Seiten 17 bis 19). Bei der Kreuzungsgeometrie falten mittig liegende 4-eckige Knoten beim Kollabieren wegen ihrer Instabilität um. Wie schon in anderen Entwicklungen bewegen sich jeweils zwei Knotenpunkte nach oben, die anderen zwei nach unten, was hier jedoch – durch die Ebenweise versetzte Anordnung sowie durch die wirkenden Kräfte in jenen durchgehenden Knotenreihen – nur begrenzt möglich ist.

Auch beim *Mondprojekt* tritt ein solches gegenseitiges Verschieben von Knotenpunkten auf – durch die hexagonale Geometrie jedoch mit jeweils drei Eckpunkten nach oben bzw. unten. An jeweils drei Seiten bewegen sich Knotenpunkte also in dieselbe Richtung.

Hexagonalknoten

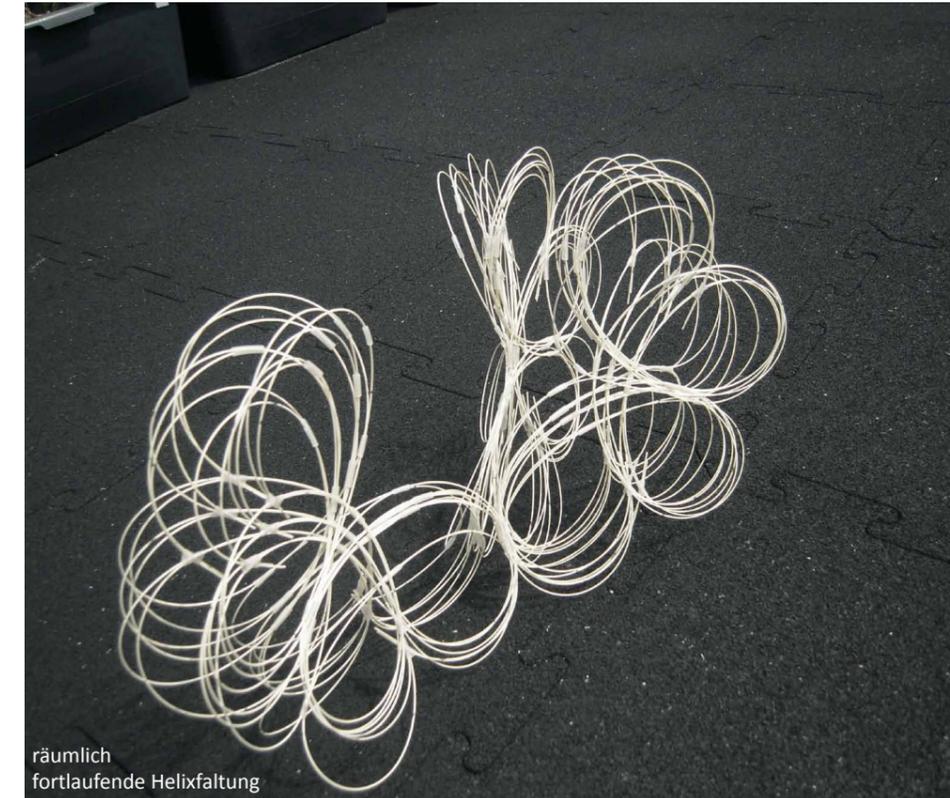
So wurde angedacht, an einem solchen Hexagonalknoten in drei Richtungen Flächenabschnitte anzusetzen. Im Komprimierungsvorgang könnte hiermit die Faltrichtung einer Teilfläche durch die daraus verzweigenden Bereiche fortgesetzt werden, wobei Mechanismen von Hexagon und Falfläche quasi „vereint“ werden sollten.

Überlagerung von Helix- und Hexagonalfaltung

komprimierte Seitenabschnitte unerwartet gegenseitig klappbar

Ein zusätzlicher – erst durch die Materialisierung ersichtlich gewordener – (Neben-)Effekt ist, dass einzelne Seitensegmente im gefalteten Zustand gegenseitig klappbar sind. Dies führt dazu, dass die Struktur durch ein solches Umfalten weiter komprimierbar ist, als zuvor angenommen. Zwar wird des Weiteren durch diese freie Beweglichkeit die fortlaufende Helixfaltung nicht erzwungen, sondern nur ermöglicht. Andererseits würden selbst bei größeren bzw. sich mehrfach aufzweigenden Ausführungen jene umklappenden Teile sich direkt überlagern und innerhalb sonst gleich bleibender Rotationsgeometrie bzw. Helix lediglich einen Richtungswechsel darstellen.

Auch ein solches Erzwingen der Beibehaltung der jeweiligen Helixrichtung könnte wohl strukturell ermöglicht werden; etwa durch eine gezielte direkte Verbindung der – alle zwei Ebenen auftretenden – in dieser Ausführung noch getrennten Knotensysteme. Indem diese um jeweils zwei Bögen erweitert werden, könnte – ähnlich zu vorausgehenden Ansätzen (Skizzen) – die Faltrichtung eines Seitenabschnitts direkt auf die davon abzweigenden Abschnitte weitergeleitet und damit einhergehend ein Umklappen einzelner Helixsegmente verhindert werden.



weitgreifende Herleitung für einfache Lösung

Zwar wurde die Lösung anhand dieser weitgreifenden Herleitung entwickelt – das Ergebnis stellte sich demgegenüber jedoch als überraschend unkompliziert heraus, was bei der Skizzierung besagter Gedanken erkannt wurde (Notiz „wäre witzig“). Die Struktur ist genau genommen lediglich der einfache Zusammenschluss dreier Flächensegmente bereits etablierter Bauart – ohne Bedarf einer zusätzlichen Mittelstruktur. Durch die versetzte Knotenanordnung findet sich ein solcher Zusammenschluss bzw. Hexagonalknoten nur an jeder zweiten Knotenreihe.

Aufgrund der umfangreichen Faltmöglichkeiten und des aus diesen resultierenden Innovationspotentials, war die nun erfolgende *Wiederaufnahme* der durch bereits länger zurückliegende Studien eröffneten Entwicklungslinie der *würfelförmigen Struktur* (Seiten 88 bis 89) stets vorgesehen.

Weiterführung Würfelgeometrie

Kombination mit Membran

Zunächst wurde – wie ebenfalls bereits über längere Zeit angedacht – begonnen, lineare Raumstrukturen mit Membranen zu kombinieren. Hierfür wurden alle Seitenflächen der Würfelgeometrie getrennt voneinander gefertigt und so vernäht, dass jene an den Kanten liegenden Kanäle die stützende lineare Struktur zur Gänze einschließen.

Dass dies in Relation zu rein linearen Modellierungen mit weit mehr Zeitaufwand verbunden ist, wurde erwartet und bestätigt.

Ebenfalls bestätigen sollte sich das verhältnismäßig *eingeschränkte Faltpotential* dieser nun *umhüllten Würfelgeometrie* – nur wenige Umformungen werden ermöglicht. Auch wurde bereits während des Materialisierungsprozesses durch gezielte Membranausrichtung (Fasersrichtung) versucht, auf Transformationsmöglichkeiten bewusst einzuwirken.

kleinstmögliche Komprimierung

Erst im Zuge dieser Wiederaufnahme der würfelförmigen Geometrie – einige Zeit nach ihrer ursprünglichen Materialisierung – wurde überlegt, was deren *kleinstmögliches* Faltpattern bzw. Komprimierungsstadium sein könnte. Durch Interaktion am Modell konnte die optimale Faltung schließlich unerwartet schnell – innerhalb von nur wenigen Handgriffen – gefunden werden.

Die ersten zwei hierfür nötigen Umfaltungen wurden bereits zuvor erkannt (1. Positionsänderung zweier Außenkanten bzw. Umstülpen einer Außenfläche, 2. Überlagerung der zwei seitlichen Bereiche durch Einstülpen). Werden in diesem Stadium nun seitliche Kanten zusammengeführt, so findet zunächst eine eigendynamische Verdrehung der gegenüberliegenden Außenteile statt, welche in der Folge erneut ineinandergestülpt werden können.

neuerliches Auftreten eindrehender Zellgeometrie
Als Resultat stellte sich jedoch nicht eine noch unbekannt Form heraus, sondern die *bereits weit zurückliegend entwickelte* Variation einer sich *eindrehenden Einzelzelle* (Seite 88). Folglich war auch die folgende letzte Komprimierungsstufe zu einer gänzlich flächigen Gestalt bereits bekannt.

neuerliches Auftreten von Tetraeder

Ebenfalls unerwartet sollte auch eine andere zuvor bereits modellierte Geometrie – das (abgestumpfte) *Tetraeder* – als Faltpattern des Würfels wiederkehren. Allerdings sollte es in diesem Fall längere Zeit dauern, bis die hierfür nötigen – zuvor beiläufig gesetzten – Handlungsweisen genau nachvollzogen werden konnten.

Demgegenüber wurde nach dem Auftreten dieser Strukturen schnell erkannt, dass wohl *außer* den bereits gefundenen *keine* gänzlich regelmäßigen Polyeder mehr zu finden sind, da sich bei gleichmäßiger Überlagerung von Eckpunkten diese um jeweils die Hälfte reduzieren müssen. Weitere räumliche Strukturen ähnlicher Symmetrie abseits der Geometrien mit jeweils 4 bzw. 2 Eckpunkten sind so mathematisch auszuschließen. Ebenfalls zu beobachten ist die stetige Reduktion der Kantenanzahl pro Seitenfläche (abseits der Knotenpunkte), welche sich von 4 – beim Würfel, auf 3 – beim Tetraeder sowie weiter auf 2 – bei der drehenden Zelle – reduziert.

Zeltfunktion

Weitere Formstudien galten – wie schon die realisierte Umhüllung der grundlegenden Würfelstruktur sowie die vollzogene Materialisierung als lineares Großmodell – der Erkundung der Möglichkeit funktional nutzbarer raumbildender Geometrien bzw. einer möglichen Anwendung als Zelt. Manche Faltpattern schienen dabei durchaus besser geeignet als die grundlegende Strukturanordnung – darunter etwa auch jene gezeigte, deren Grundlage der erste Komprimierungsschritt darstellt. Formerzwingende Membranen wurden dabei durch Schnüre simuliert. Als nicht gänzlich zufriedenstellend stellte sich etwa der geringe Widerstand bezogen auf seitlich angreifende Lasten heraus.

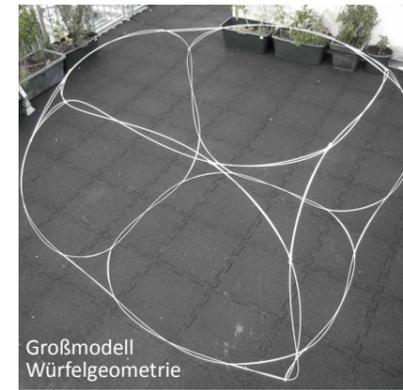


geschlossene Würfelgeometrie

Faltstadium



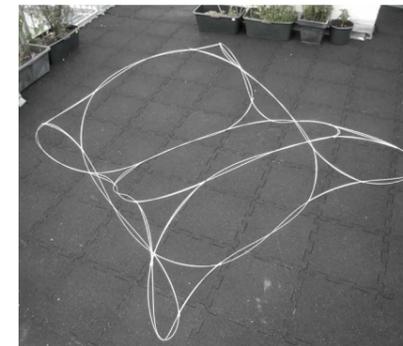
Faltstadium



Großmodell Würfelgeometrie



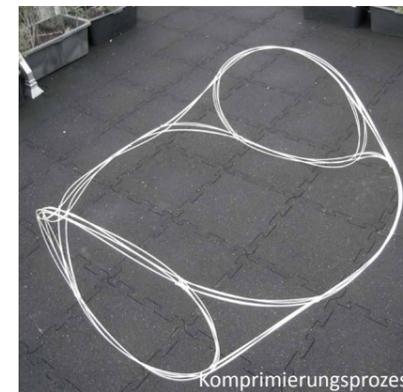
Tetraeder als Faltpattern der Würfelgeometrie



Komprimierungsprozess



Zeltstudie aus 1. Komprimierungsstadium



Komprimierungsstadium als eindrehende Zelle



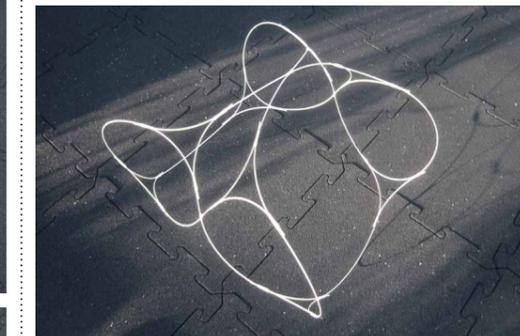
Würfelgeometrie komprimiert



Weiterentwicklungen auf Grundlage derselben Komprimierbarkeit

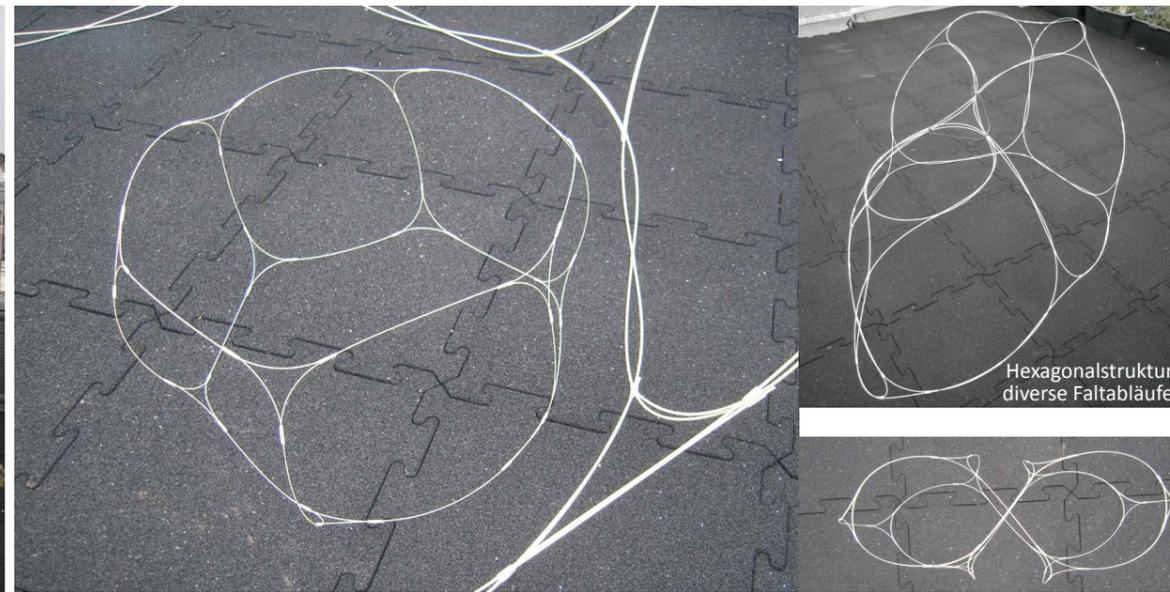
Strukturvariationen

Mit demselben Ziel der raumbildenden Funktion wurde des Weiteren – ausgehend von erkannten Faltpattern – begonnen, sich von der grundlegenden Würfelstruktur *unterscheidende* Variationen zu erarbeiten. Diese weisen zwar von dieser abweichende Elementanordnungen auf, sind jedoch anhand *desselben Prinzips* komprimierbar.

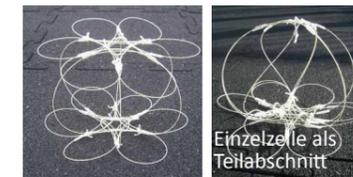
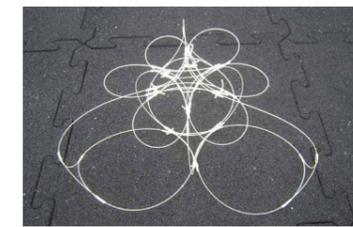
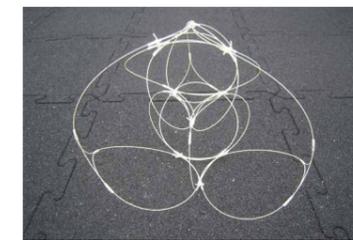
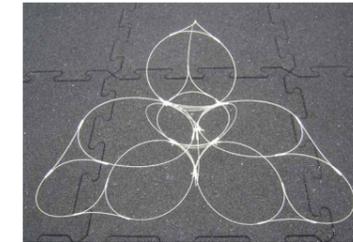
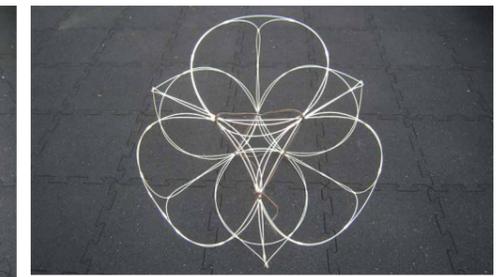
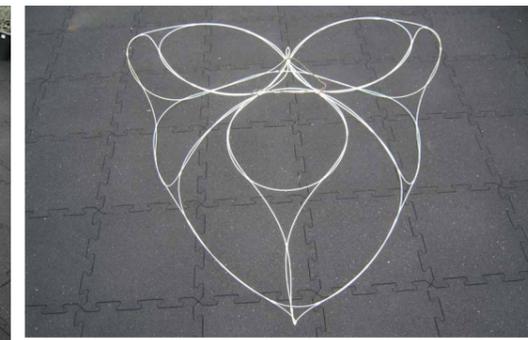




Hexagonalstruktur Großmodell



Hexagonalstruktur diverse Faltabläufe



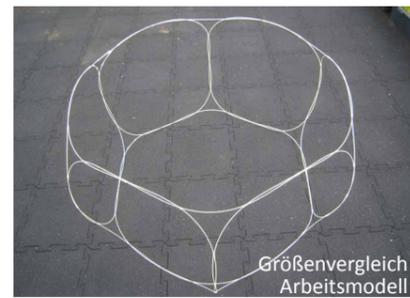
Einzelzelle als Teilabschnitt



Auftreten von Tetraeder ausgeschlossen

Auch die – wohl nicht gegebene – Möglichkeit des erneuten Erreichens eines *Tetraeders* als *Faltstadium* wurde – nach dem kaum aussagekräftigen Nichtauftreten durch physische Interaktion – gedanklich überprüft bzw. durch logische Folgerungen mathematisch *ausgeschlossen*. Zwar wäre in Bezug auf die zwölf Eckpunkte eine Überlagerung von jeweils drei Ecken zunächst denkbar; jedoch benötigen die sich überlagernden Knotenpunkte im Tetraeder zumindest drei dazwischenliegende Kantenlängen um wieder dieselbe Position zu erreichen. Bei der Würfelgeometrie ist dies bei gegenüberliegenden Ecken gewährleistet, jedoch nicht bei der Hexagonalstruktur, da es nicht möglich ist, ausgehend von einem Eckpunkt mit dieser Distanz zwei weitere zu erreichen, welche zueinander wiederum die nötige Entfernung aufweisen.

Würfelgeometrie zu hexagonaler Raumstruktur



Größenvergleich Arbeitsmodell

Hexagonalstruktur

Bei der Modellierung war angedacht, die Struktur zunächst nicht in diesem überkreuzten Zustand zu fertigen, sondern sie erst durch späteres Umstülpen der jeweils außenliegenden Bereiche zu diesem umzufalten. Da die Anordnung in Relation zur Würfelgeometrie nun zwei zusätzliche „Stützen“ aufweist, wurde diese entfaltene Form zunächst quasi als zusammengesetzte bzw. erweiterte Würfelgeometrie angedacht. Folglich wurde erst im fortschreitenden Modellierungsprozess ersichtlich, dass sich alle Bereiche durch die wirkenden Kräfte gleichmäßig verteilen und sich Elemente als regelmäßige *Hexagonalstruktur* anordnen.

zunächst als Großmodell gefertigt
Da zunächst als *Großmodell* gefertigt, stellte sich die Handhabung der Konstruktion und speziell ein Beibehalten der Übersicht beim Einleiten von Transformationen zunächst als schwierig heraus. Für die folgenden Experimente wurde sogleich zusätzlich ein kleineres *Arbeitsmodell* gefertigt, um auftretende – schließlich auch am Großmodell zu realisierende – Faltmechanismen an diesem überprüfen zu können.

Arbeitsmodell für experimentelles Erkunden

diverse Abläufe von Faltstadien
So konnten auch – abseits der (auf der nächsten Seite gezeigten) Komprimierbarkeit analog zu jener der Würfelstruktur – viele *neue* Faltmöglichkeiten gefunden werden, welche allesamt nicht erwartet wurden. Auch diese treten oft als unterschiedliche *Abläufe* diverser aufeinanderfolgender Faltstadien in Erscheinung. Unter den Ergebnissen finden sich wiederum einige für eine potentielle Anwendung als Zeltfunktion.

zusätzliche Möglichkeit flächiger Komprimierung

Zu erwähnen ist so des Weiteren das unerwartete Auftreten der anfänglich entwickelten, nicht drehenden *Einzelzelle* (Seiten 80 bis 81) – als *Teilabschnitt* in einem dieser Faltabläufe. So ist das Objekt – analog zur Faltung dieser bereits bekannten Geometrie – auch anhand dieses Verlaufs gänzlich flächig komprimierbar. Jedoch wird diese strukturelle Möglichkeit als kaum funktional nutzbar erachtet.

neuerliches Auftreten von Einzelzelle

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

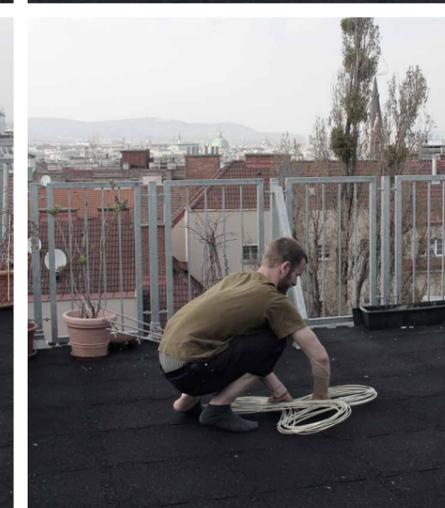
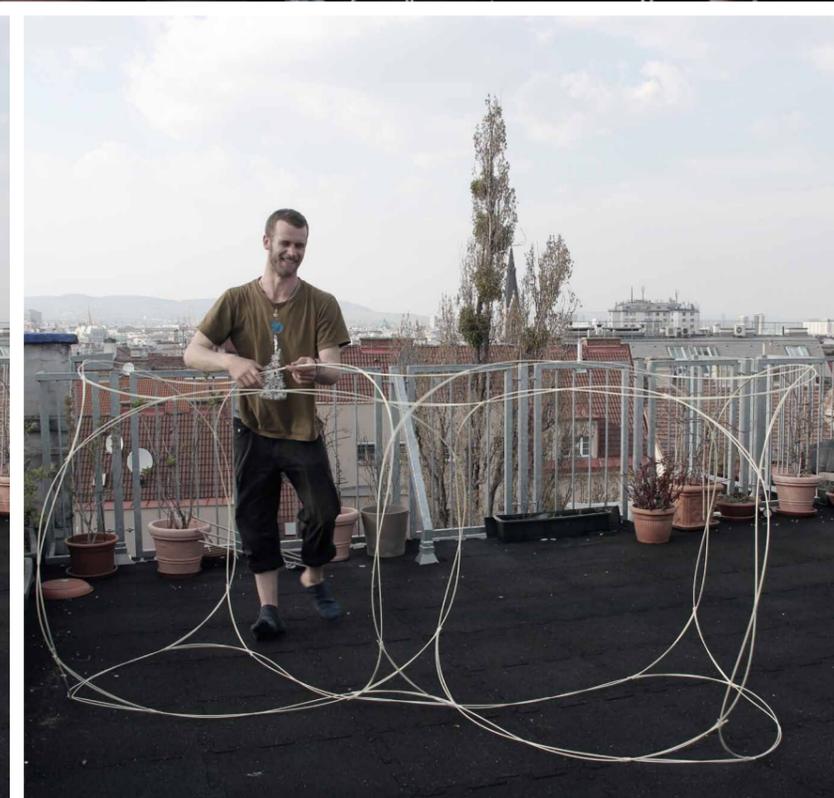




Hexagonalstruktur
Großmodell entfaltet



Komprimierungsprozess
analog zu Würfelstruktur



Komprimierungsprozess
von Hexagonalstruktur
analog zu Faltvorgang
würfelartiger Geometrie

Weiterentwicklung zu Tunnelgeometrie



entfaltet

faltbare Gewächshäuser
 Aus Überlegungen bezogen auf die Funktion komprimierbarer bzw. temporär genutzter *Gewächshäuser* – die Idee war aus der eigenen Gartenarbeit hervorgegangen – resultierte der nächste Entwicklungsschritt eines faltbaren *Tunnelgewölbes*.



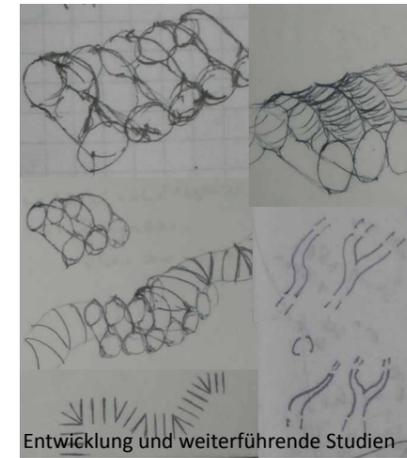
Tunnelgeometrie Komprimierungsprozess

Herleitung aus Komprimierungsstadium

Die bereits im Zuge der zuvor erläuterten Variation von zwei auf drei Abschnitte im ersten Komprimierungsstadium der Würfelgeometrie wurde weitergeführt und nun – als „Schlurf“ bzw. tunnelartige Geometrie – aus fünf überkreuzt aneinandergereihten Abschnitten realisiert.

Der Faltvorgang ist dabei analog zur Komprimierung von Würfel- und Hexagonalstruktur auszuführen, mit dem einzigen Unterschied, dass zunächst alle fünf Abschnitte der Reihe nach ineinandergestülpt werden. Die resultierenden Endgeometrien sind identisch, durch die mehrfache Strukturüberlagerung ist der letzte Komprimierungsschritt sowie dessen Fixierung jedoch mit größerem Kraftaufwand verbunden.

fünf jeweils überkreuzte Abschnitte



Entwicklung und weiterführende Studien

spezifische Elementierung

Die gewählte Elementanordnung bezieht sich dabei speziell auf diese bereits überkreuzte Struktur. Sie sollte möglichst wenige miteinander verbundene Einzelelemente bzw. aus diesen resultierende Materialübergänge aufweisen.

differenzierte Materialstärken

Zu erwähnen ist die bewusste Optimierung der Struktur durch Differenzierung der Materialstärke bei untenliegenden Elementen; Ohne diese würden selbst Bodenelemente eine starke Aufwölbung aufweisen. So muss dieser jedoch nicht aktiv entgegengewirkt werden, da untenliegende Elemente – welche schließlich fast nur Zugkräfte aufnehmen müssen – sich bereits durch das Eigengewicht der Struktur ebnen.

weiterführende Studien

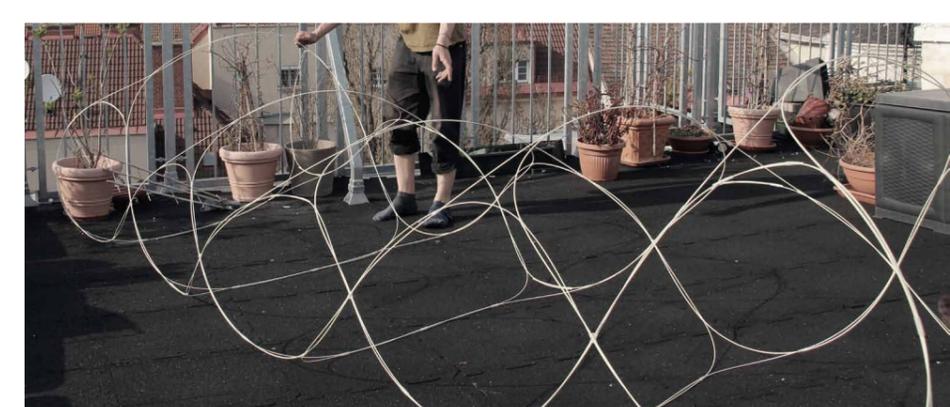
Des Weiteren wurde angedacht, diese Tunnelgeometrie auf noch größere Distanzen anzuwenden. Unter anderem wurde auch die Möglichkeit erkannt, dass anhand einseitiger Umfaltungen Richtungsänderungen zu realisieren sind. Auch an Studien zu sich verzweigenden Tunnelgeometrien wird gearbeitet.



Tunnelgeometrie komprimiert



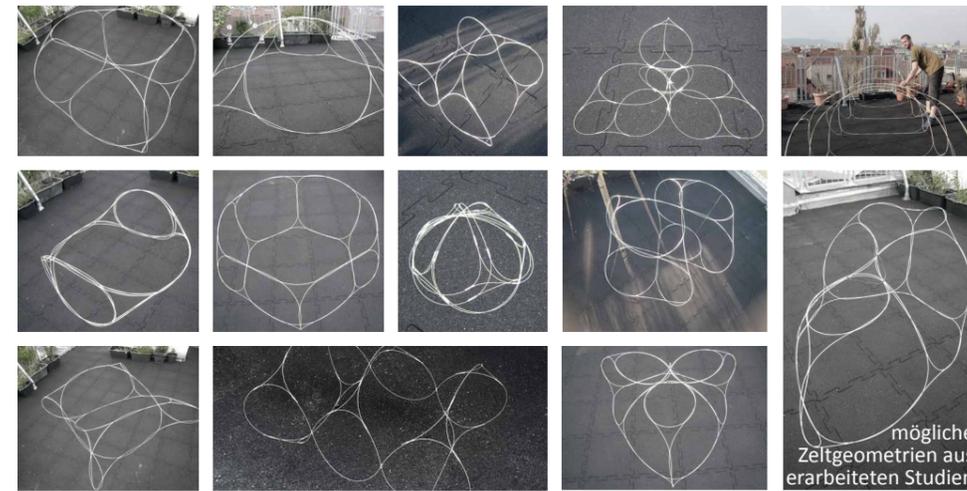
Tunnelgeometrie Entfaltungsprozess



Dieser Diplomarbeit ist an der TU Bibliothek verfügbar.
 This approved original version is available at TU Bibliothek.
 TU Bibliothek
 W I E N
 Your knowledge hub



Stapelung mehrerer Objekte



mögliche Zeltgeometrien aus erarbeiteten Studien



Arbeitsmodell sowie Stützstruktur für Prototyp

weiterführende Überlegungen zur angedachten Zeltfunktion

angedachte Anwendung als Zelt

Wie erwähnt, wurde bereits im – dennoch offen-experimentellen – Entwicklungsprozess dieser von der würfelartigen Geometrie abgeleiteten Strukturen bzw. bei der Analyse einzelner Faltstadien auf deren Tauglichkeit im Falle einer Anwendung als Zelt Wert gelegt.

unterschiedlicher Nutzen in unterschiedlichen Komprimierungsstadien

Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang die Überlegung, dass die Möglichkeit besteht, Objekte in unterschiedlichen Komprimierungsstadien auch *unterschiedlich funktional nutzbar* zu machen. So wäre etwa denkbar, Objekte im letzten räumlichen Faltzustand einer drehende Einzelzelle als Rucksack zu gestalten, dessen Stützstruktur in weiterer Folge zu der eines Zelts transformiert werden kann. Das Komprimierungsstadium vor dieser drehenden Zelle könnte etwa als Randstruktur einer Tasche dienen.

Zelt > Tasche > Rucksack

Eine solche mögliche Kombination aus Zelt und Gepäckstück würde es ebenfalls erlauben, Materialstärke und Eigenspannung zu erhöhen, da ein gänzlich flächiges Zusammenfallen nicht mehr nötig wäre. Im folgenden Prototyp wurde diese Möglichkeit jedoch nicht berücksichtigt.



platzsparende Lagerung und Transport größerer Objektanordnungen

Mehrere dieser entwickelten sowie sich bezogen auf ihren unkomprimierten Zustand unterscheidenden Strukturen, sind durch deren übereinstimmende Geometrie im gefalteten Zustand aufeinander bzw. in der letzten räumlichen Ausformung *ineinander stapelbar*. So kann auch eine große Anzahl bzw. Anordnung von Objekten gemeinsam platzsparend gelagert und transportiert werden.

Stabilitätssteigerung

Müssen diese *nicht* gänzlich flächig gefaltet werden, so ist durch Erhöhung der Materialstärke auch eine *Steigerung der Stabilität* zu erreichen. Sollte bei *gleicher* Komprimierbarkeit höhere Stabilität erreicht werden, könnte dies etwa durch eine zusätzliche *Aufdopplung* der Linearelemente erreicht werden.

Auswahl bzw. Entwicklung der Zeltgeometrie für Prototypbau

Suche auf Grundlage erarbeiteter Studien

Nun war angedacht, die Realisierung der *Zeltfunktion* konsequent voranzutreiben – auch speziell durch den *eigenen Bedarf* einer solchen. Aufbauend auf bisher erarbeiteten Möglichkeiten – Würfelgeometrie sowie deren erstes und zweites Faltstadium, Hexagonalstruktur und deren durch Faltung zu erreichende Abwandlungen sowie die entwickelte Tunnelgeometrie und weitere Variationen – wurde diese Suche mit direktem Bezug auf einen Einsatz in der Praxis vertieft.

Auswahl nach individueller Funktionalität

Die Auswahl für die Realisierung sollte aufgrund deren Eignung bezogen auf die *individuelle* Funktionalität getroffen werden – bei eigener Anwendung. Hierfür sollte das Volumen als 1-Mann-Zelt Liege- und Sitzposition gewährleisten, sowie – für einen Transport zu Fuß – so klein wie möglich komprimierbar sein.

eigener Bedarf

gerichtete Variation

Nach diesen Anforderungen wurde – als *gerichtete Variation* anstatt als Selektion von bereits erarbeitetem – der *Grundzustand* der Hexagonalstruktur gewählt, welcher jedoch durch Verspannungen in Boden- und Dachfläche in eine *längliche* Form gedrängt werden sollte. Das so entstehende Raumvolumen schien am ehesten geeignet. Im Modell wurden zur Formgebung erneut Membranen durch Schnüre simuliert – zunächst im Kleinmodell, nach Skalierung und Fertigung in den entsprechenden Abmessungen auch an der Stützstruktur des daraufhin tatsächlich anzuwendenden Prototyps.

von Arbeitsmodell zu Stützstruktur des Prototyps

Das Zelt sollte an den seitlichen Eckpunkten am Untergrund fixierbar sein. Angedacht war des Weiteren, die Dachfläche für ein besseres Abfließen von Regenwasser durch Verspannungen an Kopf- und Fußseite zusätzlich krümmen zu können. Im Zuge der späteren ersten Anwendung im Regenfall wurde diese Überlegung abgeändert bzw. ergänzt. Seitliche Abspannungen könnten des Weiteren für zusätzliche Stabilität bei auftretenden Windlasten sorgen.

individueller Optimierungsgrad

Der Optimierungsgrad bezogen auf den ökonomischen Markt bzw. dessen Selektionsfaktoren ist bei dieser Auswahl noch nicht berücksichtigt. Etwa ist hierfür der Faltprozess wohl etwas zu komplex – selbst wenn dieser bei vorhandenem Verständnis innerhalb von knapp 30 Sekunden durchzuführen ist. Bezogen auf die Stabilität sind andere Strukturen geeigneter, jedoch zeigen diese – an die Körpergröße angepasst – stets größere Abmessungen im komprimierten Zustand. Auch für die Anwendung als Mehrpersonenzelt wäre eine andere Auswahl zutreffen.

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

Realisierung Prototyp Zelt



Ermittlung von Zuschnitten



Verbindung von Flächensegmenten

Prototyp Zelt
Hüll- und Stützstruktur

Erprobung

Zuschnitte

Nachdem geeignete Textilien besorgt wurden, wurden nötige Zuschnitte an der bereits modellierten Stützstruktur abgemessen. Für die Formgebung der Dachfläche wurde die Membran – um ein Durchhängen zu vermeiden – an der Linearstruktur fixiert und zuvor befestigte Verspannungen entfernt. Die Maße der restlichen Flächensegmente wurden am Boden liegend übertragen, wobei sich bezogen auf die Seitenflächen nur Mittel- und Randsegmente unterscheiden, Maße wurden jeweils einmal abgenommen und in weiterer Folge vervielfacht.

Segmente handvernäht

Alle Segmente wurden der Reihe nach per Hand aneinandergenäht – zunächst die kleinen Flächenstücke der oberen Eckpunkte an die Dachfläche und darauf folgend alle Seitenabschnitte. Segmente wurden so überlappt, dass einem Eindringen von Regenwasser entgegengewirkt werden sollte. Noch vor dem Annähen an die – sich auch über die unteren Eckflächen erstreckende – Bodenmembran und einhergehendem Fertigstellen der Umhüllung, wurde an einer der mittigen Seitenflächen eine durch Reißverschluss zu schließende *Öffnung* gefertigt.

Einstieg & Einsetzen der Stützstruktur

Anders als bei der vorherigen Studie zur Umschließung von Linearstrukturen (Seite 126), sollten Hüllfläche und innenliegende Stützkonstruktion *getrennt* sein. Die einseitige Öffnung dient also nicht nur dem *Betreten* des Zeltens, sondern auch speziell dem *Einsetzen* der Stützstruktur.

hoher Zeitaufwand

Der Zeitaufwand für die Realisierung dieses Prototyps überstieg dabei die Bauzeit seiner einzig aus linearen Elementen gefertigten Vorgänger um ein vielfaches.

1-wöchige Erprobung

Der Fertigstellung des Prototyps folgte – mit etwas Verspätung aufgrund der langen Bauzeit – eine einwöchige *Erprobung* desselben im Zuge einer Wanderung von Wien nach Bratislava (zwei Übernachtungen – nahe der Donau-Auen sowie nahe der Marchbrücke Schlosshof) mit anschließendem Besuch eines mehrtägigen Musik-Festivals. Die Funktionalität stellte sich dabei als sehr zufriedenstellend heraus.

Funktionalität
sehr zufriedenstellend

Regen & Wildschweine

Die erste Nacht verlief teils regnerisch – jedoch ohne, dass Regenwasser in den Innenraum gelangen konnte. An den Seitenflächen machte sich durch deren Aufnahme von Feuchtigkeit bemerkbar, dass diese noch nicht zusätzlich imprägniert wurden, dies jedoch durchaus erforderlich ist. Überdies konnte Niederschlag jedoch scheinbar problemlos abrinnen.

Erfolgreich getestet werden konnte auch die Funktion als Abgrenzung von *Wildtieren*. Sich nächtlich außerhalb des Zeltens befindende Wildschweine konnten ohne direktes Aufeinandertreffen vertrieben werden bzw. sich wieder entfernen.

hohe Feuchtigkeit

Die zweite Nacht zeigte sich ohne Regen, jedoch mit sehr hoher morgendlicher (Luft-)Feuchtigkeit. Sowohl an der Wiese der Umgebung, als auch – eher relevant – an der Hüllmembran des Zeltens sammelte sich eine große Menge Kondenswasser. Etwa ein Tropfen pro Minute fiel dabei innen von der Decke zu Boden – eine situationsbezogen durchaus akzeptable Menge.

Testwoche Wien-Bratislava

Abrinnen von Kondens- & Regenwasser

Auch konnte beobachtet und erkannt werden, wie ein Großteil des sich an der Dachfläche sammelnden Kondenswassers – und wohl ebenso das Regenwasser der vorausgehenden Nacht – an der Außenseite abrinnen konnte: Die oben abschließende Fläche ist mehrfach leicht gewölbt, wobei an den niedrigsten Stellen jeweils seitlich Eckflächen angrenzen, an denen das Wasser weiter nach unten gelangt. Da in der Dachfläche in Querrichtung Zugkräfte wirken, bleibt die Membran zwischen diesen Eckpunkten gespannt, wodurch die Ansammlung größerer Wassermengen nicht möglich ist.

Befestigungen

Um diese Eigenspannung zu erhöhen war des Weiteren dem bereits zuvor erkannten Bedarf einer zusätzlichen Möglichkeit zum Verbinden von Hüll- und Stützstruktur durch das Anbringen von Schlaufen aus Klettverschluss nachzukommen. Auch für die optimale Formgebung war dieser Schnitt notwendig, ohne ihn wick die Lage der linearen Stützkonstruktion stellenweise – speziell an den mittigen Oberkanten – von den Rändern der Hüllstruktur ab.

Des Weiteren wurden nun an Kopf- und Fußseite der Zelthülle Schlaufen zur Fixierung durch Heringe angebracht – um Standfestigkeit bei angreifendem Wind auch ohne eine sich im Inneren aufhaltende Person zu gewährleisten. Die daran anzubringende, zuvor angedachte Vorrichtung zur zusätzlichen Dachkrümmung wurde – auch mit Blick auf die neu erlangten Erkenntnisse bezogen auf Form und Wasserabfluss – vorerst nicht weiterverfolgt. Die folgenden vier Nächte sollten trocken und mit Blick auf relevanten Erkenntnisgewinn bezogen auf den Prototyp unauffällig verlaufen.

Testwoche Prototyp Zelt
1. LagerplatzKondenswasser an Dachfläche
Abweichung Hüll- und Stützstruktur

2. Lagerplatz

nachträgliche Verbindung
Hüll- und Stützstruktur

oberer Abschluss optimiert

offensichtlich
unkonventionell

Kreuzungsgeometrie mit vertikaler Knotenrichtung

erkannte Problemstellung

Bezogen auf vertiefend behandelte schlaufenartige Konstruktionssysteme (Seiten 80 bis 87 sowie 90 bis 121) war bereits über längere Zeit die idealerweise noch zu lösende Problemstellung bekannt, eine Möglichkeit zu finden, Kreuzungsgeometrien zu fertigen, deren Knotensysteme *vertikal* liegen. Da die Struktur in deren Richtung mehr Stabilität aufweist, als in Faltrichtung, sollte dies die Bandbreite möglicher Anwendungen deutlich erhöhen. Vorausgehende Lösungsansätze waren allesamt vertikal zu komprimieren – was speziell bei größerer Dimensionierung wohl nur eingeschränkt funktional ist.

Einfall beim Einschlafen

Unerwartet konnte schließlich ein neuer Ansatz gefunden werden, diese Möglichkeit schließlich doch zu erlangen – Gedankengänge bzw. Einfälle hierzu traten spät abends während des Einschlafens auf und wurden konsequent sowie schnellstmöglich – durch Skizzen auf einem Stück Karton – festgehalten. Innerhalb weniger Minuten konnte aufbauend auf die grundlegenden Gedanken eine scheinbar stimmige – und wiederum überraschend einfache – Lösung gefunden werden. Um auch die Erinnerung an die Herleitung aufrecht zu erhalten, wurde sogleich auch das gedankliche Zustandekommen dargelegt.

konsequente Dokumentation



Gedankendokumentation

Umklappen von Eckknoten

Die erfolgten Überlegungen lehnen sich an die vorherige Entwicklung von Knotenreihen mit Richtungsänderung um 120° (Seiten 108 bis 109) – am jeweiligen Knickpunkt erfolgt hier im Faltvorgang ein ganzliches *Zusammenklappen* beider Hälften einzelner Eckknoten.

Umklappen räumlicher Knoten

Nun wäre eine Knotengeometrie denkbar, welche anstatt sich in *zwei* Richtungen zu erstrecken, sich in *alle drei* jeweils um 120° abweichende Richtungen räumlich erstreckt. Auch ein solcher *räumlicher Knoten* sollte sich – durch Rotation der Einzelsegmente um die Mittelachse – einseitig zusammenklappen lassen.

Darlegung und Komplettierung

Dieser Gedanke wurde sogleich skizziert, um zu erörtern, wie restliche Strukturbereiche – außenliegende Bögen, sowie weitere, normal gestaltete Knotenreihen an eine Aneinanderreihung solcher räumlicher Knoten angeschlossen werden könnten. Auf erste zweidimensional skizzierte, nicht ganzlich stimmige Ansätze folgte schließlich die Darlegung der Überlegungen als axonometrische Skizze. Dies führte direkt zu einer scheinbar geeigneten – sowie überraschend einfachen Anordnung der Elemente.

weitgreifende Herleitung für einfache Lösung

Verbindung dreier Strukturebenen

Das Resultat stellt eine Verbindung von *drei einfachen Strukturebenen* dar, deren Knotenebenen sich mittig überlagern. Im Gegensatz zur ursprünglichen Verbindung von jeweils zwei aneinandergereihten Ebenen weisen dabei mittig verbundene Knotenreihen einen Knick von 120° auf. Ausgehend von diesem Kreuzungspunkt sollten sich in alle Richtungen Flächenabschnitte erstrecken können – mit vertikaler bzw. von vorherigen Studien unterscheidender Knotenausrichtung.

Helixfaltung in 3 Richtungen

Die *Faltung* übriger Knotenreihen der angrenzenden Flächen sollte sich an die Faltrichtung der räumlichen Mittelknoten anpassen können. Im Zuge der erneuten zweidimensionalen Skizzierung wurde so vorweg erkannt, dass sich die Faltbarkeit der neu entwickelten Knoten nicht von der zuvor ergründeten Radial- bzw. Helixfaltung unterscheiden sollte; diese auch über die Eckpunkte hinweg fortgesetzt werden könnte. Daraus resultiert des Weiteren, dass eine Faltung bzw. ein Eindrehen in *drei unterschiedliche Richtungen* möglich sein sollte.



Skizzen

durch Materialisierung erfolgreich überprüft

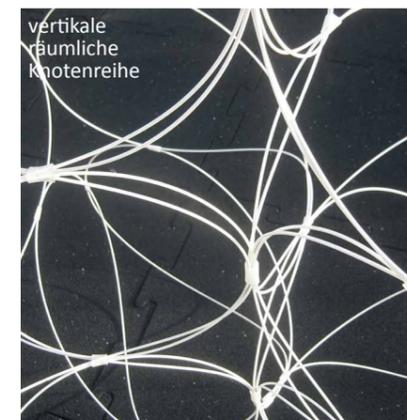
Wenig später wurden diese Überlegungen durch Materialisierung der entworfenen Lösung überprüft. Zunächst war geplant, eine sich vertikal erstreckende, „turmartige“ Kreuzungsgeometrie mit jeweils zwei Strukturebenen pro Seite zu fertigen.

unerwartete Ausformung

Jedoch wurde nach der Fertigstellung der drei mittig verbundenen Ebenen erkannt, dass diese bereits räumlich stabil sind – nach ursprünglicher Bauart werden hierfür zwei aneinandergereihte Ebenen benötigt. Außenliegende Knotenreihen weisen dabei – doch etwas unerwartet – aufgrund der fehlenden angrenzenden Ebenen einen ausgeprägten Knick auf, was wiederum zu einer annähernd dreieckigen Grundform führt.

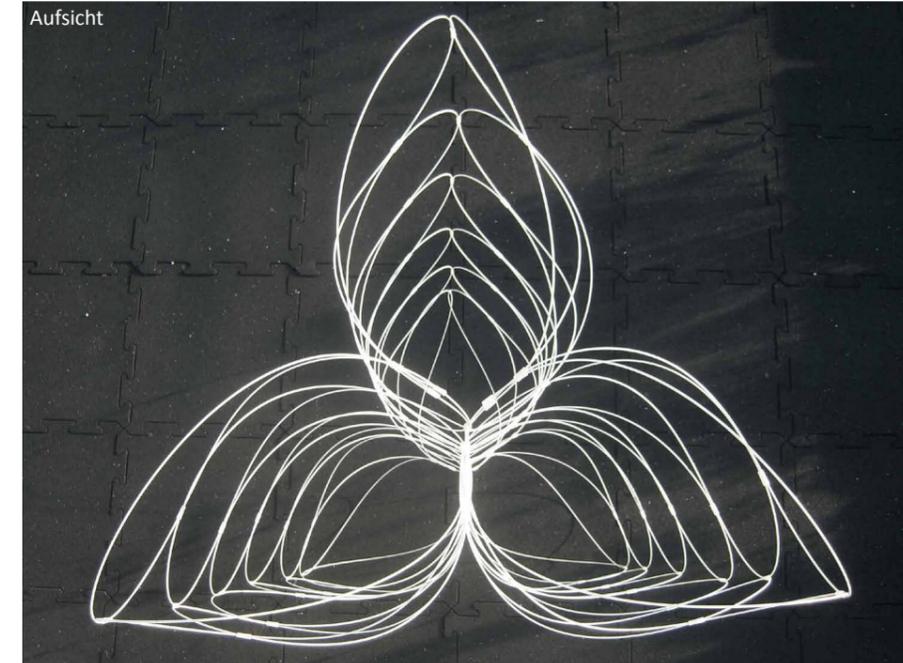
keine zusätzlichen Ebenen

Des Weiteren sollte auch bereits in diesem Stadium die zuvor angedachte Faltbarkeit überprüft werden können. So wurde – speziell nach erfolgreich getesteter Komprimierung – das Modell bei diesem Entwicklungsstand belassen. Erst später sollte eine Struktur größerer Ausführung basierend auf derselben Detaillösung realisiert werden.



vertikale räumliche Knotenreihe

Aufsicht



Initiierung Faltprozess

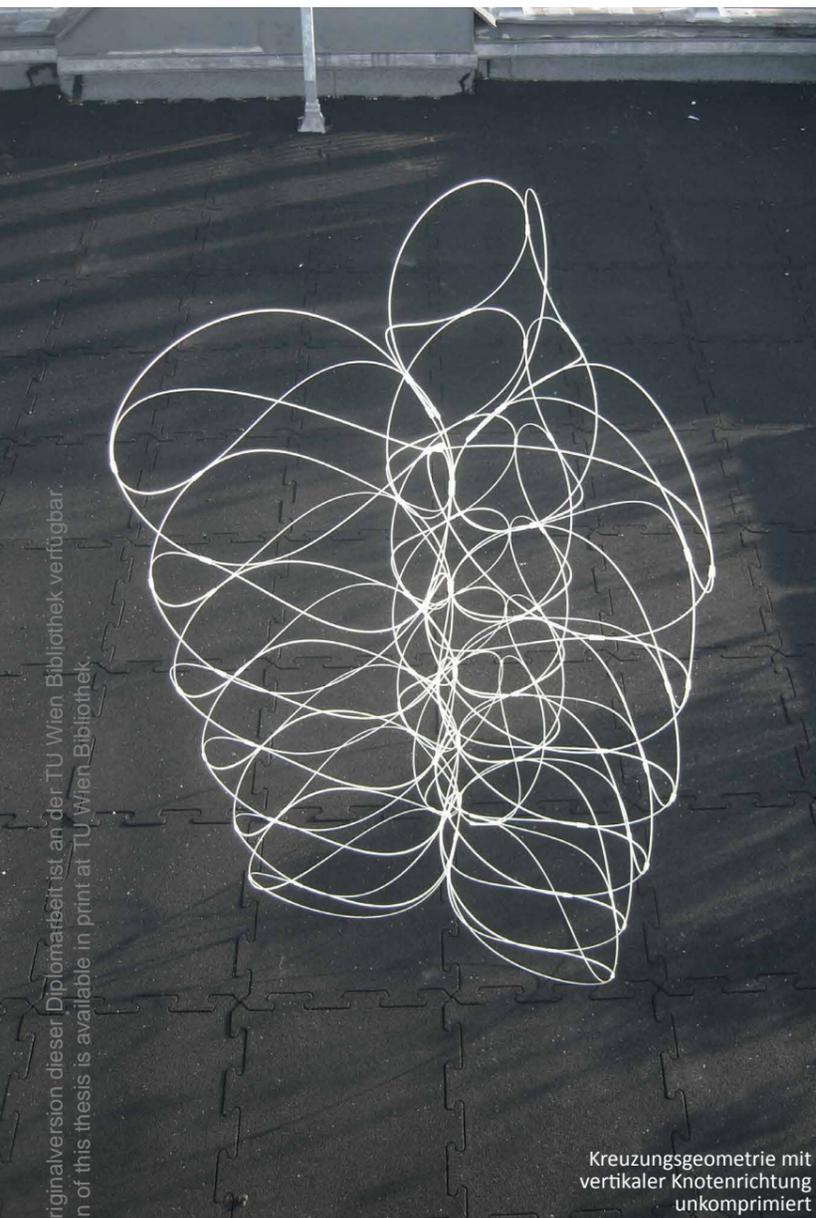


Kreuzungsgeometrie mit vertikaler Knotenrichtung unkomprimiert

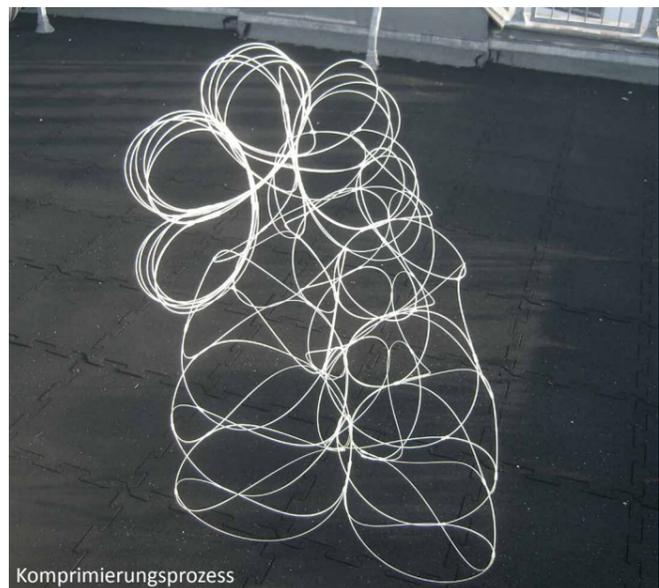


Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.





Kreuzungsgeometrie mit vertikaler Knotenrichtung unkomprimiert



Komprimierungsprozess



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



fortlaufende Helixfaltung bei vertikaler Knotenrichtung

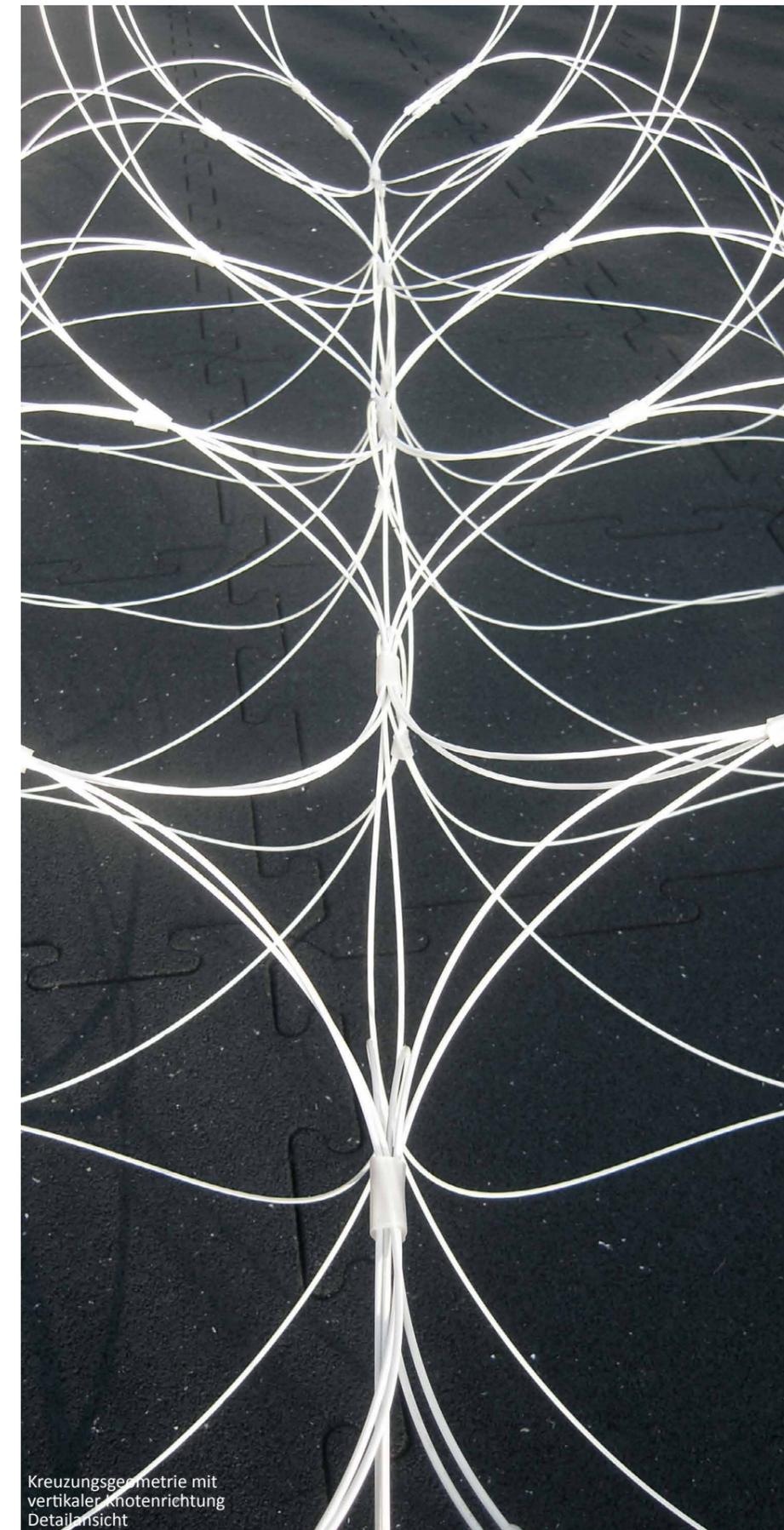
Die gänzliche Komprimierbarkeit durch Radial- bzw. Helixfaltung der Konstruktion zeigte sich wie zuvor angedacht. Räumliche Mittelknoten klappen einseitig um, anschließende flächige Knotensysteme klappen in dieselbe Richtung. Dabei werden Knotenreihen zweier Seiten von Mittelknoten umschlossen und liegen in der eingedrehten Form außerhalb von diesen. Die Struktur bzw. Knotenebene der dritten Seite umschließt dagegen die Mittelknoten inklusive anderer Strukturbereiche und bildet in der Folge den inneren Abschluss der Radialfaltung.

Ausfaltung leichter zu vollziehen als Komprimierung

Des Weiteren zeigte sich – dies ist wohl für mögliche Anwendungen relevant – dass das problemlose Ausfalten des Modells etwas einfacher zu bewerkstelligen ist, als dessen Komprimierung – wohl als Folge des spitzen Zusammenlaufens der seitlichen Knotenreihen, von welchen zwei entgegen ihrer ursprünglichen Richtung einfallen müssen. Auch die Dimensionierung dieses Großmodells ist nicht sehr förderlich für dessen Handhabung.

Optimierung der Initiierung

Leichtes Optimierungspotential wurde am oberen Abschluss erkannt: Während einseitig ein Auseinanderlaufen der Ebenen für die Standfestigkeit der Konstruktion nötig ist, sollte ihr Zusammenlaufen am anderen, oberen Ende das Initiieren des Faltprozesses vereinfachen können.



Kreuzungsgeometrie mit vertikaler Knotenrichtung Detailsicht

mehrfach verzweigte Geometrie vertikaler Knotenrichtung

letztes Großmodell

Abschließend – das Baumaterial ging mittlerweile langsam zu Neige – war angedacht, ein letztes Großmodell zu fertigen und das zuvor abgeänderte Konstruktionsssystem in größerer Ausführung zu testen. Hierfür sollten nicht größere Flächen an eine Kreuzung angeschlossen werden, sondern mehrere Abzweigungen aufeinanderfolgen.

angedachte Struktur während Materialisierung mehrfach abgeändert

Die jeweils als zu realisieren angedachte Geometrie änderte sich dabei nach anfänglichen Überlegungen auch noch während des Modellierungsprozesses. Einerseits geschah dies wegen der Unkenntnis über die Menge an noch vorhandenem Material; andererseits etwa auch, weil beim ersten Ausmessen der Elementlängen falsche Maße aufgebracht wurden – 25 cm anstatt 35 cm Bogenlänge. Dies wurde in der Folge bewusst übernommen, wodurch bei erhöhter Eigenspannung durch den geringeren Materialverbrauch noch weiter verzweigte Geometrien erreichbar wurden.

mittige Erhöhung für Initiierung der Faltung

Zunächst war von der Modellierung einer gänzlich symmetrischen, sich von einem Zentrum aus in alle Richtungen gleichsam erstreckenden Konstruktion ausgegangen. Zur erleichterten Einleitung der Faltung in mehrfach verzweigten Bereichen wurde eine mittig ansteigende Höhenentwicklung angedacht – um die Kompriernierung an einer einzelnen Kreuzung zu beginnen und restliche Abzweigungen in der Folge möglichst unkompliziert an deren Radialfaltung anschließen zu können.

azentrische Aufzweigung

Erst nach der Fertigung eines ersten Kreuzungsabschnitts aus insgesamt 6 Strukturebenen, wurde durch Skizzen erkannt, dass eine *zentrische* Struktur- und Höhenentwicklung – wie die zuvor angedachte – in ihrem *gefalteten* Zustand durch das einseitige Umklappen der räumlichen Knoten eine gewisse *Asymmetrie* aufweisen müsste. Wie bereits zuvor erwähnt, würde sich beim Zusammenklappen räumlicher Knoten, der gesamte Bereich an einer der drei Seiten bei der Radialfaltung innenliegend anreihen. Von diesem Ursprung aus betrachtet, erstreckt sich die Struktur als Aneinanderreihung bzw. Stapelung einzelner gefalteter Knotenebenen folglich nicht zentrisch bzw. kaum regelmäßig. Des Weiteren weisen alle nach vorherigem Entwurf möglichen Ausgangspunkte eine geringe Höhe auf.

Demgegenüber könnte der Abschnitt bzw. die Kreuzung größter Höhe zum Einleiten der Faltung so gewählt werden, dass sich alle von dieser zusätzlich abzweigenden Abschnitte im *gefalteten* Zustand stets *gleichmäßig* in diesen einfalten und sich so bei der radialen Umformung außen anreihen. So war zunächst angedacht, ausgehend von einer möglichst hohen, zentrisch zusammenlaufenden Kreuzung nicht in alle *drei* Richtungen gleichsam, sondern nur in *zwei* Richtungen jeweils zusätzliche Kreuzungen niedrigerer Höhe anzuschließen – durch freiwerdende Materialressourcen in gesteigerter Anzahl.

schlüssige Höhenentwicklung zu optimierter Initiierung

Schließlich wurde – mit Bedacht auf einen einfach einzuleitenden Faltprozess sowie einer *gleichbleibenden konstruktiven Logik*, gemäß welcher jeweils zwei kürzere Reihen an eine längere anschließen – auch der höchste Kreuzungspunkt einseitig erhöht. So *beginnt* der Faltvorgang nicht an diesem, sondern am noch *höher* liegenden *einfachen Flächenabschnitt* aus zwei Ebenen ursprünglicher Bauart – jenem Abschnitt, welcher in der gefalteten Form den *inneren Abschluss* der Helix darstellt.

Knotenreihen & Flächen

Räumliche und einfache Knotenreihen werden kontinuierlich abgewechselt, bzw. stellen jene zweiten an einen Kreuzungspunkt angereihten Ebenen bereits einen Teil der nächsten räumlichen Knotenreihen dar. Anders betrachtet, stellt die Struktur eine im Winkel von 120° angeordnete Aneinanderreihung von Flächensegmenten absteigender Länge mit jeweils zweifacher Ebenenstärke dar.

offene Hexagone

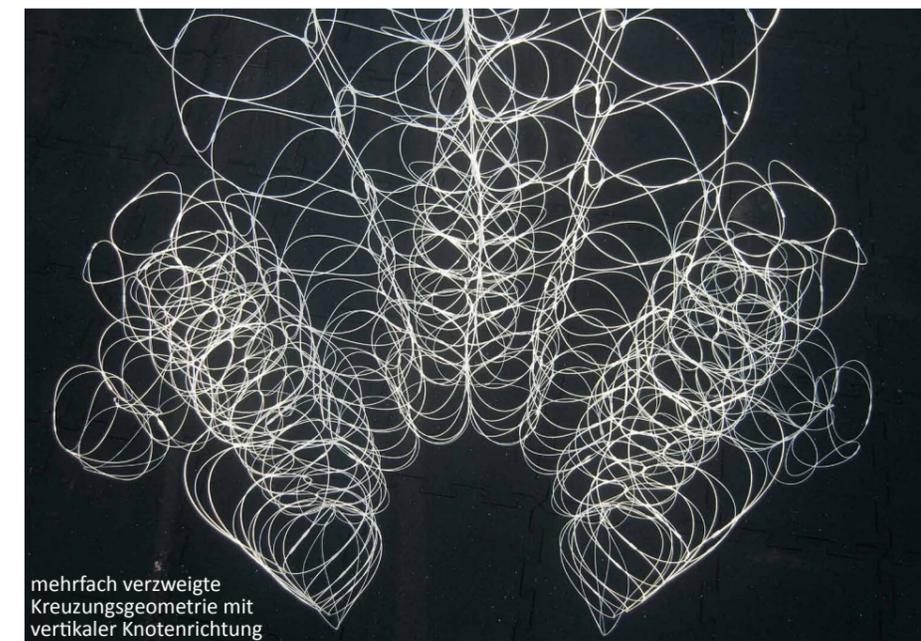
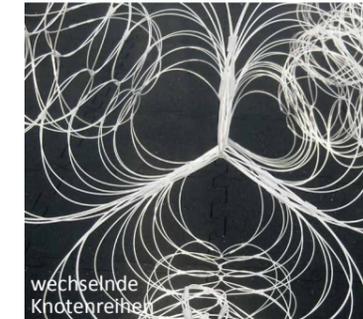
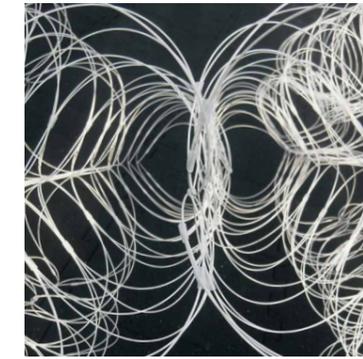
Ein gänzlich *Schließen* der resultierenden Hexagonalstruktur bzw. ein Wiedervereinigen von abzweigenden Abschnitten sollte *verhindert* werden, da Bogenreihen im Zuge des Faltvorganges sonst nicht umfalten könnten und diesen wohl behindern würden. Mögliche andere daraus zu erlangende Erkenntnisse bzw. zu ergründende Effekte gehen entgegen der zu jenem Zeitpunkt entscheidenden Intention einer flächigen und möglichst kompakten Faltung. Demzufolge *endet* die Struktur *unverzweigt*, wo sie sich an zusätzlichen Eckpunkten schließen würde. Dies resultiert darin, dass – mit Ausnahme der Ausgangskreuzung – der Strukturverlauf stets nur *einseitig* weitergeführt wird.

konstruktive Logik

konsequent angewandt
Aufbauend auf diese Ordnungsweise sowie dem hierfür verfügbaren Baumaterial wurden, vom höchsten Punkt ausgehend, drei hinereinandergereihte Abzweigungsschritte – insgesamt fünf Kreuzungen – bzw. vier jeweils schräg abfallende Stufen mit einer Höhendifferenz von jeweils drei Knotenlängen gefertigt.

Die Struktur wurde zur vertikalen Erstreckung sowie ohne bestimmtes Anwendungsziel geplant, jedoch ist diese – speziell aufgrund ihrer idealen Komprimier- bzw. Entfaltbarkeit – wohl unterschiedlich einsetzbar und vielfältig funktional nutzbar.

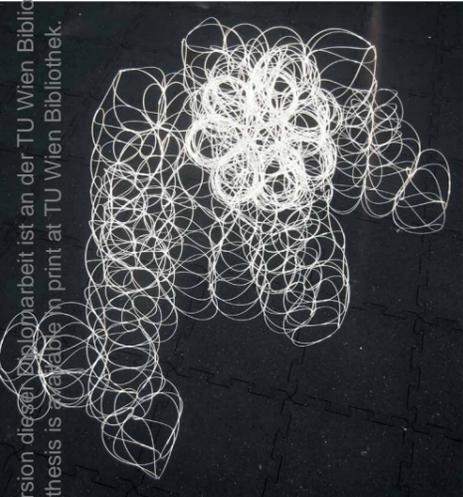
unterschiedlichst
anwendbar



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



mehrfach verzweigte Kreuzungsgeometrie mit vertikaler Knotenrichtung, Komprimierungsprozess



Helixfaltung mehrfach verzweigter vertikaler Variationen

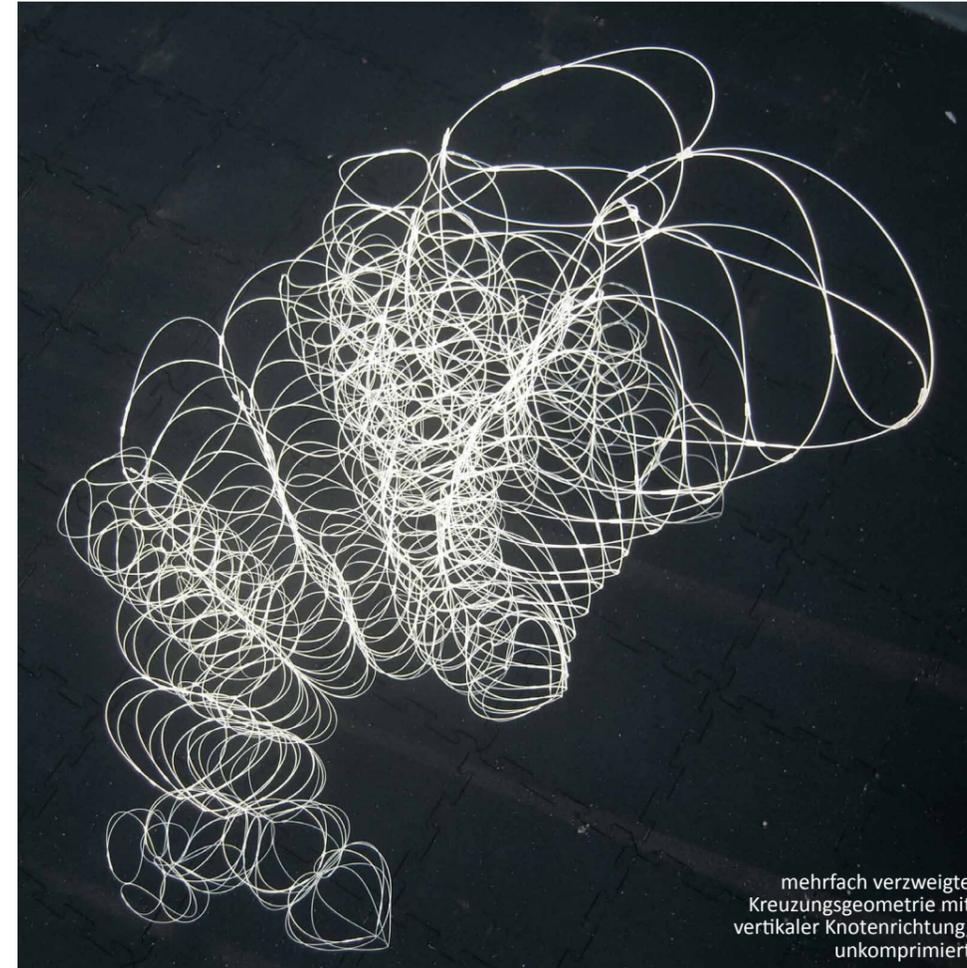
Beim *Komprimieren* wird zunächst die Spitze in ursprünglicher Weise eingerollt. Stets zu Beginn der später als Radialfaltung bzw. Helix anzuschließenden folgenden Abzweigungen muss hierfür an jeder außenliegenden Knotenreihe kurz nachgeholfen werden, um wie schon im Vorgängermodell ein Umklappen in die richtige Richtung sicherzustellen. Durch die Vorgabe der Faltrichtung ist dies nun jedoch einfacher handzuhaben. Wurden alle Anfänge der neu anschließenden Segmente der Reihe nach eingefaltet, zeigt sich die Faltung durch einfaches Eindrehen fortsetzbar – bis zu den nächsten hinzukommenden Abzweigungen. Würde die Struktur etwa bei gleicher Kreuzungszahl weitergeführt, bzw. um einen „Sockel“ gleichbleibender Abmessung erweitert werden, könnte der Faltprozess wohl kontinuierlich ohne dieses zusätzliche Eingreifen fortgesetzt werden.

stufenweises Eingreifen bei Komprimierung

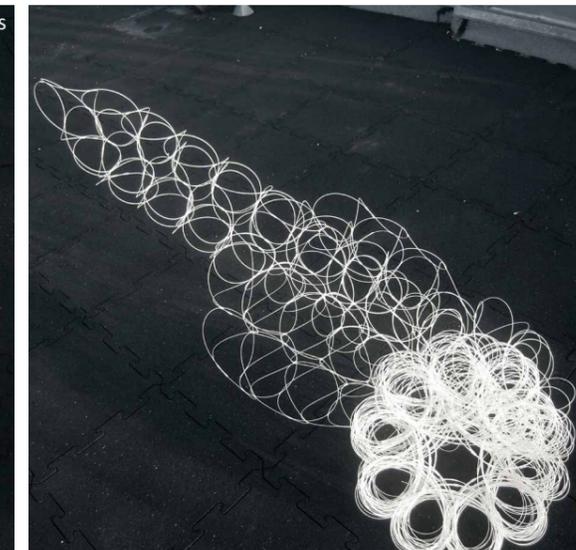
Des Weiteren könnten kleine konstruktive Adaptionen an den Anschlusspunkten bzw. – wie nun ebenfalls überlegt – eine grundsätzliche Änderung der Rotationsrichtung zu einem gänzlich selbstständigen Übertragen der Umklapprichtung führen. Hierfür wäre jedoch wohl ein etwas differenzierter Strukturverlauf vorteilhaft.

Entfaltung einfacher zu vollziehen

Beim *Ausfalten* ist im Unterschied zur Komprimierung *kein* zusätzliches Eingreifen zum einfachen kontinuierlichen Ausrollen der Struktur nötig. Gegen Ende nimmt die Konstruktion sogar ruckartig ihre endgültige Form an.



mehrfach verzweigte Kreuzungsgeometrie mit vertikaler Knotenrichtung, unkomprimiert



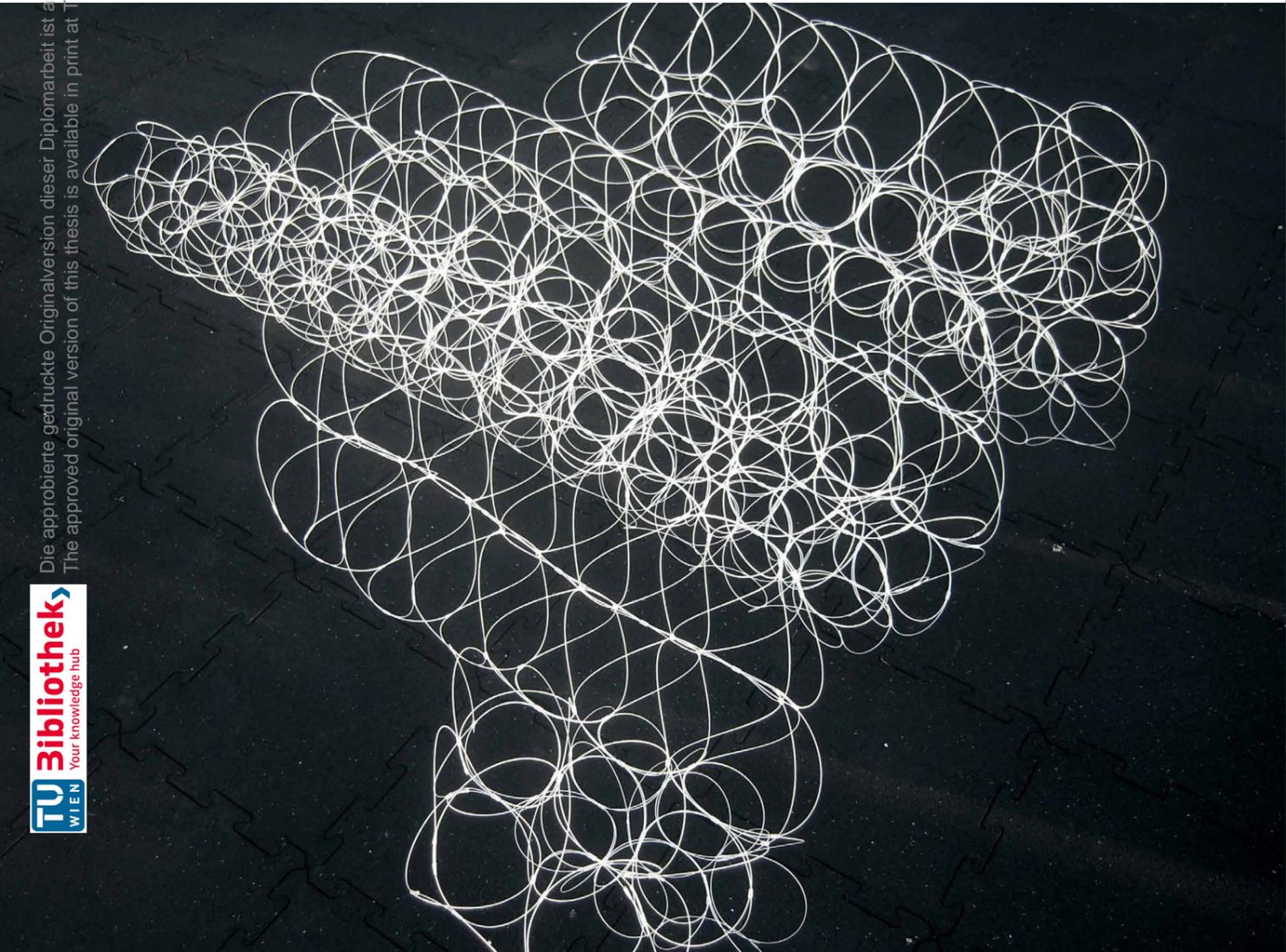
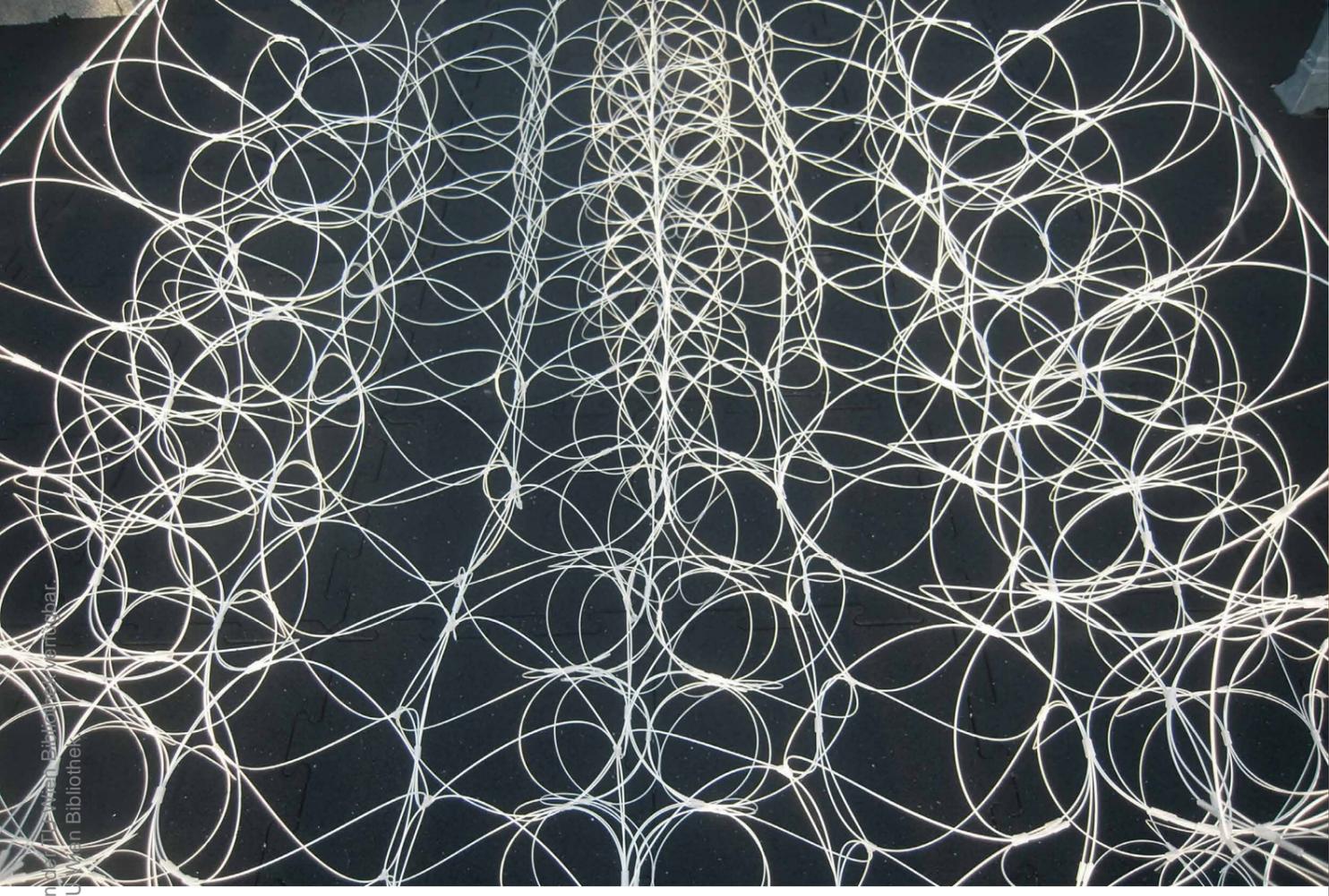
differenzierende Ausformungen bei Aus- und Einfaltung

Zu erwähnen ist, dass *Ein-* und *Ausfaltung* – weil jeweils am selben Strukturabschnitt eingeleitet – anhand *unterschiedlicher Zwischenstadien* verlaufen. Beim erneuten Ausfalten wird der Vorgang nicht „zurückgespult“, hierfür müsste man entweder alle Kreuzungen zugleich händisch in die richtige Position bringen – aus dieser Überlegung resultierten bereits zuvor die Längendifferenzen – oder man müsste in der komprimierten Form das Entfalten der Helix an der Seite mit dem größtem Widerstand beginnen.

Transformation als Kreislauf

Die abgebildete gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The above is the 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.

Ausblick, Quellenangaben und Nachwort

anschließender Entwurfsprozess

Ausgehend von den Entwicklungen aus *vorausgehendem* sowie *einhergehendem* Entwurfsprozess ergeben sich mögliche Ansatzpunkte für die *angedachte Fortsetzung* dieser praktischen Studien.

- Entwicklungslinien sind *weiterzuführen*.
- Das jeweils behandelte konstruktive Spektrum ist *breit* anzulegen.
- Der Prozess ist durch interdisziplinäre *Kooperation* zu vertiefen.
- Entwicklungen sind um *neue Materialstudien* zu erweitern; angedacht ist etwa die Erkundung des dynamischen Potentials von Maßbandstahl.

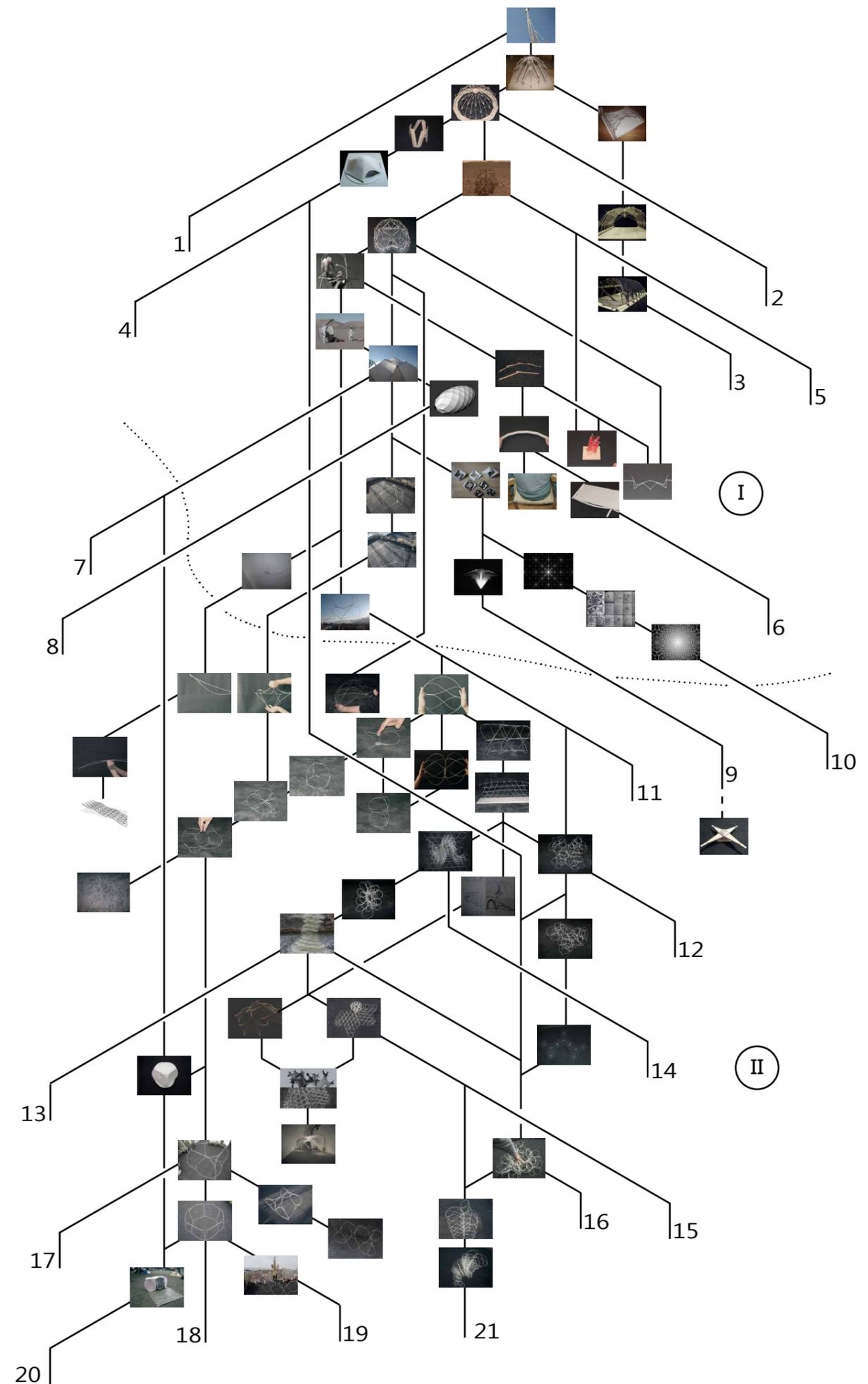
Anknüpfungspunkte aus praktischen Studien

Entwicklungsphasen

- I vorausgehender Entwurfsprozess
- II einhergehender Entwurfsprozess

spezifische Anknüpfungspunkte bzw. weiterzuführende Entwicklungslinien

- 1 Zu ergründen wäre das Potential der Tensegrity-Turmstruktur bei zusätzlicher Spiegelung.
- 2 Die Tensegrity-Kuppel ist als Großmodell (ca. 10m) zu realisieren.
- 3 Die Möglichkeit doppelt gekrümmter Tensegrity-Tunnelgewölbe ist zu eruieren.
- 4 Geplant ist die Anwendung des hexagonalen Faltmechanismus als faltbarer Solargrill.
- 5 Zu eruieren ist das Potential der Studien faltbarer Tensegrity-Strukturen.
- 6 Die komprimierbare Hängemattenkonstruktion ist weiterzuentwickeln bzw. zu realisieren.
- 7 Das Potential rautenartiger Zeltstrukturen ist ebenfalls genauer zu ergründen.
- 8 Studien zu faltbaren Luftschiffen sind gegebenenfalls interdisziplinär weiterzuführen.
- 9 Der erkannte Mechanismus ist als 4-Personen-Wippe zu realisieren (als Modell bereits materialisiert).
- 10 Grafische Studien sind weiterzuführen.
- 11 Geplant ist der Einsatz der linearen Schlaufenstruktur zur Stabilisierung von Luftschläuchen.
- 12 Elastische Raumstrukturen sind als selbstaufblasbare pneumatische Konstruktionen weiterzuführen.
- 13 Das Potential der flächigen Helixfaltung ist zu erörtern (möglicher Einsatz in Nanotechnologie?).
- 14 Erkannte Grundlagen chaotischer Musterbildung sind auch an anderen Konstruktionsarten zu überprüfen.
- 15 Das zusätzliche Potential einer Änderung der Strukturrichtung schlaufenartiger Systeme ist zu ergründen.
- 16 Das Potential der räumlich fortlaufenden Helixfaltung ist zu erörtern.
- 17 Das Potential der Komprimierbarkeit von würfelförmiger und davon abgeleiteten Strukturen ist zu ergründen.
- 18 Die Nutzung gefundener Faltstadien der Hexagonalstruktur ist voranzutreiben.
- 19 Studien zu Tunnelgeometrie und Gewächshaus sind weiterzuführen.
- 20 Begonnene Zeltstudien sind fortzusetzen.
- 21 Die Anwendung radial faltbarer räumlicher Strukturen vertikaler Knotenausrichtung ist voranzutreiben.



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

Quellenverzeichnis

Einbindung vorausgehender eigener theoretische Studien

- WS 2010/2011, *Torf als Baumaterial : Torfbau : die Torfbautraditionen Skandinaviens*, Bachelorarbeit
- WS 2012/2013, *Krümmung und Struktur : freie Studie*, Seminararbeit, 253.370 Adaptive Architecture
- SS 2011 Seminararbeit *Eero Saarinen – die Suche nach Form*, 251.115 Ideen und Konzepte der Architektur

Einbindung externer Quellen

- ALDRICH, Howard E.,
An evolutionary approach to entrepreneurship : selected essays, 2012, Cheltenham, Elgar, ISBN 978-0-85793-846-6
- BAUERLE-WILLERT, Dorothée,
Archive der Zukunft : neue Wissensordnungen im Sitterwerk, 2013, Sankt Gallen, Sitterwerk
- CANDELA, F., CALATRAVA S., u.a.,
Arquitectura Transformable, 1993, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla
- DOPFER, Kurt, POTTS, Jason,
The General Theory of Economic Evolution, Routledge, 2008, ISBN 0-203-50740-1
- FASCHINGBAUER, Michael,
Effectuation : Wie erfolgreiche Unternehmer denken, entscheiden und handeln, 2013, Stuttgart, Schäffer-Poeschl, ISBN 978-3-7910-3233-7
- FREI, Otto,
Gestaltung : zur Formentstehung in Natur, Technik und Baukunst, 1988, Köln, Müller, ISBN 3-481-19841-8
- FREI, Otto,
Der umgekehrte Weg : Frei Otto zum 65. Geburtstag, 1990, Köln, Müller, ISBN 3-481-00194-0
- JONES, Peter,
Design Research Methods in Systemic Design, 2014, OCAD University, Toronto
- MATZLER, Kurt,
Innovator's dilemma: Warum etablierte Unternehmen den Wettbewerb um bahnbrechende Innovationen verlieren, Universität Innsbruck, IMP 2015-12-09
<http://www.gaswaerme.at/de/pdf/14-1/matzler.pdf>
- OWOTNY, Helga
The Cunning of Uncertainty, 2016, Cambridge, Polity Press ISBN 978-0-7456-8761-2
- SCHNEIDER, Martina,
Wissenschaft - zum Verständnis eines Begriffs, 1988, Köln, Müller, ISBN 3-481-19821-3
- SCHURZ, Gerhard,
Evolution in Natur und Kultur : eine Einführung in die verallgemeinerte Evolutionstheorie, 2011, Heidelberg Spektrum, ISBN 978-3-8274-2665-9
- Invention vs. Innovation
2016-05-13
www.wired.com/insights/2015/01/innovation-vs-invention/
- Key-Innovations
2016-05-13
<https://thenakeddarwin.wordpress.com/tag/key-innovations>
- Land- zu Wasserraubtier
2015-12-09
http://www.deutschlandfunk.de/wie-walross-seehund-und-seeloewe-zu-ihren-flossen-kamen.676.de.html?dram:article_id=26371
- „Minimalistischer Leichtbau: Temporärer Pavillon in Noda“ in *DETAIL 2012/10*
2012, Tokyo University of Science, Noda Campus, Yamazaki. J-Noda
- Penrose-Parkettierung
2015-12-09
<https://de.wikipedia.org/wiki/Penrose-Parkettierung>
- Serendipität
2015-12-09
<http://www.projektmagazin.de/glossarterm/serendipitaet>
- The seeds of disruptive innovation : ESA's Advanced Concepts Team*, 2010, European Space Agency, Bulletin 144
- Immanent Elasticity
federleichte Forschung in 3-D, derStandard artpaper, Mai 2014

Conclusio

Bereits früh wurde speziell in offener Zielsetzung im Entwurfprozess eine Grundlage für unvorhergesehene, potentiell innovative Entwicklungen vermutet. Dies wurde – einhergehend mit der Einsicht, dass zu starre Zielsetzung bzw. die Vorwegnahme von zu erreichenden Ergebnissen dagegen das Entstehen neuer Funktionen tatsächlich verhindern kann – durch die Befassung mit den Grundlagen der evolutionären Systematik bestätigt. Diese Diplomarbeit galt dabei dem grundsätzlichen Erfassen des Rahmens und der grundlegenden Erkenntnisfindung in Bezug auf eine folgende Forschungstätigkeit bzw. der Ergründung und Anwendung der offener experimentellen Methodik. Sie zielt explizit auf eine weitere Beschäftigung mit der Thematik ab. Die praktischen Möglichkeiten scheinen offen und exponentiell zunehmend; auch die Methodik ist stets optimierbar. Jedoch speziell die theoretischen Zusammenhänge scheinen bisher fachlich wenig ergründet zu sein, die Kenntnis darüber noch nicht weit verbreitet. Um diese Methodik bzw. die Systematik offener experimenteller Entwurfprozesse und das damit einhergehende Entwicklungspotential auch anderen zugänglich zu machen, wird des Weiteren eine Lehrtätigkeit in diesem Bereich angedacht. Mit dem erlangten – über die eigene Anwendungsweise hinausgehenden – Verständnis ist schließlich auch die detaillierte Erarbeitung einer – noch weiter greifenden – evolutionären Entwurfstheorie denkbar, entweder bereits Zuge der an diese Arbeit potentiell anschließenden Dissertation, oder dieser nachfolgend.

**Anstatt wohin man geht
limitieren zu lassen, was man sieht,
lässt man was man sieht
definieren wohin man geht.**