







Julian Jauk, BSc

## **A living piece of architecture**

### **MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Architektur

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Arch. Dr.sc.ETH Urs Leonhard Hirschberg

Institut

Institut für Architektur und Medien

Graz, Oktober 2017



## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

17.10.2017

---

Datum

---

Unterschrift



## Danksagung

Univ.-Prof. Dipl.-Arch. Dr.sc.ETH Urs Leonhard Hirschberg  
Institute of Architecture and Media

Ao.Univ.-Prof. Mag. Dr.rer.nat. Martin Grube  
Institute of Plant Sciences

Priv.-Doz.in Mag.a Dr.in Doris Haas  
Institute of Hygiene, Microbiology and Environmental Medicine

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Franziska Hederer  
Institute of Spatial Design

Univ.-Ass. Mag. Dr.rer.nat Emanuel Jauk  
Institute of Psychology

Ao.Univ.-Prof. Priv.-Doz. Dr.phil. Werner Jauk  
Institute of Musicology

## Zusammenfassung

A living piece of architecture (oder „Ein lebendiges Stück Architektur“) ist ein konzeptueller und utopischer Entwurf für eine Architektur nach smart homes. Die Thematik rüttelt an bestehenden Dualismen wie digital und materiell, aber auch künstlich und natürlich.

Das kinetische, thermo-photosensitiv adaptive Modell zeigt eine Typologie von Architektur, welche ihre Morphologie ständig wechselt, um sich nicht nur an die physische Umgebung anzupassen, sondern auch an die Gefühlszustände der BewohnerInnen.

Die Form, Größe und Geschwindigkeit dieser Anpassung wird von einem evolutionären Optimierungsalgorithmus kontrolliert: Einer bionischen Technologie, inspiriert von Systemen der Natur. Aber anstelle einer Generation benötigt eine Iteration lediglich wenige Sekunden. Dieser Algorithmus folgt den biologischen Kriterien für Leben, welche auf Architektur umgelegt worden sind. Wie zum Beispiel physische Reizbarkeit und Wachstum durch dehnbare Materialien in einem sich selbsterhaltenden System.

Partizipanten<sup>1</sup> sind eingeladen, die Architektur durch Eingabe ihres (gewünschten) Gefühlszustandes und durch Änderung der Stärke und Position der Energie/Licht Quelle zu stimulieren und zu erleben, wie sich die Gestalt des Hauses durch das primär dadurch erzeugte physische und psychische Klima adaptiert, genauso wie es Pflanzen und Tiere tun.

<sup>1</sup> Aus Gründen der Lesbarkeit wurde im Text die männliche Form gewählt, nichtsdestoweniger beziehen sich die Angaben auf Angehörige beider Geschlechter

## Abstract

A living piece of architecture is a conceptual utopian design for housing beyond smart homes, intended to overcome existing dualisms such as digital and material, artificial and natural.

The kinetic, photosensitive and adaptive model shows a type of architecture that constantly changes its morphology to adapt not only to the environment but also to human emotions.

The shape, size and speed of adaptation are controlled by an evolutionary optimization algorithm, which is a bionic technology inspired by nature. But instead of a lifetime cycle, one iteration takes just a few seconds.

This algorithm follows biological criteria for life that have been transferred to architecture, such as physical irritability, and growth through tensile materials within a self-regulating system.

Participants are invited to stimulate the architecture by setting it to their mood and by changing the energy and light sources, as the building is intended to evolve from the climate given in this way- like plants or animals do.







# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Theorie</b>	<b>1</b>
1.1 Die Rolle der Natur	2
1.2 Die Rolle der Technologie	5
1.3 Die Rolle der Bionik	7
1.4 Die Rolle der Architektur	11
1.5 Die Rolle des Materials	16
1.6 Die Rolle der Biologie	22
1.7 Die Rolle der Psychologie	26
1.8 Die Rolle der Kunst	29
<b>2 Fragestellung</b>	<b>35</b>
<b>3 Umsetzung (Software)</b>	<b>43</b>
3.1 Rhino und Grasshopper	44
3.2 Galapagos	46
3.3 Arduino IDE	48
3.4 Firefly	49
3.5 Diva	50
3.6 Das Steuerungssystem	52
<b>4 Umsetzung (Hardware)</b>	<b>63</b>
4.1 Controller	67
4.2 Motorik	69
4.3 Nebel	71
4.4 Sensorik	72
4.5 Unterkonstruktion	75
4.6 Membran	77
4.7 Bewuchs	81
4.8 Das Modell	83
<b>5 Ausblick</b>	<b>93</b>
<b>6 Anhang</b>	<b>99</b>
6.1 Literaturverzeichnis	99
6.2 Verzeichnis audiovisueller Quellen	103
6.3 Abbildungsverzeichnis	105
6.4 Abkürzungsverzeichnis	113
6.5 Arduino Schaltkreise	115
6.6 Arduino Codes	119
6.7 Grasshopper Definitionen	125



# THEORIE



# 1 Theorie

Ich durfte mich in Zuge dieser Arbeit in unterschiedlichen Themenkreisen bewegen. Über Architektur und Philosophie bis hin zu Biologie und Psychologie. Dieser interdisziplinäre Aspekt war mir persönlich sehr wichtig, da ich auch der Meinung bin, dass dieser in Zukunft eine entscheidende Rolle spielen wird, gerade für Architekten. So hatte ich im Verlauf der Arbeit mit dem Institut für Architektur und Medien, dem Institut für Gebäude und Energie, dem Institut für Raumgestaltung, wie auch mit dem Institut für Psychologie, dem Institut für Pflanzenwissenschaften und dem Institut für Hygiene, Mikrobiologie und Umweltmedizin zu tun.

Dieses erste Kapitel soll nun eine Art Rollenverteilung darstellen. Eine Vorstellungsrunde aller untereinander handelnden „Aktanten“<sup>1</sup>, die für das Verständnis der Arbeit wichtig sind. Aus den jeweiligen Fachgebieten werden dann jeweils die für die Arbeit relevanten Aspekte herausgearbeitet. Dadurch, und durch ausgewählte Referenzbeispiele möchte ich zeigen, wo meine Interessen liegen und wie sich meine Überlegungen und Fragestellungen abgeleitet haben. Die Kapitel der technischen Umsetzung werden auch diesem Aufbau folgen.

1 Vgl. Latour 2005, 54f.

Auch möchte ich speziell im ersten Kapitel einige grundlegende Begriffe aufwerfen und die Interpretation dieser für meine Arbeit erklären. Die Begriffsdefinitionen sollen dabei nicht absolut gültig sein, sondern allein der Kommunikation der Arbeit dienen.

Zudem verwende ich auch zahlreiche weiter entfernte Referenzprojekte, um einerseits eine schnelle optische Orientierung innerhalb der Arbeit zu ermöglichen, andererseits auch um Interessierten eine tiefere Recherche in Teilbereiche zu ermöglichen.

Die in den folgenden Kapiteln angesprochenen Themengebiete ragen über den Fachbereich der Architektur hinaus, um Einflüsse von außen, Parallelen und mögliche künftige Entwicklungen aufzeigen zu können. Der Theorieteil der Arbeit umreißt auch meine eigene Denkhaltung, aus der heraus ich die Arbeit entwickelt habe.

## 1.1 Die Rolle der Natur

2 Vgl. Ort 2008, 19.

Natur ist alles das, was nicht von Menschenhand geschaffen wurde.<sup>2</sup> So lassen sich die modernen westlichen Begriffe von Natur und Kultur im Regelfall voneinander abgrenzen. Die genaue Grenze ist jedoch nur schwer zu ziehen. Diese Arbeit soll Teil dieses Diskurses sein, um speziell im Feld der Architektur diese begriffliche Trennung zu hinterfragen.

Die Definitionen mögen umstritten sein, bestehen jedoch im Verständnis der Allgemeinheit seit mehreren Jahrhunderten. Was sich hingegen in den letzten Jahrhunderten enorm verändert hat, ist welche Bedeutung diese Natur für uns hat.

Je nach Definition oder Verständnis ist der Kultur schaffende Mensch zugleich auch Teil der Natur. Zweifellos jedoch in einer Art Sonderstellung durch die Entwicklung unserer kognitiven Fähigkeiten. Nun haben wir auch gerade deswegen so großen Einfluss auf die Natur wie kein anderes Lebewesen.

3 Vgl. Kirchhoff 2009, 13-66.

Wildnis als Gegenteil zur Kulturlandschaft, ist jener Teil der Natur, der von Menschenhand noch unberührt ist.<sup>3</sup> Seit wir imstande sind, die Natur um uns zu zähmen, gilt Wildnis nicht mehr als Gefahr, sondern wird die Flucht in die Wildnis als romantisches Abenteuer aufgefasst.

*„Gott segnete sie, und Gott sprach zu ihnen: Seid fruchtbar, und vermehrt euch, bevölkert die Erde, unterwerft sie euch, und herrscht über die Fische des Meeres, über die Vögel des Himmels und über alle Tiere, die sich auf dem Land regen.“<sup>4</sup>*

4 Gen 1,28.

5 Vgl. Rappel 1996.

6 Bacon 1613, 180.

7 Werbeslogan des Almwelness Hotel Pierer, Werbekampagne "Kuh" 2014.

Unsere westliche Kultur entwickelte sich von Ansichten wie jener „Macht euch die Erde untertan“<sup>5</sup>, über den aufklärerischen Grundsatz am Beginn der Naturwissenschaften „Wissen ist Macht“<sup>6</sup>, bis hin zu heutigen Werbeslogans wie etwa „Die Natur ist ein Geschenk.“<sup>7</sup> Das hat ohne Zweifel auch damit zu tun, dass wir uns erst jetzt über die Folgen der technischen Revolution des letzten Jahrhunderts bewusst werden.

So sehen wir die Natur heute als ein zu schützendes Gut, einen notwendigen Lebensraum und ein ästhetisches Vorbild. Auch die Architektur wird davon beeinflusst.

Florale Ornamente finden seit dem 16. Jahrhundert v. Chr. Verwendung in der Architektur und anderen Kunsthandwerken der griechischen Antike und späteren, historisierenden Epochen. Der heutige Einsatz von Strukturen aus der Natur hat jedoch eine ganzheitlichere Verwendung.



Abb.1.3: Florale Kapitellverzierung an der Ringkirche in Wiesbaden



Abb.1.1: Theo Jansens kinetische Skulptur „Strandbeest“ beeindruckt mit kleinteiligen und komplizierten Mechanismen

Auch im Gestalten wird mit dem romantischen Gefühl der Natur gespielt. Gekennzeichnet durch Kleinteiligkeit, organische Formen und eine gewisse provisorische Erscheinung. Oft aber auch lediglich nur als Aufhänger oder Rechtfertigung für über die Maßen aufwendige Entwürfe.



Abb.1.2: Kengo Kumas Museum indigenen Wissens erinnert äußerlich gemäß dem Inhalt and die Jungsteinzeit

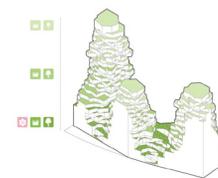


Abb.1.4: MVRDV's „Valley“. Der berg-ähnliche Entwurf soll Platz für zahlreiche öffentliche und begrünte Terrassen bieten

Natur- und Kulturlandschaft werden noch als zwei verschiedene Bereiche verstanden. Da Menschen sie als unterschiedliche Konzepte denken, übertragen sie die Unterschiedlichkeit auch auf architektonische Konzepte. So macht es wenig Sinn Erscheinungsformen aus der Natur rein äußerlich zu kopieren.

Auch wenn es für unseren Maßstab so scheinen mag, ist in der Natur nichts von Beständigkeit. Alles in ständigem Wandel, alles verläuft zyklisch, alles entwickelt sich. In diesem ständig andauernden Prozess der Evolution sehe ich den Kern des Lebens.

Die Folgen unseres bisherigen Handelns in der Natur zeigen uns nun, dass wir den Umgang mit der Natur ändern müssen. So sollen aber weder Werthaltungen, wie die Verherrlichung und Imitation sämtlicher Aspekte der Natur, oder die prinzipielle Negierung von technologischem Fortschritt, eine Antwort für zukünftiges Handeln sein.



Abb.1.5: Modellfoto von Gonzalo Vaíllo Martínez futuristischem Entwurf für Wohnen basierend auf biogenetischen Formen

Als großen Kontext dieser Arbeit sehe ich das Ziel, durch effizientes und nachhaltiges Denken und Handeln, einen von Menschen gesteuerten Evolutionsstrang wieder mit dem der Natur zu verbinden, um in Zukunft dessen stabile Weiterentwicklung zu ermöglichen.

Kevin Kelly- Schriftsteller und begründender Herausgeber des Technologie-Magazins „Wired“ - beschreibt bereits 1995 in seinem Buch „Das Ende der Kontrolle. Die biologische Wende in Wirtschaft, Technik und Gesellschaft“, dass sich künftige Technologie durch zunehmende Komplexität organischen Systemen angleichen werden.

Meiner Interpretation nach sieht er ebenso das Ziel unseres Fortschrittes darin, von biologischen Systemen zu lernen, bis unsere technologischen Erzeugnisse sich mit höchster Effizienz selbst verwalten und erhalten können, wie es die Natur um uns tut.<sup>8</sup>

8 Vgl. Kelly 1997, 92-110.

## 1.2 Die Rolle der Technologie

Die Technologie, griechisch τεχνολογία, „die Schrift über Redekunst“<sup>9</sup> oder die Lehre des Handwerks, könnte im Gegenzug zur Natur als die Lehre von all jenem verstanden werden, was durch Menschenhand erschaffen worden ist und als Kulturgut gilt. So bilden Kultur- und Naturgüter die Summe alles Existierenden.

Anstoß für ein Umdenken im Umgang mit der Natur waren die Folgen der industriellen Revolution. Die Verwendung von begrenzten, fossilen Brennstoffen führte zu Ressourcenknappheit und Umweltverschmutzung.<sup>10</sup>

Das Leben auf der Erde hatte 4 Milliarden Jahre Zeit für Anpassung an die Natur. Der Mensch ist durch seine Intelligenz an einer Art Wendepunkt angelangt, an dem er nun imstande ist durch Technologie die Natur an sich anzupassen.

Am Beispiel des Rades lässt sich zeigen, was durch heuristische Lösungsverfahren, wie die Evolution im Rahmen von genetischen Algorithmen herangezogen wird,<sup>11</sup> auch unentdeckt bleiben kann. Rad-ähnliche Formen haben sich, sollten sie in der Natur jemals entstanden sein, nicht sofort als erfolgreich erwiesen. Schließlich braucht es ebene Flächen um das Rad effizient nutzen zu können.

Der Mensch ist durch seine Intelligenz imstande diese Umstände zu kombinieren und so auf Ergebnisse zu kommen, die andernfalls möglicherweise unentdeckt blieben.

Wir haben uns die Mathematik als künstliches, perfektes System geschaffen, um natürliche Phänomene zu beschreiben und vorherzusagen. Die kostbarsten Materialien, die wir kennen, sind deshalb so leistungsfähig, weil sie geometrisch perfekt aufgebaut sind. Der Grad der Perfektion liegt jedoch immer nur am jeweiligen Maßstab der Betrachtung und dessen Toleranzen. Die Natur wird durch dieses System also vereinfachend abstrahiert.

9 Vgl. Menge/Güthling 1997, 683.

10 Vgl. Gore 2006, 22-28.

11 Vgl. Domschke/Scholl 2006, 10.



Abb.1.6: Das Rad

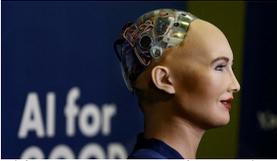


Abb.1.8: Hanson Robotics humanoider Roboter namens Sophia

Unsere eigene Evolution steuern wir durch die Entwicklung der Medizin, Pharmakologie, Mikrobiologie so wie der Gentechnologie selbst. Jetzt stehen wir möglicherweise am Beginn eines von uns durch Technologie neu erzeugten Evolutionsstranges; der künstlichen Intelligenz als neue Lebensform.

1962 entwickelte Ivan Sutherland das Programm Sketchpad. Als erstes CAD (computer aided design) Programm, war es Auslöser für eine architektonische Entwurfsleistung, die über Daten funktioniert, welche in den Computer eingegeben und digital zu Vorlagen oder Simulationen verarbeitet werden.

3D-Drucker und Robotik ermöglichen heute auch eine digitale Fabrikation von Architektur. Es Bedarf also keiner Übersetzung oder Ausgabe dieser Daten für den Menschen. Individualisierte Massenerstellung wird wirtschaftlich und ermöglicht neue Entwürfe.

Unsere Realität wird zunehmend stärker digitalisiert und digital erschaffen als virtual oder augmented reality. Durch technologischen Fortschritt steigt die Rechenleistung und wir sind in der Lage immer komplexere Simulationen, Planungen und Fabrikationen durchzuführen.

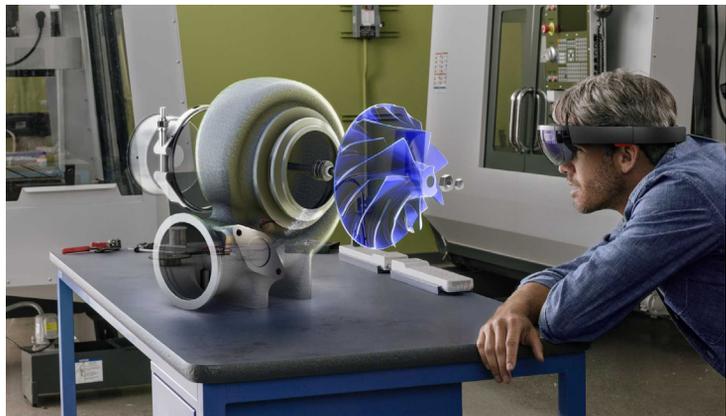


Abb.1.7: Microsofts augmented reality Brille HoloLens

Ich möchte der Frage nachgehen, was die kommenden Schritte des technologischen Hervorbringens sein werden und wohin diese die durch Menschen gesteuerten Evolution führen werden.

## 1.3 Die Rolle der Bionik

Um im Folgenden von Bionik und Beispiele dieser sprechen zu können, soll zunächst der Begriff der Bionik und dessen Bedeutung innerhalb der Arbeit dargestellt werden.

Seit dem Bronzezeitalter entfernen wir uns durch Technologie von der Natur. Jetzt, im Informationszeitalter, nähern wir die Technik durch die Bionik wieder an die Natur an. Bionik, oder auch Biomimetik oder Biomimese genannt, könnte das Mittel sein, um den vorhin genannten größeren Kontext der Arbeit, die Zusammenführung von Natur und Kultur, zu verfolgen.

*„Bionik verbindet in interdisziplinärer Zusammenarbeit Biologie und Technik mit dem Ziel, durch Abstraktion, Übertragung und Anwendung von Erkenntnissen, die an biologischen Vorbildern gewonnen werden, technische Fragestellungen zu lösen.“<sup>12</sup>*

Zunehmendes Verständnis natürlicher Prozesse ist daher in erster Linie notwendig, um deren inhärentes Prinzip auf technische Kompetenzen neu anwenden.

Bekannte Beispiele dafür sind der Lotuseffekt oder der Klettverschluss. In beiden Fällen wurden evolutionär hervorgebrachte Oberflächen auf technologisch produzierte Objekte übertragen, um deren Eigenschaft zu übernehmen.

Ich bin der Meinung, dass der Gedanke der Bionik zu einer Aufhebung der Dualismen wie natürlich und künstlich, aber auch analog und digital, führen wird. Es wird zu einer nachhaltigen Verbindung dieser beiden Welten kommen.

Bionik trennt per definitionem Natur und Technologie. Jedoch ist es notwendig, sich im Klaren darüber zu sein, dass diese Trennung lediglich begrifflich ist, um innerhalb des Themenkreises kommunizieren und arbeiten zu können. Diese Trennung der Begriffe sollte ein duales Denken nicht vorbestimmen.

12 Richtlinie VDI 6220, 2011-06.



Abb.1.9: Lotuseffekt auf einem beschichteten Löffel



Abb.1.10: Klettverschluss nach dem Prinzip der Klette

Durch zunehmende Rechenleistung und Wissen über Umwelt und Technologie besteht ein enormes Potenzial, welches aber nicht in Konkurrenz zur Natur stehen sollte. Es geht um ein gegenseitiges Einbinden von Natur und Technologie und ein funktionierendes Miteinander.

Die Rolle der Bionik in der Architektur ist verglichen mit der gesamten Geschichte der Architektur noch sehr jung. Deshalb möchte ich zeigen, welche Ideen oder allgemeine Prinzipien der Natur im Arbeitsfeld der Architektur bereits bestehen, und welche das Potenzial haben, sie konsequent umzusetzen.



Abb.1.12: Das Geminihaus in Weiz ist ein Drehsolarhaus von Architekt Erwin Kaltenegger und funktioniert wie eine Sonnenblume

Auch in der Architektur gibt es zunächst klar ersichtliche Beispiele, wie etwa Fassadenelemente, die sich am Verhalten von Tannenzapfen orientieren und sich je nach Luftfeuchtigkeit öffnen oder schließen. Sie stellen somit eine Form von Architektur dar, die mit einer Änderung ihrer Morphologie unmittelbar auf das Klima reagiert. Dadurch entsteht eine Art wetterfähige architektonische Haut.

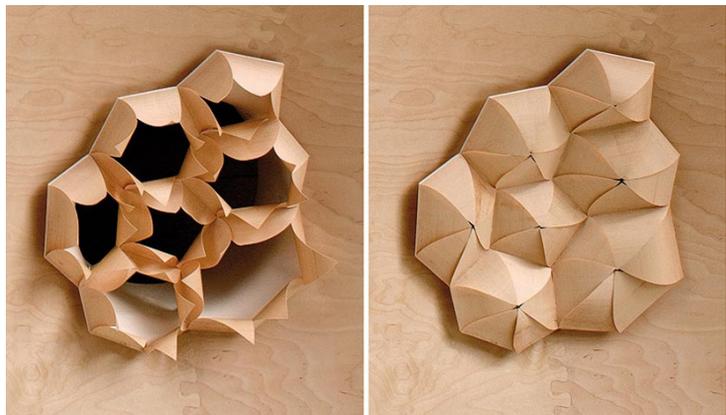


Abb.1.11: Hygroskin, entwickelt am Institut für computational design in Stuttgart

Bionische Systeme können aber auch erst bei genauerer Betrachtung erkannt werden. Im Eastgate Centre in Harare, Simbabwe, erfolgt die Kühlung ausschließlich über natürliche Konvektion. Das Innere des Gebäudes ist nach dem Vorbild eines Termitenhügels konzipiert und kann über entsprechende Atrien und Kamine sowohl kühlen, als auch heizen. 1996 war es das erste Gebäude, welches dieser Idee derart ausgefeilt folgte.



Abb.1.13: Das Einkaufs- und Bürozentrum Eastgate Centre nach dem Vorbild des Termitenbaus

Eine organische Erscheinung nach außen hin muss aber nicht immer auf eine bionische Grundidee schließen lassen. Das Nationalstadion in Peking erinnert optisch an ein Vogelnest, der Gedanke spielte im Entwurf aber keine Rolle.



Abb.1.14: Das „Bird's Nest“ der Schweizer Architekten Herzog & de Meuron. Anfangs in Zusammenarbeit mit dem Künstler Ai Weiwei

So werden sehr aufwendige und kostspielige organische Formen oftmals lediglich als Designmittel verwendet. Die Formen der Natur dienen dabei als ästhetische Vorlage, jedoch nicht als Quelle für zu abstrahierende architektonische Lösungen. Eine Gefahr, die diese zuvor angesprochene Verherrlichung der Natur und deren Gestalt mit sich bringt. Trendwörter wie „green architecture“ werden als Rechtfertigung verwendet oder übermäßig begrünte Außenflächen als Verschleierung.



Abb.1.16: Blattunterseite mit Stützrippen der königlichen Riesenseerose *Victoria cruziana*

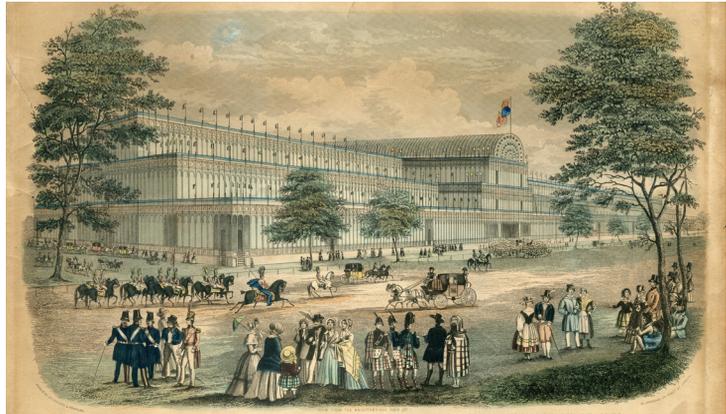


Abb.1.15: Joseph Paxtons Crystal Palace als Ikone des Stahlskelettbaus und Kind der industriellen Revolution

Anders soll sich Joseph Paxton, der nicht nur Architekt, sondern auch Botaniker gewesen ist, beim Design des Crystal Palace von den Stützrippen eines Seerosenblatts inspirieren haben lassen. Es entbehrt also nicht einer gewissen Ironie, dass ausgerechnet dem britischen Aushängeschild für Innovation und industrieller Macht dieser Zeit eine bionische Idee zugrunde liegt.

*„Wenn Anregungen aus der Natur in bautechnisches oder architektonisches Gestalten einfließen sollen, geht das nicht ohne den Zwischenschritt der Abstraktion.“<sup>13</sup>*

13 Nachtigall/Pohl 2003, 1.

Die Überleitung zur Rolle der Architektur bildet die sogenannte „Bau-Bionik“. Jener Teil der Architektur, der sich mit der Umsetzung natürlicher Phänomene auf technologische Probleme beschäftigt und eine interdisziplinäre wissenschaftliche Arbeit zwischen Biologen, Physikern und anderen Naturwissenschaftlern und Ingenieuren, Architekten und Designern darstellt.

## 1.4 Die Rolle der Architektur

Architektur beschreibt die Auseinandersetzung des Menschen mit gebautem Raum, in erster Linie als zweckdienlicher Raum, um den Menschen zu schützen. Für das Verständnis dieser Rolle beziehe ich mich auf Marshall McLuhans Medien-Theorie und sehe Architektur als technische Extension des Menschen.<sup>14</sup>

14 Vgl. McLuhan 1964, 5f.

Wenn ich also von Bedürfnissen einer Architektur sprechen werde, sind es jene, die sie braucht, um sich selbst zu erhalten und auch jene, die einen Raum für den Menschen komfortabel und damit lebenswert erscheinen lassen.

Im Rahmen der Recherchearbeit über die Rolle der Architektur für meinen Entwurf habe ich mich vor allem mit aktuellen Tendenzen in der Architektur beschäftigt, welche oft parametrischen Entwürfen folgen, also Entwürfen, deren Erscheinungsform auf einem Programm-Code basiert.



Abb.1.17: Jürgen Mayer's Metropol Parasol in Sevilla

Das ursprünglich aus der digitalen Animationstechnik stammende parametrische Modellieren ermöglicht eine Vielzahl an Formfindungstechniken, um die wachsende gesellschaftliche Komplexität zu bedienen. Durch derartige, auf einem Script basierende Entwürfe, entsteht auch ein neuer Stil, welcher nach Patrick Schumacher der neue „internationale Stil“ ist.<sup>15</sup>

15 Vgl. Schumacher 2009, 14f.



Abb.1.18: Conway's Spiel des Lebens entwirft ebenfalls Formen nach einfachsten Regeln

16 Vgl. Rogers 1992, 2.

Dazu werden Algorithmen verwendet; Handlungsvorschriften für die Lösung von bestimmten Problemen, die aus einer Reihe definierter Einzelschritte bestehen.<sup>16</sup>

17 Vgl. Schuhmacher 2009, 15.

Die Ästhetik soll dabei durch die Eleganz geordneter Komplexität und den Eindruck nahtloser Fluidität entstehen. Diese sind Eigenschaften, „die auch in natürlichen Systemen vorkommen“.<sup>17</sup>



Abb.1.20: Norwegens Fjorde als Beispiel für Fraktale in der Natur

In der Natur treten häufig sogenannte Fraktale auf; also selbstähnliche Muster, die durch einen vergleichsweise simplen Code, eine große Vielfalt hervorbringen.

18 Vgl. TEDx, Oosterhuis 2011.

Nach Kas Oosterhuis ist die Natur selbst eine Art von „Computation“. Parametrismus oder generative Architektur lassen sich also als bionische Entwurfsmittel verstehen, da diese im Prinzip dem Wachstum natürlicher Organismen, gesteuert durch einen DNA-Code, nachempfunden sind.<sup>18</sup>

Dementsprechend wird Parametrismus oft mit organischen Erscheinungsformen gleichgesetzt. Das ist aber nicht zwingend notwendig. Im Entwurf „Museum Plaza“ von der Gruppe REX Architekten werden bis knapp vor Baubeginn noch Nutzungsdaten verarbeitet und die Volumina danach angepasst. Diese Flexibilität und Anpassung an äußere Umstände ist während der Planungsphase eine wesentliche Eigenschaft des Parametrismus.



Abb.1.19: Museum Plaza von REX Architekten als Beispiel für Parametrismus ohne organische Formensprache

Komplexe Ergebnisse können dabei genauso logisch und klar erscheinen wie die rationale Strenge der Moderne. Eine gerade Linie zwischen zwei Punkten zu führen ist demnach genauso klar, wie eine Linie zu generieren, die einem einfachen Code folgt, welcher aber möglicherweise zu einer komplexen Erscheinung dieser Linie führt.

Es ist hierbei also wichtig, den Unterschied zwischen komplexen Strukturen und komplizierten Strukturen zu nennen.<sup>19</sup> Dekonstruktivismus zum Beispiel setzt auf komplizierte Lösungen; Parametrismus auf komplexe.

19 Vgl. TEDx, Oosterhuis 2011.

Die Verwendung von entsprechenden Hardware-Technologien wie 3D-Drucker oder Industrierobotern eröffnet neue Gestaltungswege in der Architektur, wie auch die stetig wachsende Rechenleistung immer komplexere Simulationen, generative Algorithmen und Optimierungen zulässt. Die Kombination dieser beiden Potenziale durch eine kreative Idee kann interessante neue Architektur hervorbringen.

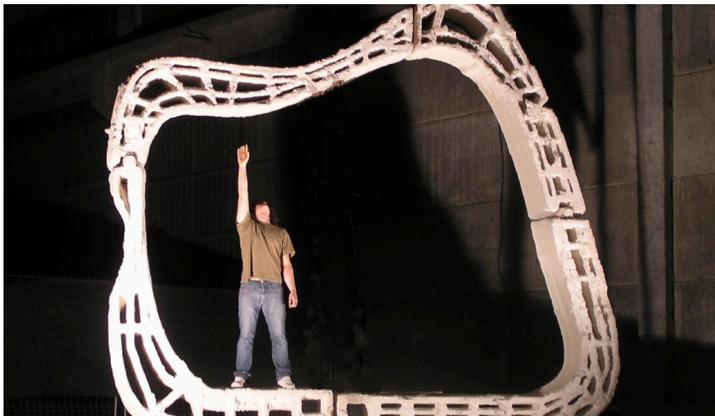


Abb.1:21: Enrico Dinis D-Shape Produktionsverfahren ermöglicht freie Formen

Die Moderne richtete sich gänzlich nach der Massenfertigung der Gebäude oder Gebäudeteile. Die dadurch entstehende repetitive Architektur wird heute abgelöst von individuellen, multifunktionalen Bauten, die durch computergesteuerte mass-customization ermöglicht und wirtschaftlich geworden sind.

Der Entwurf "ProtoHouse" des Londoner Architekturteams Softkill Design ist dahin gehend statisch optimiert, dass Material nur dort

aufgebracht wird, wo es benötigt wird. Ein Algorithmus erzeugt die Struktur entlang von Stresslinien, die ähnlich einem Knochenaufbau, durch das Material laufen.



Abb. 1.23: Trabekel eines menschlichen Oberschenkelknochens (Femur) im Schnitt



Abb.1.24: Gustave Eiffels architektonisches Pendant zum Femur



Abb.1.22: Eigenwillige Formensprache im ProtoHouse von Softkill Design

Das Streben nach Effizienz ist ein großer Antrieb in der Selbstgestaltung der Natur. Simulierte evolutionäre Optimierungsprozesse finden zunehmend Anwendung in der Architektur. Die Wirtschaftlichkeit solcher Produktionen steigt auch mit der Verbindung digitaler Planungs- und Fabrikationsmethoden.

Tragwerksquerschnitte können dadurch beliebig und spezifisch gestaltet werden, um noch effizienter zu sein. Optimiert wird hierbei aber notwendigerweise immer auf einen statischen Extremfall hin. Um Betriebskosten zu senken, können Gebäude energetisch auf einen Durchschnitt optimiert werden

Ökonomisches Bauen ist mittlerweile Ausbildungsgegenstand an Universitäten. Für eine nächste Generation von Architekten ist es vermutlich ein selbstverständliches grundlegendes Planungsmittel.

Smart homes werden zunehmend interaktiver und reagieren unmittelbar auf deren Benutzung, mit dem Ziel, den Alltag effizienter und dadurch für den Menschen angenehmer zu gestalten. Die Einbindung von Robotern nicht nur in die Fabrikation, sondern auch in die fertige Architektur spielt eine immer größer werdende Rolle und ist damit bereits nicht mehr nur eine Vision.



Abb.1.25: Internet Of Things

Das Internet der Dinge bezeichnet die Idee einer vernetzten Infrastruktur von Alltagsgegenständen durch globale Informationsgesellschaften.<sup>20</sup>

20 Vgl. Mattern/Flörkemeier 2010, 107-121.

Das Gebäude selbst wird zum Roboter. In Benjamin Ennemosers Entwurf übernehmen Roboter die Kontrolle von raumgestaltenden Elementen. Technologie ermöglicht also, einen neuen Maßstab für interaktive oder kinetische Architektur zu finden. Die Einbindung von Computern und vernetzten Gebäuden wird zunehmend wichtiger für präzise und intelligente Planung solcher Bauten.



Abb.1.26: Benjamin Ennemosers Diplomarbeit „Massive Movement“

Evolutionäre Optimierungsprozesse werden in vielen Bereichen der Wissenschaft eingesetzt und sind jetzt schon in der Lage, menschliches Entwerfen zu übertreffen, weil sie unsere Fähigkeiten, deren Ergebnisse nachzuvollziehen, übersteigen. Welche Folgen haben diese Entwicklungen für unsere Architektur?

Derzeit sind evolutionäre Optimierungsprozesse in parametrischer Architektur als vorläufig optimale Beispiele, für eine Umsetzung der Idee der Bionik in der Architektur, zu sehen. Wie auch die Pflanzen- und Tierwelt eine evolutionäre Entwicklung durchlaufen, verändern sich auch unsere Gebäudetypen im Laufe der Epochen.

Gemäß einer Evolution der Gebäudetypen und der Annahme, dass stets gebaut wird, was momentan technisch möglich ist<sup>21</sup>, könnte ich mir zukünftig gebaute Architekturen als intelligente biologische Maschinen vorstellen.



Abb.1.27: MX3D's additiv 3D gedruckte Brücke, bei der der Druckkopf mit dem Gebäuden wandert, soll schon bald in Amsterdam realisiert werden

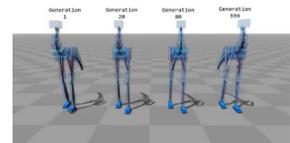


Abb.1.28: Google DeepMind AI lernte sich selbst durch simulierte Evolution das Gehen

21 Vgl. Carpo 2011,35-44.

## 1.5 Die Rolle des Materials



Abb.1.30: Frei Ottos Deutscher Pavillon in Montreal, 1967 (mit Rolf Gutbrod, Fritz Leonhardt), Foto: Atelier Frei Otto Warmbronn

Wenn wir von intelligenten und adaptiven Gebäuden sprechen, stellt sich sofort die Frage des Materials. Textile Architektur bietet als Alternative zu konventionellen Baustoffen sehr viel mehr Möglichkeiten in Form- und Gestaltbarkeit.

Ein ominöses Super-Material für die vorhin beschriebenen Ideen von intelligenter und reaktiver Architektur müsste jedoch noch sehr viel mehr können. Wenn wir einen Wandel von gewachsenen zu wachsenden Strukturen vollziehen wollen, müssten dies auch die Materialien mitmachen. Zunächst soll aber ein kurzer Einblick in den aktuellen Stand der Forschung gegeben werden.



Abb.1.31: Gradienter Aufbau eines Bambus Rohres



Abb.1.29: Probekörper gradienten Betons des Institutes für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren der Universität Stuttgart

Gradienter Beton hat viele Eigenschaften eines wachsenden Materials. Bei der Herstellung können Dichte, Porosität und damit Wärmeleitfähigkeit und Festigkeit innerhalb des Bauteils kontinuierlich angepasst werden. Das erlaubt die präzise Anfertigung an tatsächlich auftretende Beanspruchungen.<sup>22</sup> Ist er jedoch einmal gefertigt, bleibt er in jenem Zustand.

22 Vgl. Heinz/Herrmann/Sobek 2012, 9.

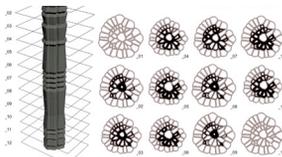


Abb.1.32: Seiichi Suzukis generativ erzeugte Stützenskulptur

Der Entwurf "Poro City" von Seiichi Suzuki hat Ähnliches zum Ziel. Durch die Zugabe von Styroporkugeln kann die Dichte des Materials einer Stütze beeinflusst werden. Auch sind die unterschiedlichen Querschnitte der Stütze im Entwurf angelehnt an den Aufbau einer biologischen Zelle. Die Idee eines Materials mit variabler Porosität

könnte man nicht nur im Bauteil-Maßstab anwenden, sondern auf ein gesamtes Gebäude übertragen weiterdenken.

Tatsächlich in Form gewachsene Materialien gibt es zum Beispiel aus Funghi. Der Mykologe Philip Ross lässt das getrocknete Wurzelmaterial von Pilz in Blockform wachsen. Der dabei gewonnene Ziegel ist widerstandsfähig und biologisch abbaubar.

Ein in Form gewachsenes Material, welches die Fähigkeit des Wachsens dabei aber nicht verliert, ist Holz. Der nachwachsende Rohstoff Holz wird seit jeher nicht nur als geschlagenes Baumaterial verwendet, sondern auch im lebenden Zustand verbaut. Diese Technik, oft als "tree shaping" oder pleaching<sup>23</sup> bezeichnet, verwendet Bäume oder baumähnliche Pflanzen, um funktionale Strukturen und Gartenkunst zu erzeugen.

Die deutschen Architekten Ferdinand Ludwig, Oliver Storz und Hannes Schwertfeger arbeiten an zeitgenössischen Entwürfen dieser Technik. Zu Beginn wird eine Stützkonstruktion aus Eisen aufgestellt, um die dann junge Bäume gewickelt werden. Mithilfe eines computergesteuerten Zuglastsystems werden die Bäume in ihre Position gezwungen und über die Zeit gestärkt. Sobald das Geflecht die nötige Last tragen kann, wird die Eisenkonstruktion entfernt.



Abb.1.33: Erste „Tree Shaping“ Versuche der Architekten Ferdinand Ludwig, Oliver Storz and Hannes Schwertfeger

Auch Mitchell Joachim ist überzeugt, eines Tages Lebensraum aus wachsenden Bäumen zu schaffen, um einen ganzheitlich nach-



Abb.1.34: Der Mycelium Brick von Philip Ross besteht aus den wurzelähnlichen Fasern von Pilzen

23 Vgl. Northey/Cook 2010, 15f.



Abb.1.35: Über mehrere Generationen hinweg baut das Volk der Khasi im indischen Bundesstaat Meghalaya diese Brücken aus lebenden Bäumen



Abb.1.38: Hendrik Jonkers selbstheilender Beton schließt Risse durch kalkproduzierende Bakterien



Abb.1.36: Mitchell Joachims Fab Tree Hab

haltigen Baukörper zu erhalten. Ausgangslage seiner Arbeit ist die Umweltbelastung bei der Errichtung und Erhaltung herkömmlicher Architektur. In seiner Vorstellung verschmelzen Architektur und Umwelt.<sup>24</sup> Die Herstellung erfolgt dabei ebenfalls über eine computer-gesteuerte Unterkonstruktion, über die das organische Material in einem frühen Stadium geflochten werden kann und so als vorgefertigtes Bauteil dient.

24 Vgl. TED, Joachim 2010.

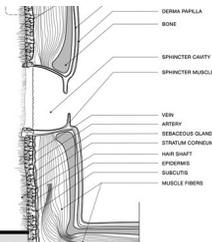


Abb.1.39: Mitchell Joachims Vorstellung eines Architekturdetails aus Fleisch aus dem Labor



Abb.1.37: Grafiken aus Geoff Manaugh und John Beckers Blog „Architecture-by-Bee and Other Animal Printheads“

Weiters bestehen theoretische Ansätze, tierische Produkte als Baustoffe zu verwenden. So könnte man Bienen ähnlich der Düse eines 3D Druckers verwenden. Geoff Manaugh und John Becker hatten die Idee eines Science Fiction Szenarios von genetisch modifizierten Bienen, die imstande wären, Beton zu drucken, um in urbanen Umgebungen Mauerwerksschäden an Gebäuden oder Säulen zu repa-

rieren. Dieses Gedankenspiel nimmt jedoch ein dystopisches Ende und warnt somit vor unkontrollierbaren, tierischen Druckköpfen in Überzahl.



Abb.1.40: MIT Media Labs Silk Pavillon

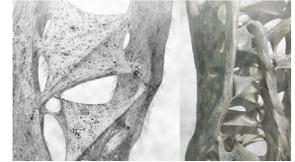


Abb.1.42: An Seide als künftigen Baustoff denken auch Qi Su und Shenyuan Guo

Der Silk Pavillon des MIT Media Lab in Cambridge hingegen wurde real umgesetzt. Er besteht aus einer digital fabrizierten Unterkonstruktion, die sich am Aufbau des Kokons der Seidenraupe orientiert. Ein 1km langer Faden wurde mithilfe eines Roboters in unterschiedlich dichte Bereiche um die Unterkonstruktion gewickelt. Anschließend wurde von 6500 Seidenraupen eine äußere Schicht als Raumabschluss erzeugt. Das Projekt untersucht damit die Beziehung zwischen digitaler und biologischer Fabrikation in architektonischem Maßstab.



Abb.1.41: Ori Elisars Living Language

In Kunst und Design werden auch Bakterien als Gestaltungsmedien exploriert. Dabei werden Prozesse und Muster des Wachstums beobachtet und gestalterisch verwendet.

Ein Prozess der Veränderung, ähnlich einem Wachstum, ist auch in den Fassadenelementen zahlreicher gebauter Projekte zu finden. Kinetische Fassaden reagieren auf Umwelteinflüsse und regulieren den Innenraum. Ein besonderes Beispiel stellt der Themenpavillon der Expo 2012 in Yesou dar. Die Fassadenelemente funktionieren wie die Kiemen eines Fisches. Die Lamellen bestehen aus glasfaserverstärktem, elastischem Kunststoff. Durch eine computergesteuerte Druckspannung biegen sich die Lamellen durch ihre Materialeigenschaften nach Bedarf nach öffnen den Innenraum, ermöglichen eine Querlüftung und wirken als Sonnenschutz.

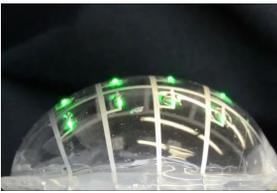


Abb.1.44: Schweizer Forscher der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) arbeiten an dehnbare Elektronik



Abb.1.43: Westfassade des Themenpavillons von soma (Stefan Rutzinger, Kristina Schinegger, Martin Oberascher und Günter Weber)

Während bei kinetischen Fassaden die Steuerung von einem zusätzlichen Computer übernommen wird, gibt es auch so genannte intelligente Materialien, die ohne ein externes Steuerungssystem auf Umweltbedingungen reagieren.



Abb.1.45: Nitinol, Vertreter der Formgedächtnis-Legierungen

Nitinol zum Beispiel ist eine Nickel-Titan-Legierung, die imstande ist, immer wieder zu ihrer ursprünglichen Form zurückzukehren. Verbiegt man das Material also beliebig, bleibt es in diesem Zustand, bis es unter der Zuführung von Wärme wieder in den Ursprungszustand zurückkehrt.

Neben intelligenten Materialien gibt es auch sogenannte Meta-Materialien, wie sie am Hasso-Plattner Institut entwickelt werden. Per definitionem sind es Materialien mit einem Aufbau, der in der Natur nicht vorkommt, nicht natürlich ist. Meistens finden diese Verwendung im Mikrobereich.

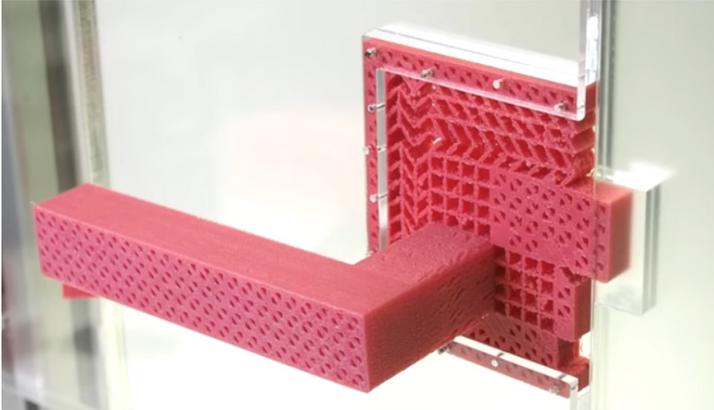


Abb.1.46: Meta-Material-Mechanismus des Hasso-Plattner Institutes in Potsdam

Mechanismen wie etwa der eines Türverschlusses, können mit unterschiedlichen Geometrien und damit unterschiedliche Eigenschaften innerhalb des Materials erzeugt werden. Auf diese Art entfällt die additive Konstruktion und damit die Notwendigkeit für diverse Einzelteile wie Schrauben oder Winkel. Das Material besteht aus Silikonzellen, angeordnet in verschiedenen Mustern, um verschiedene Steifigkeiten zu erzeugen und damit das Material in einer vorgegeben Weise reagieren zu lassen.

Die Materialfrage war stets ein entscheidender Punkt in der Umsetzung neuer Architektur. Denn gebaut wird immer das, was technisch möglich,<sup>25</sup> und weiterhin wirtschaftlich ist. Durch weitere Forschung und prototypische, explorierende Anwendung werden Materialien, wie die zuletzt beschriebenen, effizienter und wirtschaftlicher. Als „Aktanten“<sup>26</sup> öffnen und verstärken sie die architektonische Verarbeitung intelligenter, multifunktionaler und flexibler Materialien.

25 Vgl. Carpo 2011,35-44.

26 Vgl. Latour 2005, 54f.

## 1.6 Die Rolle der Biologie

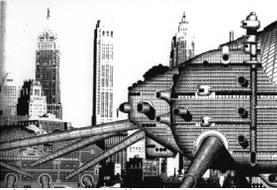


Abb.1.47: Walking City, utopisches Konzept in der Zeitschrift Archigram 1964

27 Toepfer 2017, 161f.

Biologie ist die Lehre vom Lebenden. Sie beschäftigt sich mit Gesetzmäßigkeiten des Lebendigen, speziellen Besonderheiten der Lebewesen, deren Aufbau, Organisation und Entwicklung sowie ihren vielfältigen Strukturen und Prozessen und ist damit ebenso Bestandteil der Baubionik wie die Architektur.

Der Begriff Leben lässt sich über eine Summe von Aktivitäten definieren.<sup>27</sup> Folgende charakteristische Bedingungen und spezifische Eigenschaften werden dafür üblicherweise genannt:

- Energie- und Stoffwechsel und damit Wechselwirkung mit ihrer Umwelt.
- Organisiertheit und Selbstregulation (Homöostase).
- Reizbarkeit auf chemische oder physikalische Änderungen in ihrer Umwelt.
- Fortpflanzung, also die Fähigkeit zur Reproduktion.
- Vererbung, also die Fähigkeit Informationen (Erbgut) an ihre Nachkommen übermitteln.
- Wachstum und damit die Fähigkeit zur Entwicklung.<sup>28</sup>

28 Vgl. Grolle, Johann, Konkurrenz für Gott, 2010, 115, 04. Jänner, <http://magazin.spiegel.de/EpubDelivery/spiegel/pdf/68525307>, 2017, 15 Oktober.

29 Vgl. Smith 1990, 11f.

John Maynard Smiths Definitionen fokussieren auf Leben als sich ständig verändernde und funktionelle Organismen.<sup>29</sup> Daraus resultieren nicht nur Problemstellungen, die einen breiten Diskurs innerhalb der Biologie eröffnen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen konkrete Perspektiven für eine zukünftige Architektur unter jenen biologischen Aspekten des Lebens problematisiert werden.

Für die Übertragungen dieser Kriterien auf Architektur scheint vor allem der Aspekt der Bewegung betrachtenswert. Folgt man diesem Aspekt, kommt man dadurch von einem Konzept der statischen zu jenem einer dynamischen Architektur.

Die Baubionik enthält in ihrer Idee bereits viele dieser Eigenschaften einer bewegenden, als adaptiven Architektur. Der Begriff Metabolismus kann hier als biologischer und architektonischer verstanden

werden. Intelligente Bauwerke können sich der jeweiligen Situation anpassen.

Eine zukünftige Brücke zum Beispiel, könnte sich bei hoher Last versteifen und bei minimaler Last entspannen, um Material einzusparen und den Verschleiß zu reduzieren,<sup>30</sup> so Stefan Schäfer vom Institut für Massivbau, der TU Darmstadt.



Abb.1.48: Die vorgesetzte Fassade der Al Bahar Towers von Aedas Architects schützt vor Überhitzung und Blendung

Alles verläuft zyklisch.<sup>31</sup> Diese Eigenschaft steckt in uns selbst und ist uns durch unser natürliches Umfeld vertraut und bietet dadurch ein Gefühl von Sicherheit. Der Umstand der Wiederholung ist eine notwendige Bedingung damit Evolution stattfinden kann.

*„Dabei ist die Zeitstrecke, die Dauer in der sich diese einzelnen Prozesse abspielen, ebenfalls von bemerkenswerter Gleichmäßigkeit. Ein Tag, eine Woche, ein Jahr. Die Mondphasen. Die Wiederholung, die regelhafte Wiederkehr dieser Prozesse ist für deren Erhaltung überlebensnotwendig. Stillstand würde Ende bedeuten.“<sup>32</sup>*

Michael Schumacher spricht von “der Poesie der Bewegung”. Darüber dass Bewegung nicht nur praktisch sein sollte, sondern auch poetisch. Zum Beispiel erzeugt eine langsame und gleichmäßige Bewegung Dramatik. Poesie entsteht dann, wenn die Form der Teile und der Mechanismus der Bewegung an sich einfach sind, jedoch

30 Vgl. Schäfer 2011, 50.



Abb.1.49: am MIT werden verschluckbare faltbare Roboter entwickelt

31 Vgl. Schumacher/Schaeffer/Vogt 2010, 18.

32 Ebda., 19.

zusammen während des Prozesses der Bewegung eine hohe Komplexität aufweisen und kognitiv nicht mehr nachvollziehbar sind.

So ist es für einen Entwurf wichtig, wo diese Bewegung entspringt. Es spielt mit der Erscheinung eines Modells, ob eine Kraft aus dem Inneren oder von außen wirkt, ob sie versteckt oder offen gelegt wird.

Es existieren bereits zahlreiche Beispiele für kinetische Architektur. Die Bewegung beschränkt sich meistens jedoch auf einzelne Teile der Fassade, erlauben es diesen Bauwerken aber dennoch, intelligent auf ihre Umwelt zu reagieren.



Abb.1.51: Michael Jantzens wandlungsfähige Häuserstrukturen

Die Möglichkeit der Bewegung ist eng mit den Möglichkeiten des Materials verbunden. In bisheriger meist statischer und passiver Architektur werden vergleichbare Effekte oft über Auffaltung erreicht. Wie auch in der Natur werden dadurch eine flexiblere Gestalt und eine größere Variabilität der Gesamfläche erzielt.

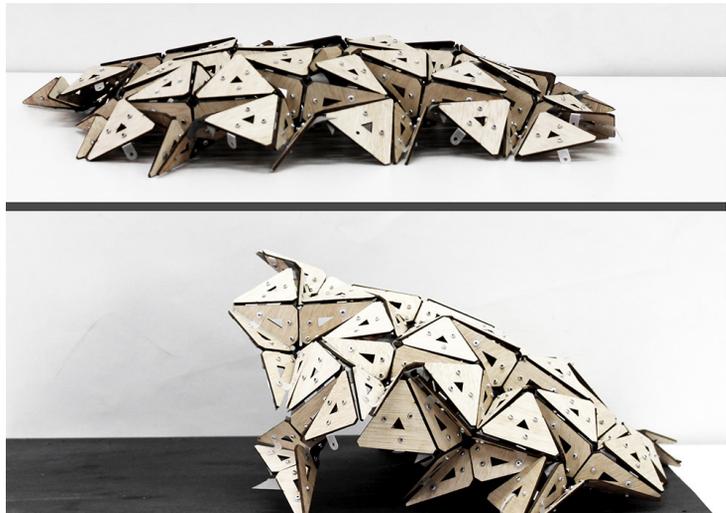


Abb.1.50: Forschung für komplexe Mechanismen responsiver Architektur des Institute for advanced architecture of Catalonia

Eine weitere Möglichkeit, Bewegung umzusetzen, bilden elastische Materialien- eine reversible Verformung durch hohe Dehnbarkeit.

Barkow Leibinger und Regine Leibinger sprechen von einer möglichen Zukunft in der Wände dynamisch sind; materiell und räumlich.

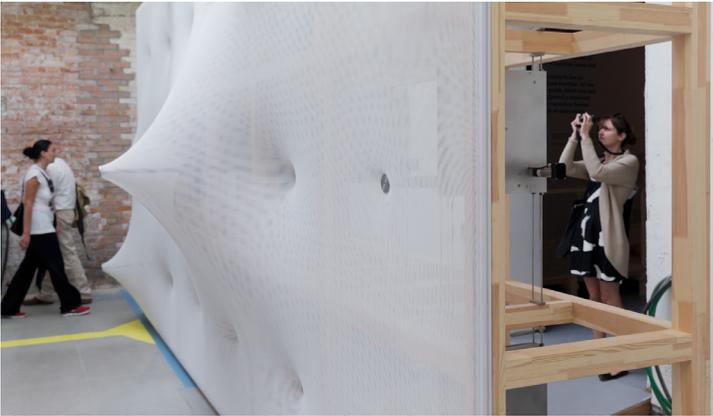


Abb.1.52: Die kinetische Wand von Barkow Leibinger und Regine Leibinger bei der 14ten Architekturbiennale

Ihre kinetische Wand war bei der 14ten Architekturbiennale ausgestellt, in einem Raum, der sich der Geschichte der Wände widmete.

Kas Oosterhuis verfolgt die Idee einer dynamischen Architektur bereits seit 2000. Seine Idee einer "Hyperbody" Architektur basiert auf Schwarmverhalten.<sup>33</sup> Wie ein Vogelschwarm aus Tausenden Individuen besteht, besteht auch parametrisch erzeugte Architektur aus individuellen aber zusammengehörigen Einzelteilen. Diese werden durch CNC gesteuerte Fertigung präzise erzeugt und ermöglichen eine komplexe „non-standard Architektur“. Zudem kann Architektur nach der Idee von „Hyperbody“ nicht nur reaktiv, sondern interaktiv sein.<sup>34</sup>

33 Vgl. Oosterhuis 2012.

34 Vgl. Jauk 2014, 281.



Abb.1.53: Kas Oosterhuis's kinetischer Muscle NSA Pavillion bringt den Besuchern ein natürliches Gefühl von langsam wechselnden Bedingungen näher

Hingegen zur strengen, kühlen und rationalen Formsprache der Moderne, begünstige eine derartige Architektur eine Beziehung auf emotionaler Basis zwischen Mensch und Gebautem, denn dabei spiele die Bewegung eine wichtige Rolle.



Abb.1.54: BMWs Konzept Auto Gina soll einen flexiblen und emotionalen Eindruck vermitteln

## 1.7 Die Rolle der Psychologie

Auch die Rolle der Psychologie ist entscheidend für die Thematik einer lebendigen Architektur. Psychologie als Beschreibung und Erklärung menschlichen Erlebens und Verhaltens in Interaktion mit der Umwelt. Eine empirisch erprobte Zuweisung menschlicher Gefühle zu architektonischen Raumparametern findet sich jedoch in der Fachliteratur nicht.

Mit Otto Bollnows Mensch und Raum als Stütze habe ich versucht, diese Raumparameter subjektiv zuzuordnen. So verlangt der Mensch im Zustand tiefer Traurigkeit nach der Enge einer Höhle. Mit freudigem Gemüt sucht er nach frei geöffneten Entfaltungsräumen.<sup>35</sup>

35 Vgl. Bollnow 1990,230.

*„...daß der Raum mehr ist als das immer gleiche Feld gegenständlicher Erkenntnis und zweckhaften Handelns, daß er vielmehr aufs engste [sic!] mit der Gefühls- und Willensseite, überhaupt mit der gesamten seelischen Verfassung des Menschen zusammenhängt.“<sup>36</sup>*

36 Ebda., 229.

In künftiger, lebendiger Architektur wäre der Raumparameter der Geschwindigkeit der adaptiven Bewegung neu. Die Empfindung von Länge, Breite und Höhe eines Raumes können wir stets in Relation zum eigenen Körper erleben. Wie ein schneller oder langsamer Lebensraum auf uns wirkt, wäre eine neue Erfahrung.

Design, das auf emotionales Verhalten abzielt, muss mit der menschlichen Psyche interagieren. Für die Simulation der Interaktion zwischen Mensch und Maschine gibt es zahlreiche Systeme. Zunächst gilt es jedoch menschliche Gefühle zu quantifizieren, um Algorithmen mit konkreten Zahlenwerten versorgen zu können.

Dafür liefert die Emotionspsychologie verschiedene Methoden, basierend auf unterschiedlichen Modellen. Ein anerkanntes Modell ist das der sieben Basisemotionen nach Paul Ekman. Diese Grundgefühle, oder Primäraffekte, sollen empirisch nachweisbar und kulturunabhängig sein.<sup>37</sup> Mimik, Stimme und der Körper können diese

37 Vgl. Ekman 2010, 26-28.



Abb.1.55: Sieben Basiseemotionen nach Ekman ausdrücken und qualitativ abbilden.

Ein stärkerer Bezug zu Menschen und Bewegung und Emotion hätte ein System, welches nicht emotionalen Ausdruck über Gesichtserkennung leistet, sondern Gestenerkennung, und damit die Bewegung des gesamten Körpers im Raum, nutzt.

Eine weitere unter Psychologen anerkannte Methode ist das Self-Assessment-Manikin (SAM)-Verfahren. Es ist unter anderem deswegen so vorteilhaft, weil es ein einfaches Selbsteinschätzungsverfahren ist, das schnell und sprachfrei funktioniert.

Es ist die valide Verfeinerung der Messung der Selbsteinschätzung emotionalen Empfindens nach dem Konzept der Dimensionalität von

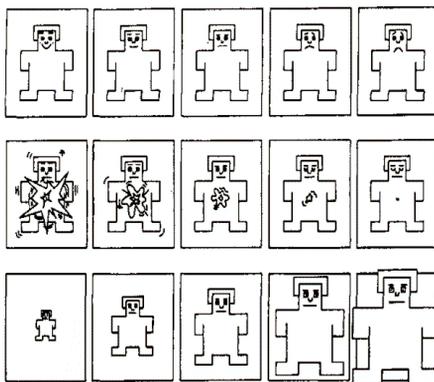


Abb.1.56: Die Skalen des Self-Assessment Manikins (SAM)

Gefühlen im semantischen Raum nach Osgood.

Das SAM-Verfahren besteht aus einer Grafik mit drei Dimensionen. Freude, Erregung und Dominanz (im Sinn von sozialer Dominanz). Je nach Gefühlszustand kann die Person auf einer fünfstufigen Skala ein entsprechendes Piktogramm auswählen.<sup>38</sup>

38 Vgl. Bradley/Land 1994, 49-59.

Aus diesen drei Werten kann sich dann jede beliebige affektive Empfindung zusammensetzen. Etwa wie sich auch jede Farbe durch drei digitale Farbwerte abbilden lässt; Rot, Grün und Blau.

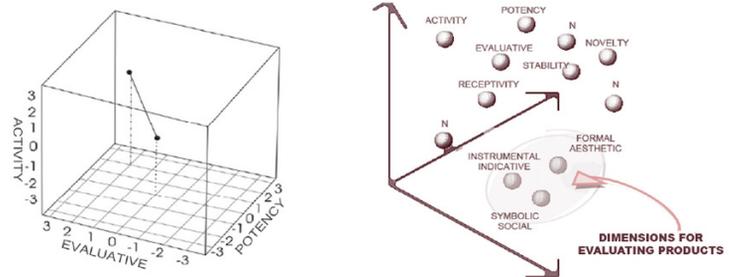


Abb.1.57: Drei-dimensionale Gefühlsordnung nach Osgood im semantischen Raum

39 Vgl. Zillmann/Bryant 1985, 157-190.

Die Optimierung der Architektur dient damit im weitesten Sinne unter anderem auch dem Mood Management<sup>39</sup> der Menschen darin. Dieses basiert auf der Homöostase menschlichen Lebens in physischen, sozialen und kulturellen Interaktionen mit der Umwelt.

Wenn wir von intelligenten, optimierenden Architekturen sprechen und von menschlichen Bedürfnissen, stellt sich die Frage, mit welchen sozialen Zielen optimiert wird.

Zudem wird sich möglicherweise die Frage stellen, für wen optimiert wird; für den lebenden Menschen oder die lebendige Architektur? Es bedarf somit auch die Frage nach der Ethik solcher künftiger Architekturen.

## 1.8 Die Rolle der Kunst

Kunst als menschliches Kulturprodukt ist das Ergebnis eines kreativen Prozesses.<sup>40</sup> Ergebnisse, die nicht immer eindeutig einer praktischen Funktion zugewiesen sind.

40 Vgl. Farthing, 2011.

Ich sehe Kunst gerne als Möglichkeit durch uneingeschränktes und kreatives Handeln, neue Ideen oder Fragen aufzuwerfen und körperlich erfahrbar zu machen.

Kunst mit starkem technologischen Bezug, oder „Art-based research“<sup>41</sup>, kann oft eine Art Pionierrolle einnehmen. Gerade dann, wenn Technologien entwickelt werden, es aber noch an Ideen zur Nutzung dieser fehlt. Eine Gesellschaft, der es gut genug geht, Kunst hervorzubringen, wird sich auch dementsprechend schnell weiterentwickeln.

41 Vgl. McNiff 2008, 29-40.

Ich habe das physische Modell zu dieser Arbeit für die Ausstellung im Rahmen des Ars Electronica Festivals 2017 konzipiert. Ein Festival für Kunst, Technologie und Gesellschaft.<sup>42</sup>

42 Ars Electronica Festival  
<https://www.aec.at/festival>

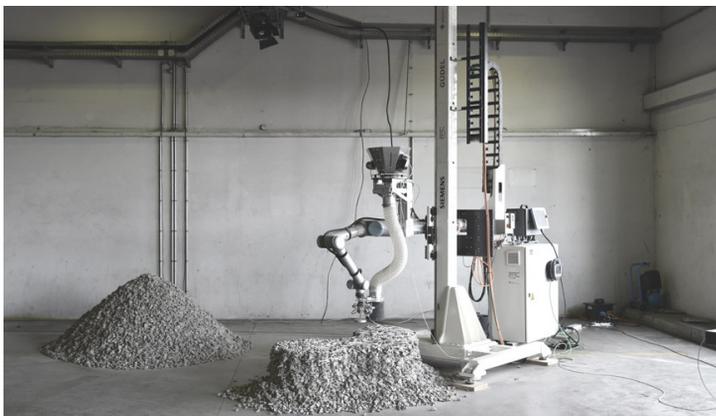


Abb.1.58: Das Projekt „Rock Print“ der Gramazio Kohler Research, ETH Zurich liegt zwischen experimentellen Fertigungsmethoden und Kunst

*“A shift in methodology can bring tremendous insight and relief [...] the use of our hands, bodies and other senses as well as the activation of dormant dimensions of the mind, may offer ways of solving and re-visioning problems that are simply not possible through descriptive and linear language.”<sup>43</sup>*

43 McNiff 2008, 33.

Wenn Kunst als forschende Disziplin verstanden wird, dann soll auch vorliegende Arbeit als Kunstprojekt gesehen werden. Ich möchte mich in meinem Entwerfen bewusst in einem Bereich aufhalten, der über Machbares hinausgeht, gleichzeitig aber nicht zu utopisch ist, um für nicht-machbar gehalten zu werden.

Mit Oscar, dem modularen Menschen, erzählt der Medienkünstler Floris Kaayk die frei erfundene Geschichte eines Wissenschaftlers mit der Vorstellung, den menschlichen Körper durch einen modularen Aufbau zu erzeugen und zu verbessern.



Abb.1.59: Oscar, ein Medienkunstprojekt des niederländischen Filmemachers Floris Kaayk

Tatsächlich aber werden Videos und Fotos des Projektes über Social-Media-Plattformen zu einer medialen Wirklichkeit und für wahr gehalten. So löst das Kunstprojekt rund um Oscar Debatten über die Definition von Leben, Sterblichkeit und die Erschaffung von Leben durch Menschenhand aus, ohne entsprechende Änderungen der physikalischen Realität.

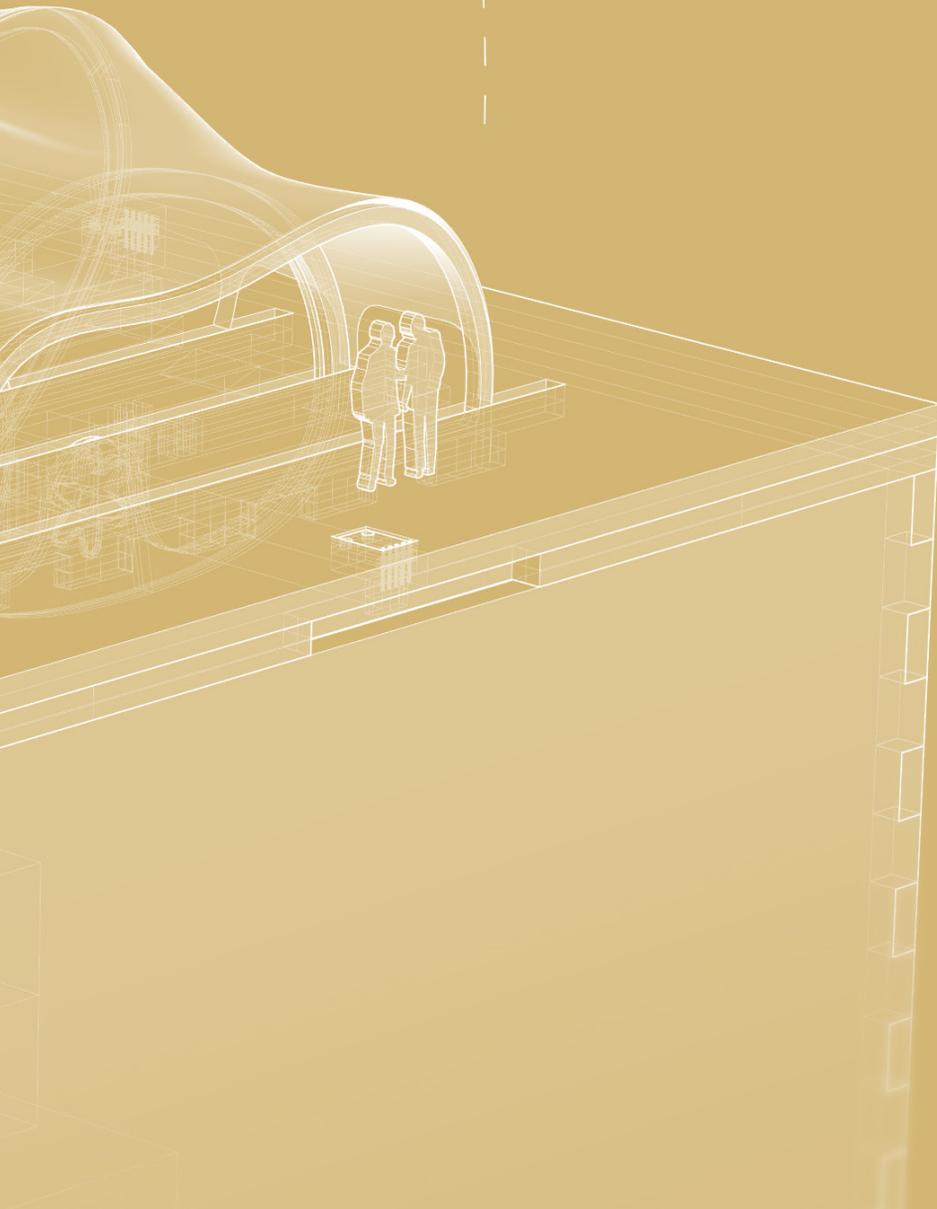
Wie Oscar kein Prototyp eines modularen Menschen ist, sondern die reflexive Vorstellung eines künstlichen modularen Menschen erregt, versucht „A living piece of architecture“ ebenso nicht, das Modell einer konkreten Architektur zu sein, sondern die reflexive Vorstellung einer lebendigen Architektur zu erregen.

Die Rolle der Kunst in der vorliegenden Arbeit ist demnach ein Medium zur Sensibilisierung, welches hier konkret Denkanstöße über lebendige Architekturen liefern soll.





# FRAGESTELLUNG





## 2 Fragestellung

Um ökonomischer zu bauen, Material und Kosten einzusparen, wird statisch oder energetisch optimiert. Während meines Studiums habe ich mich mit einer Reihe von Optimierungsprozessen im parametrischen Design beschäftigt. Optimierung von Tageslichtfaktoren, Minimierungen des Energieverbrauches, Materialeinsparungen in Tragsystemen und Ähnlichem.

Optimiert werden kann jedoch immer nur hinsichtlich statistischer Extrem- oder Durchschnittswerte. Das bedeutet gleichzeitig, dass Bauwerke die meiste Zeit ihrer Lebensdauer nicht vollends optimiert sind, da Belastungen und Umwelteinflüsse ständig variieren.

Ausgangslage der Arbeit ist die Problematik, dass der Einsatz von evolutionären Optimierungsalgorithmen, von digitalen Planungs- und Fabrikationsprozessen, mit dem Ziel höchster Wirtschaftlichkeit - aber gleichzeitig ästhetischer und funktionaler Vielfalt- heutzutage bei der Fertigstellung des Designprozesses endet.

Würden eben diese in den Lebenszyklus der fertigen Architektur mit aufgenommen werden, würden sie noch weit größeres Potenzial entwickeln. Welten von Entwerfen, Bauen und Beleben würden korrespondieren.

Demnach sollte künftige Architektur sensitiv und kinetisch sein. Dies sind auch gleichzeitig Kriterien, die in der Biologie Materie als lebendig beschreiben. Sensorik und Elektrik können physische Reizbarkeit über ein Reizleitungssystem bilden. Motorik und neuartige Materialien können eine Anpassung an die Umwelt durch Bewegung und Wachstum ermöglichen.

Eine derartige Architektur könnte sich situationsbedingt ändern und intelligent auf wechselnde Umwelteinflüsse, Belastungen oder Bedürfnisse reagieren.

Ich ziele darauf ab, die Vorteile des parametrischen Designs mit in das fertige Stück Architektur zu nehmen und einen evolutionären Optimierungsprozess zum Kern dieser Arbeit zu machen.

Denn eben solche Algorithmen, welche eine ständige Anpassung an äußere Umwelteinflüsse zur Folge haben, sehe ich als Kern des Lebens. Das ist das, was evolutionär seit Jahrtausenden geschieht und zugleich jede Sekunde. Diesem Konzept folgend, spreche ich von einem lebendigen Stück Architektur.

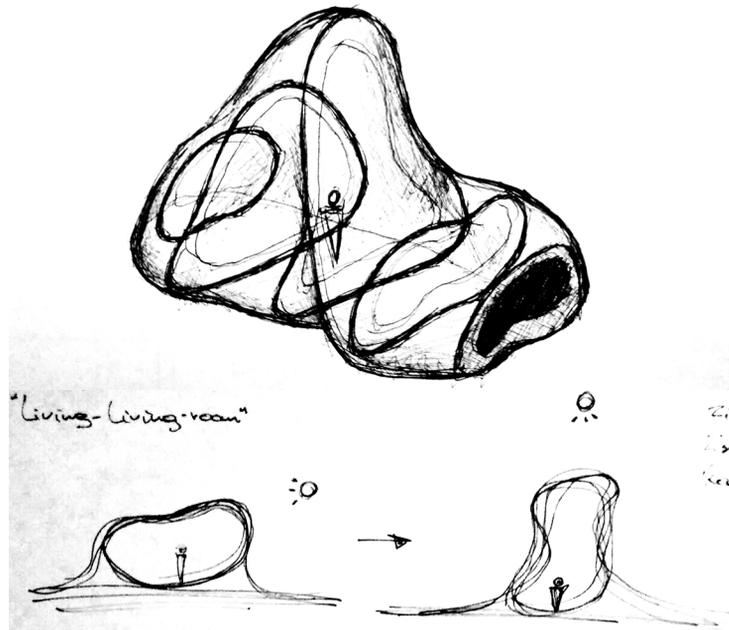


Abb.2.1: Erste Entwurfsskizzen

1 Vgl. TEDx, Beesley 2012.

Die Zuschreibung von Leben soll hier einen symbolischen Charakter überschreiten.<sup>1</sup> Gebäude sind bereits jetzt stellenweise sensitiv und kinetisch, werden jedoch noch nicht als lebendig gedacht. Künftige Architektur sollte noch viel radikaler auf Umwelteinflüsse reagieren und Teil eines evolutionären Lebensprozesses sein.

Um diese Ideen zu veranschaulichen, möchte ich ein physisches, prototypisches Architekturmodell einer konzeptuellen und utopischen Architektur entwerfen, welches durch eine konstant wechselnde Morphologie den Prozess des Lebens abbilden und erfahrbar ma-

chen soll. Parallel zu dem physischen Modell soll auch ein digitales Modell den Entwurf für den Partizipanten erweitern.

Wichtig ist mir demnach der Versuch einer Auflösung bestehender Dualismen, wie etwa der Grenzen zwischen natürlich und künstlich, so wie zwischen analog und digital vorzunehmen.

Die biologischen Kriterien von Leben sollen dabei plakativ angewandt werden, um einen Diskurs über die Frage zu eröffnen, was für uns der Begriff Leben in der Architektur in Zukunft bedeuten könnte. Ziel ist die Frage nach einer Struktur, die sich permanent so intelligent und natürlich auf wechselnde Bedingungen hin optimiert, dass man ihr Leben zuschreiben möchte.

Primär ist es die Frage nach der adaptiven Formänderung durch Interaktion mit physischer und menschlicher Umwelt. So soll durch Formänderung der Lichteinfall, als Symbol aller sonnenbedingten klimatischen Umwelteinflüsse, auf die Fassade reguliert werden, aber auch die Raumkonfiguration und die Lichtsituation im Inneren.

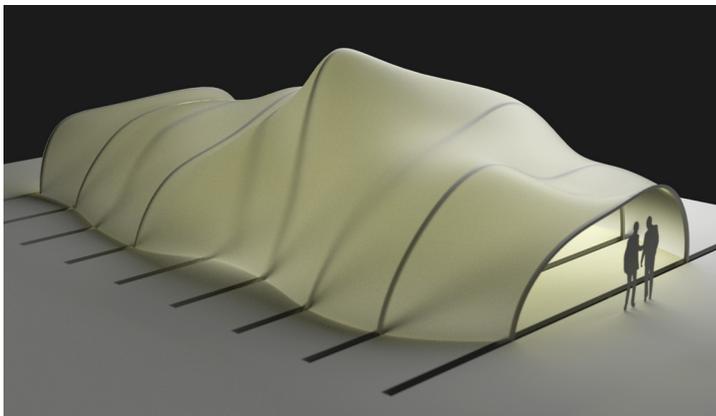


Abb.2.2: Erste Renderings zur Entwurfsidee

Inputs für diese Abläufe wären einerseits äußere Umwelteinflüsse wie Sonnenlicht, Lufttemperatur und Feuchtigkeit, aber andererseits auch der Gefühlszustand und das Verhalten des Menschen darin.

Dafür soll eine stark abstrahierte Architektur im Modell gezeigt werden. Funktional kann das Modell als Ausstellungspavillon gesehen

werden; reduziert auf einen Raum, ein Material, somit eine Haptik, und einen Menschen darin. Sinneseindrücke wie Gerüche, Raumklänge, etc. oder architektonische Details des Raumes werden nicht berücksichtigt.

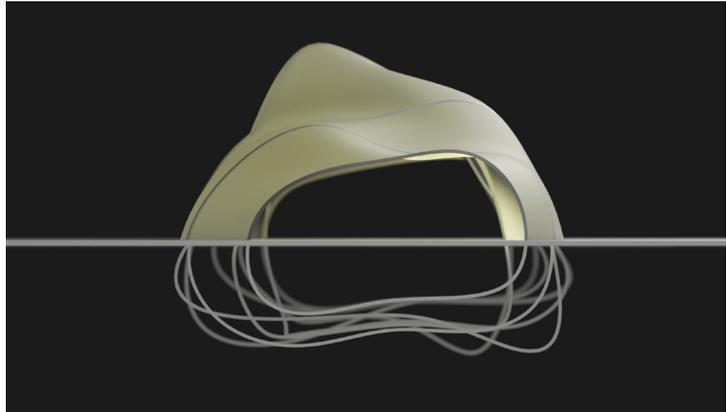


Abb.2.3: Seitenansicht um mögliche Konstruktion zu zeigen

Die Maßstäblichkeit des Modells soll dabei weitestgehend offen gelassen werden, um damit eine hohe Generalisierung zu ermöglichen. Innenarchitekten könnten darin Möbelstücke sehen, die sich nach den Bedürfnissen der Benutzer richten können. Die zum Beispiel über angenehmen Druck durch gestaltformende Bewegung für Bequemlichkeit sorgen, oder morgens helfen, aus dem Bett zu kommen.

Architekten könnten Bahnhofshallen sehen, die statt smarten Lichtleitungskonzepten über eine kinetische Gesamterscheinung große Menschenmengen beruhigen können oder verlorene Reisende zu ihrem Zug geleiten. Städteplaner könnten ein dynamisches Wachsen und Schrumpfen von Städten je nach Bedarf und klimatischen Bedingungen sehen.

*„Jeder Hausbau ist die Gründung eines Kosmos in einem Chaos. Ich halte mich hier vor allem an Eliade, der in seiner Darstellung ein reiches völkerkundliches Material zusammenfaßt. Jedes Haus, so betont er, ist ein Bild der Welt im ganzen, eine imago mundi. Die Welt im ganzen spiegelt sich im Hause.“<sup>2</sup>*

2 Bollnow 1990, 144.

Das Modell selbst soll keine Miniaturversion eines zu bauenden Entwurfes sein. Es soll vielmehr dahin gehend gestaltet sein, die Idee einer lebendigen Architektur bestmöglich und allgemeingültig erfahrbar zu transportieren.

Die Arbeit enthält daher, wenn man so möchte, zwei Entwürfe. Ein für die Ars Electronica 2017 gebautes physisches Modell samt Steuerungssystem, und die Vision einer künftigen Architektur die durch die erarbeiteten Ideen beschrieben wird. Während der erstgenannte Entwurf gekoppelt ist an die Einschränkungen materieller Bedingungen, ist der visionäre Zweite davon gelöst.

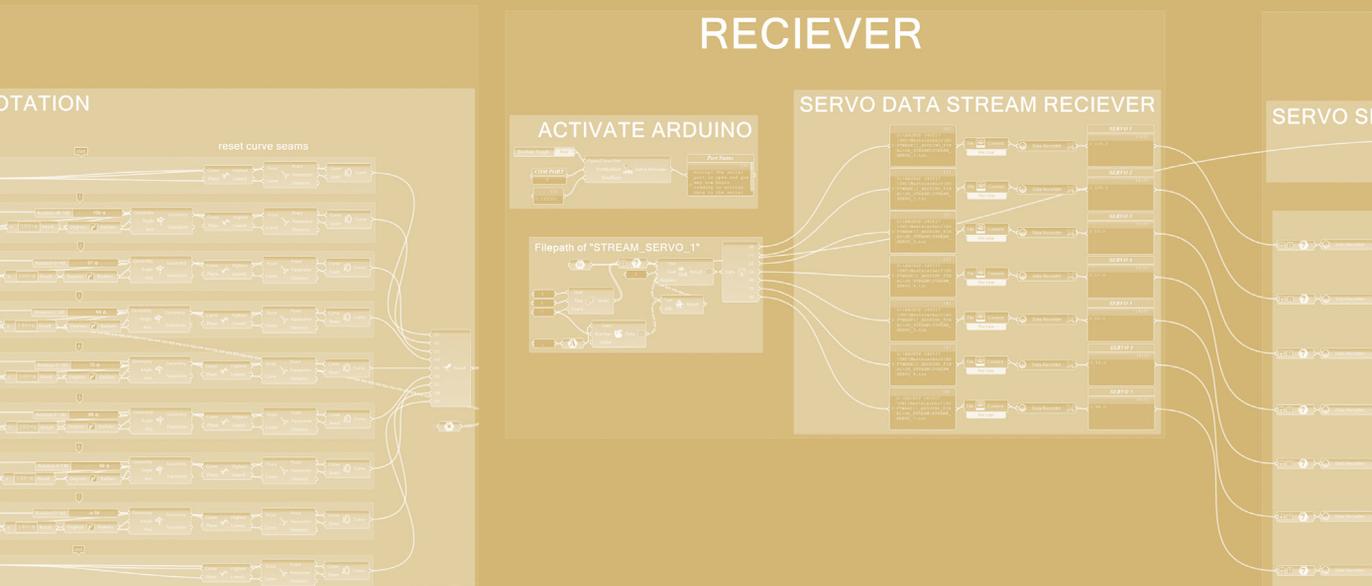
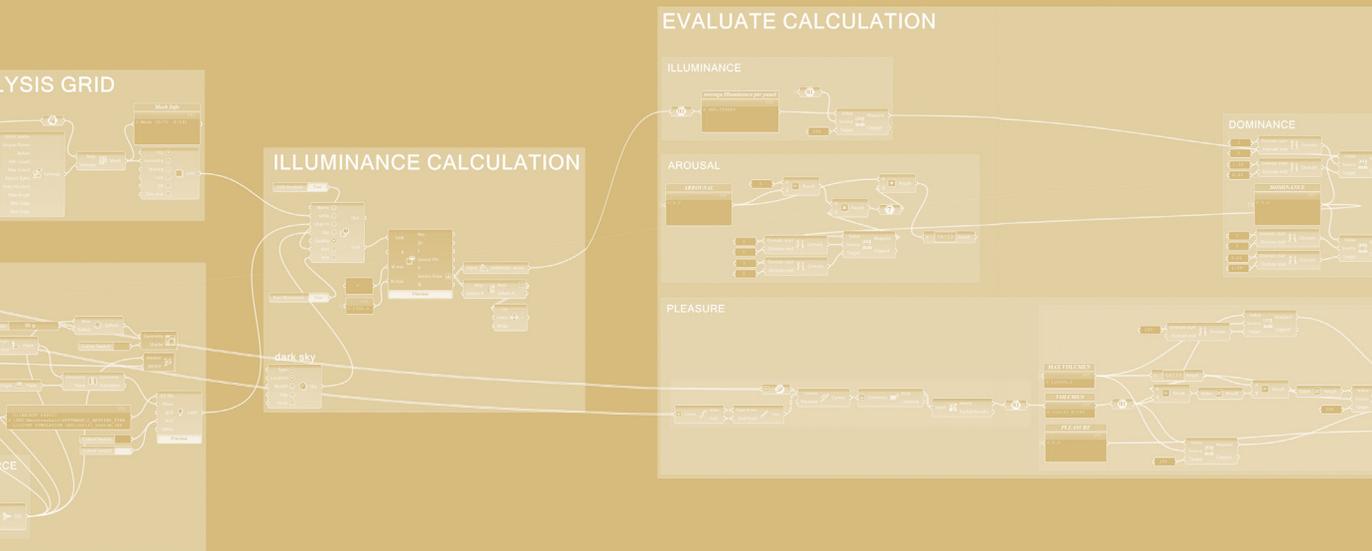
Unser Leben ist ständig im Wandel. Unser Alltag ist dynamisch, unsere Familienkonstellationen sind dynamisch. Zugleich leben wir in natürlichen Jahreszyklen mit gegebenen klimatischen Bedingungen.

So sollte auch unsere Architektur im Zeichen der Effizienz dynamisch darauf reagieren können, wenn man bedenkt, dass wir momentan auf einen durchschnittlichen Zeitraum von rund 60 Jahren wirtschaftlich planen und bauen.<sup>3</sup> Die Dimension der Zeit sollte künftige Entwürfe ebenso bestimmen wie derzeit räumliche Dimensionen.

<sup>3</sup> Vgl. Kleiber/Simon/Weyers 1998, 2123.



# UMSETZUNG (SOFTWARE)





### 3 Umsetzung (Software)

Die folgenden Kapitel sollen zeigen, welche Anforderungen und Probleme es zu berücksichtigen gilt, um die konkrete technische Umsetzung eines adaptiven, natürlich wirkenden Architekturmodells möglich zu machen.

Für die Umsetzung der Arbeit wurde eine Vielzahl verschiedener Programme getestet, da diese nicht nur jeweils ihren Teil effizient erfüllen sollten, sondern auch der Austausch zwischen den einzelnen Programmen möglich sein musste.

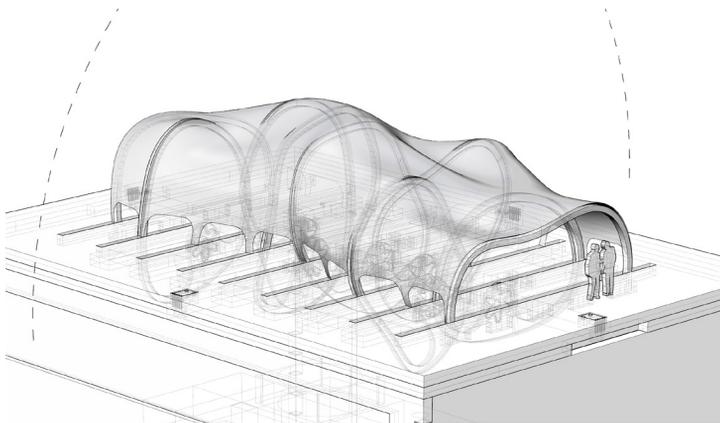


Abb.3.1: Grafik des ausgestellten Modells

Das Modell war von Anfang an als Ausstellungsstück konzipiert. Von jenen Besuchern konnte ich also nicht dasselbe Maß an Geduld erwarten, wie von Kollegen, die sich mit rechenaufwendigen Aufgaben wie Energy Design, parametrischem Modellieren, etc. beschäftigen. Es war also vor allem wichtig, dass die jeweiligen Teile der Berechnung und der Austausch untereinander möglichst schnell abliefen. Die Berechnungen laufen auf einem eigens für die Ausstellung zusammengestellten Desktop PC mit einem AMD Ryzen 7 Prozessor (8x3,3Ghz) und 64GB Arbeitsspeicher.

Ich möchte nun, ähnlich wie in der Rollenverteilung vorhin, alle Software-Mitspieler in ihrer allgemeinen Funktionsweise vorstellen, um dann das gesamte Software-Setup als Miteinander vorzustellen und das finale Programm damit nachvollziehbar zu machen.

### 3.1 Rhino und Grasshopper

- 1 Mesh, englisch für Polygonnetz. Die Summe von Punkten und Kanten einer Computergrafik um einen räumlichen Körper zu beschreiben

Rhinoceros 3D bildet die Grundlage der Arbeit. Es handelt sich hierbei um eine CAD Software die Architekten vor allem im Freiform-Design verwenden, weil der Aufbau von 3D-Objekten nicht auf polygonalen Meshes<sup>1</sup>, sondern auf mathematisch beschriebenen Kurven (NURBS Modelling, kurz für Non-Uniform Rational B-Spline) basiert. Organische Oberflächen können so schneller und leichter verarbeitet werden.

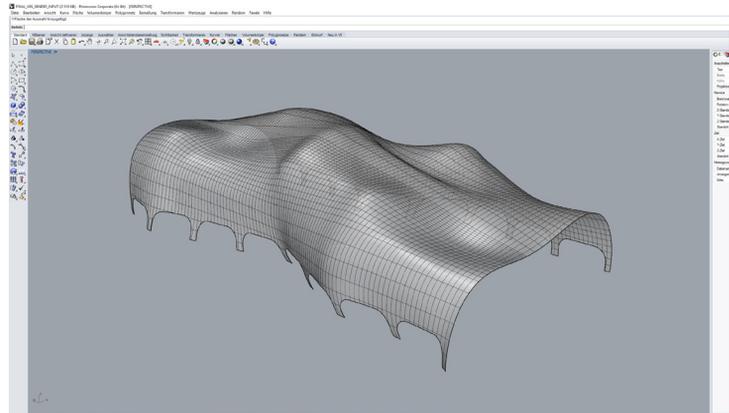


Abb.3.2: Dreidimensionale NURBS-Fläche



Abb.3.3: Beim Menschen äußert sich die Propriozeption durch Lage-, Kraft- und Bewegungssinn

Eine rasche Visualisierung war notwendig, um ein digitales und ein analoges Modell parallel ausstellen zu können. Propriozeption beschreibt die Selbstempfindung des Körper, also das Wissen über den eigenen Körper in der physischen Welt. Diese Eigenschaft, die üblicherweise nur lebenden Wesen vorbehalten bleibt, ist für die Ausstellung konzeptionell sehr wichtig um die Grenze zwischen analog und digital etwas verschwimmen zu lassen.

Auf diese Weise kann ich zeigen, was die Architektur über sich selbst weiß. Es kann nachvollzogen werden wie sie funktioniert und welche Software verwendet wird. Diese Aspekte werden nicht versteckt, sondern sollen Ideen und Interesse wecken.

Für die Inputs des Benutzers wird im ausgestellten Modell das aus der Psychologie stammende Modell des Self Assessment Manikin (SAM) verwendet. Die Eingabe des Gefühlszustandes erfolgt ebenfalls über

die grafische Oberfläche von Rhino. Für die Ausstellung ist der Besucher eingeladen, auf den jeweiligen Skalen die Blöcke seine momentanen Gefühlslage auszuwählen.

Auch war es mir persönlich ein Anliegen, das Projekt mit Rhino als Basis umzusetzen, um mich weiter darauf spezialisieren zu können und auch um Grenzen der sinnvollen Machbarkeit auszuloten, gerade wenn es um die Kombination von Soft- und Hardware geht.

Weiters habe ich vorwiegend mit dem Plug-in Grasshopper 3D gearbeitet, einer visuellen Programmiersprache für parametrisches oder generatives Designen innerhalb Rhinos. Die gesamte Programmierung des Steuerungssystems des Modelles geschah in Grasshopper.

Das letztendliche Software-Setup besteht aus zwei gleichzeitig geöffneten und laufenden Grasshopper Definitionen. Grasshopper ist „single threaded“, kann also Berechnungen nur auf einem Prozessor durchführen. Um die Rechenleistung zu erhöhen, wurde die Aufgabe in eine Inputs-lesende und-verarbeitende (sender\_input), und in eine Outputs-schreibende Definition (receiver\_output) aufgeteilt.

„Sender\_input“ sendet also die verarbeiteten Input-Daten an den Empfänger und Controller für den Output der Arbeit „receiver\_output“. Die Kommunikation zwischen den zwei Definitionen läuft über das Textformat .txt in Windows und enthält nur Zahlenwerte.

## 3.2 Galapagos

Den Antriebskern der Arbeit bildet der in Grasshopper integrierte evolutionäre Optimierungsalgorithmus Galapagos. Evolutionäre Optimierungen sind von der natürlichen Evolution inspiriert und somit eine bionische Technologie.

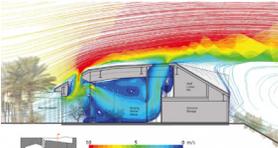


Abb.3.5: Umweltsimulationen im architektonischen Entwerfen

Der Algorithmus initialisiert zunächst durch zufällige Kombinationen von Genen Evaluierungen und lernt dabei eine gewünschte Zahl, das sogenannte Fitness-Kriterium, zu maximieren, beziehungsweise zu minimieren. Das Einbringen von Mutationen, zufälligen Änderungen in der Abfolge, verhindert ein Festfahren und vergrößert den Suchraum. Eine Iteration des Algorithmus besteht also aus: Selektion, Rekombination, Mutation und Evaluation.

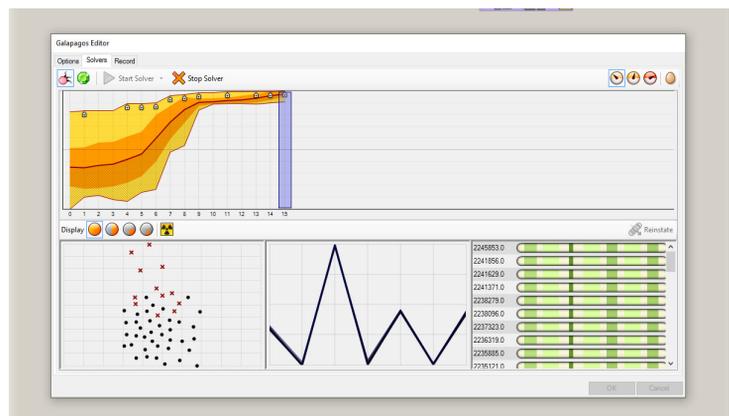


Abb.3.4: Screenshot von Galapagos im Zuge einer Optimierung

Für die Dauer einer Iteration muss Galapagos die dahinter laufende Grasshopper-Definition komplett pausieren, um nach der Selektion anderer Gene auf die Neuberechnung des Fitness-Wertes warten zu können. Ein weiterer Grund, warum es notwendig war, die Definition auf zwei Programme aufzuteilen.

In meinem Fall sind die variablen Gene des Algorithmus unterschiedliche exzentrische Scheiben. Je nach unterschiedlicher Rotation, also Ausrichtung, dieser drehbaren Unterkonstruktion entsteht im ausgestellten Modell eine spezifische Fläche darüber, welche dann auf verschiedene Kriterien hin evaluiert werden kann.

Nachdem der Algorithmus lediglich eine Zahl minimieren oder maximieren kann, ist es in diesem Fall ein zu maximierendes Kriterium, das sich aus der unterschiedlich gewichteten Addition von verschiedenen Inputs ergibt. Dazu später mehr.

Derartige Optimierungsprozesse gehen über die Suche nach einem Optimum hinaus und finden Anwendung im künstlerischen Design und in simulierten Modellen. Im Entwerfen von Architektur, Energy Design oder bei der topologischen Optimierung statischer Bauteile sind Tools dergleichen längst bekannt, nicht nur dazu da, um ökonomisch zu bauen, sondern als Gestaltungstool.

Es gibt zahlreiche dieser Algorithmen. Galapagos hatte jedoch den großen Vorteil, dass er bereits in Grasshopper integriert ist. Jedes weitere externe Plug-in hätte über einen weiteren Kommunikationsweg die Arbeit nur unnötig verlangsamt.



Abb.3.6: topologisch optimierter Sessel von Marco Hemmerling und Ulrich Nether

### 3.3 Arduino IDE

Das Arduino Integrated Development Environment (IDE) ist eine einfache Java-Plattform um Programm Codes für die Arduino Hardware zu schreiben und hochzuladen.

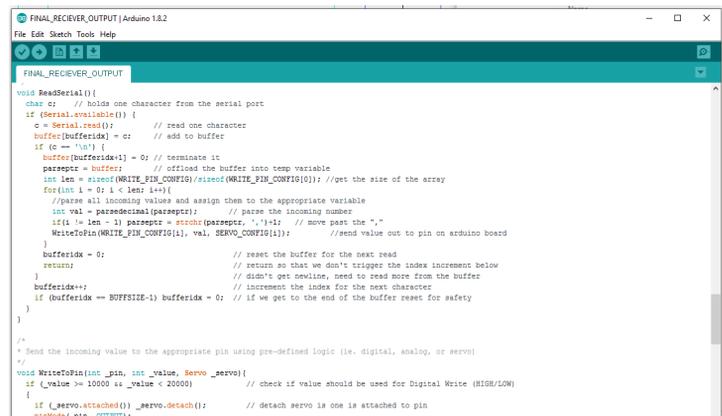


Abb.3.7: Screenshot aus dem Arduino IDE

Die hier geschriebenen Codes verwalten lediglich den Datenaustausch zwischen Soft- und Hardware. Wie vorhin erwähnt, geschieht die gesamte Verarbeitung und Berechnung dieser Daten in den Grasshopper-Definitionen. Die Rechenleistung der Arduino Hardware reicht nur für sehr simple Aufgaben aus.

Die Kommunikation geschieht über den Serial Monitor des Arduino IDE. Dieser zeigt die Werte der seriellen Leitung zwischen Computer und Arduino, die einzelne Bits überträgt.

Auch hier ist die Logik wieder aufgeteilt in einen Arduino Code für alle eingehenden Daten einer analogen Sensorik (sender\_input) und einen für alle ausgehenden Daten für eine Motorik (receiver\_ouput).

Die Programmcodes basieren auf einem vorgefertigten Code für die Kommunikation zwischen Arduino und der Software auf dem Host Computer, welcher mit einigen Zeilen und Libraries der verwendeten Sensoren erweitert und optimiert wurde. Der gesamte Code ist im Anhang der Arbeit angeführt.

### 3.4 Firefly

Firefly ist ein Plug-in für Grasshopper und liefert alle Komponenten, die es braucht, um das parametrische Modellieren in Rhino mit Input- und Output-Hardware zu verbinden. Für meine Arbeit ist es konzeptuell eine der wichtigsten Software-Aktanten. Nämlich jene, die die Schnittstelle zwischen digital und analog darstellt und somit deren Grenze verschmilzt.

Diese sogenannte Firefly Firmata wurde von Andrew Payne und Jason Kelly Johnson geschrieben.<sup>2</sup> Für meine Arbeit nahm ich die Version des 25. März 2015 als Basis. Folgende Libraries wurden innerhalb des Arduino IDE zusätzlich verwendet:

```
<BH1750FVI.h>3  
<DallasTemperature.h>4  
<OneWire.h>5  
<Servo.h>  
<pins_arduino.h>  
<Wire.h>6
```

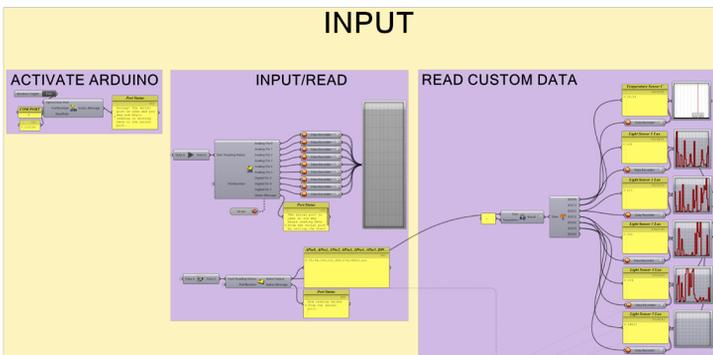


Abb.3.8: Screenshot der Firefly Grasshopper Komponenten zum Lesen des Arduino Serial Monitors

Über die Firefly Firmata ermöglicht Firefly das Lesen und Schreiben des Arduino Serial Monitors in Grasshopper. Einfache analoge Steuerungen können so mit komplexen digitalen Simulationen verbunden werden.

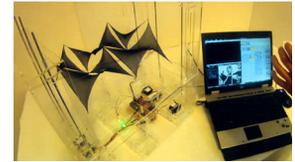


Abb.3.9: Referenzbeispiel von Lukas Aschauer für interaktive Architekturmodelle, gesteuert über Firefly

2 <https://www.arduino.cc/en/Reference/Firmata>

3 ([https://github.com/Genotronex/BH1750FVI\\_Master](https://github.com/Genotronex/BH1750FVI_Master))

4 (<https://github.com/milesburton/Arduino-Temperature-Control-Library>)

5 (<https://github.com/PaulStoffregen/OneWire>)

6 (standard arduino library)

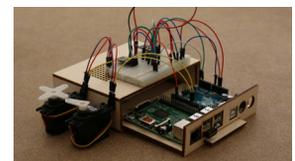


Abb.3.10: Erste Versuche Servo Motoren über Firefly anzusteuern

### 3.5 Diva

Die Suche nach einer geeigneten Software, um die Simulationen der Sonneneinstrahlung zu berechnen, hat sich zunächst als schwierig herausgestellt. Erste Versuche mit dem Grasshopper Plug-in Ladybug/Honeybee scheiterten an der langen Zeitspanne, die eine einzelne Berechnung benötigte.

Jede Iteration des evolutionären Optimierungsalgorithmus bedingt auch eine neue Berechnung der Sonneneinstrahlung. Im Idealfall sollte diese also nur wenige Sekunden dauern. Das Plug-in DIVA simuliert Umwelteinflüsse, um sie direkt in das Design einzubinden. Nach einigen Feineinstellungen mit der Hilfe von Jon Sargent, Co-Founder von Solemma und Mitentwickler von DIVA<sup>7</sup>, wurde die solare Einstrahlung für die vorliegende Oberfläche in kürzester Zeit berechnet.

<sup>7</sup> <http://www.solemma.net/About.html>

Die Berechnungen bezogen sich ausschließlich auf die Außenseite des Entwurfes, auf nur ein Material und auch auf keinen städtebaulichen Kontext. Folgende Parameter der in DIVA enthaltenen Ray-Tracing Software Radiance wurden entsprechend diesem Szenario eingestellt.

Für eine ausführliche Beschreibung der Radiance Parameter

[http://radsite.lbl.gov/radiance/refer/Notes/rpict\\_options.html](http://radsite.lbl.gov/radiance/refer/Notes/rpict_options.html)

Param	Beschreibung	Min	Fast	Accur	Max
-aa .15	ambient accuracy	.5	.2	.15	0
-ab 1	ambient bounces	0	0	2	8
-ad 512	ambient divisions	0	32	512	4096
-ar 256	ambient resolution	8	32	128	0
-as 64	ambient super-samples	0	32	256	1024
-dr 2	direct relays	0	1	3	6
-ds .2	source substructuring	0	.5	.15	.02
-lr 6	limit reflection	0	4	8	16
-lw .004	limit weight	.05	.01	.002	0
-dc .75	direct certainty	0	.25	.5	1
-dp 2048	direct pretest density	32	64	512	0
-dt .05	direct thresholding	1	.5	.05	0
-st .01	specular threshold	1	.85	.15	0
(-ms 0.063)	medium sampling distance				

Raytracing beschreibt ein Verfahren, bei dem die Sichtbarkeit von Objekten im dreidimensionalen Raum durch das Aussenden von Strahlen von einem bestimmten Punkt aus ermittelt wird.<sup>8</sup>

8 Vgl. Bungartz 2002, 135.

DIVA benötigt für die Simulationen außerdem Information zu der Lichtquelle. Für diese Berechnungen konnte im Modell nicht mit sonst üblichen Wetterdaten oder vorhersehbaren Sonnenpfaden gearbeitet werden.

Ich bin davon ausgegangen, dass die Position der Lichtquelle für jede Iteration in Echtzeit neu ermittelt wird. Für das Modell ist es eine Tischlampe mit einem 1500 Lumen starken LED Leuchtmittel. Die Strahlen fallen also nicht parallel ein und somit ist auch die Einstrahlung auf der Oberfläche des Modells weniger gleichmäßig, als bei Sonnenlicht in größerem Maßstab.

Diese Informationen über die Lichtdistribution werden in .ies Files gespeichert. Je deterministischer die Umstände für die Simulationen sind, desto schneller ist die Berechnung. Um die Berechnung möglichst korrekt zu halten, war es notwendig, für dieses Szenario spezifische photometrische Daten im IES LM-63-1991 standard File Format anzulegen.<sup>9</sup>

```
IESNA91
[TEST]2863-B
[MANUFAC]JAUK
[LUMCAT]C7394
[LUMINAIRE]DOWNLIGHT
[LAMPCAT]T-4 FR MC
[LAMP] 250W FROST
TILT=NONE
1 4850 1 19 1 1 1 -6 0.00 0
1 1 250
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90
0
8100 6998 5999 4995 3938 2574 1328 698 306 189 54 5 0 0 0 0 0
0 0,ded
```

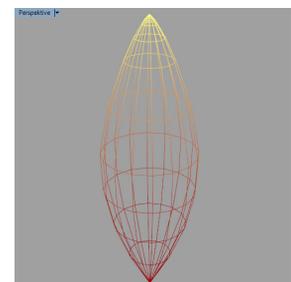
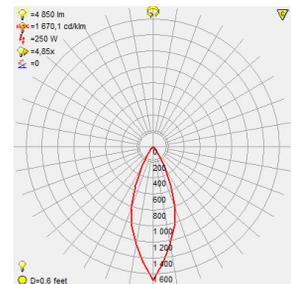


Abb.3.11: Vorschau der Lichtdistribution des spezifischen .ies Files

9 mehr Informationen zu dem IES LM-63-1991 standard file Format auf <http://www.iesna.org>

### 3.6 Das Steuerungssystem

Dieses Kapitel soll das Miteinander der vorhin vorgestellten Teilprogramme erklären und damit das Steuerungssystem hinter dem ausgestellten Modell nachvollziehbar machen.

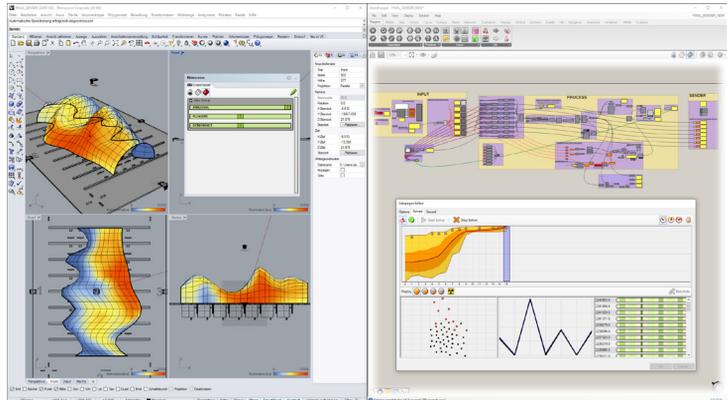


Abb.3.12: Screenshot von dem Software Setup sender\_input

Das finale Software-Setup besteht also aus sender\_input und receiver\_output Paaren der 3D Modellierungssoftware Rhino als Basis und Visualisierungssoftware; jeweils aus dem parametrischen Design Plug-in Grasshopper, um die Daten zu verarbeiten, unter anderem durch den evolutionären Optimierungsalgorithmus Galapagos und das Plug-in Firefly als Schnittstelle zur Hardware, weiters das Plug-in DIVA/Radiance, um die Einstrahlung zu simulieren und dem Arduino IDE, um die Microcontroller entsprechend zu programmieren.

Ich möchte nun zunächst die erste Hälfte des Steuerungssystems (sender\_input) Schritt für Schritt durchgehen. Die ersten Inputs sind die Daten des menschlichen Verhaltens. Je nachdem welche Geometrie im Rhino-Ansichtsfenster ausgewählt ist, stellt das Interface den jeweiligen Wert für die weiteren Gewichtungen der Berechnungen ein.

Weiters wird die Kommunikation mit dem Serial Port des sender\_input Arduinos hergestellt, von dem dann auch alle Inputs seitens der Architektur, wie etwa die Lichtstärke in Lux-Werten, Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit eingelesen werden können.

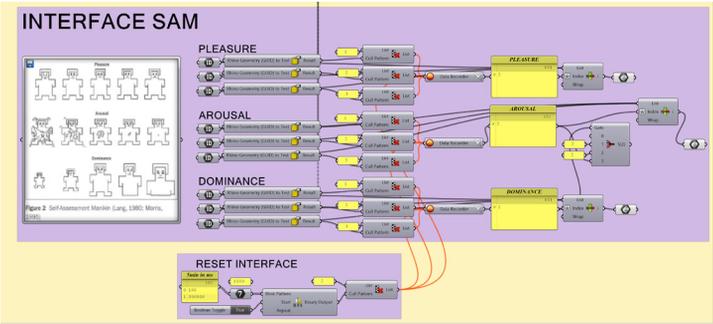


Abb.3.13: Interface Eingabe

Über die Werte der Lichtsensoren wird dann geometrisch die Position der Lichtquelle ermittelt. Bei vier Sensoren und starkem Umgebungslicht lässt sich lediglich die ungefähre Richtung ermitteln. Je stärker der Wert eines Sensors ist, desto stärker drückt dieser die - zuerst in der Mitte angenommene - Lichtquelle in seine jeweilige Richtung.

Bei fünf Sensoren lässt sich die Position über den zusätzlich in der Mitte platzierten Sensor sehr genau berechnen. Die Position Lichtquelle kann dann auf einem fixen Abstand zum Modell angenommen werden und auf eine Sphere projiziert werden oder über Kalibrierung auch gänzlich über die Sensordaten bestimmt werden. Die Methode der Positionsfindung über den Basiskreis erwies sich als schnellste und zuverlässigste Methode.

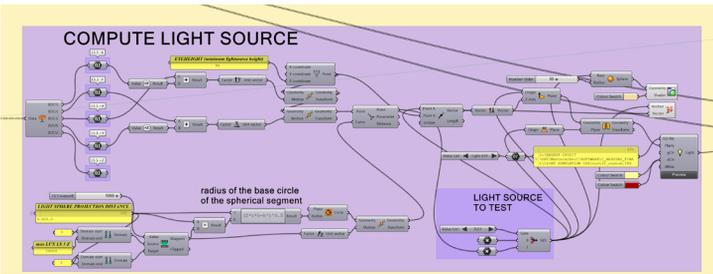


Abb.3.14: Lichtquelle ermitteln

Nach dieser Berechnung der Eingangsdaten wird der Optimierungsalgorithmus eine neue Orientierung der drehbaren Unterkonstruktion einstellen. Auf diesen Schritt hin muss jede Kurve der Unterkonstruktion um ihre vorgegebene Achse gedreht und mit der Nullebene

des Modells geschnitten werden. Auch muss Start- und Endpunkt der Kurve auf die Mitte zurückgesetzt werden, damit im weiteren Verlauf eine unverzerrte Fläche darüber gebildet werden kann.

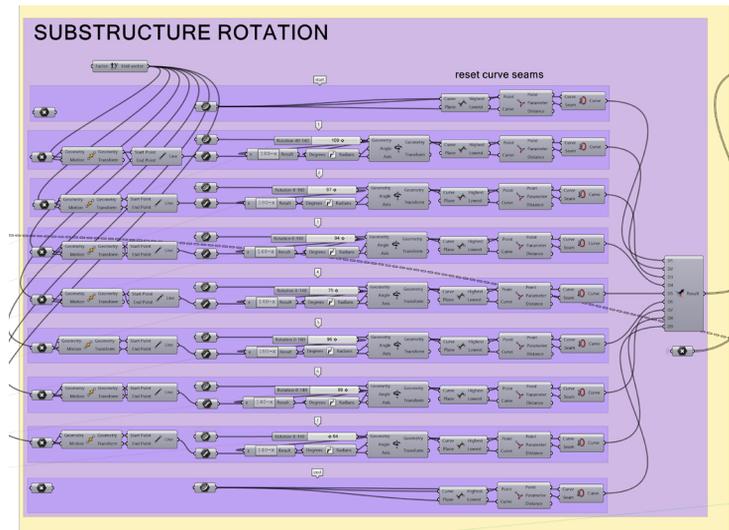


Abb.3.15: Unterkonstruktion Ausrichtung

Die Motoren werden später mit links- oder rechtsdrehenden Logiken eingebaut. Dementsprechend muss der Wert der Rotation je nach Motor und je nach maximaler Reichweite subtrahiert oder addiert werden, um sicherzugehen, dass analoges und digitales Modell übereinstimmen. Um das Verhalten einer textilen Membran im digitalen Modell nachzustellen, hatte ich zuerst begonnen, das dehnbare Verhalten in Kangaroo zu simulieren; ein Plug-in, welches die Echtzeit-Simulation von Objekten unter Einwirkung von physischen Kräften simulieren kann. Jedoch stellte sich auch hier die Simulation als zu zeitaufwendig heraus. Auch zahlreiche andere Wege über geometrische Operationen ein textiles Verhalten zu imitieren waren zu rechenaufwendig.

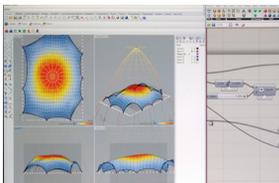


Abb.3.17: Screenshot des Physik Engine Plug-ins Kangaroo

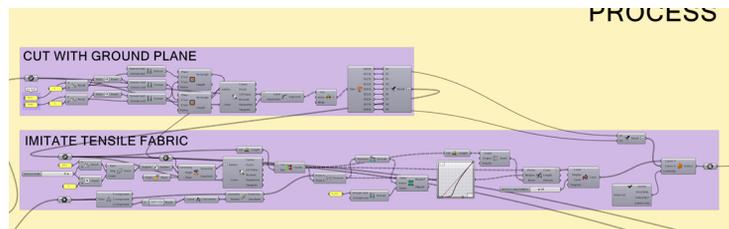


Abb.3.16: Membran erzeugen

Im finalen Programm wird die Oberfläche durch ein UV-Kurvennetzwerk erstellt. Über Splines mit unterschiedlich gewichteten Kontrollpunkten nähert sich das digitale Modell einem textilen Verhalten stark an. Unterschiedliche Gewichtungen ermöglichen zum Beispiel den weiter außen liegenden Kontrollpunkten mehr Spannung zu geben.

Die Oberfläche wird als Polygonnetzwerk, oder Mesh, erzeugt. Die Feinheit dieses Meshes bestimmt auch gleichzeitig die Dauer der Berechnung der Einstrahlung. Bei einer höheren Anzahl einzelner Flächen benötigt der Raytracing-Algorithmus mehr Zeit. Je feiner das Mesh ist, desto länger benötigt die Berechnung und damit auch die Iteration des Optimierungsalgorithmus.

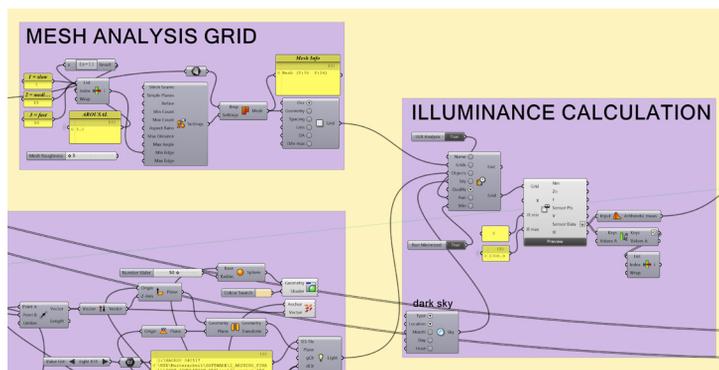


Abb.3.18: Einstrahlung simulieren

Der zuvor im SAM eingegeben Wert für Arousal, also die Erregung des Besuchers, regelt demnach die Feinheit dieses Meshes und schafft damit mehr Zeit für die Servomotoren, sich langsamer zu drehen. Das Modell wird ruhiger und kann genauere Ergebnisse erzielen. Andererseits ermöglicht eine schnelle Bewegung bei hoher Erregung nur eine gröbere Berechnung der solaren Einstrahlung.

Der Wert Pleasure regelt, wie das Volumen im Inneren des Modells gewichtet wird. Je höher der Wert für Pleasure, desto stärker soll eine Volumensmaximierung des Modells forciert werden. Bei einem hohen Pleasure-Wert wird ein großes Volumen prozentuell höher gerechnet. Ein geringeres Volumen wird dann mit einem geringen Prozentwert multipliziert.

Diese Ergebnisse fließen dann zusammen mit den anderen Inputs in jene Zahl ein, die der Optimierungsalgorithmus am Ende zu maximieren versucht.

Die soziale Dominanz bestimmt wiederum die Gewichtung dieses Wertes gegenüber den Bedürfnissen der Architektur. Wenn also die soziale Dominanz maximal ist, wird auch nur auf die Bedürfnisse des Menschen hin optimiert. Bei geringer sozialer Dominanz werden diese mit einer geringeren Prozentzahl multipliziert. Auf diese Art ist es dem Algorithmus möglich, durch das Maximieren einer Zahl unterschiedliche Faktoren zu berücksichtigen.

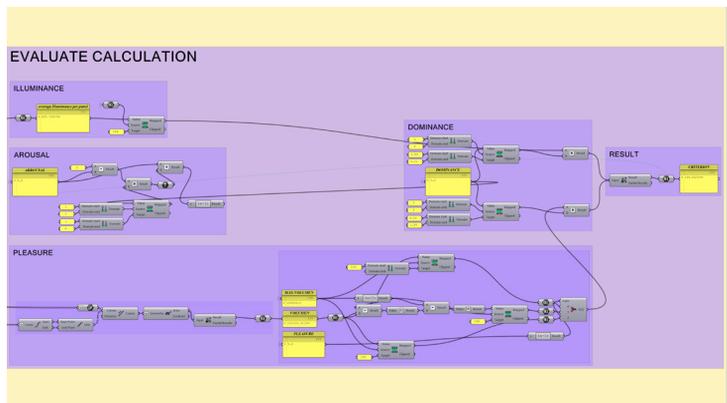


Abb.3.19: Wertigkeiten der Optimierung

Während der Optimierungsalgorithmus also innerhalb dieser sender\_input Grasshopper-Definition arbeitet, werden gleichzeitig die Werte für die Rotation der Unterkonstruktion an die zweite Hälfte des Steuerungssystems receiver\_output gesendet. So wie auch der Wert Arousal über die stream Funktion des Grasshopper Panels geschickt wird. Die stream Funktion ermöglicht den Austausch zwischen zwei Grasshopper Definitionen per .txt Datei.

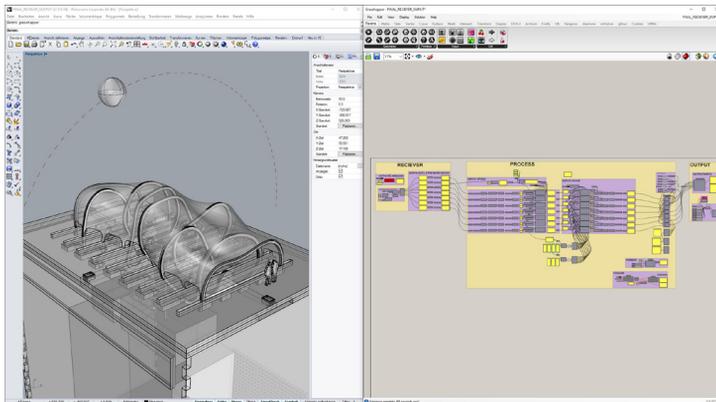


Abb.3.20: Screenshot des Software Setup receiver\_output

Die zweite Hälfte, receiver\_output, ist etwas einfacher aufgebaut. Sie empfängt die Zahlenwerte für die Drehung der Unterkonstruktion und schickt diese über den Firefly Komponenten durch den Serial Port auf das receiver\_output Arduino.

Zuvor werden diese Werte aber kontinuierlich auf- oder abwärts gezählt; je nach Arousal-Wert unterschiedlich schnell. Über einen Counter können die bestehenden Werte zu den neuen kontinuierlich hoch, beziehungsweise runter gezählt werden. Die Geschwindigkeit ist dabei durch den Arousal-Wert abgestimmt auf die Dauer einer Iteration des Algorithmus.

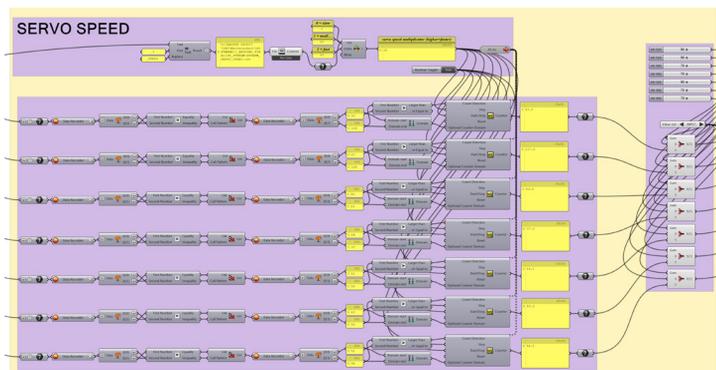


Abb.3.21: Berechnung von Position und Geschwindigkeit der Servomotoren

Auch wurden alle anderen Teile des Modellbaus parametrisch erzeugt und digital produziert, um möglichst schnell auf Änderungen während der Entwurfsphase der Arbeit reagieren zu können.

Es erwies sich als praktisch, einen parametrisch zusammenhängenden Entwurf zu haben, um rasch Prototypen der jeweiligen Teile fertigen zu können und anhand derer in der digitalen und auch physischen Vorschau weiter über Entworfenes urteilen zu können.

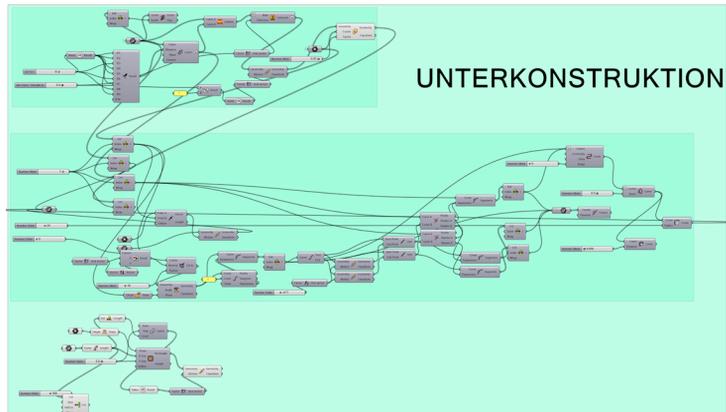


Abb.3.22: Unterkonstruktion erzeugen

Die Perforation konnte dann später je nach gewähltem Material an die jeweilige Stärke oder die Unterkonstruktion angepasst werden. Selbiges gilt für die Unterkonstruktion, welche je nach unterschiedlichem Material eine andere Festigkeit aufweisen musste.

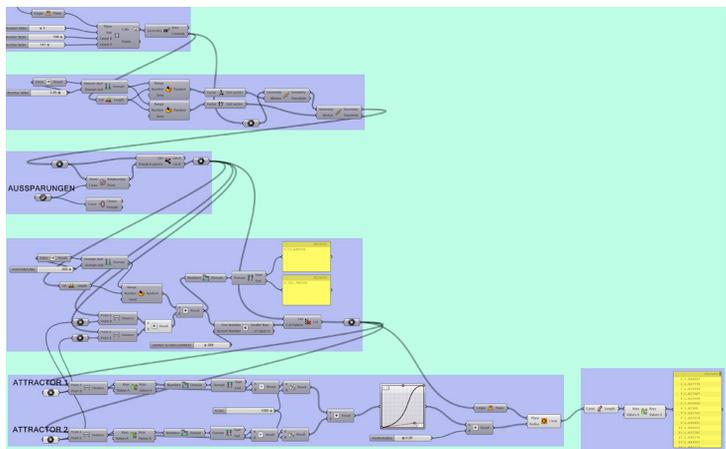
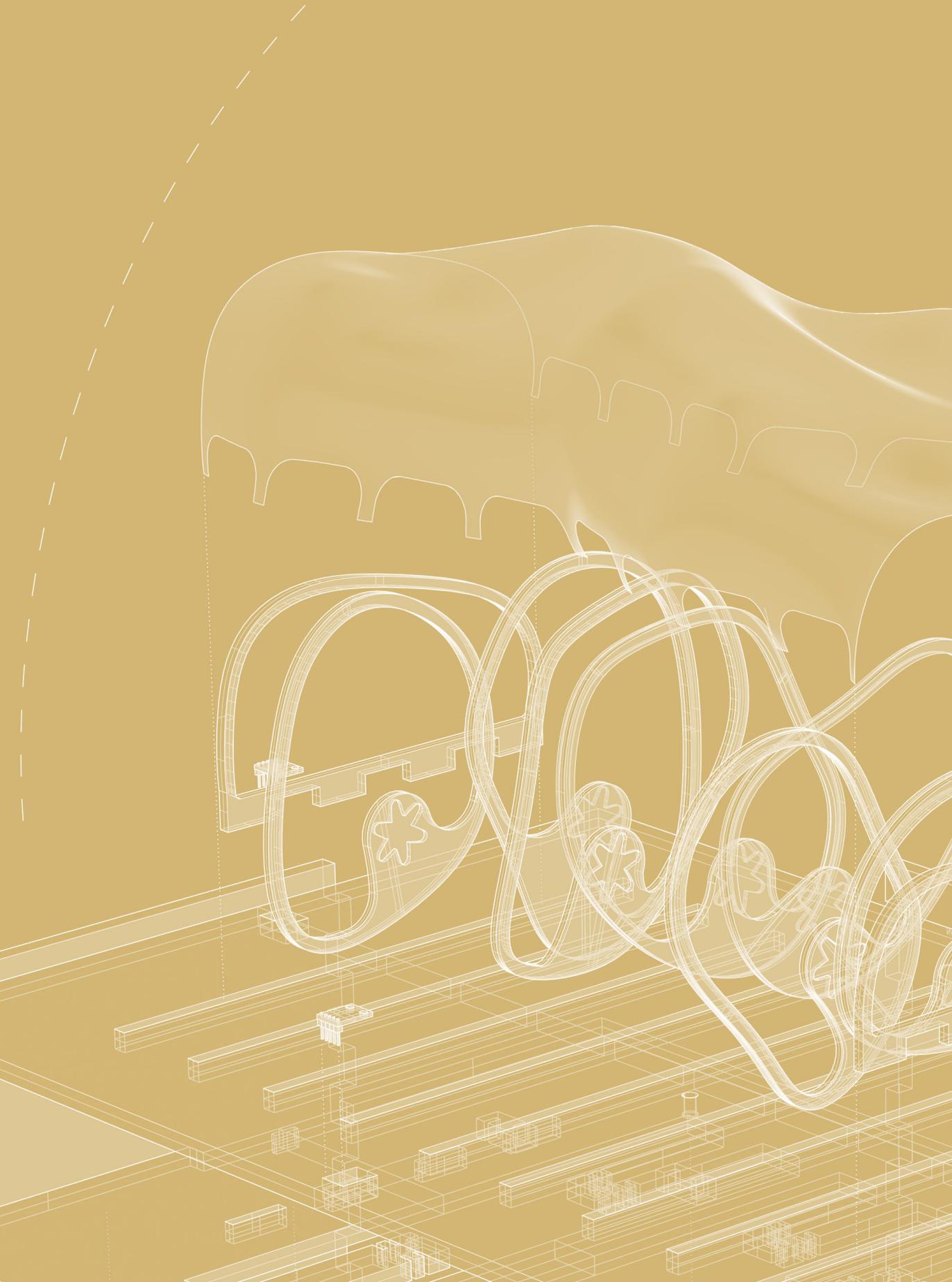
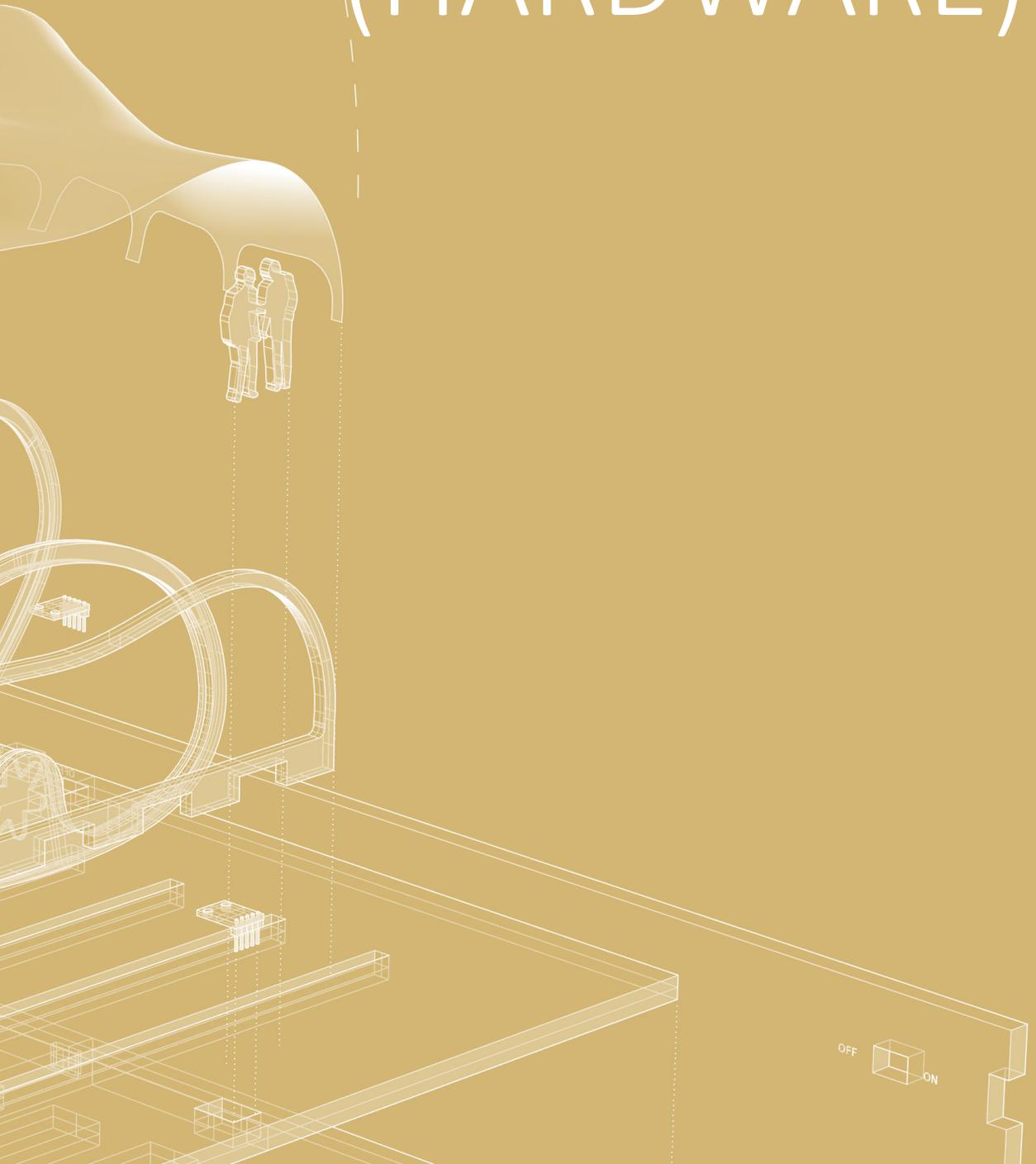


Abb.3.23: Membran Perforation





# UMSETZUNG (HARDWARE)





## 4 Umsetzung (Hardware)

Nun sollen auch die Hardware-Bestandteile des ausgestellten Modells vorgestellt werden. Zuerst werden diese wieder in ihrer allgemeinen Funktionsweise vorgestellt, jedoch schon etwas konkreter als im vorherigen Kapitel, um damit in Bezug zu den Möglichkeiten der Software gebracht werden zu können.

Kurz aufgelistet besteht das Modell aus einer Grundplatte, einer drehenden Unterkonstruktion und einer darüber gespannten, dehnbaren Membran.

Die Grundplatte besteht aus zwei verleimten 10mm Pappel Sperrholz Platten. Ausnehmungen für die Bauteile wurden mit dem Lasercutter exakt eingeschnitten. Die gesamte Elektrik ist auf der Unterseite der Grundplatte befestigt.

Das Modell wird auf einem lasergecutteten Sockel präsentiert, der gleichzeitig die sich drehende Unterkonstruktion nach unten ausheben lässt und Stauraum für den Computer, Netzteile und eine Nebelmaschine bietet. Ein schmaler abgedunkelter Plexiglas-Einsatz bietet Einblicke in die Technik unter der Grundplatte.

Und einer nicht zufällig gewählten TERTIAL Schreibtischlampe von IKEA, welche für die Ausstellung bei der Ars Electronica seit Pixar's „Luxo“ eine lange Geschichte hat und für mich auf Schreibtischmaßstab die Energiequelle und Lebensgrundlage dieser lebendigen Architektur darstellt.



Abb.4.1: Die „Sonne“ im Modellmaßstab



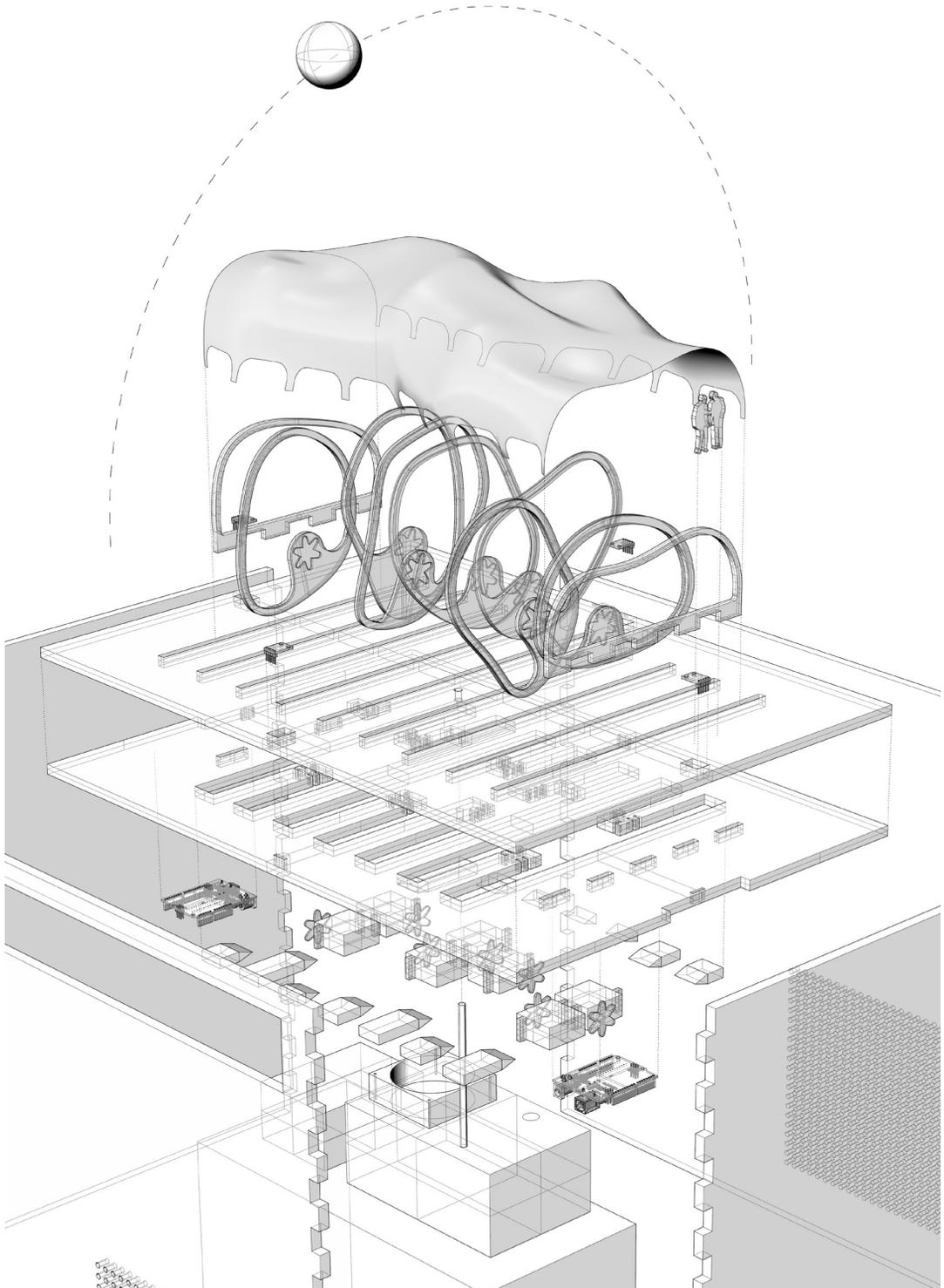


Abb.4.2: Sprengaxonomie des ausgestellten Modells



## 4.1 Controller

Als Schnittstelle zum vorherigen Software-Kapitel dienen dieser Arbeit zwei Arduino Uno R3. Diese Microcontroller bestehen aus analogen und digitalen Ein- und Ausgängen und einem erweiterten Prozessor für simple Aufgabenstellungen.

Microcontroller wie der Arduino Uno R3 besitzen durch deren 16MHz Prozessor nur eine sehr geringe Rechenleistung, die jedoch für viele Aufgaben völlig ausreicht. Bei dieser Arbeit sollen allerdings aufwendige Simulationen und komplexe geometrische Berechnungen in Echtzeit gelöst werden.

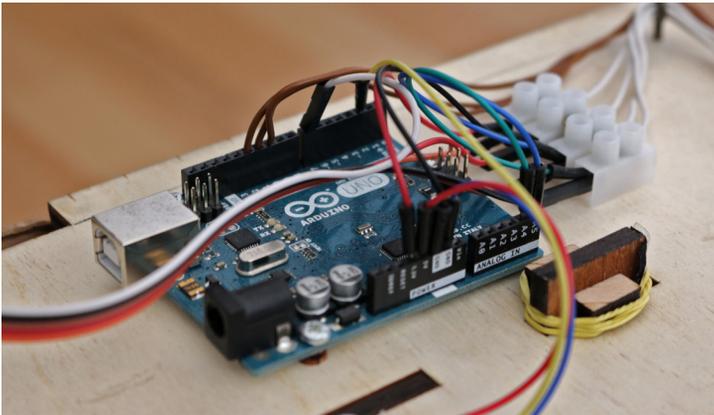


Abb.4.3: Microcontroller Arduino Uno SMD R3

Deshalb fungieren die Microcontroller über Firefly lediglich als Schnittstelle, sodass das eigentliche Programm in Grasshopper auf einem leistungsstarken Desktop-PC laufen kann.

Derartige Controller sind bereits in zahlreiche Komponenten von smart homes eingebettet. In einem künftigen „Internet of Things“ wird deren Rolle zunehmend wichtiger werden.

Durch den großen Markt von Arduino gibt es auch eine entsprechend große Community um Problemlösungen oder Ideen zu finden. Der erleichterte Zugang zu dieser Physical Computing- Technik ermöglicht auch Künstlern, die aus anderen Bereichen kommen, die Verwendung von Microcontrollern für interaktive Installationen.

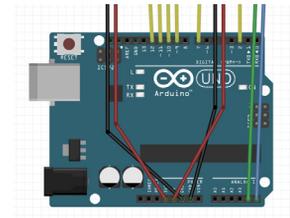


Abb.4.4: Ausschnitt aus dem Schaltkreis des Arduinos sender\_input

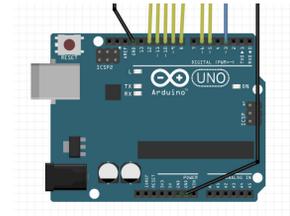


Abb.4.5: Ausschnitt aus dem Schaltkreis des Arduinos receiver\_output

Die Vollständigen Schaltpläne der Arduinos befinden sich im Anhang der Arbeit.

Das Programm sender\_input läuft über das erste Arduino. Die digitalen Outputs werden verwendet, um die Sensoren anzusprechen. Die Werte werden dann über analoge Inputs eingelesen. Die Stromversorgung erfolgt über USB; somit über das Arduino Board selbst.

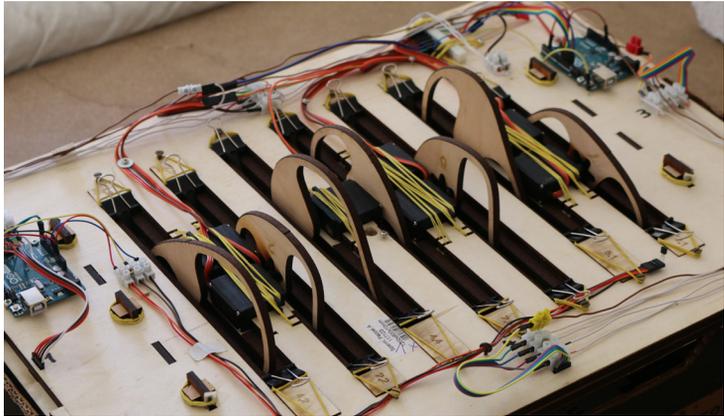


Abb.4.6: Untersicht des ausgestellten Modells

Das zweite Arduino wird über den Programmcode receiver\_ouput gesteuert. Über digitale Outputs wird die Position der Servomotoren bestimmt und die Geschwindigkeit des Lüfters der Nebelmaschine. Die Stromversorgung erfolgt hierbei über ein externes Netzteil. Das Arduino muss jedoch mit dem externen Stromkreis geerdet sein.

## 4.2 Motorik

Die Unterkonstruktion des Modells wird von sieben Servomotoren angetrieben. Servomotoren sind Elektromotoren, welche die Drehposition ihrer Motorwelle zwischen 0 und 180 Grad bestimmen können. Dieser Spielraum ist ausreichend, um dem Modell die gewünschte Orientierung geben zu können.

Die Geschwindigkeit der Motoren spielt ebenfalls eine große Rolle. Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, wird nicht direkt die Drehzahl der Motoren gesteuert, aber durch ein kontinuierliches Auf- und Abzählen der Positionswerte kann diese ebenfalls reguliert werden. So wird die Geschwindigkeit zu einem zusätzlichen Parameter für das Programm.

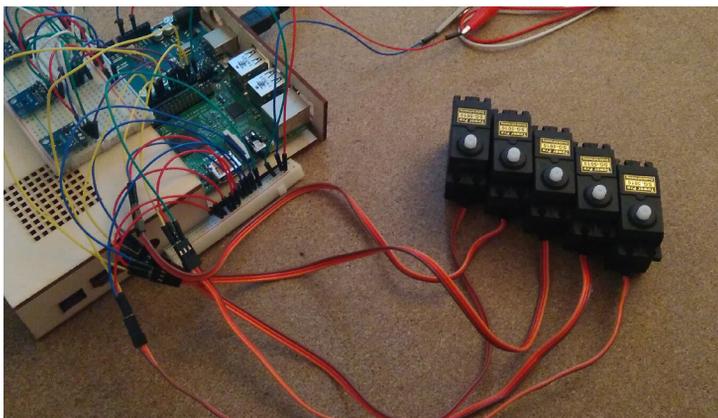


Abb.4.7: Erste Versuche mit mehreren Motoren um das Signalrauschen zu minimieren

Außerdem sind die Geschwindigkeiten auf den Modellmaßstab angepasst. In einem Gebäudemaßstab würden die Bewegungen wesentlich langsamer erfolgen. Für den Modellmaßstab der Ausstellung jedoch verdeutlichen die gewählten Geschwindigkeiten besser wie diese die Empfindung des Raumes verändern können.

Die TowerPro SG5010 Servomotoren werden über ein 5-Volt-Netzteil mit 2.2 Ampere stromversorgt und verfügen damit über ein maximales Drehmoment von 5.5kg/cm bei einer maximalen Geschwindigkeit von 0.19sek/Grad.<sup>1</sup>



Abb.4.8: Positionierung der Motoren auf der Grundplatte. Links- und rechtsdrehende Logiken.



Abb.4.9: Detail der elastischen Lagerung der Motoren um nach unten nachgeben zu können.

<sup>1</sup> Siehe <http://www.towerpro.com.tw/product/sg5010-4/>

Durch diese und andere mechanische Einschränkungen der Bauteile, so wie auch der Materialien, haben sich die Größen für den Modellbau automatisch ergeben.

Die Entscheidung sieben Motoren zu wählen erfolgte aufgrund des Optimierungsalgorithmus. Grundsätzlich wollte ich die Bewegung und Mechanik so kleinteilig wie möglich halten, sodass später eine differenzierte Bewegung zu beobachten ist. Mehr Motoren und damit auch mehr Variablen für den Algorithmus zu haben, führte jedoch zu weniger brauchbaren Ergebnissen in absehbarer Zeit. Sieben Motoren erwiesen sich als ein idealer Kompromiss zwischen diesen Anforderungen.

Die Motoren sind in ihrer Position exakt auf der Grundplatte eingebettet und nur in einer Richtung elastisch gelagert, um bei Überlast ausweichen zu können und Schäden zu verhindern.

## 4.3 Nebel

Der feine Wassernebel ist im Modell in erster Linie ein optisches Mittel für die Ausstellung. Er soll Gedanken an feuchte und damit fruchtbare und lebendige Umgebungen, wie etwa in Gewächshäusern, anregen.

Gleichzeitig soll er aber auch vermitteln, dass das Modell imstande ist, klassische Innenraumparameter wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit zu regulieren. Das Modell soll hier aber nur veranschaulichen, wie es in einem 1:1 Maßstab des Entwurfes funktionieren könnte.



Abb.4.10: Nebel tritt durch die Membran nach außen

Erzeugt wird der Wassernebel über einen Ultraschallnebler in einem kleinen Wassertank. Wann und wie viel Nebel in das Modell geblasen wird, lässt sich über den PWR-Pin, also den Stromversorgungseingang, eines Außen am Tank angebrachten Ventilators regulieren. Zusätzlich lässt sich die Dichte des Nebels über ein dimmbares 16-Volt-Netzteil des Ultraschallneblers bestimmen. Auf diese Weise ist die Nebelung Teil des parametrischen Scripts.



Abb.4.11: einfache Nebelmaschine

## 4.4 Sensorik

Evolution benötigt Zwänge aus der Umwelt. Je besser also die Sensorik ist, desto besser kann auch die Anpassung sein. Das Modell verfügt daher über Licht-, Lufttemperatur- und Feuchtigkeitssensoren, wodurch Perzeption und Propriozeption im Modell möglich sind.

Das Hauptaugenmerk liegt hierbei aber auf der Sensorik für Licht und der Eigenschaft, dem Licht beziehungsweise der Energiequelle, zu folgen. Diese Eigenschaft, wie sie auch einfache Lebensformen wie etwa Pflanzen besitzen, lässt beim Betrachter sofort auf ein lebendiges Verhalten schließen. Der phototropische<sup>2</sup> Entwurf kann in dieser Hinsicht auch als Analogie zu einer Pflanze verstanden werden. Denn etwas, das nach Energie strebt, braucht diese scheinbar zum Leben.

- 2 Phototropismus ist die Eigenschaft von Pflanzen sich dem Licht zuzuwenden. Wie etwa die Sonnenblume sich im Tagesverlauf der Sonne nach ausrichtet

So verfügt das Modell über fünf fertig montierte digitale Umgebungslichtsensoren BH1750, die in einem Bereich von 1 bis 65535 Lux messen können. Die Sensoren werden über USB mit 3.5Volt stromversorgt.

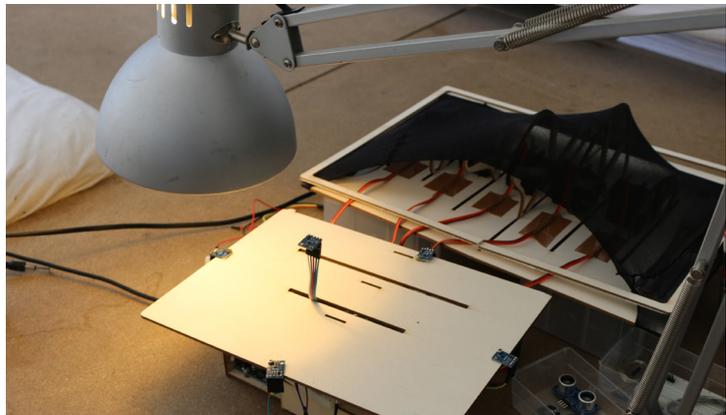


Abb.4.12: Erste Versuche der Kalibrierung der Umgebungslichtsensoren

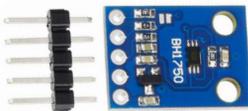


Abb.4.13: BH1750 Sensor Bausteine auf fertiger Platine für I2C Kommunikation

Die Werte werden dann in 16bit digital über I<sup>2</sup>C an das Arduino geschickt; einem ebenfalls seriellen Datenbus. Bei angelegter Spannung auf dem ADDR-Pin, jener Pin der Platine, über den sich die Adresse der Datenübertragung bestimmen lässt, überträgt der Sensor die Daten auf der Adresse 0x5C. Sollte keine Spannung anliegen, überträgt er diese auf der Adresse 0x23.

Es können demnach immer nur zwei Werte parallel ausgelesen werden. Um alle fünf Werte aber nahezu gleichzeitig verwenden zu können, wird jeder Sensor einzeln angesprochen. Dies erfolgt im Takt von wenigen Millisekunden über entsprechende Befehlszeilen im sender\_input Programm des Arduino. Indem jedem ADDR-Pin der Sensorplatinen ein eigener digitaler Ausgang des Arduinos zugeordnet ist, können diese die Werte nacheinander abrufen und durch ein Komma getrennt in den Serial Monitor schreiben. Die zeitliche Verzögerung ist dabei so gering, dass sie für die weiteren Berechnungen keine Rolle spielt.

```
void ReadInputs() {
  TempSensor.requestTemperatures(); //this command would make the servo move from this arduino not smooth anymore
  Serial.print(TempSensor.getTempCbByIndex(0)); //print the temperature into the serial in celsius
  Serial.print(",");

  digitalWrite(LS11, HIGH); // communicate with Light Sensor 1
  digitalWrite(LS12, LOW); // turn of the others on the same adress
  digitalWrite(LS13, LOW); // turn of the others on the same adress
  digitalWrite(LS14, LOW); // turn of the others on the same adress
  digitalWrite(LS15, LOW); // turn of the others on the same adress
  Serial.print(LightSensor.GetLightIntensity()); // print values from Light Sensor 1
  Serial.print(",");

  digitalWrite(LS11, LOW); // turn of the others on the same adress
  digitalWrite(LS12, HIGH); // communicate with Light Sensor 2
  Serial.print(LightSensor.GetLightIntensity()); // print values from Light Sensor 2
  Serial.print(",");

  digitalWrite(LS12, LOW); // turn of the others on the same adress
  digitalWrite(LS13, HIGH); // communicate with Light Sensor 3
  Serial.print(LightSensor.GetLightIntensity()); // print values from Light Sensor 3
  Serial.print(",");

  digitalWrite(LS13, LOW); // turn of the others on the same adress
  digitalWrite(LS14, HIGH); // communicate with Light Sensor 4
  Serial.print(LightSensor.GetLightIntensity()); // print values from Light Sensor 4
  Serial.print(",");

  digitalWrite(LS14, LOW); // turn of the others on the same adress
  digitalWrite(LS15, HIGH); // communicate with Light Sensor 5
  Serial.print(LightSensor.GetLightIntensity()); // print values from Light Sensor 5
  Serial.print(",");

  Serial.println("eol"); //end of information line marker
}
```

Abb.4.14: Auszug aus dem Programmcode sender\_input

Vier der Lichtsensoren zeigen leicht schräg nach außen gesetzt in die vier Himmelsrichtungen. Der fünfte Sensor befindet sich nach oben gerichtet in der Mitte der Grundplatte.

Zudem verfügt das Modell über einen Temperatursensor DS18B20, welcher mit 5 Volt über USB versorgt wird. Es handelt sich hierbei um einen digitalen Sensor, der über eine spezielle onewire library die digitalen Werte über die Lufttemperatur in Grad Celsius in 9 bis 12 bit an einen digitalen Eingang des Arduinos sendet.

Die Aufteilung des gesamten Software-Setups in zwei Hälften machte auch hier Sinn, weil der Temperatursensor ein zu starkes Rauschen

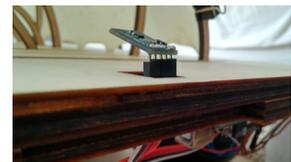


Abb.4.15: Umgebungslichtsensoren sind schräg nach außen eingesetzt

der Servomotoren zur Folge hatte. In zwei getrennten Programmen lassen sich die Temperaturwerte zuverlässig über den Serial Monitor ablesen.

Die tatsächliche Berücksichtigung der Innentemperatur würde dann Sinn machen, wenn sich durch Änderung der Morphologie des Gebäudes auch tatsächlich messbare Unterschiede in der Temperatur ergeben würden. Im ausgestellten Modell wiederum zeigt dies lediglich die Notwendigkeit auf, dass solche Kriterien in einem Steuerungssystem berücksichtigt werden müssten.

Wie zu Beginn gesagt, war es mir wichtig, Dualismen wie analog/digital aber auch natürlich/künstlich aufzulockern. Anhand des Zusammenspiels der Lichtsensorik und der digitalen Simulation der Einstrahlung lässt sich diese Idee gut veranschaulichen. Die menschliche Haut verfügt über Millionen von Sensoren, um dem Gehirn mitzuteilen, wo und in welcher Stärke das Licht auftrifft. Im ausgestellten Modell sind jedoch fünf analoge Sensoren ausreichend, um die Position der Lichtquelle zu ermitteln. In einer digitalen Simulation kann dann die exakte Einstrahlung für jeden beliebigen Punkt auf der Oberfläche berechnet werden, um wiederum die Bewegung des analogen Modells zu steuern.

Dieser Kreislauf funktioniert jedoch nur, weil analoges und digitales Modell identisch sind und Informationen austauschen. Ein gutes Beispiel zur im vorherigen Kapitel bereits angesprochenen Eigenschaft der Propriozeption.

Ich bin der Meinung, dass künftige Forschung in Materialwissenschaften sich in Richtung eines pflanzen-ähnlicheren Materials entwickeln werden. Bestehende organische Eigenschaften könnten dadurch noch übertroffen werden. Momentan jedoch ist die technische Umsetzung auf diese Art am geeignetsten.

## 4.5 Unterkonstruktion

Die Unterkonstruktion besteht aus neun in einer Reihe angeordneten Scheiben. Die Mittelpunkte der Rotationen liegen dabei etwas versetzt, wie auch die Scheiben eine exzentrische Freiform haben, um die überspannte Oberfläche möglichst flexibel zu halten.

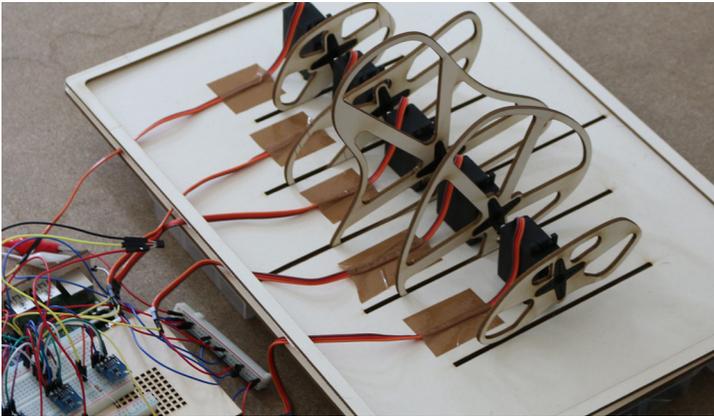


Abb.4.16: Erster Entwurf einer rotierenden Unterkonstruktion aus Finnplatte

Um auf Aussteifungen verzichten zu können und auch den Rand der Unterkonstruktion optisch so zurückhaltend wie möglich zu halten, ist die Unterkonstruktion aus 6mm Buchensperrholz geschnitten. Das sehr robuste Material entspricht den Anforderungen für den Maßstab des Modells. Die Unterkonstruktion soll im Innenraum nicht thematisiert werden, sodass die Idee eines völlig amorphen Raumes im Vordergrund steht.

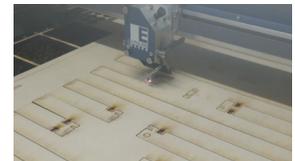


Abb.4.17: Grundplatte und Unterkonstruktion bei der Produktion im Lasercutter

Die zwei äußeren Scheiben sind fix montiert und öffnen den Entwurf an den Schmalseiten, um Einblicke zu gewähren. Dadurch soll auch der Eindruck entstehen, dass es sich hierbei nicht um einen fertigen, abgeschlossenen Entwurf handelt, sondern viel mehr um eine erfahrbare Modellierung einer Idee, oder ein beliebig erweiterbares System. Die anderen sieben Scheiben bilden in Summe den Mechanismus, der das Modell kinetisch macht. Der Mechanismus selbst ist lediglich eine einfache Maßnahme für den Bau des ausgestellten Modells und somit nicht Teil der Entwurfsidee. Er ist also ein Mittel, um die Idee zu transportieren, indem er der Gesamtstruktur von außen ein erkennbares Verhalten gibt.



Abb.4.18: Aussteifung hätte den Raum im inneren zu stark geprägt

Die Rotation über die Servomotoren schien mir der einfachste Weg zu sein, um die Gesamtmorphologie wiederholt zu ändern. Während die Natur Bewegung über pneumatische oder muskelähnliche Systeme erzeugt, schien mir mit jetzigen Mitteln die Drehbewegung über rotierende Motoren praktischer, weil sie eine größere Reichweite erzeugen können und um einiges einfacher zu regulieren sind. Am Ende ließ aber auch die rotierende Unterkonstruktion weniger Spielraum in der äußeren Erscheinung als zu Beginn erwartet. Die Unterkonstruktion besteht aus deformierten Ellipsen, daher hat jede Scheibe für sich eine erkennbare Spitze, beziehungsweise eine Richtung, in die sie zeigt. So können sich entweder alle Scheiben klar in eine Richtung strecken oder in Summe das Modell hochgestreckt oder zusammengefallen wirken lassen.



Abb.4.19: Finale Anordnung der drehbaren Unterkonstruktion

Die Unterkonstruktion ist also so entworfen, dass der Betrachter nachvollziehen kann, in welche Richtung sich das Modell streckt und ob es versucht das Volumen zu maximieren, beziehungsweise zu minimieren. Diese Nachvollziehbarkeit ist in der Interaktion mit dem Ausstellungsstück wichtig, dennoch benötigt das Verständnis eine gewisse Lerndauer.



Abb.4.20: Szene aus dem Film "Matrix". Protagonist schlüpft aus einer Art dehnbarem Ei

Der Mechanismus musste zudem erlaubt, dass die Bewegung von innen kommt. Ein Ziehen oder Drücken von außen war nicht denkbar. Es musste eine Kraft im Inneren zu erahnen sein, die sich nach etwas streckt. Es sollte ein wenig von der Magie einer schwangeren Frau oder einem schlüpfenden Jungtier haben.

## 4.6 Membran

Die Wahl des Materials für die Membran, also die äußere Erscheinung des Modells, und damit dessen Ästhetik des Modells, wirkt sich entscheidend auf die Zuschreibung von Leben aus. Wie auch das Material und die Art der Bewegung des Modells ein emotionales Miteinander von Mensch und Architektur verstärken. Auf der Suche nach einem stark dehnbaren, im Idealfall wasserdichten und transluzenten oder gar transparenten Material habe ich zahlreiche Stoffe in verschiedenen Stärken getestet.



Abb.4.21: Synthetische und natürliche elastische Stoffproben

Eine Kombination aus bi-elastischem Nylon/Spandex Stretch und perforiertem, hitzebehandeltem Naturkautschuk hat sich als ideal herausgestellt. Denn dieser Verbund imitiert einen zukünftigen wachsenden Baustoff am besten.



Abb.4.23: Erste Versuche die Unterkonstruktion mit Naturkautschuk zu überspannen

Die Membran besteht also aus zwei übereinanderliegenden Schichten. Die untere, innen liegende Schicht aus schwarzem Stretch-Netz minimiert durch dessen Struktur die Reibung des glatten Latex auf der Unterkonstruktion. Das schwarze Netz erzeugt außerdem einen guten Kontrast zu den übrigen beigefarbenen Komponenten. Diese Schicht hat keinerlei Öffnungen, um den Gesamteindruck optisch etwas zu vereinheitlichen, bietet aber dennoch genug Einsicht.

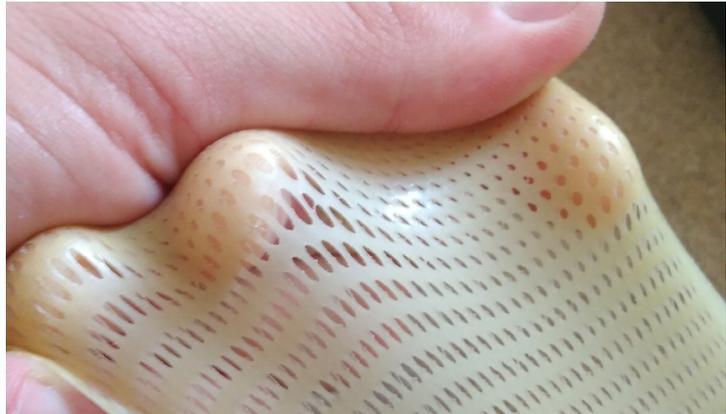


Abb.4.22: Effekt der Perforation bei Dehnung



Abb.4.24: Gewinnung von Naturkautschuk (Latex) aus dem Milchsaft des Kautschukbaums (*Hevea brasiliensis*)

Die zweite Schicht besteht aus 0,18mm starkem Naturkautschuk. Einem organischen Material, das durch seinen Aufbau auf Kohlenstoffbasis auch als Nährboden für einen möglichen pflanzlichen Bewuchs geeignet wäre, da es auch wasserdicht ist, um eine tatsächlich wachsende Membran zu haben.

Zudem ist Naturkautschuk sehr stark dehnbar, sodass sich dadurch auch die Transparenz des Materials beeinflussen lässt, ohne dass es dabei auf Dauer die Form verliert oder reißt. Während also das Volumen des Innenraumes maximiert wird, würde sich durch den Effekt der Perforation auch die Lichtsituation ändern; der Raum würde heller werden und mehr Ein- oder Ausblicke zulassen.

Bei Naturkautschuk ist die Dehnbarkeit so hoch, dass nahezu transparente Bereiche entstehen könnten.

Durch einmaliges Erhitzen des Materials ist es möglich, die Dehnbarkeit noch zu erhöhen. Jedoch wird es, wie auch andere Gummiarten, dabei leicht klebrig. Talkumpuder verhindert das Zusammenkleben des Latex.

Dieser Effekt ist im Modell durch die Perforation der Fassade angedeutet. Bei stärkerer Dehnung werden die Löcher größer und lassen mehr Licht in das Innen. Zugleich wird das Material generell dehnbarer, sodass die Servomotoren einen größeren Spielraum haben. Die Perforation soll außerdem die organische Ästhetik des Modells unterstreichen.

Die Ästhetik des Naturkautschuks spielt eine große Rolle für den lebendigen Eindruck des Modells. Durch die Verwendung von Latex als Operationshandschuhe oder Fetischkleidung ist das Material für uns bereits kulturell geladen und steht in enger Verbindung zur menschlichen Haut. Ich zielte auf eine organische Ästhetik ab, die manchen



Abb.4.25: Verschiedene Anordnungen, Materialien und Anzahl der Öffnungen bis zum finalen Modell (rechts unten)

Ausstellungsbesuchern neben „interessant“ auch als „ekelhaft“ auf-  
fiel. So soll das gesamte Modell in seiner raupenartigen Erscheinung  
an einen lebenden Organismus erinnern.

Zusätzlich zu den beiden offenen Schmalseiten sind in der äußeren  
Schicht des Naturkautschuks der Membran noch schmale Öffnun-  
gen eingeschnitten. Dadurch soll einerseits etwas mehr Einblick in  
die längliche Struktur ermöglicht werden, andererseits lösen die Öff-  
nungen auch die sonst sehr monotone Oberfläche etwas auf.



Abb.4.26: Ankerpunkte der  
Membran im Detail © Florian  
Voggeneder



Abb.4.27: Elastische Lagerung  
der Ankerpunkte um nach innen  
rutschen zu können

Auf den Längsseiten ist die Membran nicht bis ganz unten gezogen,  
sodass zwischen den Ankerpunkten Öffnungen zum Boden hin ent-  
stehen. Das gibt dem Modell etwas Leichtigkeit und lässt es weniger  
an einen bestimmten Ort gebunden erscheinen.

Wie die Servomotoren sind auch die Ankerpunkte der ohnehin elas-  
tischen Membran zusätzlich über elastische Gummizüge gelagert.  
Sollte also durch eine vielleicht irrtümliche Konfiguration der Unter-  
konstruktion zu starker Zug auftreten, können die Ankerpunkte ent-  
lang einer mit Filz beschichteten Schiene nach innen rutschen.

## 4.7 Bewuchs

Die Überlegung zu einem pflanzlichen Bewuchs der Membran beruht darauf, dass ein Material, wenn es verschieden große Volumina abdecken muss, bei stärkerer Dehnung auch dünner wird. Um dies auszugleichen, würde es sich auf einen Jahreszyklus hin gesehen anbieten ein wachsendes Material hinzuzufügen, welches neu gewonnene dünnere Bereiche erschließt und bewächst und sich dort abbaut, wo sich Material aufschuppt. Eine Überlegung, um im Modellbau dem noch utopischen Super-Material einen Schritt näher zu kommen.

Das Wachstumsverhalten wäre ein zusätzlicher Parameter, der Ausrichtung der Oberfläche des Entwurfes gewesen. Angedacht war den Bewuchs über gezielte Dauer verschiedener Orientierung zu kontrollieren.

Diese Pflanzenart müsste ein sehr schnelles Wachstum haben. Auch sollte sie sich im Idealfall durch Sonnenlicht und Luft ernähren, also autotroph sein. Zusätzlich kamen auch nur Organismen infrage, die den Zweck des Modelles optisch unterstreichen.

Im Gespräch mit Frau Doktor Doris Haar vom Institut für Hygiene, Mikrobiologie und Umweltmedizin der Medizinischen Universität Graz wurde über den Bewuchs mit Bakterien oder Pilzkulturen diskutiert. Jedoch leider ohne großen Erfolg, da sich diese unter solchen Umständen im Wachstum zu zaghaft verhalten würden.

Auch die Gespräche mit Universitätsprofessor Martin Grube am Institut für Pflanzenwissenschaften der Karl Franzens Universität Graz führte leider zu keiner verwendbaren niederen Pflanzenart. Die sogenannten Kryptogame<sup>3</sup> sind sehr stark von mikroklimatischen Umständen abhängig. Algen hätten nicht die geeignete Erscheinung für die Oberfläche, Flechten ein viel zu langsames Wachstum und dürften auf lange Dauer nicht funktionstüchtig sein. Jedoch konnten wir einige interessante Referenzprojekte austauschen.

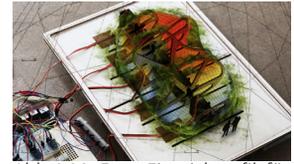


Abb.4.28: Erste Einreichgrafik für eine lebendige Architektur mit organischem Bewuchs



Abb.4.29: Moos Graffiti

3 "niedere Pflanzen" (= wissenschaftlich "Kryptogame") sind sehr stark von mikroklimatischen Umständen abhängig



Abb.4.33: Test mit aufgeklebtem künstlichem Moos

Für die Ausstellung des Modells habe ich noch überlegt künstliche Moosfasern aufzukleben, damit die Idee eines solchen Bewuchs im Modell abgebildet ist, habe es dann aber bei einem sterilen Modell belassen.

Testweise habe ich Moossporen in Petrischalen mit einer Malznährlösung gesetzt. Die ebenfalls darin befindlichen Pilzkulturen übernahmen jedoch innerhalb weniger Stunden die überhand bis die Nährlösung aufgebraucht war.

So war ursprünglich die Nebelanlage dafür gedacht, eine kontrollierte Nährstoffzufuhr über einen dünnen Film auf der Latexmembran zu liefern, eine oberflächennahe Feuchtigkeitzufuhr für kurze Zeit des Tages auf der Latexschicht, wenn die Organismen biologisch aktiv sind, etwa während der Morgenstunden.



Abb.4.30: Mooskultur



Abb.4.31: Mooskultur nach 24 Stunden



Abb.4.32: Mooskultur nach 72 Stunden

## 4.8 Das Modell

Das Modell zeigt einen abstrahierten Architektorentwurf eines Konzeptes und ist dabei, wie zu Beginn gesagt, kein Miniaturmodell eines zu bauenden Entwurfes, sondern ein Ausstellungsmittel, um das Konzept einer lebendigen Architektur in Ansätzen zu zeigen.

Die Architektur wurde dafür auf einen Raum, ein Material, einen Besucher und eine Umwelteinwirkung reduziert. Das Modell hat keinen örtlichen Kontext, keine konstruktiven Details, keine Beziehungen nach außen und keine Geschichte. Es soll einen möglichst formfreien, amorphen Entwurf darstellen.



Abb.4.34: „A living piece of architecture“ bei der Ars Electronica 2017

Ausgestellt war die Arbeit mit dem Sockel auf einer Höhe von 1,50m und ist auf den beiden Längsseiten zugänglich. Dadurch lädt sie den Betrachter ein, den Kopf leicht zu neigen, um seitlich einen Blick ins Innere werfen zu können. Auf dieser Höhe ist das gesamte Modell noch von außen zu überblicken, hat aber auch eine gewisse Nähe zum Menschen.

Durch die Größe und Perspektive auf das Modell entsteht eine neutrale Betrachtung auf das geschaffene Leben. Diese „gottähnliche“ Perspektive wirft Fragen über im Labor geschaffenes Leben auf und thematisiert gleichzeitig die Wichtigkeit eines physikalischen Modells im digitalen Zeitalter.



Abb.4.35: Frankenseins Monster als Paradebeispiel für den Diskurs über künstlich geschaffenes Leben

Über eine Computermaus etwas tiefer, rechts vor dem Modell erfolgt die Eingabe der gewünschten Gefühlslage. Diese kann zusammen mit den Berechnungen und der Visualisierung des digitalen Modells auf einem Monitor etwa auf Augenhöhe hinter dem Modell beobachtet werden. Dadurch bekommt das Modell eine dedizierte Vorderseite.

Seitlich ragt die Tischlampe, die sich frei bewegen lässt, über das Modell um den „Sonnenstand“ beliebig zu manipulieren. Die auffälligsten Interaktionen sind bei einer Drehung über die Längsachse zu beobachten, wie es der Unterschied zwischen Morgen- und Abendsonne sein könnte. Die errechnete Position der Lichtquelle und die sich daraus ergebende Einstrahlung auf der Oberfläche können dabei ebenfalls am Monitor vereinfacht formalisiert mitverfolgt werden.

Der Betrachter hat also die Möglichkeit, über Änderung der Lichtquelle und Eingabe seiner Gefühlslage das Modell zu stimulieren. Werte wie Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit werden für die Ausstellung am Monitor angezeigt, sind jedoch nicht interaktiv beeinflussbar.



Abb.4.38: „A living piece of architecture“ bei der Ars Electronica 2017 © Achilleas Xydis

Zweck der Installation ist nicht, das Modell zu kontrollieren, oder es so einzustellen, dass es die Wünsche des Betrachters bloß widerspiegelt. Vielmehr soll ein Miteinander von Mensch und lebendiger Architektur dargestellt werden. Nachdem sich das Verhalten des Modells nach der Kombination aller Eingabemöglichkeiten richtet, tritt

ein Erfahrungslernen aus der Beobachtung der Interaktion und der Adaptation der lebendigen Architektur auf. Die beigelegte Projektbeschreibung listet die Möglichkeiten durch Veränderung von Sonnenstand und den Werten von Pleasure, Arousal und Dominance auf. Wie dieses Zusammenspiel funktioniert, soll jedoch vom Betrachter selbst erprobt werden.



Abb.4.37: „A living piece of architecture“ bei der Ars Electronica 2017

Beispielsweise könnte man sämtliche Werte des SAM auf ihr Maximum stellen und beobachten, wie das Modell sich aufgrund der hohen sozialen Dominanz ganz auf die Bedürfnisse des Menschen einstellt. Durch den hohen Wert an Freude wird es versuchen, Schritt für Schritt das Volumen und damit den Lichteinfall nach innen zu maximieren. Hohe Erregung lässt dies in schnelleren Bewegungen und mit einem größeren Suchradius von möglichen Drehpositionen geschehen.

Gleichzeitig werden dadurch die Kanten der Unterkonstruktion stärker durch die Membran sicht- und spürbar. Durch die Spannung der Membran kann man dem Modell das Strecken nach etwas; eine Kraft, Energie oder Leben ablesen. Wie auch die schnelleren Bewegungen und die damit lautereren Motorengeräusche die Nervosität spürbar machen, und wiederum diese auch im Betrachter steigert.

Bleibt die soziale Dominanz hoch, setzt man jedoch die Werte Pleasure und Arousal auf das Minimum herab, wird das Modell allmählich in sich zusammenfallen und einen tieferen, dunkleren und geschütz-

ten Raum bilden. Die Bewegungen werden langsamer, der Stoff bildet mehr Falten und man bekommt den Eindruck einer abgebildeten niedergeschlagenen Stimmung.

Diese Zuordnung von Gefühlslagen zu bestimmten Raumparametern erfolgte rein subjektiv nach meiner Empfindung und ist ebenfalls stark vereinfacht.

Wenn dann auch die soziale Dominanz auf das Minimum herabgesetzt wird, werden die Bedürfnisse des Menschen nicht mehr berücksichtigt, aber jene der Architektur. Im Rahmen der Ausstellung lag das Bedürfnis der Architektur darin, die Sonneneinstrahlung auf der Oberfläche zu maximieren.

Es ist also beispielweise für einen Wintertag ausgelegt, um durch Maximieren der solaren Einstrahlung die Heizkosten zu senken. Die Maximierung der Einstrahlung könnte aber genauso der aktiven Energiegewinnung dienen. Denn dieses phototropische Verhalten ist meiner Meinung nach das wichtigste Anzeichen der Bedürfnisse einer lebendigen Architektur.

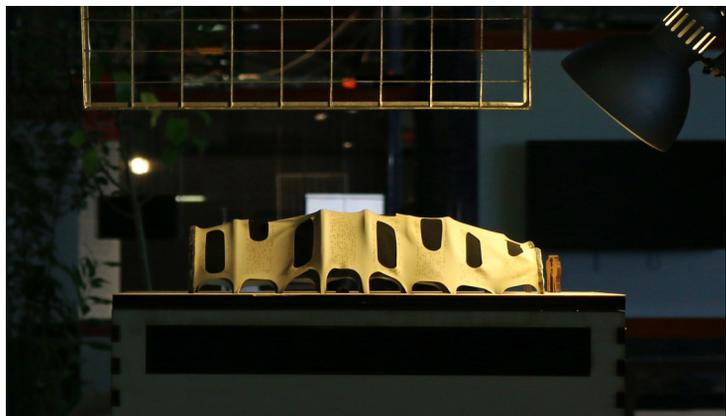


Abb.4.36: „A living piece of architecture“ bei der Ars Electronica 2017

Das Gebäude wäre also im Stande einerseits die bestehenden Emotionen des Menschen widerzuspiegeln, und damit zu verstärken, andererseits wäre es aber auch möglich dem Gefühlszustand entgegenzuwirken. Man würde also nicht „in“ sondern viel mehr „mit“ dieser Architektur leben, etwa wie mit einem Mitbewohner. Dadurch

ermöglicht die Architektur dem Menschen auch Meta-Emotionen auszuleben.<sup>4</sup> Dieser Begriff aus dem Mood Management beschreibt die Erfüllung sich Beispielweise sich auch der eigenen Trauer hinzugeben.

4 Vgl. Wirth/Schram 2007, 155.



Abb.4.39: „A living piece of architecture“ bei der Ars Electronica 2017 © Monika Robak

Extremfälle wie diese sind am Modell am deutlichsten abzulesen. Nachdem aber Architektur und Mensch Systeme sind, die ständig Inputs bekommen und verarbeiten, beeinflussen sich diese auch gegenseitig und balancieren sich aus. Auch hier ist es nicht das Ziel immer auf eine positive Gefühlslage zuzusteuern, sondern zu zeigen, wie ein Miteinander funktionieren könnte.



Abb.4.40: „A living piece of architecture“ bei der Ars Electronica 2017 © Achilleas Xydis

Durch die ständige Anpassung an die Umwelt findet auch im Modell eine ständige Bewegung statt. Jede Iteration des evolutionären Op-

timierungsalgorithmus wird abgebildet um den Prozess der Evolution, und damit den Inhalt allen Lebens, in einem Architekturmodell abzubilden.



Abb.4.41: „A living piece of architecture“ bei der Ars Electronica 2017

Unter Laborbedingungen, also ohne Änderung der Inputs des Algorithmus, würden die Bewegungen bei hoher Erregung etwa nach zehn Minuten spürbar ruhiger werden, bei geringer Erregung nach etwa 30 bis 45 Minuten. Der Optimierungsalgorithmus würde sich also einem Optimum annähern und dadurch den Suchraum der Servomotoren weiter verkleinern. Ein absolutes Optimum ist nie erreicht, da genauso wie bei der Entwicklung des Lebens, die Grenzen nach oben hin offen sind.





# AUSBLICK



## 5 Ausblick

Architektonische, interdisziplinäre und künstlerische Forschungen sind bemüht kinetische Fassaden, smarte Materialien, selbstheilende oder form-merkende Materialien bis hin zu dehnbare Elektrik zu entwickeln. Ich bin mir demnach sicher, dass es nicht an Technologie mangeln wird, dynamische, weiterhin lebendige Architekturen umzusetzen.

Das Produktdesign anderer Märkte zeigt, wie wichtig die Ästhetik der Objekte und die Art der Bewegung sind, um eine emotionale Beziehung zwischen Menschen und technologischen Produkten zu schaffen.

Vor mir sehe ich eine amorphe Blase. Ein autarker, intelligenter Wohnraum, mit dem der Mensch in Symbiose lebt. Ohne Unterkonstruktion oder Motorik, bestehend aus einem organisch wachsenden Material, welches gleichsam aus dem Nichts Fenster und Öffnungen bilden und schließen könnte. Wasser- oder Stromleitung wären dann nicht als Eisenrohre verbaut, sondern würden wie feine Adern durch die Gebäudehaut laufen.

„Das Material ersetzt die Maschine“ sagt der in Stuttgart lehrende Architekt Achim Menges.<sup>1</sup> Das Material ist demnach wie in der Natur auf ein bestimmtes Verhalten hin vorprogrammiert. Bis zur Realisierung dieses Super-Materials wird es möglicherweise noch dauern. Von großer Bedeutung ist, dass wir uns bereits jetzt einiger Fragen bewusst sind.

Welche Aspekte des utopischen Konzeptes kann ein physisches Architekturmodell heutzutage konsequent zeigen,<sup>2</sup> ohne einen zu bauenden Entwurf vorzustellen? Wäre es notwendig in einen größeren Maßstab zu gehen, um Besucher weiter für die Thematik zu sensibilisieren?

Heutige Architektur bietet die Sicherheit standhaft und dauerhaft zu sein. Sicher einerseits vor Wetter und Gefahr, aber auch die Sicherheit, nach einer Reise in ein emotionales Zuhause zu kommen.

1 Brüggemann, Michael, Wohnen im Pflanzenhalm, 2014, 27. November, <http://www.sueddeutsche.de/wissen/baubionik-wohnen-im-pflanzenhalm-1.1975658>, 2017, 14 Oktober.

2 Vgl. Stavrić/Šiđanin/Tepavčević 2013, 7-9.

Ist es ratsam, diese Sicherheit in Zukunft einzutauschen, gegen die Sicherheit zu wissen, dass im Falle eines Unwetters das intelligente Gebäude sich und den Menschen durch Formveränderung schützen würde? Es läge keine Verantwortung mehr beim Menschen, sich und sein Hab und Gut zu schützen. Die Idee, diese Verantwortung abzugeben, ist bereits in smart home Konzepten erkennbar. Sollte die letztendliche Kontrolle nicht dennoch immer beim Menschen liegen?

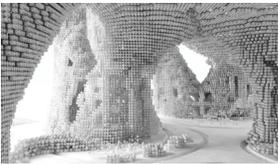


Abb.5.1: Hypercell Projekt des Spyropoulos Design Lab am Architectural Association's Design Research Laboratory in London

Wie würde eine Vielzahl intelligenter Gebäude miteinander interagieren? Neuronale Netze gewinnen im IT-Bereich an Bedeutung. Es gibt Beispiele für architektonische „Bots“ in kleinerem Maßstab. Könnte ein Schwarm winziger vernetzter Roboter als intelligentes Material für zukünftige Architektur fungieren?

Wie würde ein Wohnkomplex, nicht aus einzelnen Modulen wie wir sie jetzt kennen, sondern aus individuellen lebenden Wohnzellen funktionieren?



Abb.5.2: Aleatorische, also in einem bestimmten Rahmen zufällig erzeugte Architektur von Sean Keller und Heinrich Jaeger aus Chicago

Wird eine lebendige Architektur imstande sein sich selbst zu errichten? Macht es Sinn, lebendige Strukturen auf aleatorische Wege zu erzeugen?

Eine derart intelligente Architektur wird nach smart clothing vielleicht zu unserer dritten Haut werden. Wie viel darf diese Technologie über uns wissen? Und sind diese Daten sicher? Was, wenn Architekturen wie diese in der Lage sein werden, durch Erfahrungswerte Wissen zu generieren, beispielsweise durch machine learning. Wird unser Verhalten im Alltag dadurch berechenbar? Wird uns dadurch bewusst, dass unser Leben auch nur eine Serie von Algorithmen ist?<sup>3</sup>

3 Vgl. TU Graz, Picon 2017.



Abb.5.3: Kristallisation als Beispiel für aleatorisches Wachstum in Perfektion

Begriffe wie Big Data werfen heutzutage fundamentale Fragen zur Datensicherung auf. Neben Aktionen im Internet oder auf dem Smartphone, würden dann auch das Wohn-, Arbeits- oder Freizeitverhalten und Gefühlszustände an nahezu jedem Ort beobachtbar und manipulierbar werden. Funktionieren die eigenen vier Wände noch als Rückzugsort wenn man in einem lebendigen Gebäude nicht mehr alleine sein kann?

Wenn sich das Lernen der Steuerungssysteme nicht mehr nur auf die Formänderung der Gebäude beschränkt, sondern auch versucht wird, das Zusammenleben zu „optimieren“, laufen wir dann Gefahr, in dystopischen Szenarien zu enden, wie wir sie aus Hollywood kennen?

Welche Sensorik könnte in Zukunft verwendet werden, um die Interaktion zwischen Mensch und Architektur zu vereinfachen und natürlicher zu gestalten? Wird es notwendig sein, Wärmebildkameras, Gesichtserkennung und Gestenerkennung zu verwenden oder den Herzschlag als Indikator der Gestimmtheit zu messen? Muss die Architektur dafür menschenähnlicher werden, oder nur menschenähnlichere Interfaces besitzen?

Handelt es sich um lebendige Wesen wenn wir von lebendiger Architektur sprechen? Wir denken bereits über Bewusstsein und Rechte von humanoiden Robotern nach- ab welchem Punkt sind smart homes so intelligent, dass wir auch ihnen Leben zuschreiben müssen?

Wie würde ein Zusammenleben im Detail funktionieren? Wird es überhaupt erwünscht sein, dass wir nicht mehr „in“, sondern „mit“ unserer Architektur leben? Ist eine Kommunikation auf emotionaler Ebene denn überhaupt notwendig oder erwünscht? Sollte künstliche Intelligenz über Emotionen verfügen?

Was bedeutet eine Architektur, deren flexible Morphologie gänzlich von einem Algorithmus gesteuert wird für die Architektur und die Profession des Architekten der sich mit der Ordnung des Raumes beschäftigt?

Begriffsdefinitionen wie Natur, Kultur, aber auch Bionik, sind stark vom herrschenden Zeitgeist abhängig. Wie wird sich das Verständnis jener Begriffe durch zunehmende Arbeit an künstlichem Leben aber auch an lebendiger Architektur ändern.

Diese Arbeit soll das Konzept einer lebendigen Architektur nicht bewerten, jedoch deren Idee und vor allem die Fragen vorstellen, die sich mit der Vorstellung lebendiger Architektur aufwerfen.

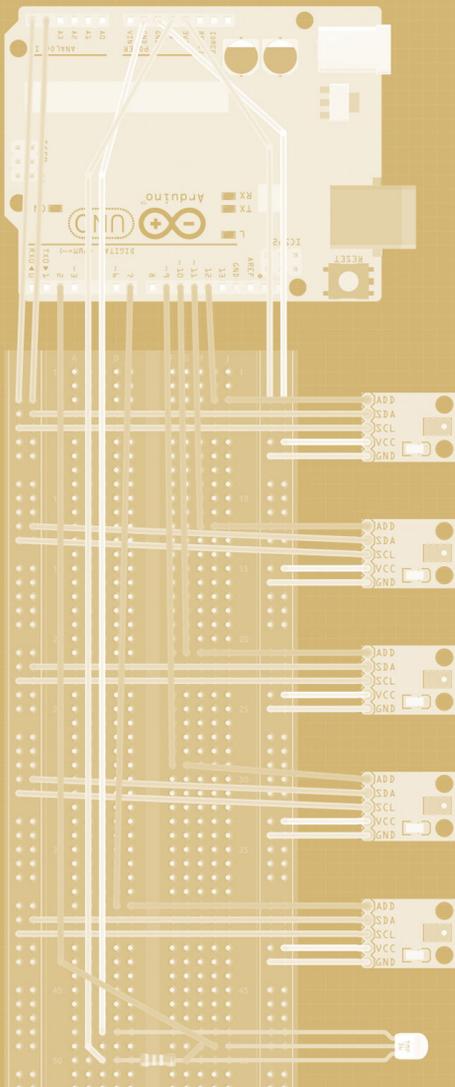


Abb.5.4: Microsofts project oxford erkennt Emotionen anhand von Gesichtsausdrücken



Abb.5.5: Lesen von Emotionen anhand von drei Punkten<sup>4</sup>

4 Vgl. Glowinski/Dael/Camurri/Volpe/Mortillaro/Scherer 2011 ,106-118.



```

#include <OneWire.h> // Library for Temperature Sensor Communication
#include <DallasTemperature.h> // Library for Temperature Sensor

#include <Servo.h> // Library for Servos
#include <pins_arduino.h> // attach arduino pins header file to determine which pins

#include <Wire.h> // Library for Light Sensors 1/2
#include <BH1750FVI.h> // Library for Light Sensors 2/2

#define BAUDRATE 115200 // Set the Baud Rate to an appropriate speed
#define BUFFSIZE 512 // buffer one command at a time

#define ONE_WIRE_BUS 2 //connect TempSensor Data Cable (DQ - middle) to Digital

/*=====
GLOBAL
=====*/

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature TempSensor(&oneWire);

BH1750FVI LightSensor; // declare 'LightSensor'

char buffer[BUFFSIZE]; // declare buffer
uint8_t bufferidx = 0; // a type of unsigned integer of length 8 bits
char *parseptr;
char buffidx;

int counter = 0;
int numcycles = 1000;

int LSI1 = 7;
int LSI2 = 10;
int LSI3 = 11;
int LSI4 = 12;
int LSI5 = 13;

#ifdef _AVR_ATmega328P_ || defined(_AVR_ATmega168_)
Servo Servo13, Servo12, Servo11, Servo10, Servo9, Servo8, Servo6, Servo5, Servo3;
Servo SERVO_CONFIG[] = {Servo13, Servo12, Servo11, Servo10, Servo9, Servo8, Servo6, Servo5, Servo3};
int WRITE_PIN_CONFIG[] = {13, 12, 11, 10, 9, 8, 6, 5, 3};
int READ_APIN_CONFIG[] = {0, 1, 2, 3, 4, 5};
int READ_DPIN_CONFIG[] = {2, 4};
#endif

/*=====
SETUP
=====*/

void setup()
{
    pinMode(LSI1, OUTPUT); // set output pins to activate light sensors
    pinMode(LSI2, OUTPUT);
    pinMode(LSI3, OUTPUT);
    pinMode(LSI4, OUTPUT);
    pinMode(LSI5, OUTPUT);
}

```

# ANHANG

rd type is being used

Pin 2

vo5, Servo3}; // declare variables for STANDARD boards

vo5, Servo3}; // declare array of Servo objects

```
#include <Servo.h> // attach Servo library (http://www.arduino.cc/playground/ComponentLib/S
#include <pins_arduino.h> // attach arduino pins header file to determine which board type is bein

#define BAUDRATE 115200 // Set the Baud Rate to an appropriate speed
#define BUFFSIZE 512 // buffer one command at a time

/*=====
 * GLOBAL VARIABLES
 *=====*/

char buffer[BUFFSIZE]; // declare buffer
uint8_t bufferidx = 0; // a type of unsigned integer of length 8 bits
char *parseptr;
char buffidx;

int counter = 0;
int numcycles = 1000;

#if defined(__AVR_ATmega328P__) || defined(__AVR_ATmega168__)
  Servo Servo13, Servo12, Servo11, Servo10, Servo9, Servo8, Servo6, Servo5, Servo3;
  Servo SERVO_CONFIG[] = {Servo13, Servo12, Servo11, Servo10, Servo9, Servo8, Servo6, Servo5, Servo3};
  int WRITE_PIN_CONFIG[] = {13,12,11,10,9,8,6,5,3};
  int READ_APIN_CONFIG[] = {0,1,2,3,4,5};
  int READ_DPIN_CONFIG[] = {2,4};
#endif

// declare variables for STANDARD boards
void setup()
{
  Init(); //set initial pinmodes
  Serial.begin(BAUDRATE); // Start Serial communication
  #if defined(__SAM3X8E__) //if the connected board is an Arduino DUE
    analogReadResolution(12); //Set the analog read resolution to 12 bits (acceptable values between
    analogWriteResolution(12); // Set the analog write resolution to 12 bits (acceptable values betwe
  #endif
}

/*=====
 * LOOP
 *=====*/

void loop()
{
  if(Serial){
    ReadSerial(); // read and parse string from serial port and write to pins
```



## 6 Anhang

### 6.1 Literaturverzeichnis

Bund der Evangelischen Kirche Deutschland (Hrsg.): Die Bibel. Nach der Übersetzung Martin Luthers. Evangelische Haupt-Bibelgesellschaft, Berlin/Altenburg 1985

Bacon, Francis: Religiöse Betrachtungen, London 1613

Bollnow, Otto Friedrich: Mensch und Raum, Stuttgart-Berlin-Köln  
©1990

Bradley, Margaret M./Lang, Peter J.: Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential, in: Radomsky, Adam S. (Hrsg.): Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, 1994, 25, 49-59

Bungartz, Hans-Joachim: Einführung in die Computergraphik: Grundlagen, geometrische Modellierung, Algorithmen, Braunschweig 2002

Brüggemann, Michael (2014, 27. November): Wohnen im Pflanzenhalm, <http://www.sueddeutsche.de/wissen/baubionik-wohnen-im-pflanzenhalm-1.1975658>, in: <http://www.sueddeutsche.de> [2017, 14 Oktober]

Carpo, Mario: The Alphabet and the Algorithm (= Writing Architecture), Cambridge 2011

Domschke, Wolfgang/Scholl, Armin: Heuristische Verfahren, in: Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät Friedrich-Schiller-Universität Jena (Hrsg.): Jenaer Schriften zur Wirtschaftswissenschaft : Arbeits- und Diskussionspapiere der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena 2006

Ekman, Paul: Gefühle lesen. Wie Sie Emotionen erkennen und richtig interpretieren, Heidelberg 2010

Fox, Michael/Kemp, Miles: Interactive Architecture, New York 2009

Glowinski, Donald/Dael, Nele/Camurri, Antonio/Volpe, Gualtiero/Mortillaro, Marcello/Scherer, Klaus: Towards a minimal representation of affective Gestures, in: IEEE Transactions on Affective Computing 2011, 2, 106-118

Gore, Al: Eine unbequeme Wahrheit: Die drohende Klimakatastrophe und was wir dagegen tun können, München <sup>4</sup>2006

Gramazio, Fabio/Kohler, Matthias/Willmann, Jan: The Robotic Touch. How Robots Change Architecture, Zürich 2014

Grolle, Johann (2010, 04. Jänner): Konkurrenz für Gott, <http://magazin.spiegel.de/EpubDelivery/spiegel/pdf/68525307>, in: <http://www.spiegel.de> [2017, 15 Oktober]

Heinz, Pascal/Herrmann, Michael/Sobek, Werner: Herstellungsverfahren und Anwendungsbereiche für funktional gradierte Bauteile im Bauwesen, Stuttgart 2012

Jauk, Werner: Intuitive gestural interfaces/adaptive environments and mobile devices/apps. Playing music and the musical work as a role model for personalized gestural interaction in social environments, in: ICMWT (International conference on Mobile & Wireless Technology) Congress-Book, Beijing 2014, 280- 284

Kelly, Kevin: Das Ende der Kontrolle. Die biologische Wende in Wirtschaft, Technik und Gesellschaft, Regensburg 1997

Kirchhoff, Thomas/Trepl, Ludwig: Landschaft, Wildnis, Ökosystem: Zur kulturell bedingten Vieldeutigkeit ästhetischer, moralischer und theoretischer Naturauffassungen. Einleitender Überblick. In: Dies. (Hrsg.): Vieldeutige Natur. Landschaft, Wildnis und Ökosystem als kulturgeschichtliche Phänomene. transcript, Bielefeld 2009, 13–66

Kleiber, Wolfgang/Simon, Jürgen/Weyers, Gustav: Verkehrsermittlung von Grundstücken, Köln <sup>3</sup>1998

Knobloch, Silvia: Mood management theory: Evidence, and advancements, in: Bryant, Jennings/Vorderer, Peter (Hg.): Psychology of entertainment. Mahwah 2006, 239-254

Latour, Bruno: Reassembling the Social. An Introduction to Actor-Network-Theory, New York 2005

Mattern, Friedemann/Flörkemeier: Vom Internet der Computer zum Internet der Dinge, in: Bode, Arndt (Hrsg.): Informatik-Spektrum. Heidelberg 2010, 33, 107-121

McLuhan, Marshall: Understanding Media: The Extensions of Man, Cambridge 1964

McNiff, Shaun: Art-Based Research, in: Knowles, J. Gary/Cole, Ardra (Hrsg.): Handbook of the arts in qualitative research: Perspectives, methodologies, examples and issues, Los Angeles 2008

Menge, Hermann/Güthling, Otto: Langenscheidts Großwörterbuch, Berlin u.a. 1997

Nachtigall, Wener/Pohl, Göran: Bau-Bionik: Natur- Analogien- Technik, Berlin/Heidelberg 2003

Northey, Becky/Cook Peter: 3 Methods of Tree Shaping every Aspiring Tree Shaper Should be Aware of, Yangan 2010

Ort, Claus-Michael: Kulturbegriffe und Kulturtheorien, in: Nünning, Ansgar/Nünning, Vera (Hrsg.): Konzepte der Kulturwissenschaften. Theoretische Grundlagen- Ansätze- Perspektiven, Stuttgart/Weimar Stuttgart 2003, 19-38

Osgood, Charles E./Suci, George J./Tannenbaum, Percy H.: The Measurement of Meaning, Illinois 1957

Oosterhuis, Kas: Hyperbody: First Decade of Interactive Architecture, Heijningen 2012

Rappel, Simone: Macht euch die Erde untertan: Die ökologische Krise als Folge des Christentums?, Paderborn 1996

Rogers, Hartley: Theory of Recursive Functions and Effective Computability, Cambridge 1992

Schäfer, Stefan: Bionik im Bauwesen, in: Broschüre Hessen-Agentur (Hrsg.): Bionik und Materialtechnologie. Hessen 2011, 50-51

Schmidt, Eva (Hg.): Was Modelle können: eine kleine Geschichte des Architekturmodells in der zeitgenössischen Kunst, Köln 2014

Schumacher, Michael/Schaeffer, Oliver/Vogt, Michael-Marcus: MOVE: Architektur in Bewegung- Dynamische Komponenten und Bauteile, Basel 2010

Schumacher, Patrick: Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design, in: Leach, Neil (Hg.): AD Architectural Design- Digital Cities 79 (2009), H. 4, 14–23

Smith, John Maynard: Biologie: Probleme- Themen- Fragen, Basel 1990

Stavrić, Milena/Šiđanin, Predrag/Tepavčević, Bojan: Architectural Scale Models in the Digital Age. Design, Representation and Manufacturing, Wien 2013

Toepfer, Georg: Leben, in: Kirchhoff, Thomas u.a. (Hrsg.): Naturphilosophie. Ein Lehr- und Studienbuch. Tübingen 2017, 159-164

Wirth, Werner/Schramm, Holger: Emotionen, Metaemotionen und Regulationsstrategien bei der Medienrezeption, in: Stiehler, Hans-Jörg/Wirth, Werner/Wünsch, Carsten (Hg.): Dynamisch-transaktional denken. Theorie und Empirie der Kommunikationswissenschaft Ein integratives Modell. Köln 2007, 153-184

Zillmann, Dolf/Bryant, Jennings: Affect, mood, and emotion as determinants of selective exposure, in: Zillmann, Dolf/Bryant, Jennings: Selective exposure to communication. Hillsdale 1985, 157-190

## 6.2 Verzeichnis audiovisueller Quellen

TED: Mitchell Joachim: Ein Haus pflanzen statt bauen! [Video File]  
<https://www.youtube.com/watch?v=Rw9s0ivfn3w>, 2010 [2. Juli]

TEDx: Kas Oosterhuis: We are changing your view on what is beautiful and what's not. [Video File] <https://www.youtube.com/watch?v=8t-vsQLeSK-U>, 2011 [2. Dezember]

TEDx: Philip Beesley- Building living architecture [Video File] <https://www.youtube.com/watch?v=L8AvW5CSvys>, 2012 [8. Jänner]

TU Graz: Antoine Picon: „Architecture and the Digital. A Question of Materiality“ [Ringvorlesung Architekturforschung] 2017 [2. Oktober]



## 6.3 Abbildungsverzeichnis

Abb.1.1

<http://makezine.com/wp-content/uploads/2015/09/LVDKumerus2.jpg>

Abb.1.2

[https://static.dezeen.com/uploads/2015/10/Museum-of-Indigenous-Knowledge\\_Kengo-Kuma\\_dezeen\\_1568\\_0.jpg](https://static.dezeen.com/uploads/2015/10/Museum-of-Indigenous-Knowledge_Kengo-Kuma_dezeen_1568_0.jpg)

Abb.1.3

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f5/DSC\\_2751-Ringkirche-z.JPG/1200px-DSC\\_2751-Ringkirche-z.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f5/DSC_2751-Ringkirche-z.JPG/1200px-DSC_2751-Ringkirche-z.JPG)

Abb.1.4

<http://assets.inhabitat.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2017/09/Valley-by-MVRDV-4-889x628.jpg>

Abb.1.5

[https://www.metalocus.es/sites/default/files/styles/sin\\_estilo/public/file-images/metalocus\\_Vaillo-2217NPL\\_Model01\\_1080.jpg?itok=4CbO7618](https://www.metalocus.es/sites/default/files/styles/sin_estilo/public/file-images/metalocus_Vaillo-2217NPL_Model01_1080.jpg?itok=4CbO7618)

Abb.1.6

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c2/Australian\\_cart.jpg/1280px-Australian\\_cart.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c2/Australian_cart.jpg/1280px-Australian_cart.jpg)

Abb.1.7

<https://www.themanufacturer.com/wp-content/uploads/2017/05/Sam-Turner-Hololens-May17.jpg>

Abb.1.8

[http://i.dailymail.co.uk/i/pix/2017/06/08/14/4131E2D600000578-0-image-a-43\\_1496928034276.jpg](http://i.dailymail.co.uk/i/pix/2017/06/08/14/4131E2D600000578-0-image-a-43_1496928034276.jpg)

Abb.1.9

[http://www.br.de/themen/wissen/bionik-lotuseffekt-natur-technik-102~\\_v-img\\_\\_16\\_\\_9\\_\\_xl\\_-d31c35f8186eb80b0cd843a-7c267a0e0c81647.jpg?version=19d5b](http://www.br.de/themen/wissen/bionik-lotuseffekt-natur-technik-102~_v-img__16__9__xl_-d31c35f8186eb80b0cd843a-7c267a0e0c81647.jpg?version=19d5b)

Abb.1.10

<http://www.stylemeile.de/ratgeber/wp-content/uploads/2015/09/Klettverschluss-reinigen-und-reparieren.jpg>

Abb.1.11

[http://www.achimmenges.net/wp-content/gallery/frac\\_hygroskin\\_02\\_lowres/HygroSkin\\_2\\_03.jpg](http://www.achimmenges.net/wp-content/gallery/frac_hygroskin_02_lowres/HygroSkin_2_03.jpg)

Abb.1.12

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c6/Geminihaus\\_in\\_Weiz.png/1200px-Geminihaus\\_in\\_Weiz.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c6/Geminihaus_in_Weiz.png/1200px-Geminihaus_in_Weiz.png)

Abb.1.13

<https://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/2013/01/ehp.121-a18.g004.png>

Abb.1.14

<http://www.arch2o.com/wp-content/uploads/2016/10/Arch2O-Birds-Nest-Beijing-Olympic-Stadium-Herzog-de-Meuron-12.jpg>

Abb.1.15

[http://www.pittwateronlinenews.com/resources/The\\_Crystal\\_Palace\\_in\\_Hyde\\_Park\\_for\\_Grand\\_International\\_Exhibition\\_of\\_1851.jpg?timestamp=1496205474262](http://www.pittwateronlinenews.com/resources/The_Crystal_Palace_in_Hyde_Park_for_Grand_International_Exhibition_of_1851.jpg?timestamp=1496205474262)

Abb.1.16

<http://www.spektrum.de/fm/912/thumbnails/67556.gif.815050.gif>

Abb.1.17

[https://www.yatzer.com/sites/default/files/styles/featured/public/article\\_images/2577/thumb.jpg?itok=PhQA0ujf](https://www.yatzer.com/sites/default/files/styles/featured/public/article_images/2577/thumb.jpg?itok=PhQA0ujf)

Abb.1.18

<https://www.wired.com/wp-content/uploads/2010/07/LifeHTML5.png>

Abb.1.19

[https://images.adsttc.com/media/images/55f8/2ee-a/6b32/06e0/9c00/0028/newsletter/20080623061640\\_27\\_rex\\_mp\\_day%2520skyline.jpg?1442328294](https://images.adsttc.com/media/images/55f8/2ee-a/6b32/06e0/9c00/0028/newsletter/20080623061640_27_rex_mp_day%2520skyline.jpg?1442328294)

Abb.1.20

<http://paulbourke.net/fractals/googleearth/norway.jpg>

Abb.1.21

<https://www.d-shape.com/wp-content/uploads/2014/12/JF.jpg>

Abb.1.22

<http://www.archdaily.com/335887/3-d-printing-PROTOHOUSE-1-0-AND-PROTOHOUSE-2-0-SOFTKILL-DESIGN/51298072b3fc4ba8500000b2-3-d-printing-PROTOHOUSE-1-0-AND-PROTOHOUSE-2-0-SOFTKILL-DESIGN-IMAGE>

Abb. 1.23

[http://medcell.med.yale.edu/systems\\_cell\\_biology/bone\\_lab/images/bone.jpg](http://medcell.med.yale.edu/systems_cell_biology/bone_lab/images/bone.jpg)

Abb.1.24

<https://i0.wp.com/help-tourists-in-paris.com/wp-content/uploads/2015/06/DSC01586-Personnalis%C3%A9.jpg?resize=1024%2C768>

Abb.1.25

[https://udemy-images.udemy.com/course/750x422/709804\\_c5cd\\_5.jpg](https://udemy-images.udemy.com/course/750x422/709804_c5cd_5.jpg)

Abb.1.26

[http://www.suckerpunchdaily.com/wp-content/uploads/2015/01/20150120\\_benjamin\\_ennemoser\\_masterthesis\\_model01\\_front.jpg](http://www.suckerpunchdaily.com/wp-content/uploads/2015/01/20150120_benjamin_ennemoser_masterthesis_model01_front.jpg)

Abb.1.27

<http://www.nrgm.nl/wp-content/uploads/2015/07/11-Visual-location.jpg>

Abb.1.28

<https://i.ytimg.com/vi/9xt6fTmUcHQ/maxresdefault.jpg>

Abb.1.29

[https://www.baunetzwissen.de/imgs/1/3/5/4/8/2/7/Bild\\_06\\_Probekoerper\\_erzielt\\_durch\\_kontrolliertes\\_Entmischen-fb89a-b518a2c7481.jpg](https://www.baunetzwissen.de/imgs/1/3/5/4/8/2/7/Bild_06_Probekoerper_erzielt_durch_kontrolliertes_Entmischen-fb89a-b518a2c7481.jpg)

Abb.1.30

[https://www.detail.de/fileadmin/\\_migrated/pics/12-FreiOto-09-Montreal.jpg](https://www.detail.de/fileadmin/_migrated/pics/12-FreiOto-09-Montreal.jpg)

Abb.1.31

[http://www.mikroskopie-forum.de/pictures004/171568\\_47283970.jpg](http://www.mikroskopie-forum.de/pictures004/171568_47283970.jpg)

Abb.1.32

<http://legacy.iaacblog.com/maa2011-2012-digitaltectonics/files/2012/07/Poro-city-04.jpg>

Abb.1.33

<https://www.espazium.ch/uploads/MTQzODMyNzYwOC0zNjc1ODk-1MTUwLTl4ODctNjc=.jpg>

Abb.1.34

[https://media.treehugger.com/assets/images/2012/09/mycotecture-philip-ross-4.jpeg.650x0\\_q70\\_crop-smart.jpg](https://media.treehugger.com/assets/images/2012/09/mycotecture-philip-ross-4.jpeg.650x0_q70_crop-smart.jpg)

Abb.1.35

[http://img.muz1.tv/img/2016-01-18/fmt\\_94\\_24\\_mostizkornejderevevvindii.jpg](http://img.muz1.tv/img/2016-01-18/fmt_94_24_mostizkornejderevevvindii.jpg)

Abb.1.36

[http://www.mitchelljoachim.com/fab\\_tree\\_hab\\_model.jpg](http://www.mitchelljoachim.com/fab_tree_hab_model.jpg)

Abb.1.37

[http://www.domusweb.it/content/dam/domusweb/en/design/2014/08/21/architecture\\_by\\_bee/rbig/05-architecture-by-bee.jpg](http://www.domusweb.it/content/dam/domusweb/en/design/2014/08/21/architecture_by_bee/rbig/05-architecture-by-bee.jpg)

Abb.1.38

[https://tecno.americaeconomia.com/sites/tecno.americaeconomia.com/files/styles/photo\\_inline/public/epo15\\_jonkers-0322\\_9f0c9396e8dc4f75a713c3d05913f5ab.jpg?itok=uqVCTjnC](https://tecno.americaeconomia.com/sites/tecno.americaeconomia.com/files/styles/photo_inline/public/epo15_jonkers-0322_9f0c9396e8dc4f75a713c3d05913f5ab.jpg?itok=uqVCTjnC)

Abb.1.39

[http://www.archinode.com/meat\\_house\\_terreform1\\_sec.jpg](http://www.archinode.com/meat_house_terreform1_sec.jpg)

Abb.1.40

[http://matter.media.mit.edu/assets/images/made/assets/images/3\\_silkPavilion\\_1800\\_1200\\_80.jpg](http://matter.media.mit.edu/assets/images/made/assets/images/3_silkPavilion_1800_1200_80.jpg)

Abb.1.41

[http://orielisar.com/wp-content/uploads/2017/01/12764500\\_10156508093785117\\_7511699051772161054\\_o-1024x1024.jpg](http://orielisar.com/wp-content/uploads/2017/01/12764500_10156508093785117_7511699051772161054_o-1024x1024.jpg)

Abb.1.42

<https://studiointrex.files.wordpress.com/2013/06/topological-silk-stretching-by-su-qi.jpg>

Abb.1.43

<http://www.archello.com/sites/default/files/ThemePavilionsoma02.jpg>

Abb.1.44

<https://lucept.files.wordpress.com/2016/04/epfl-stretchable-electronics.jpg>

Abb.1.45

<https://s3.amazonaws.com/cdn.teachersource.com/images/products/pop/hs6.jpg>

Abb.1.46

<https://image-store.slidesharecdn.com/829c4e67-017a-4730-9877-598153c00ea1-large.png>

Abb.1.47

<http://architizer-prod.imgix.net/media/1421863330509archigramw.gif?q=60&auto=format,compress&cs=strip&w=1680>

Abb.1.48

<https://citylungs337.files.wordpress.com/2014/04/albahar.png>

Abb.1.49

<http://donthatethegeek.com/wp-content/uploads/2016/05/origami-robot.jpg>

Abb.1.50

[http://beyond.iaac.net/wp-content/uploads/2015/04/1\\_WEB.jpg](http://beyond.iaac.net/wp-content/uploads/2015/04/1_WEB.jpg)

Abb.1.51

[https://assets3.thrillist.com/v1/image/2371340/size/sk-2017\\_04\\_article\\_main\\_mobile.jpg](https://assets3.thrillist.com/v1/image/2371340/size/sk-2017_04_article_main_mobile.jpg)

Abb.1.52

[http://images.adsttc.com/media/images/53da/c0ac/c07a/8059/5e00/03b8/large\\_jpg/%C2%A9Iwan\\_Baan\\_VeniceBiennale\\_7963.jpg?1406845073](http://images.adsttc.com/media/images/53da/c0ac/c07a/8059/5e00/03b8/large_jpg/%C2%A9Iwan_Baan_VeniceBiennale_7963.jpg?1406845073)

Abb.1.53

<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/f3/aa/4a/f3aa4af55b52e2d4957717547054b7aa.jpg>

Abb.1.54

<http://cdn.bmwblog.com/wp-content/uploads/p90046793-1600x1200.jpg>

Abb.1.55

<https://pbs.twimg.com/media/Crub9nMWEAEL0IF.jpg>

Abb.1.56

<http://www.acrwebsite.org/volumes/v21/21176f01.gif>

Abb.1.57

[https://www.researchgate.net/profile/Nelson\\_Aros/publication/47628168/figure/fig1/AS:307326381772800@1450283727053/Figure-1-The-semantic-space-Left-with-three-dimensional-axes-proposed-by-Osgood.png](https://www.researchgate.net/profile/Nelson_Aros/publication/47628168/figure/fig1/AS:307326381772800@1450283727053/Figure-1-The-semantic-space-Left-with-three-dimensional-axes-proposed-by-Osgood.png)

Abb.1.58

<https://www.aec.at/ai/files/2017/08/rockprint-1.jpg>

Abb.1.59

<https://i.ytimg.com/vi/tfoVOGMz054/maxresdefault.jpg>

Abb.3.3

<http://www.onlykidszone.com/wp-content/uploads/2017/01/baby-walking.jpg>

Abb.3.5

[https://www.design.upenn.edu/sites/default/files/styles/flexslider\\_full/public/images/kim\\_abstract1.png?itok=EA1sjXuC](https://www.design.upenn.edu/sites/default/files/styles/flexslider_full/public/images/kim_abstract1.png?itok=EA1sjXuC)

Abb.3.6

<http://www.sohomod.com/blog/wp-content/uploads/2014/05/generico-1.jpg>

Abb.3.9

<https://i.ytimg.com/vi/J9qydNfHXlk/maxresdefault.jpg>

Abb.4.1

[http://ikealux.com.ua/files/products/40088\\_PE079702\\_S5JPG-S5.jpg](http://ikealux.com.ua/files/products/40088_PE079702_S5JPG-S5.jpg)

Abb.4.13

<https://cdn3.volusion.com/btfzd.umflq/v/vspfiles/photos/AD290-2.jpg?1469878110>

Abb.4.20

[http://s4.storage.akamai.coub.com/get/b76/p/coub/simple/cw\\_image/c0e08db3026/e9cba0238713d7e6c1bd3/med\\_1431949710\\_00031.jpg](http://s4.storage.akamai.coub.com/get/b76/p/coub/simple/cw_image/c0e08db3026/e9cba0238713d7e6c1bd3/med_1431949710_00031.jpg)

Abb.4.24

[https://www.news.lk/media/k2/items/cache/fdb04aac8fab95603ec2d637226aeef7\\_XL.jpg](https://www.news.lk/media/k2/items/cache/fdb04aac8fab95603ec2d637226aeef7_XL.jpg)

Abb.4.29

[https://grndoor.design.files.wordpress.com/2013/10/w\\_grow\\_4.jpg](https://grndoor.design.files.wordpress.com/2013/10/w_grow_4.jpg)

Abb.4.35

[https://media.newsela.com/article\\_media/2016/08/frankensteinn-anniversary-1e909306.jpg.885x497\\_q90\\_box-0%2C298%2C1366%2C1066\\_crop\\_detail.jpg](https://media.newsela.com/article_media/2016/08/frankensteinn-anniversary-1e909306.jpg.885x497_q90_box-0%2C298%2C1366%2C1066_crop_detail.jpg)

Abb.5.1

[https://cdn.lineshapespace.com/2016/03/AADRL\\_Spyropoulos\\_Design\\_Lab\\_Hypercell\\_003.jpg](https://cdn.lineshapespace.com/2016/03/AADRL_Spyropoulos_Design_Lab_Hypercell_003.jpg)

Abb.5.2

<https://cdn.technologyreview.com/i/images/Aleatory%20architecture.png?sw=600>

Abb.5.3

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cf/Halit\\_crystal,\\_Pedra\\_Lume,\\_Cape\\_Verde.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cf/Halit_crystal,_Pedra_Lume,_Cape_Verde.jpg)

Abb.5.4

<http://static6.businessinsider.com/image/56429d2cbd86ef335d8bde04-1043-698/artboard%204.png>

Abb.5.5

<https://csdl-images.computer.org/trans/ta/2011/02/figures/tta20110201067.gif>

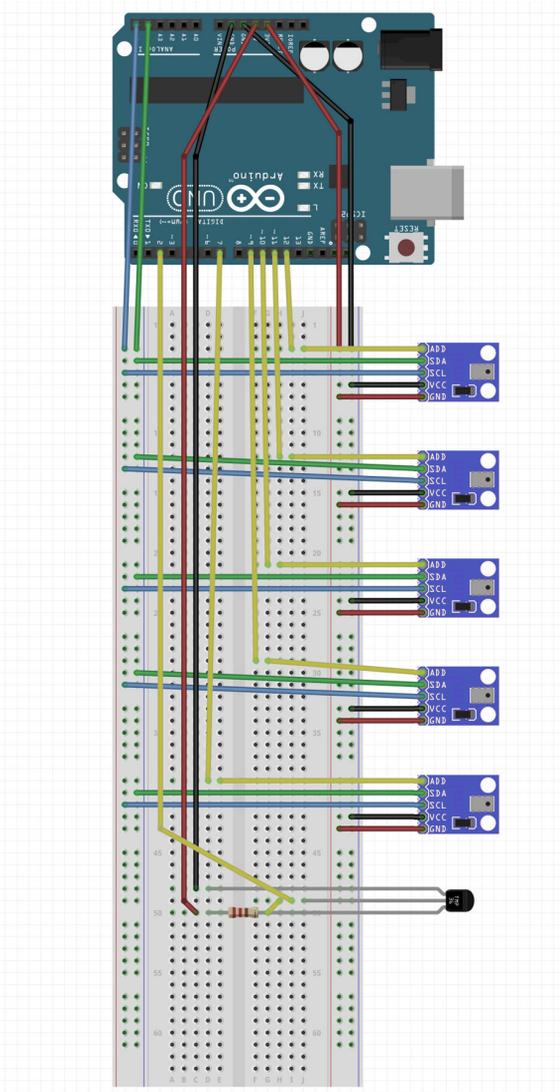
## 6.4 Abkürzungsverzeichnis

ADDR	Adress (Pin)
CAD	Computer aided design
CNC	Computerized Numerical Control
EA	Evolutionary algorithm
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment
IES	Illuminating Engineering Society
GH	Grashopper
NURBS	Non-Uniform Rational B-Spline
PWR	Power (Pin)
SAM	Self Assessment Manikin



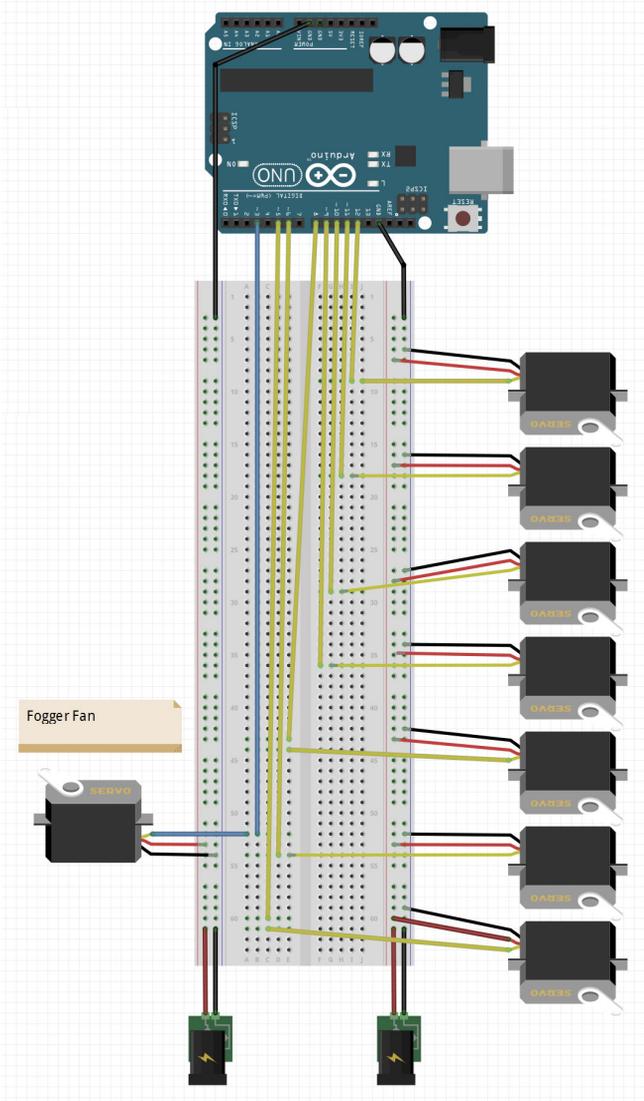
# 6.5 Arduino Schaltkreise

## Arduino input\_sender Schaltkreis





Arduino output\_receiver Schaltkreis





## 6.6 Arduino Codes

### Arduino input\_sender Programmcode

```
#include <OneWire.h>           // Library for Temperature Sensor Communication
#include <DallasTemperature.h> // Library for Temperature Sensor

#include <Servo.h>             // Library for Servos
#include <pins_arduino.h>      // attach arduino pins header file to determine which board type is being used

#include <Wire.h>              // Library for Light Sensors 1/2
#include <BH1750FVI.h>         // Library for Light Sensors 2/2

#define BAUDRATE 115200        // Set the Baud Rate to an appropriate speed
#define BUFFSIZE 512           // buffer one command at a time

#define ONE_WIRE_BUS 2        //connect TempSensor Data Cable (DQ - middle) to Digital Pin 2

/*=====
GLOBAL
=====*/

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature TempSensor(&oneWire);

BH1750FVI LightSensor;        // declare 'LightSensor'

char buffer[BUFFSIZE];        // declare buffer
uint8_t bufferidx = 0;        // a type of unsigned integer of length 8 bits
char *parseptr;
char buffidx;

int counter = 0;
int numcycles = 1000;

int LSI1 = 7;
int LSI2 = 10;
int LSI3 = 11;
int LSI4 = 12;
int LSI5 = 13;

#if defined(__AVR_ATmega328P__) || defined(__AVR_ATmega168__) // declare variables for STANDARD boards
Servo Servo13, Servo12, Servo11, Servo10, Servo9, Servo8, Servo6, Servo5, Servo3;
Servo SERVO_CONFIG[] = {Servo13, Servo12, Servo11, Servo10, Servo9, Servo8, Servo6, Servo5, Servo3}; // declare array of Servo objects
int WRITE_PIN_CONFIG[] = {13, 12, 11, 10, 9, 8, 6, 5, 3};
int READ_APIN_CONFIG[] = {0, 1, 2, 3, 4, 5};
int READ_DPIN_CONFIG[] = {2, 4};
#endif

/*=====
SETUP
=====*/

void setup()
{
    pinMode(LSI1, OUTPUT); // set output pins to activate light sensors
    pinMode(LSI2, OUTPUT);
    pinMode(LSI3, OUTPUT);
    pinMode(LSI4, OUTPUT);
    pinMode(LSI5, OUTPUT);

    digitalWrite(LSI1, HIGH); // turn all light sensors on to start - afterwards, each separately
    digitalWrite(LSI2, HIGH);
    digitalWrite(LSI3, HIGH);
    digitalWrite(LSI4, HIGH);
    digitalWrite(LSI5, HIGH);

    Init(); //set initial pinmodes
    Serial.begin(BAUDRATE); // Start Serial communication

    LightSensor.begin(); // Start Serial communication for Light Sensors

    TempSensor.begin(); // Start Serial communication for Temperature Sensor

    LightSensor.SetAddress(Device_Address_H); // H=high voltage on ADDR Pin of LightSensor = I2C address 0x5C
    LightSensor.SetMode(Continuous_H_resolution_Mode); // all Sensors use the same I2C address but one after the other
}
}
```

```

/*=====
LOOP
=====*/

void loop()
{
  if (Serial) {
    ReadSerial(); // read and parse string from serial port and write to pins
    if (counter >= numcycles) { // Wait every nth loop
      ReadInputs(); // get input data and print data to the serial port
      counter = 0; // reset the counter
    }
    counter++; // increment the writecounter
  }
}

/*=====
FUNCTIONS()
=====*/

void Init() {
  int len = sizeof(READ_DPIN_CONFIG) / sizeof(READ_DPIN_CONFIG[0]); //get the size of the array
  for (int i = 0; i < len; i++) {
    pinMode(READ_DPIN_CONFIG[i], INPUT);
  }
}

void ReadInputs() {

  TempSensor.requestTemperatures(); //this command would make the servo move from this arduino not smooth anymore
  Serial.print(TempSensor.getTempCByIndex(0)); //print the temperature into the serial in celsius
  Serial.print(",");

  digitalWrite(LSI1, HIGH); // communicate with Light Sensor 1
  digitalWrite(LSI2, LOW); // turn of the others on the same address
  digitalWrite(LSI3, LOW); // turn of the others on the same address
  digitalWrite(LSI4, LOW); // turn of the others on the same address
  digitalWrite(LSI5, LOW); // turn of the others on the same address
  Serial.print(LightSensor.GetLightIntensity()); // print values from Light Sensor 1
  Serial.print(",");

  digitalWrite(LSI1, LOW); // turn of the others on the same address
  digitalWrite(LSI2, HIGH); // communicate with Light Sensor 2
  Serial.print(LightSensor.GetLightIntensity()); // print values from Light Sensor 2
  Serial.print(",");

  digitalWrite(LSI2, LOW); // turn of the others on the same address
  digitalWrite(LSI3, HIGH); // communicate with Light Sensor 3
  Serial.print(LightSensor.GetLightIntensity()); // print values from Light Sensor 3
  Serial.print(",");

  digitalWrite(LSI3, LOW); // turn of the others on the same address
  digitalWrite(LSI4, HIGH); // communicate with Light Sensor 4
  Serial.print(LightSensor.GetLightIntensity()); // print values from Light Sensor 4
  Serial.print(",");

  digitalWrite(LSI4, LOW); // turn of the others on the same address
  digitalWrite(LSI5, HIGH); // communicate with Light Sensor 5
  Serial.print(LightSensor.GetLightIntensity()); // print values from Light Sensor 5
  Serial.print(",");

  Serial.println("eol"); //end of information line marker
}

void ReadSerial() {
  char c; // holds one character from the serial port
  if (Serial.available()) {
    c = Serial.read(); // read one character
    buffer[bufferidx] = c; // add to buffer
    if (c == '\n') {
      buffer[bufferidx + 1] = 0; // terminate it
      parseptr = buffer; // offload the buffer into temp variable
      int len = sizeof(WRITE_PIN_CONFIG) / sizeof(WRITE_PIN_CONFIG[0]); //get the size of the array
      for (int i = 0; i < len; i++) {
        //parse all incoming values and assign them to the appropriate variable
        int val = parsedecimal(parseptr); // parse the incoming number
        if (i != len - 1) parseptr = strchr(parseptr, ',') + 1; // move past the ","
        WriteToPin(WRITE_PIN_CONFIG[i], val, SERVO_CONFIG[i]); //send value out to pin on arduino board
      }
      bufferidx = 0; // reset the buffer for the next read
      return; // return so that we don't trigger the index increment below
    }
    bufferidx++; // didn't get newline, need to read more from the buffer
  }
  if (bufferidx == BUFFSIZE - 1) bufferidx = 0; // if we get to the end of the buffer reset for safety
}
}

```

```

void WriteToPin(int _pin, int _value, Servo _servo) {
    if (_value >= 30000 && _value < 40000) // check if value should be used for Servo Write (0-180)
    {
        _value -= 30000; // subtract 30,000 from the value sent from Grasshopper
        if (!_servo.attached())_servo.attach(_pin); // attaches a Servo to the PWM pin (180 degree standard servos)
        _servo.write(_value);
    }
}

uint32_t parsedecimal(char *str) { // Parse a string value as a decimal
    uint32_t d = 0;
    while (str[0] != 0) {
        if ((str[0] > '50') || (str[0] < '0'))
            return d;
        d *= 10;
        d += str[0] - '0';
        str++;
    }
    return d;
}

```

## Arduino output\_receiver Programmcode

```
#include <Servo.h>           // attach Servo library (http://www.arduino.cc/playground/ComponentLib/Servo)
#include <pins_arduino.h>    // attach arduino pins header file to determine which board type is being used

#define BAUDRATE 115200     // Set the Baud Rate to an appropriate speed
#define BUFFSIZE 512       // buffer one command at a time

/*=====
 * GLOBAL VARIABLES
 *=====*/

char buffer[BUFFSIZE];     // declare buffer
uint8_t bufferidx = 0;    // a type of unsigned integer of length 8 bits
char *parseptr;
char buffidx;

int counter = 0;
int numcycles = 1000;

#if defined(_AVR_ATmega328P_) || defined(_AVR_ATmega168_) // declare variables for STANDARD boards
Servo Servo13, Servo12, Servo11, Servo10, Servo9, Servo8, Servo6, Servo5, Servo3;
Servo SERVO_CONFIG[] = {Servo13, Servo12, Servo11, Servo10, Servo9, Servo8, Servo6, Servo5, Servo3}; // declare array of Servo objects
int WRITE_PIN_CONFIG[] = {13,12,11,10,9,8,6,5,3};
int READ_APIN_CONFIG[] = {0,1,2,3,4,5};
int READ_DPIN_CONFIG[] = {2,4};
#endif

/*=====
 * SETUP
 *=====*/
void setup()
{
  Init(); //set initial pinmodes
  Serial.begin(BAUDRATE); // Start Serial communication
  #if defined(_SAM3X8E_) //if the connected board is an Arduino DUE
    analogReadResolution(12); //Set the analog read resolution to 12 bits (acceptable values between 1-32 bits). This is only for DUE boards
    analogWriteResolution(12); // Set the analog write resolution to 12 bits (acceptable values between 1-32 bits). This is only for DUE boards
  #endif
}

/*=====
 * LOOP
 *=====*/
void loop()
{
  if(Serial){
    ReadSerial(); // read and parse string from serial port and write to pins
    if (counter >= numcycles){ // Wait every nth loop
      ReadInputs(); // get input data and print data to the serial port
      counter = 0; // reset the counter
    }
    counter ++; // increment the writecounter
  }
}

/*=====
 * FUNCTIONS
 *=====*/

void Init(){
  int len = sizeof(READ_DPIN_CONFIG)/sizeof(READ_DPIN_CONFIG[0]); //get the size of the array
  for(int i = 0; i < len; i++){
    pinMode(READ_DPIN_CONFIG[i], INPUT);
  }
}

void ReadInputs(){
  int len = sizeof(READ_APIN_CONFIG)/sizeof(READ_APIN_CONFIG[0]); //get the size of the array
  for(int i = 0; i < len; i++){
    int val = analogRead(READ_APIN_CONFIG[i]); //read value from analog pins
    Serial.print(val); Serial.print(",");
  }
  len = sizeof(READ_DPIN_CONFIG)/sizeof(READ_DPIN_CONFIG[0]); //get the size of the array
  for(int i = 0; i < len; i++){
    int val = digitalRead(READ_DPIN_CONFIG[i]); //read value from digital pins
    Serial.print(val); Serial.print(",");
  }
  Serial.println("eol"); //end of line marker
}
```

```

void ReadSerial(){
char c; // holds one character from the serial port
if (Serial.available()) {
c = Serial.read(); // read one character
buffer[bufferidx] = c; // add to buffer
if (c == '\n') {
buffer[bufferidx+1] = 0; // terminate it
parseptr = buffer; // offload the buffer into temp variable
int len = sizeof(WRITE_PIN_CONFIG)/sizeof(WRITE_PIN_CONFIG[0]); //get the size of the array
for(int i = 0; i < len; i++){
//parse all incoming values and assign them to the appropriate variable
int val = parsedecimal(parseptr); // parse the incoming number
if(i != len - 1) parseptr = strchr(parseptr, ',')+1; // move past the ","
WriteToPin(WRITE_PIN_CONFIG[i], val, SERVO_CONFIG[i]); //send value out to pin on arduino board
}
bufferidx = 0; // reset the buffer for the next read
return; // return so that we don't trigger the index increment below
}
bufferidx++; // didn't get newline, need to read more from the buffer
if (bufferidx == BUFFSIZE-1) bufferidx = 0; // if we get to the end of the buffer reset for safety
}
}

void WriteToPin(int _pin, int _value, Servo _servo){
if (_value >= 10000 && _value < 20000) // check if value should be used for Digital Write (HIGH/LOW)
{
if (!_servo.attached()) _servo.detach(); // detach servo is one is attached to pin
pinMode(_pin, OUTPUT);
_value -= 10000; // subtract 10,000 from the value sent from Grasshopper
if (_value == 1) digitalWrite(_pin, HIGH);
else digitalWrite(_pin, LOW);
}
else if (_value >= 20000 && _value < 30000) // check if value should be used for Analog Write (0-255)
{
if (!_servo.attached()) _servo.detach(); // detach servo is one is attached to pin
pinMode(_pin, OUTPUT);
_value -= 20000; // subtract 20,000 from the value sent from Grasshopper
analogWrite(_pin, _value);
}
else if (_value >= 30000 && _value < 40000) // check if value should be used for Servo Write (0-180)
{
_value -= 30000; // subtract 30,000 from the value sent from Grasshopper
if (!_servo.attached()) _servo.attach(_pin); // attaches a Servo to the PWM pin (180 degree standard servos)
_servo.write(_value);
}
else if (_value >= 40000 && _value < 50000) // check if value should be used for Analog Write (0-4096) for DACs
{
if (!_servo.attached()) _servo.detach(); // detach servo is one is attached to pin
pinMode(_pin, OUTPUT);
_value -= 40000; // subtract 40,000 from the value sent from Grasshopper
WriteToDAC(_pin, _value);
}
}

uint32_t parsedecimal(char *str){
uint32_t d = 0;
while (str[0] != 0) {
if ((str[0] > '50') || (str[0] < '0'))
return d;
d *= 10;
d += str[0] - '0';
str++;
}
return d;
}

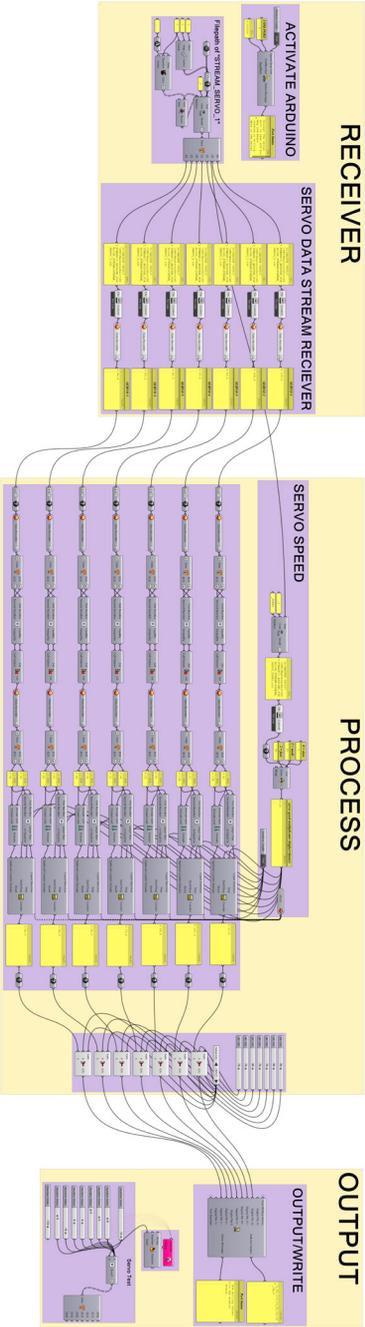
void WriteToDAC(int _pin, int _value){
#ifdef __SAM3X8E__
if (_pin == 0) analogWrite(DACO, _value);
else if (_pin == 1) analogWrite(DAC1, _value);
#endif
}

```



# 6.7 Grasshopper Definitionen

## Grasshopper receiver\_ouput Definition





Grasshopper sender input Definition

