

# PARAMETRIC MODELLING INNOVATIVE SHOE DESIGN

## MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades einer  
Diplom-Ingenieurin

**Studienrichtung: Architektur**

**Michaela Worschitz**

Technische Universität Graz  
Erzherzog-Johann-Universität  
Fakultät für Architektur

**Betreuerin:** Stavric Milena, Ass.Prof. Dipl.Ing. Dr.techn.

**Institut:** Architektur und Medien

**04/2015**



# 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 benutzenden Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am ..... ..

Englische Fassung:

# STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/recourses, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the sources.

Date ..... ..



**VORWORT**

*“Shoes are very architectural and always have been, and even more recently there are new shoes like Miuccia [Prada’s] - they’re buildings.”*

**Frank Gehry**

**VORWORT**

Das Architekturstudium der TU Graz vermittelte eine allgemeine Ausbildung, die den Studierenden erlaubte selbst zu entscheiden auf welche Bereiche sie sich während des Studiums und im späteren Berufsleben konzentrieren möchten. Es steht außer Frage, dass sich diese Spezialisierung im Laufe des Lebens immer weiter verändert und sich in andere Richtungen bewegt.

Das Resultat meines persönlichen Interesses zeigte sich in Form von Design im Bereich von Mode und Möbel, das sich eher im kleinen Maßstab bewegte, was aber meinen Hang zur Architektur in keinem Fall minderte.

Am Anfang meiner Recherche standen zwei Themenschwerpunkte, denen ich mich widmen wollte. Dabei spreche ich von außergewöhnlicher Bekleidung, deren Entwicklung sich durch die Kunst des Papierfaltens auszeichnete und von zeitgemäßen Schuhen, die mit innovativen Technologien und Herstellungsverfahren verwirklicht wurden.

In den Sommermonaten des Jahres 2014 besuchte ich mit großem Interesse eine Schuhausstellung im Kunsthaus Wien, mit dem Namen *Shoetingstars*. Die faszinierenden Modelle, die unter anderem von namhaften Architekten wie Zaha Hadid gefertigt wurden, weckten meine uneingeschränkte Begeisterung und veranlassten mich dazu, meine Arbeit diesem Thema zu widmen. Die Tatsache, dass unter den Ausstellern einige Architekten vertreten waren, bekräftigte mich in meinem Entschluss Schuhe zu designen, ohne der Architektur den Rücken zuzukehren.

## VORWORT

Betrachtet man die Entwicklung der Schuhherstellung der letzten 100 Jahre, kann man behaupten, dass sich diese drastisch verändert hat. Das traditionelle Handwerk des Schusters mit kleinen Auflagen wurde von der heute gängigen Produktion im großen Stil abgelöst, obwohl es noch vereinzelt Schuhmacher gibt, die sich dem alten Handwerk bedienen. Durch die rasche Veränderung stellte ich mir die Frage, wie wohl die Fertigung von Schuhen in zehn Jahren von statten gehen könnte, vor allem da zur Zeit ein Umbruch in der Technik zu spüren ist.

Anhand von durchgeführten Entwurfsstudien und realisierten Prototypen, möchte ich dem Leser einen Einblick in den Entwicklungsprozess neuer Herstellungsverfahren von individuellen und innovativen Schuhen verschaffen, die in Zukunft möglich wären. Ich bediente mich zweier unterschiedlicher Technologien, die mich während meines Studiums prägten und inspirierten. Dabei handelte es sich zum einen, um die Technik des Lasercuttings, die mich bei der Fertigung unzähliger Modelle unterstützte und zum anderen um ein Rapid Prototyping Verfahren, dem im Moment viel Aufmerksamkeit gewidmet wird. Die Rede ist vom 3D Druck. Das Ziel war die Optimierung und Ausreizung der vorhandenen Technologien, um mit den Prototypen an ihre Grenzen zu stoßen und viel versprechende Ergebnisse zu verwirklichen.



**DANKSAGUNG**

Ich danke Milena Stavric, die sich mit der Betreuung meiner Diplomarbeit auseinandersetzte.

Besonderer Dank gilt auch den Mitarbeitern der Schuhmanufaktur *Legero*, im Speziellen Matthias Fischl und Rudolf Lagger, die sich mit der Realisierung meines 3D gedruckten Prototypen beschäftigten.

Bei meiner Familie und meinem Freund Jürgen bedanke ich mich für die Unterstützung und Ermutigung während des Architekturstudiums.

**KURZFASSUNG**

Diese Arbeit beschäftigte sich mit dem Thema des parametrischen und innovativen Schuhdesigns und dessen Produktion. Im Zuge meiner Recherche kristallisierten sich zwei Herstellungsverfahren heraus, die mich während meines Studiums prägten und großes Potential zeigten. So kam es, dass ich mich für die Realisierung der Prototypen auf den 3D Druck und den Lasercut konzentrierte, da bereits Schuhe existierten, die mit diesen Verfahren gefertigt wurden. Mein Interesse lag darin, die tatsächliche Tragbarkeit dieser innovativen Modelle zu hinterfragen und gegebenenfalls zu beweisen oder zu widerlegen.

Im Vorfeld wollte ich bestimmte Rahmenbedingungen schaffen, die es mir erlaubten den perfekten Schuh hinsichtlich Ergonomie und Komfort zu finden. Dabei bediente ich mich einer eigens durchgeführten Studie, die sich mit Größe und Form des Schuhmodells befasste und das idealste Verhältnis zwischen Absatzhöhe und Plateau lieferte. Weiters behandelte ich die Anatomie des menschlichen Fußes, um Einzelheiten über die Fußform und die Verteilung der Kräfte zu erfahren.

Um zu vergleichen, Erfahrungen zu sammeln und eine Aussage über die Fertigung, den Tragekomfort, die Planung, den Preis und die Effizienz zu treffen, fertigte ich einen lasergecutteten und einen 3D gedruckten Prototyp an. Bei den verwendeten Materialien handelte es sich einerseits um Acrylglas und andererseits um flexible Kunststoffe aus dem 3D Drucker.

## KURZFASSUNG

Die digitalen Objekte wurden in einem parametrischen Programm erstellt, das ein Variieren von verschiedenen Parametern ermöglichte. Man konnte somit das Volumen individuell auf die Anatomie des menschlichen Fußes anpassen und die Optik durch Umgestaltung der Muster verändern.

Der Laser gecuttete Entwurf basierte auf einem Stecksystem, welches aus einzelnen Modulen bestand, die ohne Zugabe von Klebstoff ineinander geschoben wurden. Das Design konnte durch das anschließende Hinzufügen von Fäden, mit dem Vorteil einer zusätzlichen Aussteifung, noch individueller und flexibler gestaltet werden und einen Raumabschluss bilden.

Das Plateau des 3D gedruckten Schuhs war ganz darauf ausgelegt mit flexiblen Materialien gedruckt zu werden, um eine Dämpfung während des Gehens zu erzeugen. Durch eine Differenzierung zwischen Plateau und Schaft konnte eine einfache Austauschbarkeit des oberen beziehungsweise des unteren Elementes durch neue Muster, Farben oder Formen erreicht werden.

Mit der Ausarbeitung der zwei Prototypen wollte ich zeigen, dass durch den Einsatz digitaler Werkzeuge eine effiziente Massenproduktion, trotz individueller Maßanfertigung erreicht werden kann.

**ABSTRACT**

This thesis analyses the parametric and innovative shoe design with the aim of its production. Research in the early phases of the project resulted two different kinds of manufacturing processes that impressed me during my studies and showed great potential. So I focused on the realization of a 3D printed and a laser cut prototype, because there already existed shoes that were made by those methods. My interest was to question the actual applicability of those innovative models and possibly prove or disprove.

I wanted to create certain conditions to find the perfect shoe with regard to ergonomics and comfort. In this case I used a self made study, which dealt with the size and the shape of different shoes and showed the perfect ratio between heel and platform. I also dealt with the anatomy of the human foot to learn more details about the shape of the foot and the distribution of forces.

To compare and to make a statement about production, comfort, digital planning, costs and efficiency, I made a laser cut and a 3D printed prototype. The materials I used were acrylic glass and flexible plastics from the 3D printer.

**ABSTRACT**

The digital objects were built in a parametric program that allowed a variation of different parameters. The volume was individually adapted to the anatomy of the human foot and its appearance was changed by reshaping the pattern.

The laser cut design was based on a plug-in system, which consisted of individual modules that were pushed into each other without the addition of glue. The object could be made even more individual and flexible by the subsequent addition of threads with the benefit of an additional bracing.

The 3D printed platform of the shoe was designed to be printed out completely with flexible materials in order to produce a damping while walking. By differentiating between platform and shaft a simple replacement of the upper and the lower module with new patterns, colors or shapes could be achieved.

This prototype shows that digital tool can be used as a basis for efficient mass production which can be individually customised.

**INHALTSVERZEICHNIS****VORWORT 5-7****DANKSAGUNG 9****KURZFASSUNG 10-11****ABSTRACT 12-13****INHALTSVERZEICHNIS 14-15****KAPITEL I | EINLEITUNG 16-31****SCHUHE UND IHRE BEDEUTUNG 18-19****DER URSCHUH 20****SCHUHDESIGN - HEUTE UND DAMALS 21-27****SCHUHDESIGN DER ZUKUNFT 28-31****KAPITEL II | BASICS 32-47****ANATOMIE DES MENSCHLICHEN FUSSES 34-37****RESÜMEE ANATOMIE 38****ANATOMIE DES SCHUHS 39-40****DER LEISTEN 41****SCHUHARTEN 42-43****MATERIALIEN 44-47****KAPITEL III | PARAMETRIC MODELLING 48-71****MANDELBROT MENGE 50-51****PROJEKTE BIONIK 52-55****LASERCUT 56-57****LASERCUT PROJEKTE 58-59****3D DRUCK | RAPID PROTOTYPING 60-68****3D DRUCK PROJEKTE 69-71**

**KAPITEL IV | CASE STUDY 72-91****AUSSTELLUNG KUNSTHAUS WIEN 74-75****KÜNSTLER 76-80****KÜNSTLER + ARCHITEKT 81****ARCHITEKTEN 82-89****RESÜMEE 90-91****KAPITEL V | SCHUH STUDIE 92-113****EINLEITUNG 94-95****EIGENSCHAFTEN MEINES FUSSES 96****STUDIE HIGH HEELS 97-104****STUDIE KEILSCHUHE 105-111****RESÜMEE 112-113****KAPITEL VI | ENTWURF 114-174****PLANUNGSPROZESS I | LASERCUT 116-119****BIONIK I 120-121****BIONIK I | ENTWURF LASERCUT 122-140****BIONIK I | BOX 141****PLANUNGSPROZESS II | 3D DRUCK 142-147****BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK 148-167****BIONIK II | BOX 168****RESÜMEE | BIONIK I | LASERCUT 170-171****RESÜMEE | BIONIK II | 3D DRUCK 172-173****CONCLUSIO 174****KAPITEL VII | ANHANG 176-197****QUELLEN- UND BILDVERZEICHNIS 178-185****DESIGNS | SKIZZEN 186-197**



# KAPITEL I

## EINLEITUNG

SCHUHE UND IHRE BEDEUTUNG

DER URSCHUH

SCHUHDESIGN - HEUTE UND DAMALS

SCHUHDESIGN DER ZUKUNFT

**SCHUHE UND IHRE BEDEUTUNG**

*„Der Schuh, so eine philosophische Interpretation, ist das verbindende aber auch das trennende Element zwischen dem Menschen und der Erde, von der er stammt und über die zu erheben er sich bemüht.“<sup>2</sup>*

<sup>2</sup> Andritzky/Kämpf/Link 1988, 6.

## SCHUHE UND IHRE BEDEUTUNG



Bild 1

Schuhe dienen nicht nur dem Schutz gegen äußere Einflüsse, sondern geben Auskunft über die soziale und kulturelle Entwicklung der Menschen in Abhängigkeit von der geografischen Lage und der vorherrschenden Epoche. Darüber hinaus werden sie oft in der Kunst als symbolisches Medium interpretiert, was die Komplexität dieses zunächst banal wirkenden Themas verdeutlicht.<sup>3</sup>

Der Schuh muss im Alltag großen Herausforderungen gewachsen sein. Konstante Kräfte wie das Gewicht des Menschen und der daraus resultierende Druck von Innen, die Reibung der Straße und Feuchtigkeit in Form von Regen und Schweiß wirken auf das Material. Stöckelschuhe, die der Frau eine optische Verlängerung der Beine ermöglichen, müssen noch mehr punktuellen Kräften gewachsen sein.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Vgl. Andritzky/Kämpf/Link 1988, 6.

<sup>4</sup> Vgl. ebda., 11 f.

## DER URSCHUH

Bei dem *Urschuh* handelte es sich je nach klimatischen Bedingungen, entweder um Tierfelle, Garne oder Palmenblätter, die um den Fuß geschlungen wurden. Das erste Schuhdesign überhaupt, welches nur dem einen Zweck diente, den Füßen Schutz und Wärme zu spenden. Weitere Materialien waren Baumrinden, die mit Bändern aus Leder am Bein befestigt wurden. Daraus entwickelte sich in den warmen Regionen die *Sandale*. Der Schuh galt als Geborgenheit am Fuß, ein Haus, das man überall mithinein nehmen konnte.<sup>5</sup>

Der *Bundschuh* war eine Verbesserung des bisherigen Designs. Dafür benötigte man ein Stück Leder oder Fell, welches an die Fußform angepasst und mit Riemen zusammengeschnürt wurde. Um einen sicheren Halt zu gewährleisten, waren die Riemen lang und wurden mehrfach um das Bein gebunden. Der Bundschuh war den hohen Ansprüchen der Landarbeit ideal gewachsen, weshalb sich seine Form über Jahrhunderte hinweg kaum weiterentwickelte. Nicht ohne Grund wurde er im Laufe der Zeit zum Charakteristikum des Bauerstandes.<sup>6</sup>



**Bild 2:** Rechter Bundschuh 700 v. Chr. Ein Schuh aus dem Hallstätter Salzbergwerk – Anton Kern. Der Schuh ist aus einem einzigen Stück gearbeitet und nur an der Ferse zusammengeñäht.

<sup>5</sup>Vgl. Andritzky/Kämpf/Link u.a. 1988, 21.

<sup>6</sup>Vgl. ebda., 50.

## SCHUHDESIGN – HEUTE UND DAMALS



**Bild 3:** Dieser Schuh wurde aus Garn gefertigt und ist über 10.000 Jahre alt.

Der erste indirekte Beweis für Schuhe etablierte sich vor 40 000 Jahren, als sich die Skelettstruktur des kleinen Zehs zu verändern begann. Daraus kann man schließen, dass der damals lebende Mensch seine Füße vor den äußerlichen Einwirkungen schützte. Der älteste konservierte Schuh ist 9500 Jahre alt und wurde in Oregon (USA) gefunden.<sup>7</sup>

Der Bezug des Schuhdesigns zur Entwicklung der Mode und des vorherrschenden Zeitgeistes lässt sich nicht abstreiten. Bis auf den Urschuh existierte in all den Jahrhunderten keine Fußbekleidung, dessen Aufgabe einzig darin bestand für Bequemlichkeit und Schutz zu sorgen.<sup>8</sup>

In Mitteleuropa begann bereits im späten Mittelalter die Fertigung der Schuhe auf Holzklötzen. Der Leisten war das Fundament eines jeden Schuhs. Stellvertretend für den menschlichen Fuß, diente er als dreidimensionales Abbild, natürlich nicht ohne die Einbeziehung modischer Charakteristika. Der Leisten war ausschlaggebend für die gute Passform.<sup>9</sup>

Schuhe konnten schon vor vielen Jahrhunderten nicht nur auf die funktionale Fußbekleidung reduziert werden. Lange Zeit waren sie dem Adelsgeschlecht vorbehalten, während hingegen das gemeine „Fußvolk“ keine Schuhe besaß oder nur mit sehr simplem Schuhwerk ausgestattet wurde. Ab dem Mittelalter ließen Kleiderordnungen den sozialen Stand erkennen. Diese besagten, was von wem getragen werden durfte und welche Schuhe für den jeweiligen Stand gestattet waren. Sie repräsentierten den Rang seines Besitzers und werden noch heute als beliebtes Statussymbol anerkannt. Form, Farbe, Material, Verzierung und Verarbeitung waren ausschlaggebend für die Qualität der Bekleidung.<sup>10</sup>

<sup>7</sup> Vgl. Choklat 2013, 10.

<sup>8</sup> Vgl. Andritzky/Kämpf/Link 1988, 47.

<sup>9</sup> Vgl. Marco/Assel/Universalmuseum Joanneum 2013, 12.

<sup>10</sup> Vgl. ebda., 46.



**Bild 4:** Schnabelschuh aus Stahl 1485. Länge: 45cm.



**Bild 5:** Kuhmaulschuhe aus vergoldetem Stahl und Seide 1540. Breite: 14cm.

## SCHUHDESIGN – HEUTE UND DAMALS

Bereits im 14. Jahrhundert gab es die ersten modischen Modelle. Der spitz zulaufende Schuh in Form eines Storchenschnabels, der von der Gotik inspiriert wurde, war sehr extravagant und wurde nur von der höfischen Gesellschaft getragen. Er zog ganz Europa in seinen Bann und stand für vornehme Tracht. Trotz seines Ansehens erschwerte der Schnabelschuh seinem Besitzer das Gehen im Alltag und ließ diesen nur langsam schreiten, woran man den wohlhabenden Stand erkannte. Die Länge der Schuhspitze gab Auskunft über die soziale Stellung. Ein halber Fuß stand für das gemeine Volk, ein Fuß für die Bürger, eineinhalb Fuß für Ritter, zwei Fuß für Fürsten und zweieinhalb Fuß waren den Prinzen vorbehalten.<sup>11</sup>

Zu Beginn des 16. Jahrhunderts, änderte sich mit der Epoche auch die Schuhmode, nachdem 400 Jahre der Schnabelschuh die Fußbekleidung bestimmte. Die lange Spitze galt in der Renaissance als nichts Besonderes mehr und wurde als gewöhnlich empfunden. Stattdessen entstand eine eckige Form mit einer sehr breiten Schuhkappe als neues Statussymbol. Der sogenannte „Kuhmaulschuh“, welcher eine klare Abkehr vom vorausgegangen Schnabelschuh demonstrierte, wurde aus Leder gefertigt und erinnerte an die Kleidung der damaligen Epoche. Vergoldete Prägemuster und geschlitzte Motive bestimmten die äußere Erscheinung des Schuhs. Das bis zu 15cm breite Vorderteil musste ausgestopft werden, um nicht vom Fuß zu fallen. Obwohl sich hauptsächlich die Oberschicht und der wohlhabende Stand dieses Schuhmodells bedienten, kam es beim gemeinen Volk nie richtig an. Weshalb die Fußbekleidung auch als „Bärenatze“ und „Hundeschnauze“ verspottet wurde.<sup>12</sup>

<sup>11</sup> Vgl. Marco/Assel/Universalmuseum Joanneum 2013, 80 f.

<sup>12</sup> Vgl. ebda., 80 f.

## SCHUHDESIGN – HEUTE UND DAMALS

Lange Zeit konzentrierte man sich in der Schuhmode auf bequeme Halbschuhe, enganliegende Beinlinge oder kurze Stiefel. Auch das weibliche Geschlecht bediente sich im 16. Jahrhundert der flachen Schuhmodelle, mit einer außergewöhnlichen Spezialanfertigung, die hauptsächlich von Kurtisanen getragen wurde: die Sockelschuhe, Chopine oder Zoccoli genannt, die über Spanien nach Venedig kamen und von modebewussten Venezianerinnen mit offenen Armen empfangen wurden. Dabei handelte es sich um Schuhe aus Holz, mit einem Plateau von bis zu 50cm. Diese enorme Höhe sollte die Füße der venezianischen Damen auch bei Hochwasser trocken halten.<sup>13</sup> Zum ersten Mal in der Geschichte wurden diese Spezialschuhe ausschließlich von Frauen getragen. Von heutiger Sicht ist es kaum zu begreifen, dass moderne Fußbekleidung aufgrund der langen Damenröcke bis in den Barock hauptsächlich der männlichen Eitelkeit vorbehalten waren.<sup>14</sup>

Das 17. Jahrhundert etablierte eine neue Errungenschaft für die Schuhwelt und zwar den Absatz. In ganz Europa herrschten kriegerische Konflikte, wodurch der Reitstiefel am gebräuchlichsten wurde. Der Absatz verhalf den Soldaten zu besserem Halt am Pferd im Steigbügel.<sup>15</sup>

Die Epoche Rokoko war die Glanzzeit der Monarchie und bewirkte ein kürzer Werden der Damenröcke, weshalb Frauen ihre Schuhe zeigen konnten. Eine spitze Form und ein geschwungener Absatz zwischen 8 und 15 Zentimeter verliehen ihnen ein graziles Auftreten und eine optische Verlängerung der Beine. Es gab keine Grenzen für Schmuck und Verzierungen.<sup>16</sup>

<sup>13</sup> Vgl. Durian-Ress 1991, 21.

<sup>14</sup> Vgl. Marco/Assel/Universalmuseum Joanneum 2013, 18.

<sup>15</sup> Vgl. ebda., 82.

<sup>16</sup> Vgl. Andritzky/Kämpf/Link 1988, 53.



**Bild 6:** Damenschuhe; 1700.



**Bild 7:** Damenschuhe; 1700.



**Bild 8:** Damenschuhe; Chopine. Ende des 16. Jahrhunderts.

## SCHUHDESIGN – HEUTE UND DAMALS

Durch die neue politische Lage Ende des 18. Jahrhunderts veränderte sich die soziale Grundeinstellung in Frankreich ausschlaggebend. Innerhalb von nur einem Jahrzehnt kam es zu einer vollkommenen Neuorientierung. Die Gesellschaft forderte aufgrund der französischen Revolution Gleichheit für alle, weshalb der Absatz nicht mehr in Mode war. Neu war der flache, Pumps artige Schuh, der ausgehend von England als Symbol der neuen Epoche getragen wurde.<sup>17</sup>

In der Zeit zwischen 1815-1848, auch als Biedermeier bekannt, wurde von den Damen, obwohl im 19. Jahrhundert die Männer der Oberschicht die Vorreiter in Sachen Mode waren, eine knöchelhohe, schmale Stieflette mit flachem oder ohne Absatz getragen. Dieser Trend blieb bis zum ersten Weltkrieg erhalten. Danach war die Blütezeit der High Heels kaum aufzuhalten, denn durch die Emanzipation der Frau entdeckte man das weibliche Bein.<sup>18</sup>

Zeitgleich entstand im 20. Jahrhundert eine sehr funktionale, der Fuß Form angepasste Mode, die hauptsächlich im Alltag getragen wurde. Bei feierlichen Anlässen jedoch griff man auf den Pumps zurück.<sup>19</sup>



**Bild 9:** „Dandy“ Gavarni 1845. Männer dominierten die Schuhmode des 19. Jahrhunderts.

<sup>17</sup> Vgl. Marco/Assel/Universalmuseum Joanneum 2013, 82 f.

<sup>18</sup> Vgl. Andritzky/Kämpf/Link 1988, 55.

<sup>19</sup> Vgl. Marco/Assel/Universalmuseum Joanneum 2013, 82 f.



**Bild 10:** Herrens Schuh um 1830 in Süddeutschland.



**Bild 11:** Flacher Damensstiefel 1845-55 aus braunem Satin mit seitlicher Schnürung.

## SCHUHDDESIGN DER ZUKUNFT

Schon der Film *Zurück in die Zukunft* zeigte im Jahr 1985 für die damalige Zeit ein innovatives Paar Schuhe, das in der Lage war sich selbst zu schnüren. Obwohl die Funktion der automatischen Schnürsenkel noch nicht umgesetzt wurde, veröffentlichte Nike als Andenken an den Film, den sogenannten *MAG Hyperdunk*, den es danach auch zu kaufen gab.<sup>20</sup>

**Bild 12:** Dr. Emmett L. Brown und Marty McFly aus dem Film *Zurück in die Zukunft*. **Bild 13:** Die Schuhe von Marty aus dem Film *Zurück in die Zukunft*.



<sup>20</sup> Vgl. Kruse, Niels, (19.02.2014): Was von „Zurück in die Zukunft II“ wahr wird und was nicht, <<http://www.stern.de/kultur/film/selbstschnuerender-turnschuh-was-von-zurueck-in-die-zukunft-ii-wahr-wird-und-was-nicht-2091011.html>>, in: <[www.stern.de](http://www.stern.de)>, 15.10.2014

## SCHUHDESIGN DER ZUKUNFT

Der Designer Alex Diener präsentierte in einer Konzeptstudie, wie in Zukunft maßgeschneiderte Schuhe hergestellt werden könnten.

Der Entwurf spezialisierte sich auf Sportler, die zunächst einen konventionellen Laufschuh tragen mussten. Darin wurden Beschleunigungs- und Drucksensoren montiert, die Bewegungen der Füße maßen. Im Schuhgeschäft wertete ein Computer die Daten aus und ermittelte so das Laufverhalten, die Form des Fußes und seine eventuellen Fehlstellungen. Ein paar Stunden nach der Auswertung sollte der Schuh frisch aus dem Drucker kommen.

Die Entwickler gaben keine Auskunft über die möglichen Materialien, mit denen der 3D Drucker arbeitete. Das Konzept sah zunächst keinen Hausgebrauch vor, sondern richtete sich an Fachhändler.<sup>21</sup>

**Bild 14:** Schuhe aus dem 3D Drucker.



**Bild 15:** Schuhe aus dem 3D Drucker.



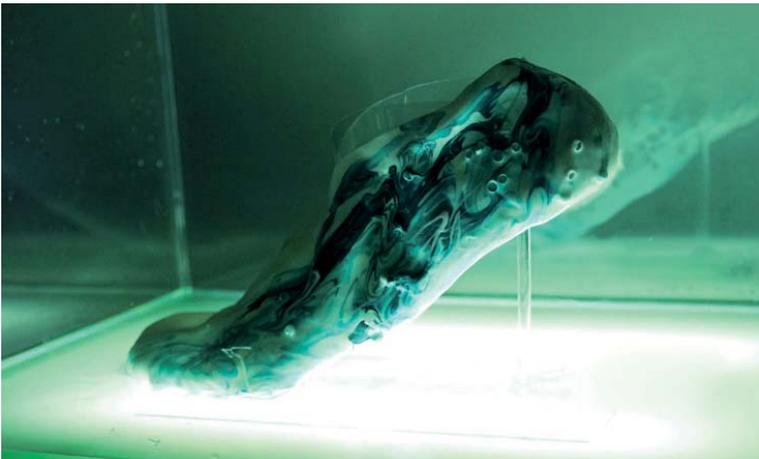
<sup>21</sup> Vgl. Vielmeier, Jürgen, (08.06.2013): Der Schuh aus dem 3D-Drucker, <<http://neuerdings.com/2013/06/08/3d-schuh/>>, in: <[www.neuerding.com](http://www.neuerding.com)>, 15.10.2014

## SCHUHDESIGN DER ZUKUNFT

Der Londoner Forscher und Designer Shamees Aden entwickelte, zusammen mit dem Professor Dr. Martin Hanczyc, der sich auf die Technologie von Protozellen konzentrierte, ein Konzept für Laufschuhe, die mit Hilfe von künstlich hergestellten, biologischen Materialien 3D gedruckt wurden und sich über Nacht selbst reparierten. Das Projekt wurde bei der Veranstaltung *Wearable Futures* präsentiert.

Der Schuh wäre ein exaktes Abbild des menschlichen Fußes, so wie eine zweite Haut. Das Material, das aus Protozellen gefertigt wurde, könnte Bewegung und Druck während des Laufens minimieren. Bei den Protozellen handelte es sich um keine lebenden Moleküle. Jedoch könnten sie in Kombination mit unterschiedlichen Arten künstlich lebende Systeme erzeugen, die sich für bestimmte Eigenschaften programmieren ließen.

Nach einem Lauf wäre die Energie der Protozellen erschöpft, weshalb man die Schuhe in ein Bad aus regenerierenden Substanzen legen müsste, die den Organismus gesund hielten. Die Flüssigkeit könnte auch gefärbt sein, damit die Schuhe während der Reparatur unterschiedliche Farben aufnehmen.<sup>22</sup>



**Bild 16:** Sich selbst heilender Schuh aus dem 3D Drucker.

<sup>22</sup> Vgl. Griffiths, Alyn, (11.12.2013): Self-repairing trainers 3D-printed from biological cells by Shamees Aden, <<http://www.dezeen.com/2013/12/11/3d-printed-trainers-synthetic-biology-protocells-shamees-aden-wearable-futures/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 15.10.2014

**Bild 17:** Der Schuh wäre wie eine zweite Haut am Fuß.



**Bild 18:** Für die Reparatur werden die Schuhe in ein Bad aus Protozellen gelegt, um den Organismus gesund zu halten.





# KAPITEL II

## BASICS

ANATOMIE DES MENSCHLICHEN FUSSES

RESÜMEE ANATOMIE

ANATOMIE DES SCHUHS

DER LEISTEN

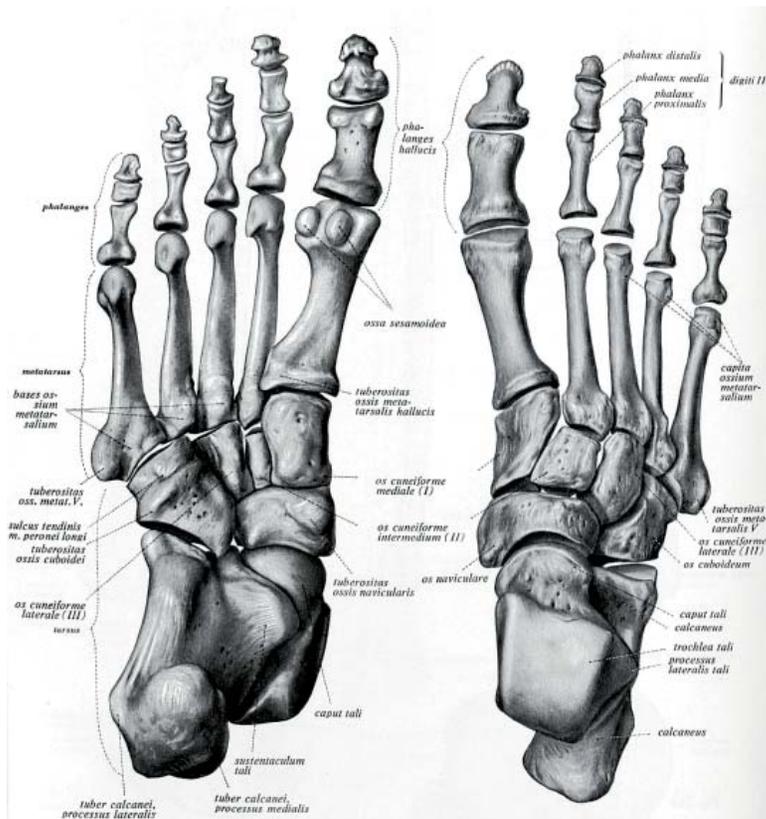
SCHUHARTEN

MATERIALIEN

## ANATOMIE DES MENSCHLICHEN FUSSES

Für mich war es zunächst wichtig, die Grundlagen der menschlichen Fußanatomie zu verstehen, um sie bei der Entwicklung des Schuhs einfließen zu lassen. Obwohl es sich beim Fuß um einen hoch komplexen Körperteil handelt, reicht es aus, einen Schuh aus nur wenigen Bestandteilen zu fertigen.

In diesem Kapitel lernen wir die Basics der Fußanatomie und die detaillierte Zusammensetzung der Füße kennen.



**Bild 19:** Linke Abbildung (Plantaransicht): Ansicht auf die Unterseite des Fußskeletts (ossa pedis). Natürliches Lagerungsverhältnis der Knochen.

**Bild 19:** Rechte Abbildung (Dorsalansicht): Ansicht auf die Oberseite des Fußskeletts (ossa pedis). Natürliches Lagerungsverhältnis der Knochen.

## ANATOMIE DES MENSCHLICHEN FUSSES

Durch die Evolution und die Anpassung an den aufrechten Gang erfüllt der menschliche Fuß hohe anatomische und funktionale Aufgaben.

Das Fußgewölbe entsteht dadurch, dass die Knochen im hinteren Bereich des Fußes übereinander stehen, im mittleren und vorderen Abschnitt aber nebeneinander liegen. Unterscheiden kann man zwischen einem Quergewölbe und einem Längsgewölbe.<sup>23</sup>

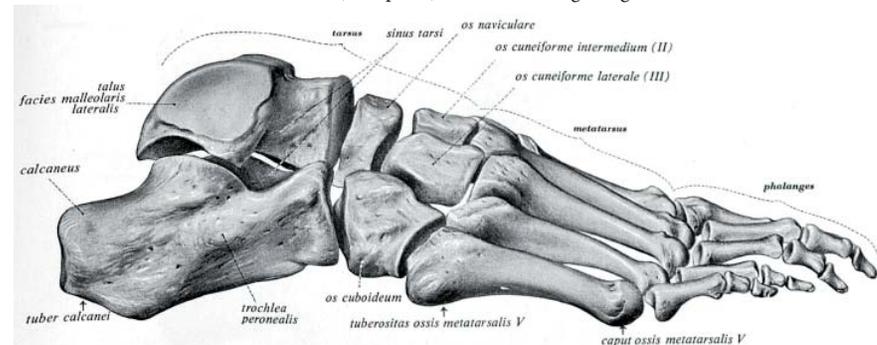
Die Bestandteile des Fußes sind die Zehen (Digiti pedis), der Mittelfuß (Metatarsus) und die Fußwurzel (Tarsus). Der Mittelfuß lässt sich in Ballen, Sohle, Ferse, Spann (Fußrücken) und Rist (Außenkante) unterteilen. Beide Füße zusammen machen mit je 26 Knochen rund ein Viertel der insgesamt 206 bis 215 Knochen der menschlichen Anatomie aus.<sup>23.1</sup>

Das Fußskelett besteht aus dem Fußwurzelknochen (Ossa tarsi), dem Mittelfußknochen (Ossa metatarsi) und dem Zehenknochen (Ossa digiti pedis). Die Knöchel gehören zum Schienbein und Wadenbein, sind aber Bestandteil des Sprunggelenks.<sup>24</sup>

**Bild 20:** Diese Röntgenaufnahme zeigt, wie der Schuh der Silhouette des Fußes folgt.



**Bild 21:** Seitenansicht des Fußskeletts (ossa pedis). Natürliches Lagerungsverhältnis der Knochen.



<sup>23</sup> Vgl. Kahle/Leonhardt/Platzer 1975, 212 f.

<sup>23.1</sup> Vgl. Wikipedia, (15.02.2015): Fuß, <<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fu%C3%9F&oldid=135219322>>, in: <[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)>, 09.04.2015

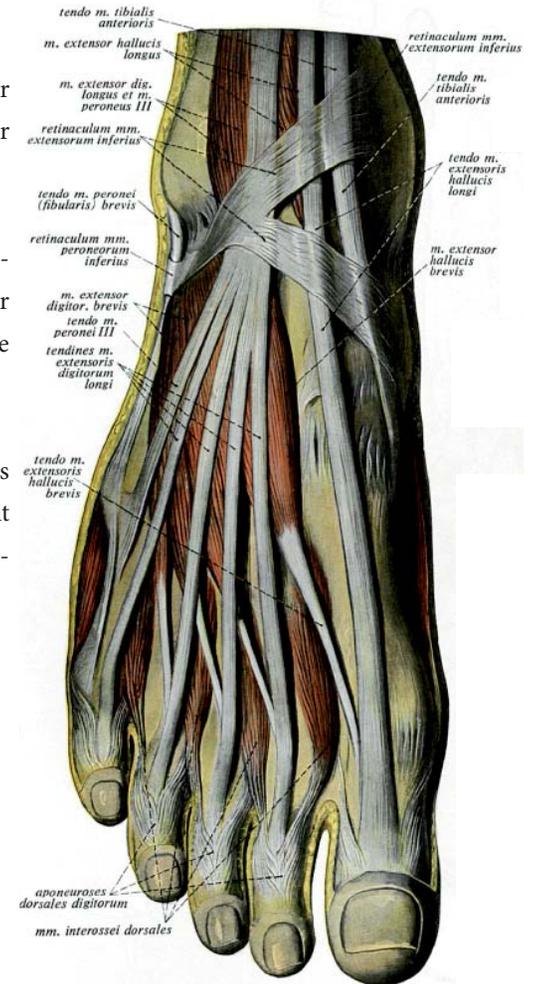
<sup>24</sup> Vgl. Sobotta/Becher 1972, 88.

## ANATOMIE DES MENSCHLICHEN FUSSES

Der Fußrücken oder auch Spann bezeichnet die Oberseite des Mittelfußes. Er stretcht sich vom Anfang des Schienbeins bis zu den Zehen und ist entscheidend für die Produktion von Schuhen.<sup>25</sup>

Bei den Muskeln des Fußrückens handelt es sich um eine Gruppe von zwei Extensoren, die zusammen die dorsale Fußmuskulatur bilden. Sie befinden sich in der flachen Fußrückenfaszie (Fascia dorsalis pedis). Dabei prägen ihre Muskelbäuche das Oberflächenrelief des lateralen Fußrückens.<sup>26</sup>

Die Schwierigkeit bei der Entwicklung von Schuhmodellen besteht darin, dass Höhe und Form des Spanns individuell stark variieren können. Für Personen mit besonders flachem oder hohem Spann eignen sich offenes oder halboffenes Schuhwerk und Schuhe zum Schnüren.<sup>26</sup>



**Bild 22:** Oberflächliches Muskelbild des Fußrückens.

<sup>25</sup> Vgl. Choklat 2013, 30 f.

<sup>26</sup> Vgl. Wikipedia, (15.02.2015): Fuß, <<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fu%C3%9F&oldid=135219322>>, in: <[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)>, 09.04.2015

## ANATOMIE DES MENSCHLICHEN FUSSES

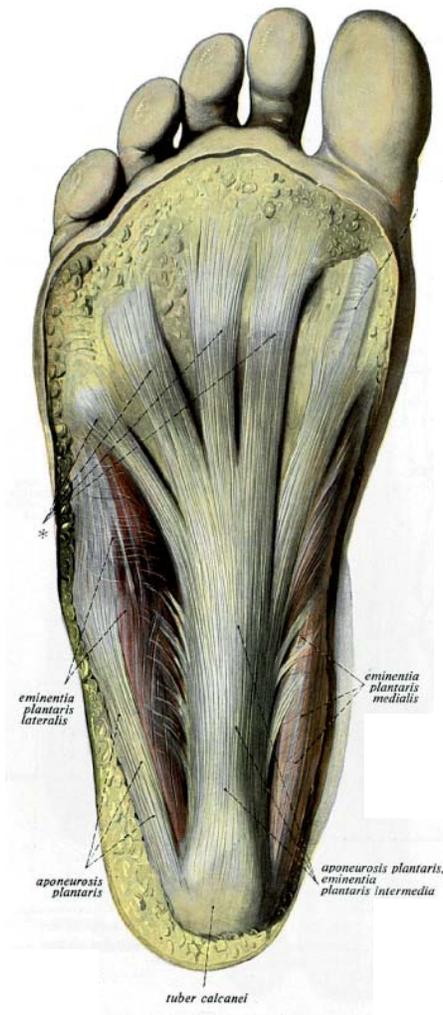


Bild 23: Muskelrelief der Fußsohle.

Die Fußsohle (Planta) weist eine dicke Fettschicht auf, um Stöße zu dämpfen und eine polsternde Wirkung zu erzeugen. Trotzdem bleibt sie dabei stabil, ohne durch die resultierenden Kräfte beim Gehen zu verrutschen. Aufgrund dieses Fettkörpers sind anatomische Merkmale so gut wie nicht zu fühlen.

Die Fußsohle wird in folgende Bereiche unterteilt:

- Ferse
- Fußaußenrand
- Bereich des Längsgewölbes
- Fußballen mit den Großzehen- und Kleinzehenballen

Durch die Muskulatur spannt sich im Fuß ein Längsgewölbe und ein Quergewölbe auf. Beim Gehen berührt nicht die gesamte Fußsohle eines gesunden Fußes den Boden, sondern nur der Bereich des Längsgewölbes beziehungsweise des Fußaußenrandes. Das Gewicht des Körpers wird hauptsächlich über drei Punkte abgetragen. 40 Prozent trägt der Fußballen, 33 Prozent die Ferse und 15 Prozent der Fußaußenrand. Die restlichen Kräfte übernehmen die Großzehe (ca. 5 %) und die übrigen Zehen (ca. 7 %).

Die Fußgewölbe sind für die reibungslose Funktion des Fußes zuständig, da sie wie Stoßdämpfer arbeiten.<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Vgl. Wikipedia, (15.02.2015): Fuß, <<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fu%C3%9F&oldid=135219322>>, in: <[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)>, 09.04.2015

## RESÜMEE ANATOMIE

Abschließend möchte ich die wichtigsten Punkte der Anatomie, die mich beim Schuhdesign beeinflussten, zusammenfassen.

Man darf nicht außer Acht lassen, dass sich jeder Fuß in Größe und Form unterscheidet. Vor allem liegt die Schwierigkeit bei der Entwicklung von Schuhen in der Ausformulierung des Schaftes, da der Spann von Mensch zu Mensch stark variieren kann. So musste eine Schuhform gefunden werden, die in diesem Bereich ausreichend Platz für den Spann schaffte.

Interessant war außerdem, dass beide Füße eines Menschen immer unterschiedlich sind. Diese Begebenheit möchte ich aufgreifen, indem ich keine Standard-Schuhgrößen verwendete, sondern auf die Länge und die Breite des Fußes individuell bei der Realisierung der Schuhe einging. Somit wurden auch etwaige Fehlstellungen wie zum Beispiel der Hallux valgus berücksichtigt.

Die Abtragung des Gewichtes erfolgt größtenteils über den Ballen und die Ferse, weshalb in diesem Bereich besonderer Wert auf die Stabilität des Schuhwerks gelegt werden musste.

Den natürlichen Mechanismus des Fußgewölbes, das als Stoßdämpfer fungiert, wollte ich aufgreifen und mit Hilfe der Schuhform unterstützen.

Durch den Einsatz digitaler Werkzeuge kann eine effiziente Massenproduktion, trotz individueller Maßanfertigung erreicht werden.



**Bild 24:** Die wichtigsten Bereiche des Fußes zusammengefasst: (1) Knöchel, (2) Ferse, (3) Fußgewölbe, (4) Ballen, (5) Zehen, (6) Fußrücken.

## ANATOMIE DES SCHUHS

Bevor man überhaupt einen Schuh designt, sollte man genauer über die Bestandteile Bescheid wissen. Schuhe bestehen aus viel weniger Einzelteilen als der menschliche Fuß selbst, dennoch funktionieren sie nach erfolgreicher Zusammensetzung.

Sie lassen sich in zwei Hauptteile gliedern: Der obere Bereich wird *Schaft*, der untere wird *Boden* genannt.

Der Schaft weist mehrere miteinander verklebte oder vernähte Schichten und Elemente auf: Innenschaft (Futter), Zwischenschaft (Zwischenfutter) und Außenschaft (Oberleder). Der Außenschaft kann zudem aus einer aufgesetzten Hinterkappe rund um den Fersenbereich bestehen, um den Fuß zu stabilisieren.<sup>28</sup>

Der Boden hat abhängig vom Modell eine Sohle oder, wie bei einem typischen Lederhalbschuh, eine Innensohle (Brandsohle) und eine zusätzlich daran montierte Laufsohle. Der Fersenbereich wird häufig durch eine Erhöhung des Schuhbodens ausgezeichnet. Damit ist der Absatz gemeint.<sup>29</sup>



**Bild 25:** Schnitt durch einen herkömmlichen Schuh.<sup>28</sup> Vgl. Choklat 2013, 30 f.

<sup>29</sup> Vgl. Wikipedia, (15.02.2015): Fuß, <<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fu%C3%9F&oldid=135219322>>, in: <[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)>, 09.04.2015

## ANATOMIE DES SCHUHS

In folgender Abbildung werden die Bestandteile eines herkömmlichen Schuhs nummeriert und in der rechten Spalte erläutert.

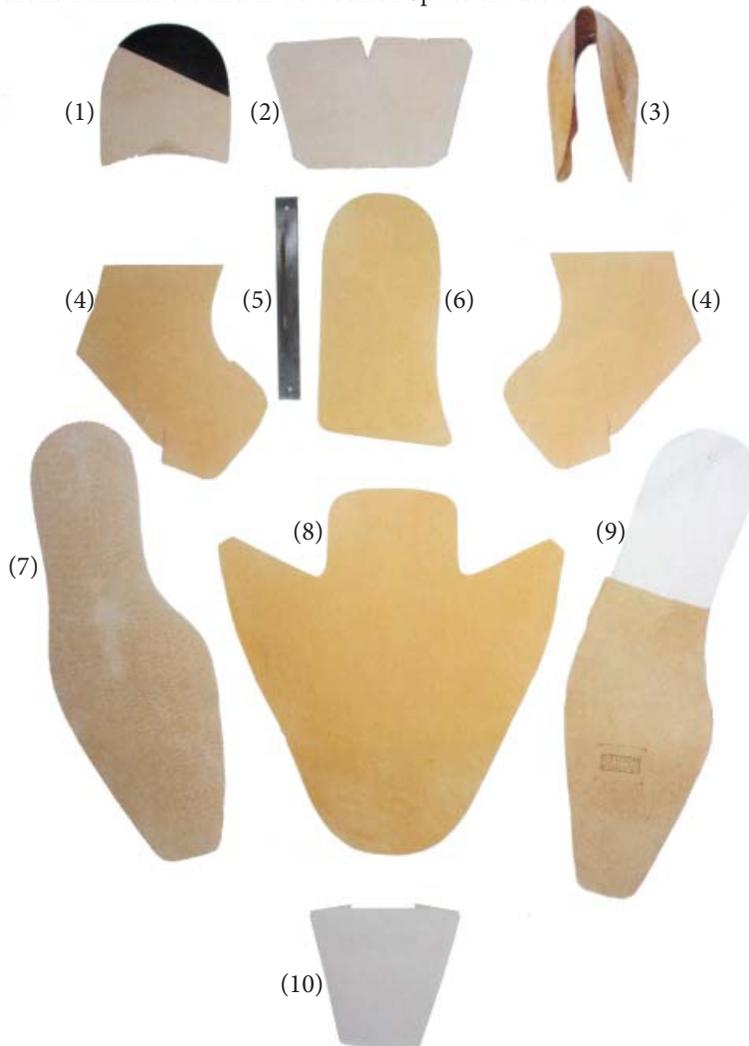


Bild 26: Bestandteile eines Schuhs.

(1) **Absatz:** Dabei handelt es sich, um eine erhöhte Unterstützung für die Ferse aus hartem Material. Er befindet sich im hinteren Teil des Schuhs und wird an der Sohle befestigt. Bei einem Stöckelschuh wird die Spitze mit einem kleinen Plastikaufsatz versehen, der leicht ersetzt werden kann.

(2) **Zwischenfutter:** Dieser Teil ist für die Stabilität des Innenmaterials zuständig. Es kann aus Leder oder Textilien bestehen.

(3) **Hinterkappe:** Die Hinterkappe ist ein verstärktes Lederteil, das als Verbindung zwischen Futter und Außenschuh dient. Sie unterstützt die Befestigung des Absatzes und die Stabilität des Fußes.

(4) **Quartiere:** Es handelt sich hierbei um die beiden hinteren Schafteile, die seitlich den Einschlupf umgeben und vorne die Schnürung übernehmen.

(5) **Gelenkfeder:** Dieses Element ist eine circa 10 Zentimeter lange und 1,5 Zentimeter breite Stahlfeder, die in den Hohlraum von Rahmen und Brandsohle zwischen Fersen- und Ballenbereich als Verstärkung befestigt wird. Sie passt sich dem Bogen der Sohle an und beugt ein Wackeln des Absatzes vor.

(6) **Einlage:** Dieser Teil bildet die innere Oberfläche, die den Fuß berührt.

(7) **Laufsohle:** Dabei handelt es sich um die schützende Schicht, die den Boden berührt.

(8) **Oberleder:** Ist das Leder der äußeren Schuhoberteile.

(9) **Brandsohle:** Ist eine dünne Lederschicht, die sich von der Spitze des Schuhs bis zur Ferse erstreckt. Auf ihr befindet sich der Fuß.

(10) **Vorderkappe:** Sie ist ein zwischen Ober- und Futterleder eingesetztes dünnes Lederteil, das der Schuhspitze eine Form gibt und beibehält. Der Fuß bekommt dadurch Schutz vor äußeren Einwirkungen.<sup>30</sup>

<sup>30</sup> Vgl. Choklat 2013, 34.

## DER LEISTEN

Die Herstellung eines Schuhs beginnt üblicherweise mit dem Leisten. Dabei handelt es sich um ein dreidimensionales, analoges Volumen aus Holz oder Kunststoff, das dem Fuß nachempfunden ist und somit als Grundlage für den Schuh dient. Man sollte aber beachten, dass die Form nicht den exakten Abmessungen des Fußes entspricht. Sonst gäbe es im Schuh keinen Platz für Bewegungen oder Größenveränderungen des Fußes, die bei Temperaturschwankungen durchaus vorkommen können.

- (1) Thimble (Fingerhut)
- (2) Vent (Schlitz)
- (3) Vamp Point (Vorderpunkt)
- (4) Toe (Zehe)
- (5) Joint (Verbindungsstelle)
- (6) Feather Edge (Falzung)

Die Entwicklung eines Leisten ist sehr komplex, da die unterschiedlichen Schuh-typen, wie zum Beispiel Stiefel, Mokassins oder Sneakers, verschiedene Leistenformen benötigen. Früher wurde der Leisten aus Holz gefertigt, doch mittlerweile wird dafür eine Kunststoffmischung verwendet.<sup>31</sup>

- (7) Waist (Taille)
- (8) Seat (Sitz)
- (9) Heel Curve (Fersenkurve)
- (10) Counter Point (Gegenpunkt)
- (11) Topline Point (Oberer Linienpunkt)
- (A) Backpart (Hinterer Teil)
- (B) Cone (Kegel)
- (C) Forepart (Vorderer Teil)

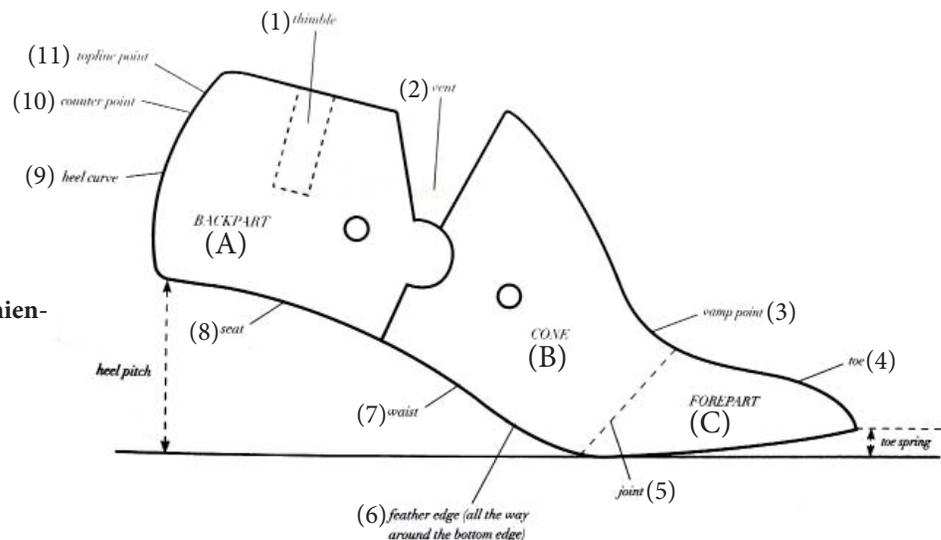


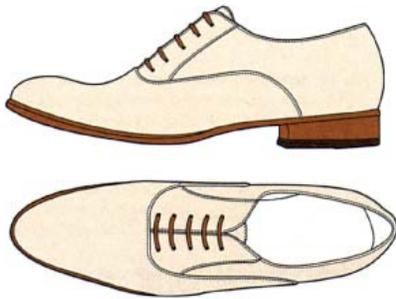
Bild 27: Bereiche eines Leisten.

<sup>31</sup> Vgl. Choklat 2013, 40.

## SCHUHARTEN

In den nachfolgenden Abbildungen wird eine Auswahl an klassischen Damen- und Herrenmodellen gezeigt und benannt. Da in der heutigen Zeit ständig neue Designs entwickelt und die Stile immer neu interpretiert werden, ist es unmöglich alle Varianten zu präsentieren.

(1) Oxford



(2) Derby



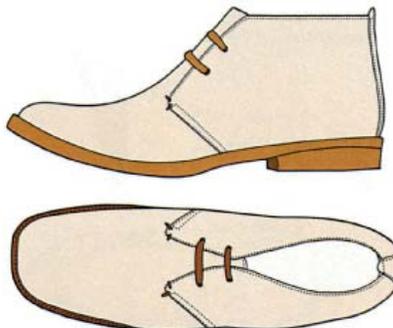
(1) **Oxford:** Der Vorderteil des Schuhs ist an der Oberkante mit den seitlichen Panelen (Quartiere) vernäht, die darunter liegen.

(2) **Derby:** Die Quartiere werden über den Vorderteil des Schuhs gelegt und damit an der Kante vernäht.

(3) Chelsea Boot



(4) Desert Boot



(3) **Chelsea Boot:** Eine Stieflette mit Gummieinsätzen an der Seite, um ein Anziehen bequemer zu gestalten.

(4) **Desert Boot:** Ein Halbstiefel, der mit Schuhbändern befestigt wird, um einen guten Halt zu gewährleisten. Die Quartiere werden über einen Teil des Vorderschuhs gelegt und damit an einer Kante vernäht.<sup>32</sup>

Bild 28: Verschiedene Schuharten.

<sup>32</sup> Vgl. Choklat 2013, 46 ff.

(5) Sandale



(6) Plateau



(5) **Sandale:** Dazu zählen jene Schuhe, egal ob flach oder mit Absatz, bei denen man alle Zehen sieht.

(6) **Plateau:** Auch der vordere Teil des Schuhs weist eine Erhöhung auf, genauso wie der Absatz.

(7) D'Orsay Pump



(8) Peep-toe



(7) **D'Orsay Pump:** Eine Variation des Pumps, deren Vorder- und Rückseite sich nicht berühren.

(8) **Peep-toe:** Ein Schuh mit einer kleinen Öffnung, die eine Zehe zeigt.

(9) Riemchenpump



(10) Pump



(9) **Riemchenpump:** Hierbei handelt es sich um einen Stöckelschuh, der an der Rückseite offen ist und die Ferse mittels eines Riemchens stützt.

(10) **Pump-toe:** Ein geschlossener Schuh ohne jede weitere Halterung.<sup>33</sup>

Bild 29: Verschiedene Damenschuhmodelle.

<sup>33</sup> Vgl. Choklat 2013, 48 ff.

## MATERIALIEN

Zu den am häufigsten verwendeten Materialien bei Schuhen zählt auf alle Fälle das Leder. Dabei handelt es sich um ein Nebenprodukt der Fleischindustrie, das hauptsächlich von Rindern kommt. Die Eigenschaften von Rindsleder erweisen sich für das Tragen von Schuhen als ideal. Dazu zählt die Langlebigkeit, die Flexibilität und die Atmungsfähigkeit. Um das Material nutzen zu können, muss es zunächst gegerbt werden, wobei es zwei Arten gibt, die am gebräuchlichsten sind. Das Chromgerben und das pflanzliche Gerben. Achtzig Prozent des Leders wird mit Chromsalzen gegerbt, die sehr toxische Schadstoffe entstehen lassen. Pflanzlich gegerbtes Leder wird aus biologischen Extrakten gefertigt und wird hauptsächlich für Schuhsohlen, Gürtel und Koffer eingesetzt. Es wird sehr selten für Schuhe verwendet, da das Material in der Sonne schneller ausbleicht.<sup>34</sup>



Bild 30: Gegerbtes Leder.

Aufgrund der umweltschädlichen Schadstoffe, die beim Gerben gebildet werden, habe ich mich gegen Leder als Hauptmaterial entschieden. Zusätzlich verbleiben bei der Schuhproduktion Lederreste, die in manchen Fällen keine weitere Anwendung finden.

Auch synthetische und natürliche Textilien finden sich in der Schuhindustrie wieder. Sie benötigen meist unterstützende Materialien, die die Eigenschaften langlebiger machen.<sup>35</sup> Die Umsetzung der Prototypen sollte aus so wenig unterschiedlichen Materialien wie möglich bestehen, um die Realisierung einfach zu gestalten. Deswegen kamen für mich Textilien nicht in Frage.

Vor allem Künstler aus dem Designbereich wagen es die Materialien zu variieren. So kann es schon einmal vorkommen, dass ein Schuh aus Holz oder aus Kunststoffen, wie zum Beispiel Acrylglas, gefertigt wird. Auch Modelle aus dem 3D Drucker sind keine Seltenheit mehr. Dabei werden häufig Kunststoffe oder Metalle wie Titan verwendet.

Bild 31: Natürliche Textilien.



<sup>34</sup> Vgl. Choklat 2013, 44.

<sup>35</sup> Vgl. Choklat 2013, 44.

## MATERIALIEN

Bild 32: Finnnappe.

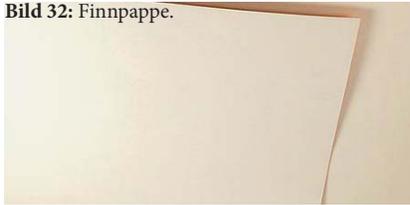


Bild 33: Papier.



Bild 34: Metall.



Bild 35: Holz.



Meine Materialrecherche ergab einige interessante Stoffe, aus denen bereits Schuhe gefertigt wurden. Dazu zählen etwaige *Metalle*, *Holz*, *Finnnappe*, *Papier*, *Acrylglas* und andere *Kunststoffe*, die zum Beispiel in 3D Druckern verwendet werden.

Obwohl die äußerliche Erscheinung aus *Finnnappe* und *Papier* sehr stimmig wirken würde, musste ich diese zwei Materialien ausschließen. Schuhe, die im Alltag eingesetzt werden, müssen etwaigen Faktoren, wie zum Beispiel Umwelteinflüsse (Regen, und Schnee), Schmutz und Kräften, die auf sie wirken, Stand halten können. Diese Bedingungen werden von den Stoffen *Finnnappe* und *Papier* nicht erfüllt.

Bei den verschiedenen *Metallen* handelt es sich um robuste Materialien. Dennoch ist eine Verarbeitung sehr mühsam. Vor allem das resultierende, hohe Gewicht würde den Tragekomfort der Schuhe beträchtlich mindern, weshalb ich mich gegen den Werkstoff *Metall* entschieden habe.

Die Eigenschaften von massivem *Holz* würden sich für die Herstellung von Schuhen anbieten. Der Nachteil dabei ist, dass zur präzisen Bearbeitung eine CNC Fräse benötigt wird. Deren Bedienung bringt einen hohen Aufwand mit sich, der eine Fabrikation durch Laien unmöglich machen würde. Diese Begebenheit stellt sich gegen mein Konzept, Schuhe einfach und individuell anfertigen zu können. Als Alternative bieten sich Holzplatten an, die durch Lasern bearbeitet werden können.

Anhand dieser Recherche ergaben sich für mich drei Stoffe: *Acrylglas* und *Holzplatten*, welche auch vom Endverbraucher durch Lasercutten bearbeitet werden können und *Kunststoffe* aus dem 3D Drucker, da diese Technik eine hohe Individualität ermöglicht.

## MATERIALIEN

Damit ich eine Aussage über den Preis und die Effizienz treffen kann, vergleiche ich zwei Prototypen miteinander, die im Zuge dieser Arbeit hergestellt wurden.

Bei Acrylglas, das in einem der zwei Entwürfe verwendet wurde, handelte es sich um ein robustes Material, welches wetterfeste Eigenschaften aufwies und auch von technisch affinen Kunden oder durch einen Zwischenhändler mittels Lasercutten bearbeitet werden konnte. Darüber hinaus zeigte meine Forschung, dass Künstler bereits mit diesem Stoff Schuhmodelle herstellten. Da stellte sich natürlich die Frage, ob ein Prototyp aus Acrylglas tatsächlich für den alltäglichen Gebrauch eingesetzt werden könnte. Ein Nachteil, der diesem Prozess im Wege stand, ist der spröde Charakter dieses Materials, der vor allem bei Temperaturschwankungen und bei punktuellen Belastungen, wie zum Beispiel durch Kieselsteine, problematisch war. Aus diesem Grund wurde als Alternative das gleiche Modell aus Holzplatten gefertigt.

Studien besagen, dass im Jahr 2020 jeder zweite Haushalt über einen 3D Drucker verfügen wird. Somit würde ich den 3D gedruckten Prototyp einer breiten Masse zugänglich machen, die das Objekt bequem von zu Hause aus fertigen könnte. Zusätzlich spielte die hohe Individualität und die mögliche Materialersparnis durch komplexe Strukturen beim Entwurf, eine wichtige Rolle. Auch könnten raffinierte Verbindungen von Schaft und Plateau des Schuhs ein hohes Grad an Flexibilität erzielen. So wäre es zum Beispiel möglich an gewissen Stellen neue Teile in anderen Farben oder Muster auszutauschen. Auf dem Markt gab es bereits einige Modelle, die mit Hilfe des 3D Druckers gefertigt wurden. Nun versuchte ich zu beweisen, dass 3D gedruckte Schuhe tatsächlich tragbar wären.

Rechts befindet sich ein Zitat von *Peter Brasiliere* (Gartner Marktforschung) über die Entwicklung des 3D Drucks im Bezug auf den Endverbraucher:

**Bild 36:** Acrylglas.



**Bild 37:** Kunststoffe aus dem 3D Drucker.



*“Consumer 3D printing is around five to 10 years away from mainstream adoption. Today, approximately 40 manufacturers sell the 3D printers most commonly used in businesses, and over 200 startups worldwide are developing and selling consumer-oriented 3D printers, priced from just a few hundred dollars. However, even this price is too high for mainstream consumers at this time, despite broad awareness of the technology and considerable media interest.”*<sup>36</sup>

<sup>36</sup> Vgl. Thum, Marcel, (20.08.2014): Gartner-Marktforschung: 3D-Drucker in 5 Jahren auf den Markt etabliert, <<http://www.3d-grenzenlos.de/magazin/marktforschung/gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2014-bericht-2756853.html>>, in: <[www.3d-grenzenlos.de](http://www.3d-grenzenlos.de)>, 03.03.2015





# KAPITEL III

## PARAMETRIC MODELLING

MANDELBROT MENGE

PROJEKTE BIONIK

LASERCUT

LASERCUT PROJEKTE

3D DRUCK | RAPID PROTOTYPING

3D DRUCK PROJEKTE

## MANDELBROT MENGE

Die Mandelbrot-Menge ist eine fraktal auftretende Anordnung, die einen wesentlichen Beitrag in der Chaosforschung leistet. Ein bedeutendes Merkmal von Fraktalen ist, dass durch die beliebige Vergrößerung des Objektes im mikroskopischen Bereich gleiche Strukturen wie im makroskopischen Bild vorzufinden sind. Der Rand der Menge lässt eine Selbstähnlichkeit erkennen, die jedoch aufgrund von Verformungen nicht exakt ist. Der Begriff fraktal wurde von Mandelbrot geprägt.<sup>37</sup>

Benoît B. Mandelbrot war ein französisch-US-amerikanischer Mathematiker, der sich intensiv mit der Chaosforschung auseinandersetzte. Berühmt wurde er durch die Entdeckung der fraktalen Geometrie, die die Formel  $z^2 + c$  zugrunde liegt.<sup>37</sup>

Beispiele für natürliche Fraktale ergeben die Formen von Bergen, Küstenlinien, Flüssen, Verästelungen von Pflanzen, Blutgefäßen und Lungenbläschen und die Verteilung von Sternhaufen in Galaxien.<sup>37</sup>

Diese fraktalen Vorkommnisse in der Natur, die sich mathematisch erklären und darstellen ließen, erweckten in mir das Interesse an parametrischem Design. Die aktuellen Tendenzen in der Architektur überzeugten mich davon, dass sich die Entscheidung mit Parametrie zu arbeiten als richtig erwies. Denn nicht nur ich beschäftigte mich mit dem Thema, sondern viele Interessierte des mathematischen Designs und dem daraus verbundenen Nutzen. Deswegen spielte auch die Bionik in meiner Arbeit eine Hauptrolle, die mir dabei half meinen Entwurf zu formen und zu festigen.



Bild 38: Baumverästelungen.

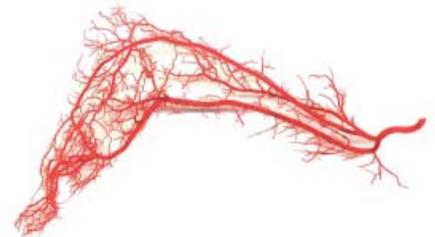


Bild 39: Blutgefäße.



Bild 40: Flussufer.



Bild 41: Bergketten.

<sup>37</sup> Vgl. Wikipedia, (20.01.2015): Benoît Mandelbrot, <[http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Beno%C3%A4t\\_Mandelbrot&oldid=137976409](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Beno%C3%A4t_Mandelbrot&oldid=137976409)>, in: <[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)>, 13.03.2015

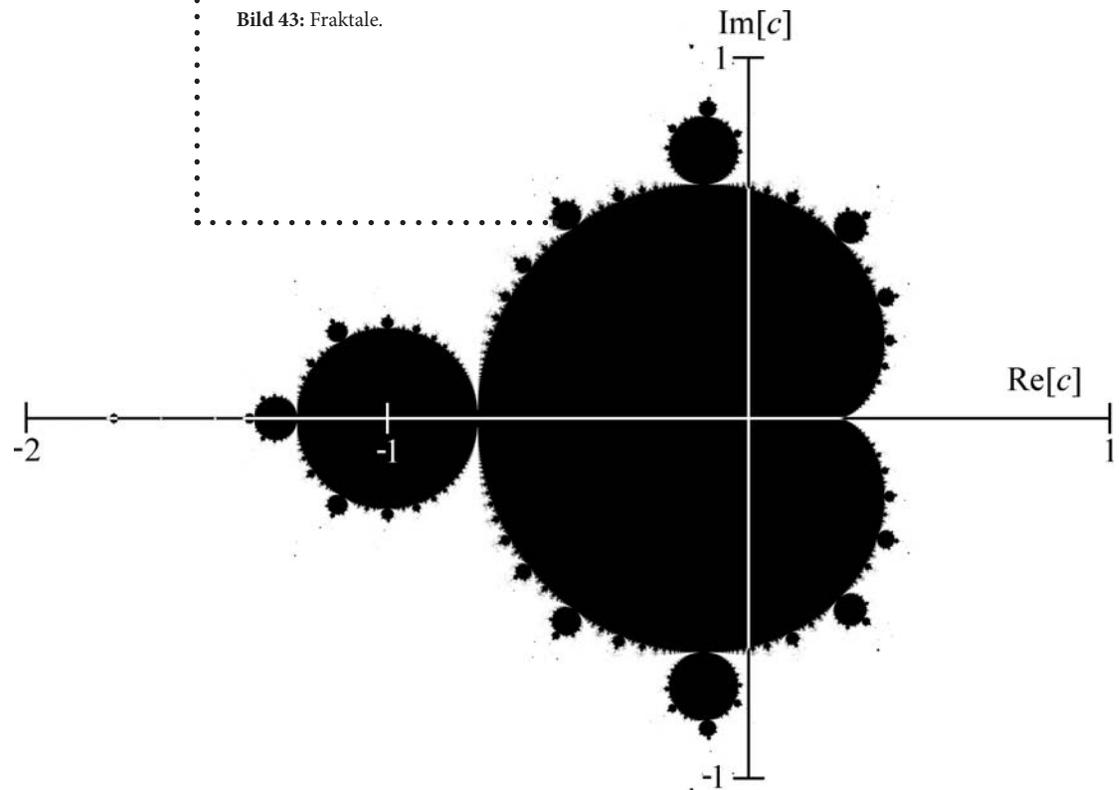
## MANDELBROT MENGE

Bild 42: Fraktale.



In dem Ausdruck Bionik ist das Verständnis und Erkennen biologischer Konstruktionen und Prozesse impliziert, für die ähnliche technische Anwendungen, Funktionen oder Abläufe existieren. Die Bionik sammelt also den Erfahrungsschatz der Natur und überträgt diesen auf menschliche Produkte. Man könnte somit von Industriespionage sprechen, die beim erfahrensten Forscher und Entwickler der Erde abschaut.<sup>38</sup>

Bild 43: Fraktale.



<sup>38</sup> Vgl. Nachtigall/Pohl 2013, 1 f.

## BIONIK PROJEKTE

Das Institut für Computerbasiertes Entwerfen (ICD) und das Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE) der Universität Stuttgart arbeiteten schon seit längerem in interdisziplinären Teams, bestehend aus Biologen, Paläontologen, Architekten und Ingenieuren. Basis für ihre innovativen Entwürfe war stets die Bionik.<sup>39</sup>

Der Forschungspavillon, dessen Entstehung 18 Monate in Anspruch nahm, spiegelte die Möglichkeiten neuer Entwurfs-, Simulations- und Herstellungstechniken in der Architektur wider. Im Mittelpunkt des Projekts stand die Verwendung robuster Fertigungsverfahren für Faserverbundwerkstoffe, die auf biologischen Konstruktionsprinzipien natürlicher Faserstrukturen beruhen.<sup>39</sup>

Ziel war die Erstellung eines Wickelverfahrens für modulare, doppelschalige und damit statisch effiziente Faserverbundstrukturen. Dennoch war die Flexibilität der Anordnung der Module sehr hoch. Inspiriert wurde der Entwurf von den Deckflügelschalen (Elytren) flugfähiger Käfer, die als Vorbild für materialeffizientes Bauen dienten. Trotz ihrer hohen Tragfähigkeit, sind die Flügel gleichzeitig Material und Gewicht sparend.<sup>39</sup>

Beim Faserverbundmaterial handelte es sich um in Harz getränkte Glas- und Carbonfasern, die trotz ihrer hohen Zugfestigkeit stark formbar waren. Für die Umsetzung benötigte man zwei voneinander abhängige 6-Achs Industrieroboter, die das Material auf einem zuvor entwickelten Rahmen spannten. Diese Rahmen definierten lediglich die Außenkanten des Gebildes, während die Fasern für die Dreidimensionalität verantwortlich waren.<sup>39</sup>

<sup>39</sup> Reischer, Peter: Temporäre Bauten. Zauberwort Bionik I, in: Architektur (2014), H. 06, 80-81



Bild 44: Forschungspavillon.



Bild 45: Innenansicht.



Bild 46: Detail.



Bild 47: Pavillon von außen.



Bild 48: Herstellungsverfahren.



Bild 49: Beleuchteter Pavillon.

## BIONIK PROJEKTE

Insgesamt wurden 36 verschiedene Elemente erzeugt, wobei das größte Modul einen Durchmesser von 2,6m hatte bei einem Gewicht von nur 24,1 kg. Der Forschungspavillon an sich überspannte eine Fläche vom 50m<sup>2</sup> mit einem Gesamtgewicht von 593 kg.<sup>40</sup>

Dieses Projekt war ein Paradebeispiel für die computerbasierte Umsetzung komplexer, biologischer Strukturen und die daraus resultierende ressourcenschonende Herstellung von Leichtbaukonstruktionen, ohne auf räumliche Qualitäten verzichten zu müssen.<sup>40</sup>



Bild 50: Pavillon bei Nacht.

<sup>40</sup>Reischer, Peter: Temporäre Bauten. Zauberwort Bionik I, in: Architektur (2014), H. 06, 80-81

## BIONIK PROJEKTE

Ein weiteres spannendes Projekt von der Universität Stuttgart, das sich von der Natur inspirieren ließ, war der Forstpavillon der Landesgartenschau Schwäbisch Gmünd 2014. Dabei handelte es sich um einen Demonstrationsbau, dem neue Techniken der digitalen Planung und robotischen Fertigung von Holzleichtbaukonstruktionen zugrunde lagen.<sup>41</sup>

Die innovative Holzplattenbauweise aus Buche war eine leistungsfähige und ressourcenschonende Schalenkonstruktion mit einer Materialdicke von 50mm, die robotisch gefertigt wurde. Dies wurde durch integrative computerbasierte Entwurfs-, Simulations-, Fertigungs- und Messverfahren ermöglicht.<sup>41</sup>

Bei der Herstellung spielten die natürlichen Strukturen der Tier- und Pflanzenwelt, eine entscheidende Rolle. Denn in der Natur herrschen stark komplexe Formen, die eine besondere Leistungsfähigkeit und Materialeffizienz ermöglichen. Der Forstpavillon wollte sich auf den Prinzipien der Effizienz stützen, weshalb er sich an dem Plattenskelett von Seeigeln bediente. Die aus Calciumcarbonat bestehenden, individuellen Platten des Skeletts bildeten durch ihre spezifische Anordnung eine besonders stabile und effiziente Schalenkonstruktion.<sup>41</sup>

Die aufwendige Plattenstruktur entstand durch computerbasierte Entwurfs- und Simulationsverfahren, die von Anfang an die Möglichkeit boten, Materialeigenschaften und Herstellungsbedingungen in die Planung zu integrieren. Die Platten wurden nicht einzeln modelliert, sondern bekamen durch einen digitalen Rechenprozess ihre Lage, Größe und Form in Übereinstimmung mit den Möglichkeiten der robotischen Fertigung.<sup>41</sup>

<sup>41</sup> Reischer, Peter: Zauberwort Bionik II, in: Architektur (2014), H. 06, 82-83

Bild 51: Forstpavillon.



Bild 52: Innovative Holzplattenbauweise.



Bild 53: Eingangssituation.



Bild 54: Innenraum.



Bild 55: Baustellensituation.



Bild 56: Dachaufbau.

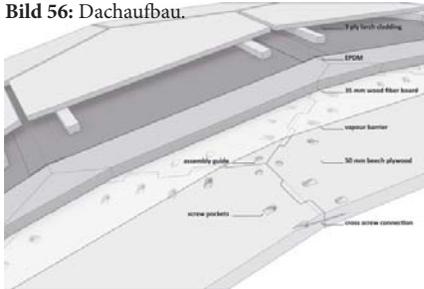


Bild 57: Verbindungselemente.

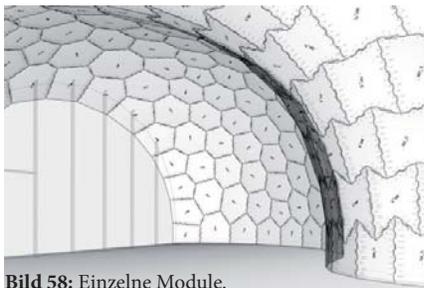


Bild 58: Einzelne Module.

## BIONIK PROJEKTE

Die computerbasierte Planung ermöglichte die digitale Fertigung aller Bauteile der Holzkonstruktion bis hin zum Zuschnitt der Dämmung, wasserführenden Ebene und der Deckschicht aus Lärchenplatten. Die größte Herausforderung stellte die Realisierung der 7600 geometrisch unterschiedlichen Zinkenverbindungen dar, die der Struktur seine Stabilität verliehen. Diese Verbindungen ließen sich nur mit einem 7-achsigen Roboter effizient fertigen. Wie auch beim Seeigel spielte es dabei keine Rolle, dass es sich bei allen 243 Platten um Einzelstücke handelte. Die gesamte Vorfertigungszeit des Schalentragswerks betrug drei Wochen.<sup>43</sup>

Die Schalenfläche des Pavillons beträgt 245 m<sup>2</sup> und durch die äußeren Abmessungen von ca. 17 x 11 x 6 m (LxBxH) stellte der Forstpavillon eine Nutzfläche von ca. 125 m<sup>2</sup> zu Verfügung.<sup>43</sup>

Die Umsetzung des Entwurfs veranschaulichte, dass die robotische Fertigung in Wechselwirkung mit computerbasierten Entwurfs-, Simulations- und Messverfahren, ein interdisziplinäres und Material orientiertes Arbeiten von Architekten, Ingenieuren und Holzbauern gewährleistete. Dabei entstanden nicht nur leistungsfähige und ressourcenschonende Holzbaukonstruktionen, sondern auch innovative, architektonisch wertvolle Objekte.<sup>43</sup>

<sup>43</sup> Reischer, Peter: Zauberwort Bionik II, in: Architektur (2014), H. 06, 82-83

## LASERCUT

Lasercutter gewährleisten eine berührungsfreie Bearbeitung von Werkstoffen wie zum Beispiel *Papier, Finnplatte, Karton, Holz, Leder* und *Acrylglas*.<sup>43.1</sup>

Das Verfahren des Lasercutters basiert auf einem Laserstrahl, der durch gebündeltes Licht, das über zwei Spiegel in x- und y-Richtung gelenkt und mit Hilfe einer Linse auf einen Punkt fokussiert wird. Dabei wird das zu behandelnde Material an gewünschter Stelle aufgeschmolzen und durch einen Schneidgasstrahl aus der Schnittfuge entfernt, weshalb ein schmaler Schnittspalt von 0,2 mm entsteht.<sup>43.1</sup>

Der Lasercutter verfügt über zwei Bearbeitungsarten, die über einen Computer in einer Software wie zum Beispiel AutoCAD oder Rhino zuvor definiert werden: Das Durchschneiden der Platte oder das Gravieren an gekennzeichneten Punkten.<sup>43.1</sup>

Man unterscheidet zwischen *drei Schneidverfahren*:

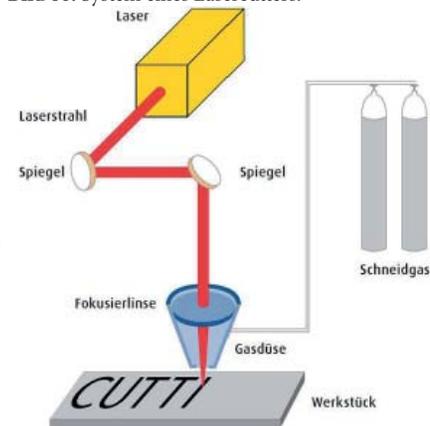
Beim *Laserstrahlbrennschneiden* wird als Schneidgas Sauerstoff verwendet, das den Werkstoff beim Aufschmelzen verbrennt. Dadurch entstehen an den Schnittkanten Oxide, die an gewissen Materialien schwarze Kanten bilden.<sup>43.2</sup>

Das *Laserstrahlschmelzschnitten* arbeitet mit reaktionsträgen Gasen wie Stickstoff oder mit inerten Gasen wie Argon. Das zu schneidende Material wird unter hohem Druck (>20 bar) mit dem inerten Schneidgasstrahl aus der Schnittfuge entfernt. Die Kanten bleiben bei idealer Parametereinstellung oxid- und gratfrei.<sup>43.2</sup>



Bild 59: Lasercutter.

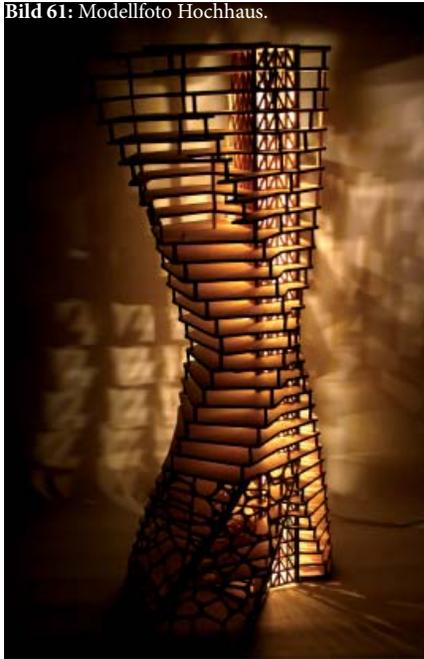
Bild 60: System eines Lasercutters.



<sup>43.1</sup> Vgl. Technische Universität München, (2015): Laserschneiden, <<https://www.ai.ar.tum.de/digital-design-lab/laserschneiden/>>, in <[www.ai.ar.tum.de](http://www.ai.ar.tum.de)>, 12.04.2015

<sup>43.2</sup> Vgl. Linde Schweisstechnik GmbH, (2014): Laserschneiden, <<https://www.schweisshelden.de/fachwissen/schneiden-trennen/laserschneiden>>, in <[www.schweisshelden.de](http://www.schweisshelden.de)>, 12.04.2015

Bild 61: Modellfoto Hochhaus.



## LASERCUT

Beim *Sublimierschneiden* wird der Werkstoff aufgrund der hohen Energiedichte, die zum Beispiel durch Laser im Impulsbereich erreicht wird, direkt verdampft. Dieses Verfahren ermöglicht vor allem das Bearbeiten nichtmetallischer Materialien. Dabei kann es sich um Kunststoffe, Papier, Textilien, Holz, Quarzglas und keramische Werkstoffe handeln. Das eingesetzte Schneidgas (Stickstoff) wird auch zum Einflammen der Materialien (Holz und Papier) verwendet und auch um eine starke Rauchentwicklung zu vermeiden.<sup>43.3</sup>

Während meines Studiums konnte ich immer wieder die Vorteile des Lasercutters für die Fertigung meiner Modelle nutzen. Der Modellbau wurde durch diese Technologie viel präziser und ermöglichte somit komplexe Muster und Formen. In der Abbildung 61 ist ein von mir entwickeltes Hochhaus zu sehen, das mit Hilfe des Lasercutters im Maßstab 1:200 hergestellt wurde.

Aber auch Leder kann durch diese Technologie bearbeitet werden, wie man im Bild 62 erkennen kann. Der Schaft des Schuhs wurde mit einem feinem Muster versehen, mittels eines Lasers ausgeschnitten und anschließend zusammengenäht.

Bild 62: Converse aus geschnittenem Leder.



Bild 63: Schichtmodell.



Komplexe Topologien werden für den Modellbau in Schichten zerlegt und daraufhin in einem Lasercutter zweidimensional ausgeschnitten. In einem weiteren Schritt werden die Platten verklebt, um ein Volumenmodell zu erhalten, das im Bild 63 ersichtlich ist. Dieses Verfahren kann mit einem 3D Drucker verglichen werden, der in Wahrheit nichts anderes macht als Modelle dreidimensional in Schichten aufzutragen. Jedoch ermöglicht der 3D Drucker durch geringe Schichtabstände eine feinere Oberfläche und komplexere Formen.

<sup>43.3</sup> Vgl. Linde Schweisstechnik GmbH, (2014): Laserschneiden, <<https://www.schweisshelden.de/fachwissen/schneiden-trennen/laserschneiden>>, in <[www.schweisshelden.de](http://www.schweisshelden.de)>, 12.04.2015

## LASERCUT PROJEKTE

Meine Recherche bezüglich Laserschneiden führte mich auf die niederländische Designerin *Winde Rienstra*, die außergewöhnliche Kleidungsstücke mit Hilfe des Lasercutters bearbeitete. Um der Zweidimensionalität, auf die man bei dieser Technologie angewiesen ist, entgegenzuwirken, verband sie die einzelnen Elemente, die teilweise aus Funierholz gefertigt wurden, mit feinem Garn. Dadurch bekam das hölzerne Kleidungsstück eine dreidimensionale Wirkung und ähnelte dabei einem Spinnennetz. Die Tragbarkeit dieser Kollektion beschränkte sich mit großer Wahrscheinlichkeit auf den Laufsteg.

Auch Laser gecuttete Schuhe zählten zu ihren von der Natur inspirierten Kollektionen. Das Design auf Bild 60 und 61 basierte auf einem System aus Schuppen, das auf einen vorhandenen Schuh geklebt wurde.

Das Objekt auf Abbildung 62 wurde durch das Verkleben von mehreren ausgeschnittenen Schichten zu einem Volumenmodell aus Pappe.

**Bild 64:** Schuh mit Holzschuppen.



**Bild 65:** Aufgeklebte Schuppen.



**Bild 66:** Schuh aus Pappe.



**Bild 67** Rock von Winde Rienstra.



**Bild 68:** Fäden sorgen für Dreidimensionalität.



Bild 69: Collage Winde Rienstra.



## 3D DRUCK | RAPID PROTOTYPING

Beim Rapid Prototyping handelt es sich um ein aktuelles Thema in der digitalen Erzeugung von Prototypen. Es beschreibt ein Fertigungsverfahren, das zur schnellen und ökonomischen Herstellung von Prototypen mit Hilfe von dreidimensionalen Volumenmodellen aus CAD Programmen generiert wird.<sup>44</sup>

Dieser Prozess erfolgt schichtweise und arbeitet ohne jegliche Gussform, weshalb man dabei auch von einer werkzeuglosen Produktion sprechen kann. Mit Hilfe eines schichtweisen Aufbaus von Objekten, kommt eine generative Herstellung von einzelnen Layern zustande. Schicht für Schicht entsteht aus einem formlosen Material durch die Zugabe von Energie ein Prototyp.<sup>44</sup>

Studien besagen, dass im Jahr 2020 jeder zweite Haushalt über einen 3D Drucker verfügen wird.<sup>45</sup> Weiters schreibt der Economist (Ausgabe: 12. – 18. Februar 2011), dass ein einfacher 3D-Drucker heute weniger kostet als ein Laser-Drucker im Jahr 1985.<sup>46</sup>

Bei den gängigsten Materialien im Bereich des 3D Drucks handelt es sich um Kunstharze, Nylon, Gips, ABS und Metalle wie Aluminium, Stahl oder Edelmetalle.<sup>46</sup>

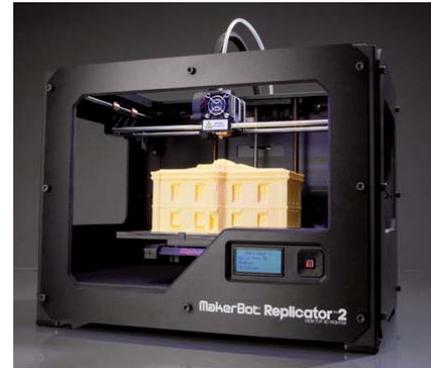


Bild 70: Herkömmlicher 3D Drucker.

<sup>44</sup> Vgl. Fastermann 2012, 88.

<sup>45</sup> Vgl. Thum, Marcel, (20.08.2014): Gartner-Marktforschung: 3D-Drucker in 5 Jahren auf den Markt etabliert, <<http://www.3d-grenzenlos.de/magazin/marktforschung/gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2014-bericht-2756853.html>>, in: <[www.3d-grenzenlos.de](http://www.3d-grenzenlos.de)>, 03.03.2015

<sup>46</sup> Vgl. Fastermann 2012, 88.

## 3D DRUCK | RAPID PROTOTYPING



Bild 71: 3D gedruckte Schokolade.

Es wird schon seit längerem auch in andere Richtungen geforscht, wie zum Beispiel in der Lebensmittelindustrie. Der 3D Drucker namens *Imagine* kann einerseits mit flüssigen Lebensmitteln wie Schokolade, Brei oder Käse als Druckmaterial arbeiten, aber andererseits ebenso gut mit Silikonem, Epoxydharzen oder Beton.<sup>47</sup>

Auch in der Medizin spielt der 3D Druck eine wichtige Rolle. So gibt es zum Beispiel das sogenannte *Bioprinting*, bei dem mit Hilfe von 3D Druckern menschliche Hautzellen auf die verletzten Körperstellen von Brandopfern gedruckt werden soll.<sup>48</sup>



Bild 72: Synthetisch generiertes Ohr.

Ein weiteres Verfahren, welches sich in der Medizin bereits etabliert hat, ist das *Tissue Engineering*. Diese Methode erzeugt synthetisch außerhalb des menschlichen Körpers neu gezüchtetes Gewebe, das krankes Gewebe bei Patienten ersetzen oder wieder herstellen kann.<sup>49</sup>

Das 3D Drucken beinhaltet viele unterschiedliche Technologien, die sich in drei übergeordneten Gruppen einteilen lassen. Diese werden anhand der folgenden Seiten erläutert.

<sup>47</sup> Vgl. Fastermann 2012, 86.

<sup>48</sup> Vgl. ebda., 103.

<sup>49</sup> Vgl. ebda., 104

**3D DRUCK | RAPID PROTOTYPING**

Es gibt eine Vielzahl an unterschiedlichen Rapid-Prototyping Verfahren, die zurzeit grob in drei Kategorien gegliedert werden:

- a) das *Sinter- oder Pulverdruckverfahren*
- b) das *Drucken mit extrudierten Werkstoffen*
- c) die *Stereolitographie*.<sup>50</sup>

**A) SINTER -ODER PULVERDRUCKVERFAHREN**

Beim 3D Druck mit einem pulverförmigen Ausgangsmaterial, wie zum Beispiel Gips, wird das Werkstück Schicht für Schicht mit Hilfe des Pulvers aufgetragen und durch ein Bindemittel verklebt und kristallisiert. Druckköpfe, die über das Material geführt werden, lassen das Bindemittel in Form von kleinen Tröpfchen austreten. Das Bindemittel, das punktuell über die Druckköpfe geleitet wird, arbeitet ähnlich wie ein Klebstoff, der das Pulver im Schichtbauverfahren erhärtet und verklebt. Das Pulverbett, auf dem der Prototyp entsteht, bewegt sich während des Druckens immer wieder um eine Schicht nach unten, damit das Objekt schichtweise generiert werden kann. Durch die Zugabe von verschiedenen Farbstoffen in das flüssige Bindemittel besteht die Möglichkeit den Prototyp in unterschiedlichen Farben zu drucken. Nach Fertigstellung der Modelle werden sie vom umgebenden Pulver gesäubert und anschließend mit einer Art Sekundenkleber imprägniert (Infiltration). Das überschüssige Pulver wird im nächsten Schritt erneut zum Drucken verwendet, um ein ökonomisches Arbeiten zu gewährleisten. Nach dem Drucken müssen die Prototypen mit Hilfe von Druckluft gereinigt werden.<sup>51</sup>

Die Bandbreite an geeigneten Werkstoffen ist umfassend: Kunststoffe, Kalkpulver mit Epoxid-Hülle, Gips und weitere pulverförmige Materialien verschiedener Art.<sup>51</sup>

<sup>50</sup> Vgl. Fastermann 2012, 117.

<sup>51</sup> Vgl. ebda., 117 f.

## 3D DRUCK | RAPID PROTOTYPING

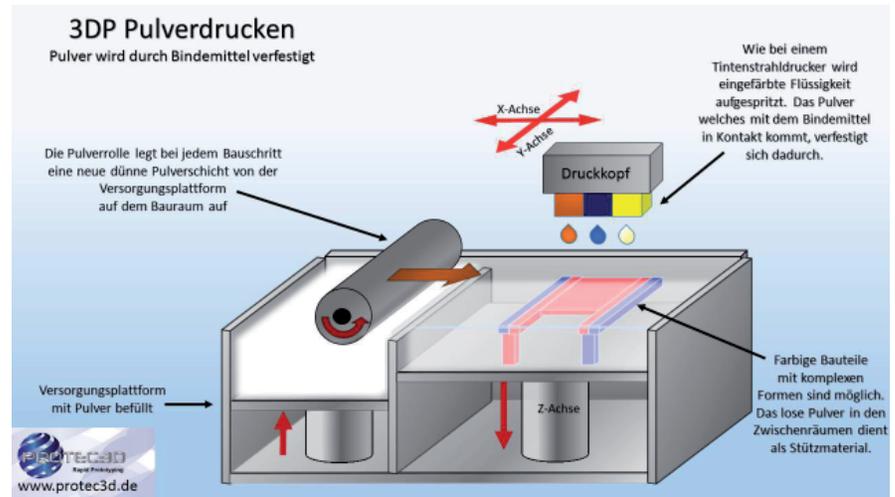


Bild 73: Pulverdruckverfahren.

Das *selektive Lasersintern (SLS)*, das auch zur Kategorie a) zählt, unterscheidet sich vom Pulverdruckverfahren durch das Ausgangsmaterial und das Erhitzen der einzelnen Schichten. Der Prototyp wird im Schichtbauverfahren hergestellt und eine Laserquelle verschmilzt die Partikel an der Oberfläche durch Sintern zu einem Modell. Hohe Temperaturunterschiede lassen das Bauteil schrumpfen, was zur Folge hat, dass Maßabweichungen und Spannungen im Prototyp entstehen. Bei diesem 3D Druck Verfahren können folgende Werkstoffe eingesetzt werden: Thermoplaste (wie zum Beispiel Polycarbonate, Polyamide, Polyvinylchlorid), Metalle, Keramiken und Sande.<sup>52</sup> Eine Abbildung zu diesem Verfahren befindet sich auf der nächsten Seite.

<sup>52</sup>Vgl. ebda., 119 f.

## 3D DRUCK | RAPID PROTOTYPING

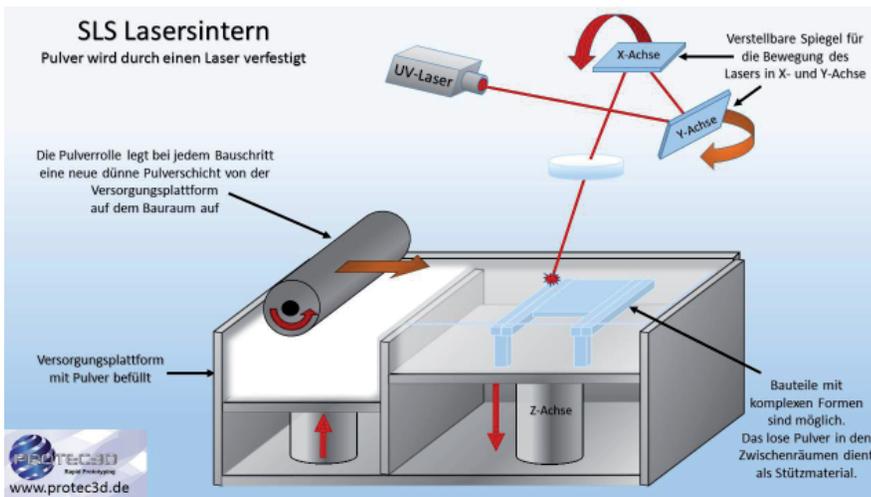


Bild 74: Selektives Lasersintern.

Das *Selektive Laserschmelzen* ist dem Selektivem Lasersintern sehr ähnlich. Der einzige Unterschied besteht darin, dass beim Selektiven Laserschmelzen das Pulver nicht gesintert, sondern durch den Laser punktuell vollständig umschmolzen wird. Folgende Werkstoffe können bei diesem Herstellungsverfahren eingesetzt werden: Metalle, Kunststoffe und Keramiken.<sup>54</sup>

Auf der nächsten Seiten wird b) das Drucken mit extrudierten Werkstoffen im Detail erläutert.

<sup>54</sup>Vgl. Fastermann 2012, 119.

## 3D DRUCK | RAPID PROTOTYPING

### B) DRUCKEN MIT EXTRUDIERTEN WERKSTOFFEN

Das *Fused Deposition Modeling (FDM)* ist ein Extrusionsverfahren der Firma Stratasys. Dabei handelt es sich um eine preisgünstige Variante im Bereich des 3D Drucks. Diese Technologie bringt einen schmelzfähigen und drahtförmigen Kunststoff oder ein Wachsmaterial mit Hilfe eines Extruders in einen zähen Zustand knapp über dem Schmelzpunkt. Der Vorgang basiert auf einer beweglichen Düse, die das Material schichtweise additiv aufträgt. Das Ausgangsmaterial gelangt über eine Spule in eine Schmelzkammer (Extruder) und wird nur gering über den Verflüssigungspunkt aufgeheizt. Durch diese Technik tritt der Erstarrungsprozess des Materials bereits kurz nach dem Berühren der Bauplattform auf. Bei Auskragungen wird eine Stützkonstruktion errichtet, die im Zuge einer Nachbearbeitung entfernt werden muss. Die Oberflächenqualität erreicht oft kein hohes Niveau, da die einzelnen Schichten deutlich wahrzunehmen sind. Als Baustoffe können ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol), Polycarbonate und Wachse eingesetzt werden.<sup>55</sup>

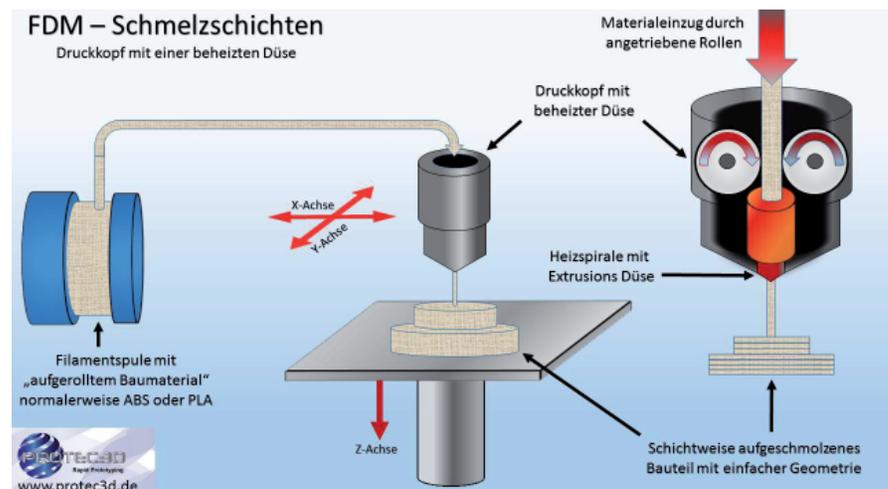


Bild 75: Fused Deposition Modelling.

<sup>55</sup>Vgl. Fastermann 2012, 120.

## 3D DRUCK | RAPID PROTOTYPING

Das *Multi Jet Modeling (MJM)* unterscheidet sich vom Fused Deposition Modeling in Hinsicht der Nachbehandlung des Materials nach dem Auftragen. Und zwar wird der flüssige Werkstoff, meist wachsartige Thermoplaste und UV-empfindliche Photopolymere, sofort nach dem Drucken mit Hilfe von UV-Licht polymerisiert und verfestigt.<sup>56</sup>

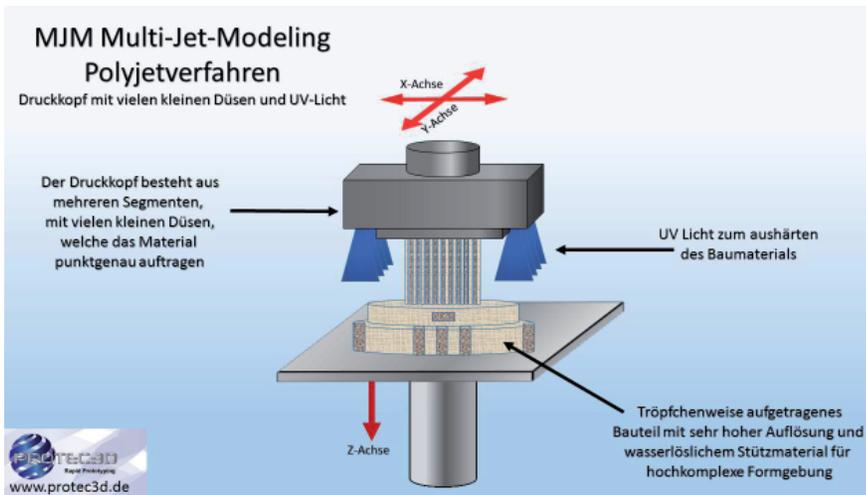


Bild 76: Multi Jet Modelling.

Das *PolyJet* Verfahren, ähnelt dem Multi Jet Modeling, ermöglicht jedoch ein Mehrkomponenten 3D Drucken. Diese Technik erlaubt synchron ein Drucken unterschiedlicher Werkstoffe mit verschiedenen Eigenschaften (Farbe und Härte). Diese Geräte weisen drei Druckköpfe auf, die einerseits für die Herstellung des Support Materials zuständig sind und andererseits das Auftragen des Baumaterials gewährleisten. Die Variierung der einzelnen Eigenschaften ermöglicht die Erzeugung von *Hybriden*. Dadurch entstehen Vorteile, in Bezug auf die präzisen Strukturen und die detaillierte Oberfläche der Prototypen.<sup>57</sup>

<sup>56</sup> Vgl. Fastermann 2012, 121.

<sup>57</sup> Vgl. ebda., 123 f.

## 3D DRUCK | RAPID PROTOTYPING

### C) STEREOLITHOGRAFIE (STL ODER SLA)

Bei diesem eher teureren Verfahren werden die Modelle in einem Bad aus flüssigem Baumaterial, das bei Belichtung aushärtet, produziert. Lichtaushärtende, flüssige Kunststoffe (Kunst- oder Epoxidharz) erstarren mit Hilfe eines Lasers, der über bewegliche Spiegel gelenkt wird. Schicht für Schicht wird die Bauplattform einige Millimeter in die Flüssigkeit getaucht und anschließend in die Ausgangslage zurückversetzt, die einer Schichtstärke entspricht. Das flüssige Material auf der Plattform wird über der vorherigen Schicht abgezogen und gleichmäßig verteilt. Ein Laser härtet die neue Schicht an den gewünschten Punkten aus. Nach dem Aushärten wird der obere Layer des entstandenen Modells erneut in das Bad getaucht und ermöglicht somit das Auftragen der nächsten Schicht. Die Wiederholung dieses Prozesses lässt ein dreidimensionales Objekt entstehen. Eine Stützkonstruktion, die nachträglich entfernt werden muss, verhindert das Wegschwimmen des Bauteils in der Flüssigkeit. Die Stereolithographie ist eine der ältesten Rapid Prototyping Verfahren.<sup>58</sup>

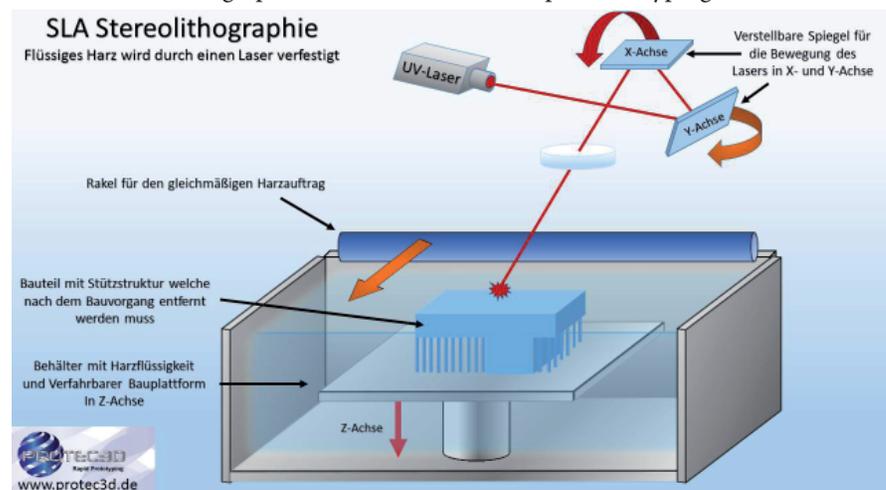


Bild 77: Stereolithografie.

<sup>58</sup> Vgl. Fastermann 2012, 121 f.

**3D DRUCK | RAPID PROTOTYPING**

Das *Film Transfer Imaging (FTI)* Verfahren der Firma 3D Systems zählt auch zur Stereolithografie. Anders als bei der herkömmlichen Stereolithografie wird beim Film Transfer Imaging der Werkstoff (Photopolymere) nicht mit einem Laser, sondern mit einem Beamer ausgehärtet. Der Prozess kommt außerdem nicht in einem Bad zustande, sondern wird auf einer Transportfolie durchgeführt. Diese enthält einen Materialfilm mit einer definierten Abmessung und bildet das weiche Material auf der Bauplattform ab. Die Erhärtung des Baumaterials entsteht durch die Belichtung der Folie. Unbelichteter Baustoff haftet an der Folie und wird nach dem Drucken mittels Abziehen in die Druckerkartusche zurück transportiert. Diese Kartusche kann ausgewechselt werden, sobald der Inhalt aufgebraucht ist. Das Film Transfer Imaging Verfahren ermöglicht eine genaue Auflösung und eine ansprechende Oberflächenqualität.<sup>59</sup>

*Digital Light Processing (DLP)* ist eine Projektionstechnik aus Amerika, die sich kaum von dem oben genannten Verfahren unterscheidet. Die Objekte werden bei diesem Prozess durch den *ZBuilder Ultra* in einem Bad aufgebaut.<sup>60</sup>

<sup>59</sup> Vgl. Fastermann 2012, 122 f.

<sup>60</sup> Vgl. ebda., 123.

Bild 78: 3D gedruckter Kopfschmuck.



Bild 79: Catwalk.



### 3D DRUCK PROJEKTE

Die Absicht des Designers und Künstlers *Joshua Harker* steckte in der Vereinigung der Disziplinen Kunst, Technologie und Haute Couture. Er versuchte mit dem Medium des 3D Drucks bis an seine Grenzen zu stoßen, was ihm mit seinem Projekt auch gelang.<sup>61</sup>

Der Entwurf des Kopfschmucks *Quixotic Divinity* wurde von den traditionellen Kopfbedeckungen und Masken der amerikanischen Ureinwohner, der Lateinamerikaner und Afrikaner inspiriert. Das Modell kostete den Designer 200 Stunden reine Entwurfszeit und wurde von EOS in deren größten SLS 3D Drucker aus dem thermoplastischen Kunststoff Polyamid generiert.<sup>61</sup>

Für die organischen Formen verwendete Harker die Software *ZBrush* und wechselte anschließend in das Programm *3D Studio Max*, um die Kanten zu schärfen. Zusätzlich zeichnete er auch in der open-source Software *Blender*.<sup>61</sup>

Nur ein Programm zu verwenden wäre unmöglich gewesen, wie der Künstler in folgendem Zitat verrät: „*ZBrush doesn't really do well with hard-edge and mechanical types of things because you have no parametrics or any dimensions; it's more proportional.*“<sup>61</sup>

Der Kopfschmuck wurde auf einigen namhaften und internationalen Fashionshows und 3D Druck Ausstellungen präsentiert.<sup>61</sup>

<sup>61</sup> Vgl. Mantey, David, (21.04.2014): Behind the mask, <<http://www.pddnet.com/articles/2014/04/behind-mask>>, in <[www.pddnet.com](http://www.pddnet.com)>, 08.04.2015

### 3D DRUCK PROJEKTE

Durch die Fortschritte der 3D Druck Technologie sind nun flexible, waschbare Kleidungsstücke möglich, erklärte die niederländische Designerin *Iris van Herpen* in einem Interview mit *Dezeen*.<sup>62</sup>

Sie schilderte außerdem, die Fortschritte ihrer Kollektionen: *„I’m really happy that 3D prints finally act with the movement of the body. [My] last show was really a big step forward because it was totally flexible and the jacket we created, for example, you could put in the washing machine.“*<sup>62</sup>

Die Designerin war eine der ersten, die sich intensiv mit dem 3D Druck in ihren Entwürfen auseinandersetzte. In der Kollektion *Voltage* kreierte sie tragbare Kleidungsstücke, die mit flexiblen Materialien 3D gedruckt wurden.<sup>62</sup>

*„I always collaborate with architects or someone that specialises in 3D modelling because I don’t specialise in it myself. It’s really bringing two worlds together because I think fashion is super interesting, but the architects who are bringing other things are just as important to me.“*<sup>62</sup>

Sie meinte auch, dass 3D Scanner die Art, wie wir unsere Kleidung kaufen, revolutionieren würden. Jeder könnte seinen Körper 3D scannen lassen und Kleidung bestellen, die perfekt sitzt.<sup>62</sup>

Bild 80: Kollektion Voltage.

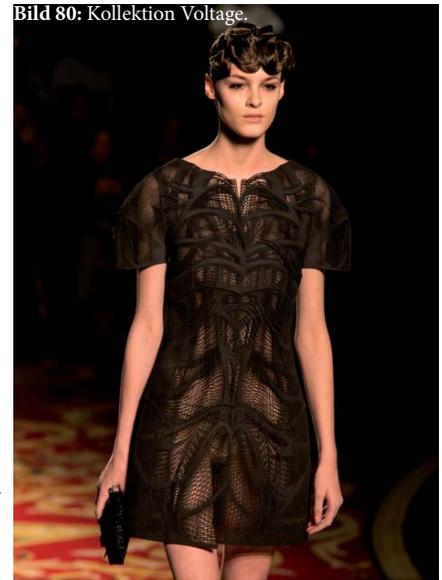


Bild 81: Kollektion Voltage.



Bild 82: Kollektion Voltage.

<sup>62</sup> Interview mit Iris van Herpen, geführt von Claire Barrett, London, 24.04. 2014

Bild 83: Kollektion Voltage.



### 3D DRUCK PROJEKTE

In dem Interview erzählte Iris außerdem, dass sie die 3D gedruckten Kleidungsstücke niemals von Hand fertigen könnte. Das Schöne in der Handarbeit liege aber darin, dass nichts identisch ist und vor allem nicht perfekt symmetrisch. Und das ist das Faszinierende am 3D Druck, weil jede Kleinigkeit, wenn man es dementsprechend modelliert, der Symmetrie unterliegt.<sup>63</sup>

Mit der Voltage Kollektion wollte die Designerin den Schritt wagen, das ehemalige, skulpturale Design zu verlassen und sich einer Kombination aus traditioneller Herstellung und innovativem 3D Druck zu widmen. Mittlerweile kann man sogar bereits im digitalen, dreidimensional generierten Modell entscheiden, wieviel Flexibilität man an gewissen Stellen benötigt. Interessant ist auch, dass man dem Objekt in der Software unterschiedliche Farben zuweisen kann. Dies passiert nicht erst am 3D Drucker, sondern bereits einen Schritt zuvor.<sup>63</sup>

Bild 84: Kollektion Voltage.



Van Herpen wäre sehr interessiert daran, die erste zu sein, die 3D gedruckte Kleidungsstücke für eine breite Masse anbietet. Die Flexibilität existiert bereits, jetzt liegt der Schwerpunkt in der Forschung und der Entwicklung der Materialität in Hinsicht auf die Langlebigkeit und die Qualität. Auch die Größe der Maschinen spielt eine wichtige Rolle. Es gibt noch keine Drucker, die ein gesamtes Kleid drucken können.<sup>63</sup>

Jedem Menschen wäre es möglich seinen kompletten Körper 3D scannen zu lassen, um perfekt sitzendes Gewand zu bestellen. Das ist für van Herpen eine Marktlücke, die gefüllt werden muss.<sup>63</sup>

<sup>63</sup> Interview mit Iris van Herpen, geführt von Claire Barrett, London, 24.04. 2014



# KAPITEL IV

## CASE STUDY

AUSSTELLUNG KUNSTHAUS WIEN

KÜNSTLER

KÜNSTLER + ARCHITEKT

ARCHITEKTEN

RESÜMEE

## AUSSTELLUNG KUNSTHAUS WIEN

Von 18. Juni bis 5. Oktober 2014 fand im Kunsthaus Wien eine Ausstellung mit dem Titel *SHOEtingStars – Der Schuh in Kunst und Design* statt, die ich besucht hatte. Diese Installation beherbergte circa 220 experimentelle Schuhkreationen, die von Designern, Künstlern und Architekten entwickelt wurden. Dabei handelte es sich meistens um Unikate oder Kleinserien, die durch extravagante Formen und außergewöhnliche Materialien bestachen.<sup>64</sup>

**Bild 85:** Schuh von *Sahil Lungani*.



**Bild 86:** Schuhe von der Österreicherin *Carolin Holzhuber*.



**Bild 87:** (von links nach rechts) Schuhe von *Petra Högström*, *Fantich & Young* und *Alter Ego*.



<sup>64</sup> Kalt, Daniel: Gut zu Fuß. Das liebste Modeobjekt von Ausstellungsmachern ist zweifellos der Schuh. Das Kunsthaus Wien versammelt nun eine Vielzahl experimenteller Ansätze, in: *Schaufenster* (2014), 22, 23

Bild 88: Schuhe von *Julia Kaldi*.

## AUSSTELLUNG KUNSTHAUS WIEN

Die Impressionen, die während der Führung auf mich wirkten, veranlassten mich dazu genauer über folgende Künstler und Architekten zu recherchieren, deren Entwürfe als Inspiration für diese Arbeit dienten.

## SHOEting Stars

Der Schuh in Kunst und Design

### Künstler:

*Chau Har Lee*  
*Marla Marchant*  
*Continuum*  
*Andreia Chaves*  
*Janne Kyttanen*  
*Marieka Ratsma*

### Architekten:

*Julian Hakes*  
*United Nude (Rem D.Koolhaas)*  
*United Nude (Iris van Herpen)*  
*United Nude (Zaha Hadid)*  
*Zaha Hadid*



KUNST HAUS WIEN

18. Juni – 5. Oktober 2014

Ein Unternehmen der  
**wienholding**

Bild 89: Werbung für die Ausstellung.

## KÜNSTLER

### ***Chau Har Lee***

*Marla Marchant*

*Continuum*

*Andreia Chaves*

*Janne Kyttanen*

*Marieka Ratsma*

Chau Har Lee ist eine Schuh Designerin aus London, die bereits mit Marken wie Yves Saint Laurent und Nike zusammengearbeitet hat. Ihre Kollektionen kombinierten traditionelle Schuhfabrikation mit innovativen Technologien, um einzigartige Kreationen zu entwerfen. Die folgenden Bilder zeigen den *Flat Pack Schuh*, der eine simple Konstruktion aus nur sechs Teilen aufweist, die komplett ohne Kleber auskommt.<sup>65</sup>

**Bild 90:** *Flat Pack Schuh* aus Acrylglas.



**Bild 91:** Das Design besteht aus nur sechs Teilen.



<sup>65</sup> Interview mit Chau Har Lee, geführt von Andy Butler, Mailand, 21.02. 2014

## KÜNSTLER

*Chau Har Lee*

***Marla Marchant***

*Continuum*

*Andreia Chaves*

*Janne Kytanen*

*Marieka Ratsma*

Ihre Masterarbeit machte die Designerin *Marla Marchant* an dem *London College of Fashion* und entfesselte damit eine Neuentdeckung des avantgardistischen Schuhdesigns. Nach einigen Materialstudien entwickelte sich der Gedanke des Titan 3D Drucks in Kombination mit Flechtstudien, um ihre Entwürfe in die Tat umzusetzen. Beeinflusst wurde sie durch die Arbeiten des katalanischen Architekten Antoni Gaudi.<sup>66</sup>

**Bild 92:** Die Konstruktion des Schuhs wurde aus Titan 3D gedruckt.



**Bild 93:** Das Design wurde anschließend mit Fäden veredelt.



<sup>66</sup> Vgl. Todd, Savannah, (12.04.2013): 3-D Printed Heels x Marla Marchant, <<http://www.wgsn.com/blogs/footwear/3d-printed-heels-x-marla-marchant>>, in: <[www.wgsn.com](http://www.wgsn.com)>, 20.10.2014

## KÜNSTLER

*Chau Har Lee*

*Marla Marchant*

***Continuum***

*Andreia Chaves*

*Janne Kytтанen*

*Marieka Ratsma*

Das amerikanische Studio *Continuum* wurde von der Designerin *Mary Huang* in Brooklyn New York gegründet und arbeitete über die Jahre hinweg mit vielen Firmen zusammen. Die Künstlerin leistete mit ihrer 3D gedruckten Schuh Kollektion namens *stvt* Pionier Arbeit. Die tragbaren Resultate aus Nylon mit einer Lederinsohle, die mit Klebstoff befestigt wurde, können online erworben werden und bieten trotz ihrer fragilen Struktur Halt.<sup>67</sup>

**Bild 94:** Der 3D gedruckte Schuh wurde aus Nylon gefertigt.



**Bild 95:** Die Schuhe sind nach Erhalt bereit zum Tragen.



<sup>67</sup> Vgl. Huang, Mary, (30.05.2014): About, <<http://shop.continuumfashion.com/pages/about-us>>, in: <[www.continuumfashion.com](http://www.continuumfashion.com)>, 20.10.2014

## KÜNSTLER

*Chau Har Lee*

*Marla Marchant*

*Continuum*

***Andreia Chaves***

*Janne Kytanen*

*Marieka Ratsma*

Die brasilianische Designerin *Andreia Chaves* entwickelte eine 3D gedruckte Schuhkollektion in Zusammenarbeit mit dem niederländischen rapid prototyping Studio *Freedom of Creation*. Die Serie wurde aufgrund ihrer Erscheinung *Invisible Shoe* genannt, da man durch den Entwurf hindurchblicken kann. Drei verschiedene Schuhmodelle sind in limitierter Edition erhältlich.<sup>68</sup>

**Bild 96:** 3D gedruckter Schuh von *Andreia Chaves*. **Bild 97:** Das durchsichtige Design besitzt ein handgefertigtes Fußbett aus Leder.



<sup>68</sup> Vgl. Etherington, Rose, (13.03.2011): Invisible Shoe by Andreia Chaves, <<http://www.dezeen.com/2011/03/13/invisible-shoe-by-andreia-chaves/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 20.10.2014

## KÜNSTLER

*Chau Har Lee*

*Marla Marchant*

*Continuum*

*Andreia Chaves*

**Janne Kyttanen**

*Marieka Ratsma*

Der finnische Designer und Gründer der Firma *Freedom of Creation Janne Kyttanen* entwickelte vier verschiedene 3D gedruckte Schuhe für die Damenwelt, die über Nacht zu Hause hergestellt werden können, um sie am nächsten Tag zu tragen. Als Kreativdirektor der Firma *3D Systems* entwarf Kyttanen digitale Dateien, die man nach der Wahl der Farbe und Größe, gratis downloaden kann. Jeder Schuh dauert circa sechs bis sieben Stunden bis zur Fertigstellung. Das heißt, wenn ein Paar auf einem Drucker modelliert wird, kann es über Nacht aufgebaut werden.<sup>69</sup>

**Bild 98:** Mit Hilfe des 3D Druckers werden diese Schuhe modelliert.



**Bild 99:** Größe und Farbe sind frei wählbar.



<sup>69</sup> Vgl. Fairs, Marcus, (02.08.2013): Cubify launches free-to-download shoes you can „print overnight“, <<http://www.dezeen.com/2013/08/02/cubify-launches-free-to-download-shoes-you-can-print-over-night/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 21.10.2014

## KÜNSTLER + ARCHITEKT

*Chau Har Lee*  
*Marla Marchant*  
*Continuum*  
*Andreia Chaves*  
*Janne Kytтанen*  
***Marieka Ratsma***

Dieser Schuh wurde durch den Totenschädel eines Vogels inspiriert und von der niederländischen Designerin *Marieka Ratsma* zusammen mit dem amerikanischen Architekten *Kostika Spaho* entworfen. Durch den Einsatz des 3D Drucks konnte das Modell an bestimmten Stellen Material einsparen, ohne die Stabilität zu gefährden. Marieka Ratsma entwickelte weitere Designs, die ihre Inspiration auch aus der Natur schöpften. Wie zum Beispiel der Schuh *Juxtapose*, dessen Aussehen an das dicke Geäst von blattlosen Bäumen im Herbst erinnert.<sup>70</sup>

**Bild 100:** Durch die Verwendung des 3D Drucks wurde Material eingespart.



**Bild 101:** Das Objekt *Juxtapose* erinnert an das Geäst von Bäumen.



<sup>70</sup> Vgl. Chalcraft, Emilie, (17.07.2012): Biomimicry Shoe by Marieka Ratsma and Kostika Spaho, <<http://www.dezeen.com/2012/07/17/biomimicry-shoe-by-marieka-ratsma-and-kostika-spaho/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 20.10.2014

## ARCHITEKTEN

### Julian Hakes

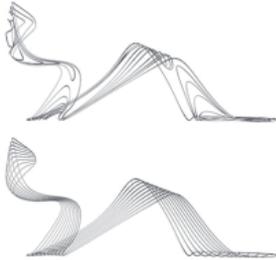
*United Nude (Rem D. Koolhaas)*

*United Nude (Iris van Herpen)*

*United Nude (Zaha Hadid)*

Zaha Hadid

**Bild 102:** Eine linienförmige Kontur zeichnet den Schuh aus.



**Bild 103:** Das erste digitale Volumenmodell, das aus den Linien generiert wurde.



Der Londoner Architekt Julian Hakes hatte sich gewundert, wieso man bei High Heels ein durchgehendes Fußbett benötigte. Die Kräfte werden ohnedies nur an zwei Punkten abgetragen. An der Ferse, also am Stöckel und am Fußballen, der sich im vorderen Bereich des Schuhs befindet. So kam es, dass er den innovativen High Heel namens Mojito entwarf, der eine durchgehende, linienförmige Konstruktion für die Stabilität des menschlichen Fußes aufwies. Das Produkt war aus Carbonfasern gefertigt und wurde an den Stellen, die den Boden berühren mit Gummi beschichtet. Die Innenseite wurde mit Leder verkleidet, um den Komfort zu vergrößern.<sup>71</sup>

**Bild 104:** Das resultierende Design stand zum Verkauf bereit.



<sup>71</sup> Vgl. Housley, Sarah, (23.09.2009): Mojito shoe by Julian Hakes, <<http://www.dezeen.com/2009/09/23/mojito-shoe-by-julian-hakes/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 21.10.2014

## ARCHITEKTEN

*Julian Hakes*

### **United Nude (Rem D. Koolhaas)**

*United Nude (Iris van Herpen)*

*United Nude (Zaha Hadid)*

*Zaha Hadid*

Der Architekt *Rem D. Koolhaas* ist gemeinsam mit dem Schuhmacher *Galahad Clark* Gründer der Marke *United Nude* und Neffe von dem berühmten Architekten *Rem Koolhaas* von dem Büro OMA.

Im Jahr 1999 entwickelte er den damals radikalen Möbius Schuh, obwohl er noch Architektur studierte. Damals handelte es sich um den ersten High Heel, der die Grenzen zwischen Industrial Design und Mode verschwimmen ließ. Es verlangte neue Technologien und Materialien, um den Entwurf in die Tat umzusetzen. Mit Carbonfasern bewehrtes Nylon wurde für den Stöckel verwendet, der aus einem gehärteten Stahlrahmen bestand.<sup>72</sup>

**Bild 105:** Der erste Entwurf des Architekten, mit dem Namen *Möbius*.



**Bild 106:** Die limitierte Auflage des Schuhs *Cosmo* wurde aus Carbonfasern gefertigt.



**Bild 107:** Dieser Schuh trägt den Namen *Eamz* und ist eine Hommage an die Designer *Charles and Ray Eames*.



<sup>72</sup> Interview mit Rem D. Koolhaas, geführt von Marcus Fairs, London, 10.07.2013

## ARCHITEKTEN

Julian Hakes

### United Nude (Rem D. Koolhaas)

United Nude (Iris van Herpen)

United Nude (Zaha Hadid)

Zaha Hadid

Der 3D gedruckte Schuh von *United Nude* namens *lo res Pump* zählt mittlerweile durch seinen wachsenden Erfolg zu den Klassikern der Marke. Das digitale Konzept aus nur einem Stück erinnert an der Oberfläche an einen geschliffenen Diamanten. Das ergonomisch geformte Fußbett ist bei Bedarf mit Leder versehen, um den Komfort zu vergrößern.<sup>73</sup>

United Nude entwickelte einen Schuh zusammen mit der Firma 3D System, der zu Hause 3D gedruckt werden kann. Der Entwurf besteht aus drei Teilen, die man zu einem Element zusammensteckt. Koolhaas erklärte, dass der Schuh zwar getragen werden könne, aber im Komfort nicht mit einem herkömmlichen Schuh mithalte. Das Projekt sollte das Potential der digitalen Technologie ausreizen und gleichzeitig verbessern.<sup>74</sup>

Koolhaas erklärte in einem Interview:

„We have been using 3D printing for the product development of our shoes ever since our first shoes, dating back to 2001. Since then we have seen a massive evolution in 3D printing.“<sup>74</sup>



Bild 108: Der kristalline *lo res Pump* aus dem 3D Drucker.



Bild 109: Drei Teile zusammengesteckt zu einem Ganzen.

<sup>73</sup> Vgl. United Nude, <<http://www.unitednude.com/lo-res-pump-pastel-sky-rubber-1999>>, in: <[www.unitednude.com](http://www.unitednude.com)>, 21.10.2014

<sup>74</sup> Vgl. Howard, Dan, (06.08.2014): United Nude's Float shoes are created on a desktop 3D printer, <<http://www.dezeen.com/2014/08/06/3d-printed-shoes-by-united-nude/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 21.10.2014

## ARCHITEKTEN

*Julian Hakes*

### **United Nude (Rem D. Koolhaas)**

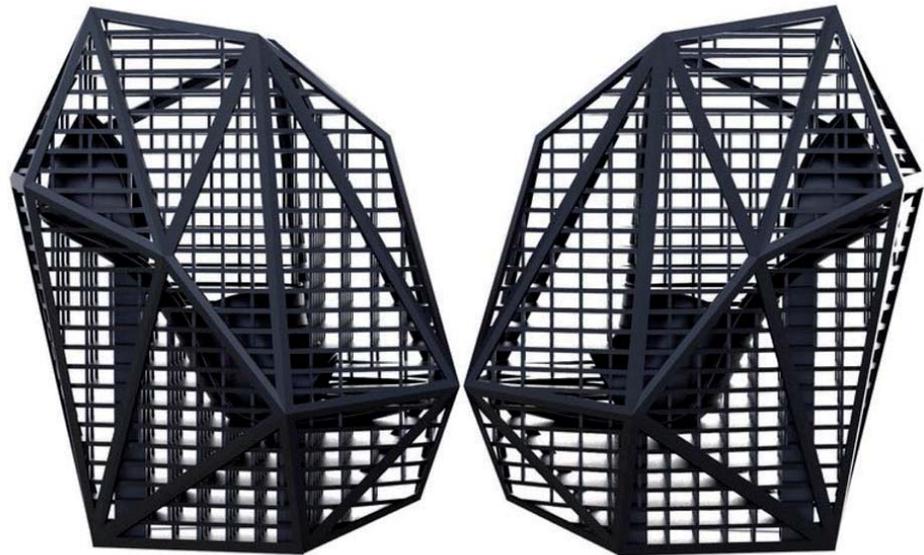
*United Nude (Iris van Herpen)*

*United Nude (Zaha Hadid)*

*Zaha Hadid*

Das neueste Schuh Design von Rem D. Koolhaas erinnert an einen Wolkenkratzer, weshalb die Kreation auch den Namen *Highrise Shoe* trägt. Mit dem Maßstab zu spielen, war schon immer eine Inspirationsquelle für den Architekten. In diesem Fall skaliert er den architektonischen Maßstab auf einen kleineren für Schuhe herunter. Das Design lässt nicht mehr erkennen, ob es sich bei dem Entwurf um Schuhe oder um ein Hochhaus handelt. Die Konstruktion, die mit Hilfe von Lasersintern 3D gedruckt wird, besteht aus zwei Elementen. Der härtere Teil unter dem Fuß trägt zur Stabilität bei und der weiche Bereich wird aus Gummi gedruckt und bietet Komfort.<sup>75</sup>

**Bild 110:** Der *Highrise Shoe*.



<sup>75</sup> Vgl. United Nude, <<http://www.virtualshoemuseum.com/united-nude/highrise-shoes>>, in: <[www.virtualshoemuseum.com](http://www.virtualshoemuseum.com)>, 21.10.2014

*Julian Hakes*

*United Nude (Rem D. Koolhaas)*

***United Nude (Iris van Herpen)***

*United Nude (Zaha Hadid)*

*Zaha Hadid*

Rem D Koolhaas spricht über die Zusammenarbeit mit Iris van Herpen:

*“It was a great challenge to work with Iris this time as we were using 3D printing for the shoes entirely. The hardest part was the figuring out of the materials and 3D printing techniques to be used. Fashion is always a race against time and 3D printing allows you to move fast. The promise for the future of this technology is very powerful!”<sup>76</sup>*

## ARCHITEKTEN

Seit der Gründung der Marke *United Nude* gab es einige innovative Schuh Kreationen, die mit Designern wie *Iris van Herpen* und namhaften Architekten wie *Zaha Hadid* umgesetzt wurden.

Die niederländische Designerin Iris van Herpen arbeitete bei der Kollektion *Beyond Wilderness* eng mit dem Architekten *Rem D Koolhaas* von *United Nude* zusammen. Die 3D gedruckten Schuhe fanden ihre Inspiration in der wilden Natur in Form von Baumwurzeln. Vorlage war der indische Feigenbaum, der die Kollektion so wirken ließ, als ob sie natürlich gewachsen wäre, obwohl sie digital generiert wurde. Die Firma *Stratasys*, führend im Bereich des 3D Drucks, setzte alle Hebel in Bewegung die Technologie anzupassen, um das skulpturale Design umsetzen zu können.<sup>76</sup>

**Bild 111:** Schuhdesign von der Kollektion *Beyond Wilderness*.



<sup>76</sup> Vgl. ShoeRA, (19.07.2013): BEYOND WILDERNESS: IRIS VAN HERPEN FOR UNITED NUDE, <<http://www.shoera.com/2013/07/19/beyond-wilderness-iris-van-herpen-for-united-nude/>>, in: <[www.shoera.com](http://www.shoera.com)>, 21.10.2014

## ARCHITEKTEN

*Julian Hakes*

*United Nude (Rem D. Koolhaas)*

*United Nude (Iris van Herpen)*

***United Nude (Zaha Hadid)***

*Zaha Hadid*

Die Architektin *Zaha Hadid* designte für die Marke *United Nude* eine limitierte Stückanzahl von Schuhen aus Chrom mit einem 16,5 Zentimeter hohen, auskragenden Absatz. Der Schuh trägt den Namen *NOVA* und wurde als erster mit dem Rotationsgießverfahren hergestellt, das eine optimale Oberfläche ermöglichte. Nicht nur das Rotationsgießverfahren, sondern auch die Technologie des Spritzgießens und des Vakuumpressens wurde miteinander kombiniert. Der Entwurf spiegelte die geologischen Verformungen der Erde wider, ähnlich dem Projekt *Galaxy Soho development* von *Hadid*. Die Außenhaut bestand aus einem verchromten Vinylgummi, das Innere wurde mit bestem Leder ausgekleidet und das Plateau erhielt seine Stabilität durch den Gebrauch von Glasfasern. *Zaha Hadid* meinte über die Zusammenarbeit, dass der *NOVA* Schuh über die Grenzen zwischen Mode und Architektur hinausginge.<sup>77</sup>

**Bild 112:** Verchromtes Vinylgummi ziert das Äußere des *NOVA* Schuhs.



**Bild 113:** Als Inspiration dienen die geologischen Verformungen der Erde.



<sup>77</sup>Vgl. Fairs, Marcus, (03.07.2013): *NOVA Shoe* by *Zaha Hadid* for *United Nude*, <<http://www.dezeen.com/2013/07/03/nova-shoe-by-zaha-hadid-for-united-nude/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 21.10.2014

## ARCHITEKTEN

*Julian Hakes*

*United Nude (Rem D. Koolhaas)*

*United Nude (Iris van Herpen)*

*United Nude (Zaha Hadid)*

***Zaha Hadid***

Die brasilianische Schuhmanufaktur *Melissa* arbeitet mit der Architektin *Zaha Hadid* zusammen und entwickelte gemeinsam ein sehr innovatives Paar Schuhe. Das asymmetrische und organische Design erweckte den Anschein ein Gewächs zu sein, welches langsam aus der Erde auf den Fuß und das Bein hinaufkletterte. Der fließende Entwurf soll die Grenzen zwischen dem Körper und dem Objekt verschwimmen lassen. Der ergonomische Schuh wurde mit Hilfe des Kunststoffspritzguss Verfahrens hergestellt.<sup>78</sup>

**Bild 114:** Das organische Design findet den Ursprung in der Natur.



**Bild 115:** Mittels des Kunststoffspritzguss Verfahrens hergestellt.



<sup>78</sup> Vgl. Williamson, Caroline, (26.08.2013): MELISSA + ZAHA HADID = COOL PLASTIC FOOTWEAR, <<http://design-milk.com/melissa-zaha-hadid-really-cool-plastic-footwear/>>, in: <<http://design-milk.com>>, 22.10.2014

## ARCHITEKTEN

*Julian Hakes*

*United Nude (Rem D. Koolhaas)*

*United Nude (Iris van Herpen)*

*United Nude (Zaha Hadid)*

**Zaha Hadid**

Zaha Hadid entwickelte 2009 eine limitierte Lederschuh Kollektion für die Marke Lacoste. Ein breites Lederband, das mit einer innenliegenden Metallspange gehalten wurde, schlängelte sich das Bein hinauf. Für den Damenstiefel ging die Spirale bis zum Knie und bei den Herren reichte das Leder bis zum Knöchel. Das Material wurde mit einem speziellen Muster veredelt, das eine digitale Landschaft darstellte. Diese Topographie befand sich auf der äußeren Seite jedes Schuhs und verblasste entlang der Spirale.<sup>79</sup>

Hadid erklärte:

*„The design expression behind the collaboration with LACOSTE footwear allows the evolution of dynamic fluid grids. When wrapped around the shape of a foot, these expand and contract to negotiate and adapt to the body ergonomically. In doing so a landscape emerges, undulating and radiating as it merges seamlessly with the body.“<sup>79</sup>*

**Bild 116:** Hadids Kollektion für Lacoste.



**Bild 117:** Hadids Kollektion für Lacoste.

<sup>79</sup> Vgl. Etherington, Rose, (20.05.2009): Footwear by Zaha Hadid for Lacoste, <<http://www.dezeen.com/2009/05/20/footwear-by-zaha-hadid-for-lacoste/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 22.10.2014

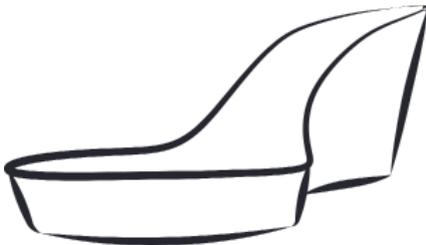
**RESÜMEE****VS.**

**Beide Objekte entsprechen den gleichen Anforderungen, widersprüchlich ist nur der Maßstab.**

**Sie müssen:**

- gewissen Funktionen dienen
- statische Anforderungen erfüllen
- äußere Wiedereinflüsse (Regen, Spritzwasser, Schnee, ...) abwehren
- mit Wasserdampf umgehen (bzw. Schweiß)
- vor Wärme und Kälte schützen
- einer subjektiven Ästhetik entsprechen
- gewissen Komfort bieten
- einer effizienten Technologie folgen

## RESÜMEE



### **Wieso habe ich mich nun für einen Damenschuh mit Absatz entschieden und habe keinen gewöhnlichen Sneaker gewählt?**

Meine Recherche über Fußbekleidung hat ergeben, dass Stöckelschuhe aufgrund ihrer Form eine größere technische Herausforderung sind, als flache Sneakers. Das liegt an der verkleinerten Auftrittfläche und an der Schräglage des Fußes, die einen Großteil des Körpergewichtes über den Ballen in den vorderen Bereich des Schuhs leitet. Dadurch konnte ich nicht nur mein Wissen über Statik, das im Architekturstudium vermittelt wurde, sondern auch meine Forschung über neue Technologien, anwenden.

Zum Leid der Damenwelt gibt es nur wenige Schuhe mit Absatz, die auch wirklich bequem und länger zu tragen sind. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass es im Bereich der Stöckelschuhe keine konkrete Entwicklung hinsichtlich der Dämpfung gibt. Und das trotz der ausgeprägten Forschung im Gebiet der Sportschuhe, die in jeglicher Ausführung zu haben sind.

Meist muss man sich entweder für die Optik oder den Komfort entscheiden, aber beides in einem Produkt verpackt, ist in den wenigsten Damenschuhen zu finden. Und dieser Begebenheit möchte ich entgegenwirken, indem ich einen ästhetisch ansprechenden und zugleich bequemen Schuh kreiere.

Zudem kommt noch mein persönliches Interesse an extravaganter Fußbekleidung, das ich durch den Besuch der Ausstellung *ShoetingStars* im Kunsthaus Wien festigen konnte.



# KAPITEL V

## SCHUH STUDIE

EINLEITUNG

EIGENSCHAFTEN MEINES FUSSES

STUDIE HIGH HEELS

STUDIE KEILSCHUHE

RESÜMEE

## EINLEITUNG

In diesem Kapitel wurde anhand einer Studie mit 15 Schuhen getestet, welcher High Heel beziehungsweise Plateauschuh nach einer Stunde den besten Tragekomfort, den sichersten Halt und die höchste Bequemlichkeit beim Anziehen aufwies.

Es wurden die verschiedenen Parameter des Schuhs erhoben. Eingeteilt wurden diese in die *Höhe des Absatzes, des Plateaus* und *des Schaftes, die Sohlenlänge, das Fußbett* und *die vordere Breite des Schuhs* gemessen. Aus diesen Ergebnissen möchte ich die perfekten Gegebenheiten und Voraussetzungen für meinen Prototyp sammeln.

### Acht High Heels



High Heel 1: United Nude (hellblau)



High Heel 2: United Nude (dunkelblau)



High Heel 3: Rosa mit Riemchen



High Heel 4: Beige mit Reißverschluss



High Heel 5: Grauer Stöckelschuh



High Heel 6: Grauer Schnürschuh



High Heel 7: Schwarz mit Reißverschluss



High Heel 8: Schwarzer Stiefel



Keilschuh 1: Schwarz mit Keilabsatz

### Sieben Keilschuhe



Keilschuh 2: Schwarze Sandale mit Keilabsatz



Keilschuh 3: Bunte Sandale



Keilschuh 4: Gelbe Sandale



Keilschuh 5: Winterschuh zum Schnüren



Keilschuh 6: Oranger Schuh mit Klettverschluss



Keilschuh 7: Einhornschuh ;)

## EIGENSCHAFTEN MEINES FUSSES

Üblicherweise benötigt mein Fuß bei Stöckelschuhen die Größe 36, somit hat er eine Länge von 23cm und eine Breite von 9cm im vorderen Bereich. Es gibt keine bekannten Fußfehlstellungen oder Erkrankungen. Die knöchernen Stützpunkte des Fußgewölbes bilden beim gesunden Fuß ein Dreieck. Der Fußabdruck bildet jedoch, weichteilbedingt, eine wesentlich größere Unterstützungsfläche.<sup>80</sup>

Beim gesunden Fuß (pes rectus) besteht der Fußabdruck aus fünf Zehenfeldern, einem vorderen und einem hinteren Sohlenfeld, sowie einem Verbindungsstreifen. Die Traglinie des Beines verläuft hier durch die Mitte des Calcaneus (Fersenbein - größter Knochen des Fußskeletts) bis zu dessen Unterfläche.<sup>80</sup>

Die folgenden Schuhe werden in den Kategorien Tragekomfort, Halt und Leichtigkeit beim Anziehen mit den Noten 1-5 beurteilt. 1 steht für eine ideale Leistung und 5 bedeutet durchgefallen.

**Bild 118:** Seitenansicht Fuß.



**Bild 119:** Seitenansicht.



**Bild 120:** Vorderseite.



<sup>80</sup> Vgl. Kahle/Leonhardt/Platzer 1975, 212 f.



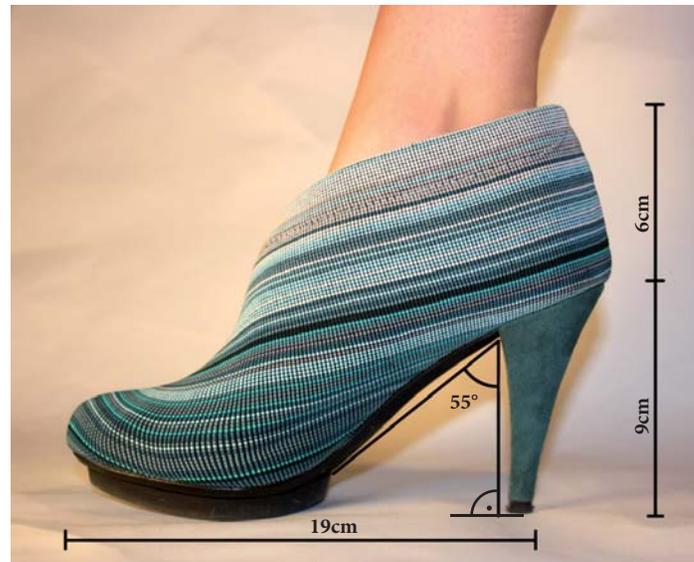
## STUDIE HIGH HEELS

### HIGH HEEL 1: UNITED NUDE (HELLBLAU)

Absatz:	9cm
Plateau:	1,5cm
Winkel:	55°
Sohlenlänge:	19cm
Fußbett:	23cm
Breite vorne:	8cm
Schaft:	6cm

### BEURTEILUNG

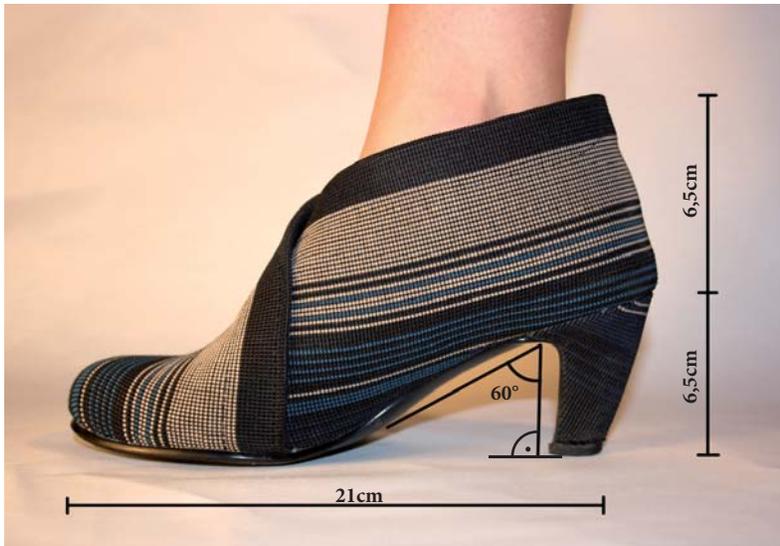
Tragekomfort/h:	1,5
Halt:	1
Anziehen:	1



## STUDIE HIGH HEELS

### HIGH HEEL 2: UNITED NUDE (DUNKELBLAU)

Absatz:	6,5cm
Plateau:	0cm
Winkel:	60°
Sohlenlänge:	21cm
Fußbett:	23,5cm
Breite vorne:	8cm
Schaft:	6,5cm



### BEURTEILUNG

Tragekomfort/h:	1
Halt:	1
Anziehen:	1



## STUDIE HIGH HEELS

### HIGH HEEL 3: ROSA MIT RIEMCHEN

Absatz: 10cm  
 Plateau: 0cm  
 Winkel: 45°  
 Sohlenlänge: 19cm  
 Fußbett: 25cm  
 Breite vorne: 8cm  
 Schaft: 0cm

### BEURTEILUNG

Tragekomfort/h: 5  
 Halt: 5  
 Anziehen: 5



## STUDIE HIGH HEELS

### HIGH HEEL 4: BEIGE MIT REISSVERSCHLUSS

Absatz:	13cm
Plateau:	3cm
Winkel:	30°
Sohlenlänge:	19cm
Fußbett:	23,5cm
Breite vorne:	7,5cm
Schaft:	6cm

### BEURTEILUNG

Tragekomfort/h:	5
Halt:	3
Anziehen:	3



## STUDIE HIGH HEELS

### HIGH HEEL 5: GRAUER STÖCKELSCHUH

Absatz: 10cm  
 Plateau: 2cm  
 Winkel: 40°  
 Sohlenlänge: 20,5cm  
 Fußbett: 24cm  
 Breite vorne: 7,5cm  
 Schaft: 5,5cm

### BEURTEILUNG

Tragekomfort/h: 2  
 Halt: 3  
 Anziehen: 1



## STUDIE HIGH HEELS

### HIGH HEEL 6: GRAUER SCHNÜRSCHUH

Absatz:	7cm
Plateau:	0cm
Winkel:	55°
Sohlenlänge:	23cm
Fußbett:	22,5cm
Breite vorne:	8,5cm
Schaft:	10,5cm

### BEURTEILUNG

Tragekomfort/h:	1
Halt:	1
Anziehen:	2



## STUDIE HIGH HEELS

### HIGH HEEL 7: SCHWARZ MIT REISSVERSCHLUSS

Absatz:	9cm
Plateau:	0cm
Winkel:	50°
Sohlenlänge:	19,5cm
Fußbett:	23cm
Breite vorne:	7,5cm
Schaft:	11cm

### BEURTEILUNG

Tragekomfort/h:	2
Halt:	1
Anziehen:	1,5



## STUDIE HIGH HEELS

### HIGH HEEL 8: SCHWARZER STIEFEL

Absatz:	9cm
Plateau:	0cm
Winkel:	40°
Sohlenlänge:	21,5cm
Fußbett:	24cm
Breite vorne:	8cm
Schaft:	38cm

### BEURTEILUNG

Tragekomfort/h:	4
Halt:	4
Anziehen:	3



## STUDIE KEILSCHUHE

### KEILSCHUH 1: SCHWARZ

Absatz: 8,5cm  
 Plateau: 0cm  
 Winkel: 45°  
 Sohlenlänge: 19,5cm  
 Fußbett: 22,5cm  
 Breite vorne: 7,5cm  
 Schaft: 5cm

### BEURTEILUNG

Tragekomfort/h: 4  
 Halt: 4  
 Anziehen: 1



## STUDIE KEILSCHUHE

### KEILSCHUH 2: BUNTE SANDALE

Absatz:	9cm
Plateau:	2,5cm
Winkel:	60°
Sohlenlänge:	21,5cm
Fußbett:	23,5cm
Breite vorne:	7,5cm
Schaft:	7,5cm

### BEURTEILUNG

Tragekomfort/h:	1
Halt:	1
Anziehen:	1,5



## STUDIE KEILSCHUHE

### KEILSCHUH 3: SCHWARZE SANDALE

Absatz: 12cm  
 Plateau: 3cm  
 Winkel: 50°  
 Sohlenlänge: 18cm  
 Fußbett: 24cm  
 Breite vorne: 8cm  
 Schaft: 4cm

### BEURTEILUNG

Tragekomfort/h: 3  
 Halt: 4  
 Anziehen: 2



## STUDIE KEILSCHUHE

### KEILSCHUH 4: GELBE SANDALE

Absatz:	8cm
Plateau:	2cm
Winkel:	65°
Sohlenlänge:	21cm
Fußbett:	23,5cm
Breite vorne:	8cm
Schaft:	5,5cm

### BEURTEILUNG

Tragekomfort/h:	1,5
Halt:	1
Anziehen:	5



## STUDIE KEILSCHUHE

### KEILSCHUH 5: WINTER-SCHNÜRSCHUH

Absatz: 6,5cm  
 Plateau: 0cm  
 Winkel: 65°  
 Sohlenlänge: 23cm  
 Fußbett: 22,5cm  
 Breite vorne: 8cm  
 Schaft: 7cm

### BEURTEILUNG

Tragekomfort/h: 1  
 Halt: 1  
 Anziehen: 1,5



## STUDIE KEILSCHUHE

### KEILSCHUH 6: SCHUH MIT KLETTVERSCHLUSS

Absatz:	9cm
Plateau:	0cm
Winkel:	60°
Sohlenlänge:	23cm
Fußbett:	22cm
Breite vorne:	8cm
Schaft:	10cm

### BEURTEILUNG

Tragekomfort/h:	3,5
Halt:	1
Anziehen:	1,5



## STUDIE KEILSCHUHE

### KEILSCHUH 7: EINHORN SCHUH

Absatz:	12cm
Plateau:	1,5cm
Winkel:	30°
Sohlenlänge:	19cm
Fußbett:	22cm
Breite vorne:	8cm
Schaft:	5,5cm

### BEURTEILUNG

Tragekomfort/h:	3,5
Halt:	1
Anziehen:	1



## RESÜMEE

Die Studie hat mir bei der Entwicklung des Designs sehr weitergeholfen, da ich dadurch einige Problemstellungen des Stöckel- beziehungsweise des Plateauschuhs erkannte.

Nicht überraschend war jedoch die Tatsache, dass immer Modelle mit niedrigem Absatz bequemer zum Gehen erschienen, als jene deren Stöckel eine Höhe von acht Zentimetern überschritt.

Ein Plateau von circa zweieinhalb Zentimeter im vorderen Bereich des Schuhs ermöglichte nicht nur die Verkürzung des Absatzes, sondern erhöhte auch wesentlich die subjektive Wahrnehmung der Stabilität.

Das Verhältnis zwischen dem Stöckel und dem Plateau war ausschlaggebend für den Tragekomfort. Je stumpfer der Winkel ( $50^\circ - 65^\circ$ ) zwischen dem Absatz und dem Fußbett ausfiel, desto wohler fühlte ich mich.

Zusätzlich spielte der Schaft für den Halt eine wesentliche Rolle, da er den Fuß fest im Schuh verankerte.

Interessant war auch, dass meist die Modelle mit ähnlichen Abmessungen wie mein eigener Fuß, überdurchschnittlich gut abschnitten.

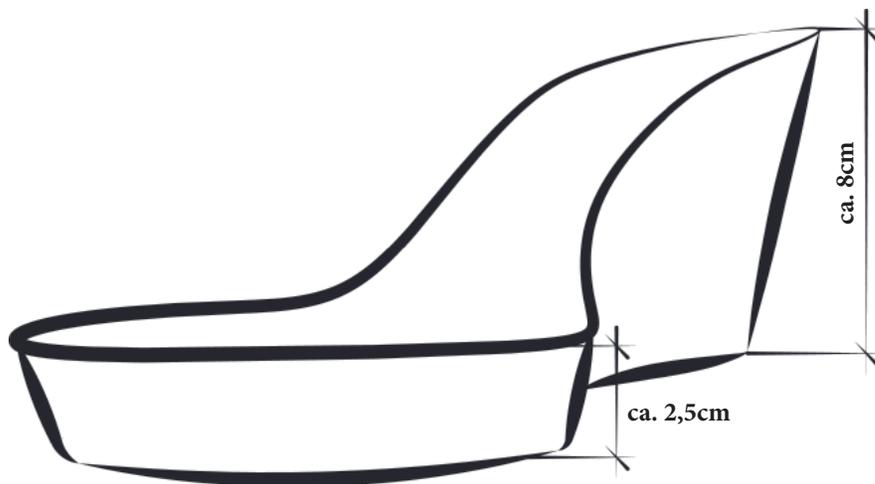




## RESÜMEE

Meine Conclusio lautet, dass ein maßgeschneiderter Schuh in Länge und Breite den Tragekomfort um ein Vielfaches erhöht. Deswegen wird bei meinem Design die Individualität der Parameter berücksichtigt.

Auf der unteren Abbildung ist ein von mir vereinfachter Plateauschuh zu sehen, dessen Abmessungen sich durch meine Studie ergaben. Diese Form übernahm ich für meine anschließenden Entwürfe.





# KAPITEL VI

## ENTWURF

PLANUNGSPROZESS I | LASERCUT

BIONIK I

BIONIK I | ENTWURF LASERCUT

BIONIK I | BOX



PLANUNGSPROZESS II 3D DRUCK

BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK

BIONIK II | BOX



RESÜMEE | BIONIK I | LASERCUT

RESÜMEE | BIONIK II | 3D DRUCK

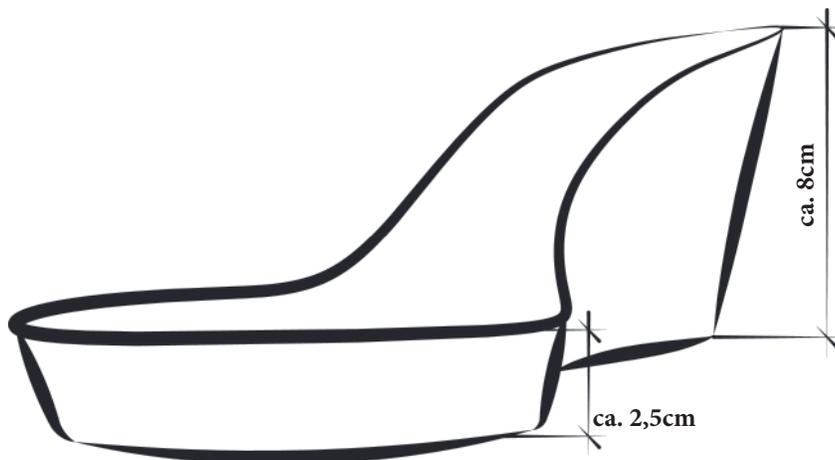
CONCLUSIO

**PLANUNGSPROZESS I | LASERCUT**

Die Form des Plateaus ergab sich durch die im Kapitel V (CASE STUDY | Resümee) durchgeführte Studie. Wie schon erwähnt, erschienen Modelle deren Absatz eine Höhe von acht Zentimetern aufwies, komfortabler.

Die Funktion des Plateaus verbesserte die subjektive Wahrnehmung der Stabilität, was mir auch von der Schuhfirma *Legero* bestätigt wurde. So ermöglichte ein zweieinhalb Zentimeter hoher Plateau nicht nur die Verkleinerung des Absatzes, sondern auch das verbesserte Wohlbefinden im Schuh.

Da Modelle mit Abmessungen ähnlich meines eigenen Fußes, sehr gut abschnitten, gab es bei der Produktion die Möglichkeit einen maßgeschneiderten Schuh mit Hilfe von 3D Scan, anzufertigen. Damit berücksichtigte das Design die Individualität der unterschiedlichen Parameter.



## PLANUNGSPROZESS I | LASERCUT



Bild 121: Lasercutter.

Die Wahl der Materialien erfolgte nach einer ausführlichen Recherche, die im Kapitel II (BASICS | Materialien) geschildert wurde. Daraus ergaben sich für die Prototypen drei unterschiedliche Stoffe und zwei Herstellungsverfahren. Auf diese Weise konnte der Preis und die Effizienz untereinander verglichen werden. Bei den Materialien handelt es sich um Acrylglas, Holzplatten und Kunststoffe aus dem 3D Drucker.

Im Laufe meines Studiums konnte ich immer wieder die Vorteile des Lasercutters für die Fertigung meiner Modelle nutzen. Der Modellbau wurde durch diese Technologie viel präziser und ermöglichte somit komplexe Muster aus unterschiedlichen Materialien. Es gab eine Bandbreite an Stoffen, die im Lasercutter bearbeitet werden konnte, wie zum Beispiel Papier, Finnplatte, Karton, Holz, Leder und Acrylglas.

Polymethylmethacrylat, Acrylglas oder auch Plexiglas genannt, das in einem der zwei Entwürfe verwendet wurde, ist ein synthetischer, transparenter, thermoplastischer Kunststoff.<sup>80.1</sup> Dieses Material kann von technisch affinen Kunden oder durch einen Zwischenhändler mittels Lasercutten bearbeitet werden. Zur Veranschaulichung befindet sich links ein Bild von einem herkömmlichen Lasercutter.

<sup>80.1</sup> Vgl. Wikipedia, (15.02.2015): Polymethylmethacrylat, <<http://de.wikipedia.org/wiki/Polymethylmethacrylat>>, in: <<http://de.wikipedia.org>>, 10.03.2015

## PLANUNGSPROZESS I LASERCUT

Man unterscheidet bei Polymethylmethacrylat (Acrylglas oder Plexiglas) zwischen zwei unterschiedlichen Herstellungsarten. Bei dem Endprodukt handelt es sich einerseits um *gegossenes* und andererseits um *extrudiertes* Acrylglas.<sup>81</sup>

Die gegossene Variante wird durch das Vermengen der flüssigen Bestandteile des Acryls in Formen hergestellt. Durch einen chemischen Prozess entsteht ein homogenes Material mit gleichen Eigenschaften in allen Richtungen.<sup>81</sup>

Extrudiertes Acryl wird hingegen durch das kontinuierliche Pressen der Masse durch eine Form erzeugt. Dabei läuft gleichzeitig ein chemischer Prozess ab. Das Resultat ist ein heterogenes, extrudiertes Acryl, dessen Eigenschaften je nach Richtung unterschiedlich sind.<sup>81</sup>

In folgender Tabelle der Firma *Glas Zemann* werden die mechanischen Eigenschaften von gegossenem und extrudiertem Plexiglas miteinander verglichen.

### Richtwerte der Eigenschaften

(bei 23 °C und 50% relativer Feuchte)

Mechanische Eigenschaften	PLEXIGLAS® GS 233; 222; 209	PLEXIGLAS® XT 20070; 29070
Rohdichte $\rho$	1,19	1,19
Schlagzähigkeit $a_{cu}$ nach Charpy	15	15
Kerbschlagzähigkeit $a_{iN}$ nach Izod	1,6	1,6
Kerbschlagzähigkeit $a_{cN}$ nach Charpy	-	-

**Tabelle 1:** Von der Firma Glas Zemann.

<sup>81</sup> Vgl. Wikipedia, (15.02.2015): Polymethylmethacrylat, <<http://de.wikipedia.org/wiki/Polymethylmethacrylat>>, in: <<http://de.wikipedia.org>>, 10.03.2015

Zugfestigkeit QM		
a) -40 °C	110	100
b) 23 °C	80	72
c) 70 °C	40	35
Dehnung bei Bruch B	5,5	4,5
Nominelle Dehnung bei Bruch tB	-	-
Biegefestigkeit Q <sub>bB</sub> Normstab (80 x 10 x 4 mm <sup>3</sup> ) (5 mm/min)	115	105
Quetschspannung Q <sub>dF</sub>	110	103
Zulässige Materialspannung Q zul. (bis 40 °C)	5...10	5...10
Elastizitätsmodul E, (Kurzzeitwert)	3300	3300
Min. zulässiger Kaltbiegeradius	330 x Dicke	330 x Dicke
Schubmodul G bei ca. 10 Hz	1700	1700
Kugeldruckhärte H 961/30	175	175
Kratzfestigkeit nach Reibradverfahren (100 U.; 5,4 N; CS-10F)	20...30	20...30
Reibungskoeffizient $\mu$		
a) Kunststoff auf Kunststoff	0,8	0,8
b) Kunststoff auf Stahl	0,5	0,5
c) Stahl auf Kunststoff	0,45	0,45
Poissonzahl $\nu_b$ (bei Dehngeschwindigkeit 5% pro min, bis Dehnung 2%, bei 23 °C)	0,37	0,37
Pucksicherheit ab Dicke (Prüfzeugnis-Nr. der FMPA Stuttgart)	-	12 mm (46/900 549)

## BIONIK I

Die *Bionik* behandelt das Übertragen von Phänomenen aus der Natur auf die Technik. Dem bekanntesten Beispiel aus dem heutigen Alltag dienen die Kletten als Vorbild - der Klettverschluss. Die Bionik basiert auf der Annahme, dass die Natur durch evolutionäre Prozesse, optimierte Geometrien und Strukturen generiert, von denen der Mensch profitieren kann.<sup>82</sup>

Aus allen vorher genannten Punkten ergaben sich nun gewisse Anforderungen und Wünsche an die Prototypen, die ich in meinem Entwurf zu verwirklichen versuchte.

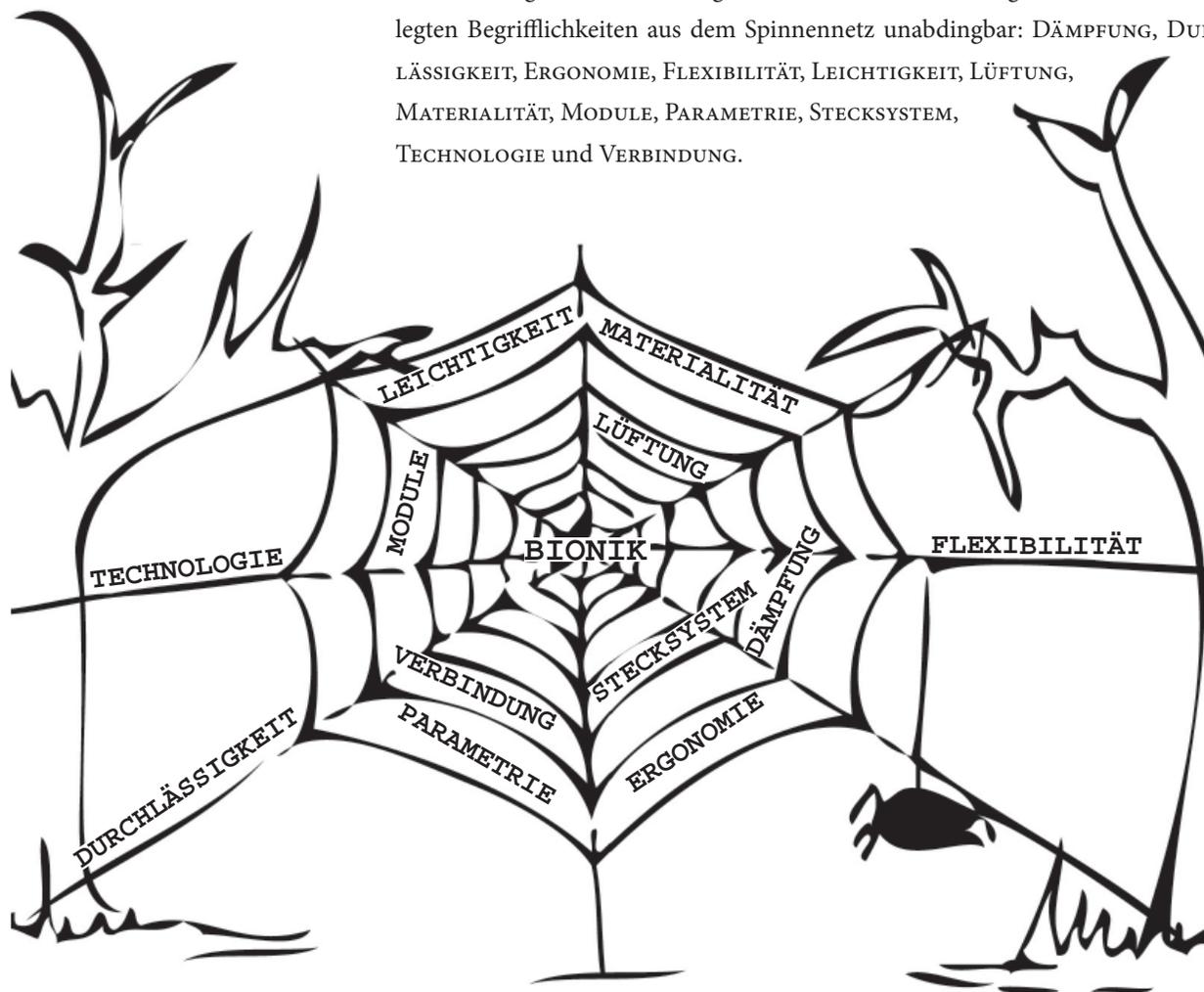
Der Drang sich an der Natur zu orientieren steckt vermutlich in jedem von uns, so auch in mir. Da es mir wichtig war meinen ersten Prototyp, der mittels Lasercutten hergestellt wurde, ohne jeglichen Kleber auszuführen, bediente ich mich eines Stecksystems, das den Anforderungen, die auf der rechten Seite aufgezählt wurden, unterlag. Der Vorteil dabei, man gelangte ohne weitere Hilfsmittel zu einem adäquaten Ergebnis. Der Nachteil jedoch lag in der konsequenten Anordnung der Einzelteile. Alles musste mit einem rechten Winkel ineinander gesteckt werden, um eine exakte Verbindung zu schaffen. So fehlte es auch an der Dreidimensionalität des Objektes.

Nun fand ich meine Inspiration in der Natur, indem ich mich an der Struktur von Spinnennetzen bediente. Dadurch bekam der Entwurf nicht nur eine neue Dreidimensionalität, sondern auch eine zusätzliche Aussteifung, die den Schuh stabiler machte.

<sup>82</sup> Vgl. Wikipedia (15.03.2015): Bionik, <<http://de.wikipedia.org/wiki/Bionik>>, in: <<http://de.wikipedia.org>>, 09.04.2015

## BIONIK I

Für die erfolgreiche Umsetzung des Entwurfs waren die folgenden, von mir festgelegten Begrifflichkeiten aus dem Spinnennetz unabdingbar: DÄMPFUNG, DURCHLÄSSIGKEIT, ERGONOMIE, FLEXIBILITÄT, LEICHTIGKEIT, LÜFTUNG, MATERIALITÄT, MODULE, PARAMETRIE, STECKSYSTEM, TECHNOLOGIE und VERBINDUNG.





## BIONIK I | ENTWURF LASERCUT

Am Anfang des Entwurfs standen einige Handskizzen, um sich mit der Form eines Damenschuhs auseinanderzusetzen und die herkömmlichen Herangehensweisen zu umgehen.

Die Struktur passte sich dem Verlauf des Fußes an und fand ihre Inspiration in der Natur. Um eine gleitende und aerodynamische Form zu entwickeln, beschäftigte ich mich mit den auftretenden Wirbeln, die während des Gehens auftraten. Das entstandene System erinnerte an ein Blatt, welches im unteren Drittel abgeschnitten wurde, um eine planare Auftrittsfläche zu erzeugen.

Bild 122: Handskizze 1.

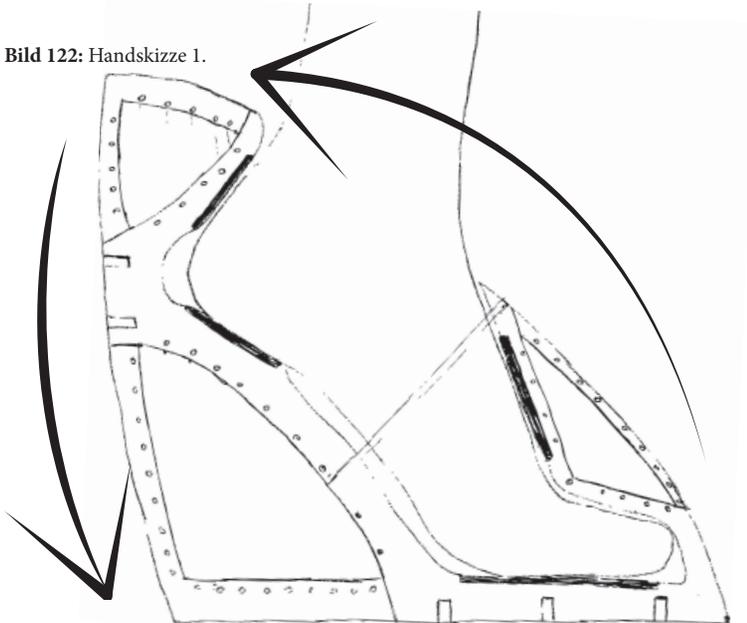
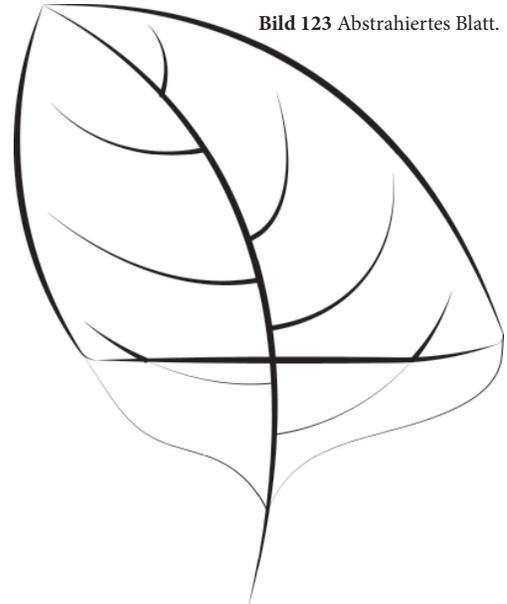


Bild 123 Abstrahiertes Blatt.



**BIONIK I | ENTWURF LASERCUT**

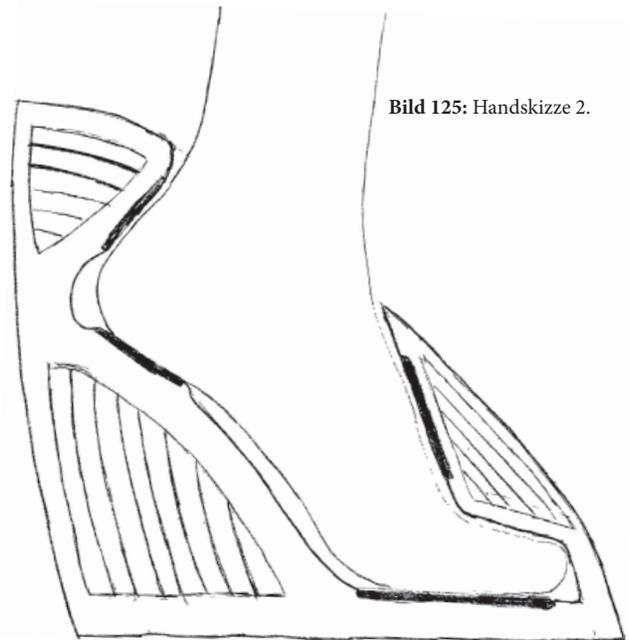
Um den Materialaufwand zu verringern und die Effizienz zu steigern, wies das Objekt an einzelnen Bereichen Aussparungen auf. Diese wurden mittels Spinnweben miteinander verbunden, um eine neue Dreidimensionalität zu schaffen, die aufgrund des Herstellungsverfahrens (Lasercutten) verloren ging. Der Gebrauch von Fäden erhöhte zusätzlich die Stabilität des Schuhs, da diese einen Verbund der einzelnen Module herbeiführte.

Der nächste Schritt lag nun in der Herstellung eines Arbeitsmodells, um die Technik zu überprüfen.

Bild 124: Abstrahiertes Spinnennetz.



Bild 125: Handskizze 2.





## BIONIK I | ENTWURF LASERCUT I

Der erste Entwurf wurde als Arbeitsmodell mit Hand gefertigt, um einen ersten dreidimensionalen Eindruck des Designs zu erhalten.

Es handelte sich um ein Stecksystem, welches aus einzelnen Modulen bestand, die ohne Zugabe von Klebstoff ineinander gesteckt wurden. Diese mussten rechtwinkelige Verbindungen aufweisen, um ideale Verhältnisse zu schaffen. Durch die Anwendung von Fäden wurde die Struktur noch zusätzlich ausgesteift und die Stabilität des Schuhs erhöht, da die Spinnweben einen Verbund der einzelnen Elemente gewährleisteten. Diese Technik erzeugte eine neue Dreidimensionalität, die aufgrund des späteren Lasercuttings verloren gegangen wäre.

Um im Bereich des Fußrückens und der Ferse die Stabilität zu verbessern, wurde an diesen Stellen vorerst mehr Material verwendet.

### Erkenntnis

- In dieser Entwicklungsstufe stimmte das Verhältnis zwischen dem Plateau und dem Absatz noch nicht überein. Dies entwickelte sich erst aus der Schuhstudie, die in einem späteren Schritt durchgeführt wurde.

- Auch das Fußbett wurde in dem Entwurf noch nicht berücksichtigt, da keine passende Lösung vorlag.

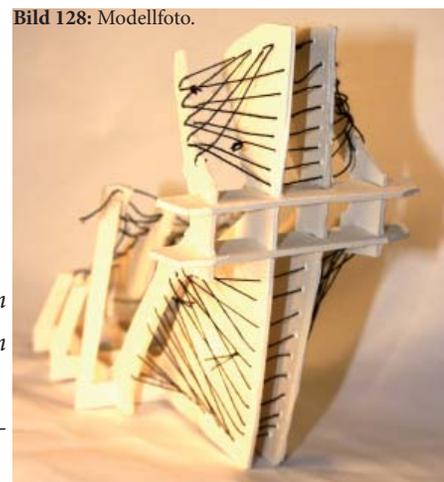
Bild 126: Modellfoto.



Bild 127: Modellfoto.



Bild 128: Modellfoto.



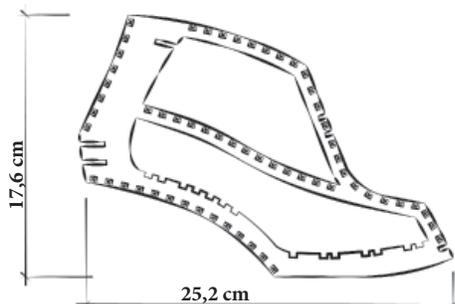


Bild 129: Element für Fußaußenseite.

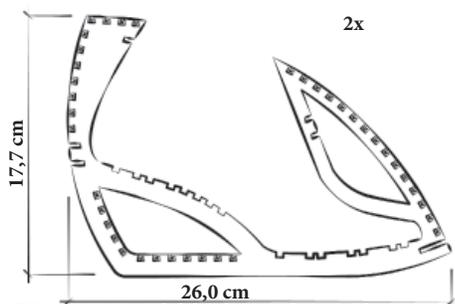


Bild 130: 2x Modul für den mittleren Teil.

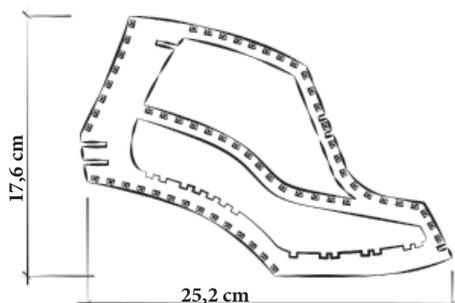


Bild 131: Element für Fußinnenseite.

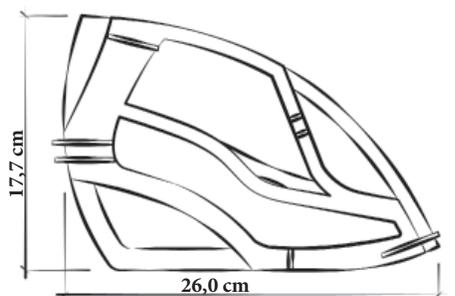


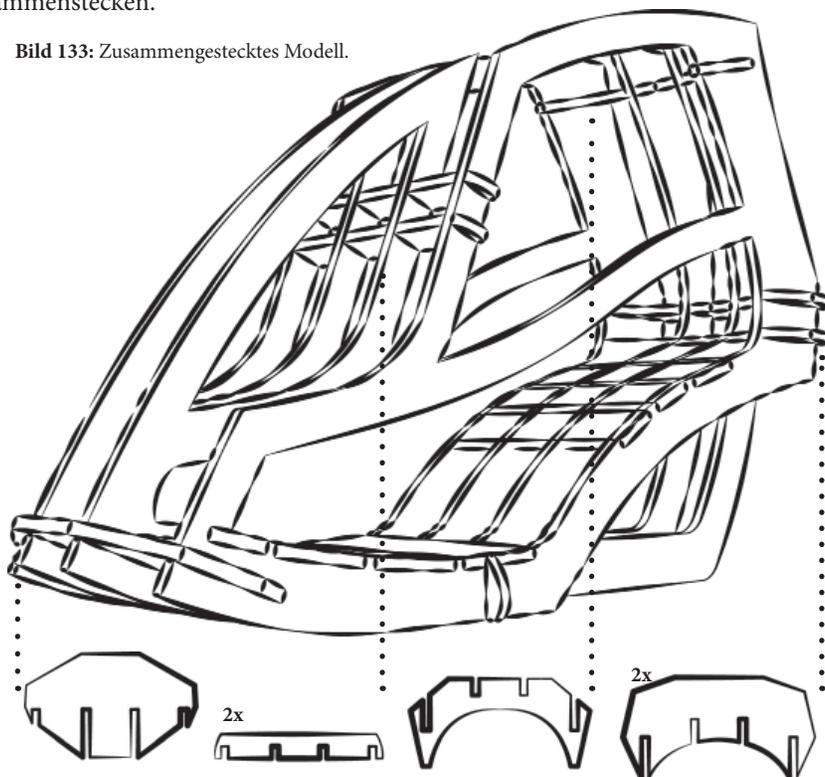
Bild 132: Ansicht aller Teile zusammen.

## BIONIK I | ENTWURF LASERCUT II

Das verbesserte Objekt wurde in Rhino 3D modelliert und anschließend in eine zweidimensionale Zeichnung, bestehend aus einzelnen Modulen, umgewandelt, um es für den Lasercut vorzubereiten. Somit entstanden 11 Elemente, wobei die Bodenplatten für das Fußbett noch nicht mitgezählt wurden.

Nach dem Lasercut, welcher aus Finnpappe ausgeführt wurde, konnte man die Teile zusammenstecken.

Bild 133: Zusammengestecktes Modell.





## BIONIK I | ENTWURF LASERCUT II

Das erste Laser gecuttete Modell aus Finnplatte enthielt bereits die richtige Höhe des Absatzes, die im Kapitel V (SCHUHSTUDIE | Resümee) anhand einer Studie ermittelt wurde.

Der neue Entwurf spielte mit Materialausparungen an geeigneten Stellen, um eine gewisse LEICHTIGKEIT des Objektes zu erlangen. Somit bekam das Design eine erwünschte DURCHLÄSSIGKEIT, durch die spannende Blickbeziehungen, vor allem während des Gehens, auftraten.

Die VERBINDUNG erfolgte wie im Arbeitsmodell mit Hilfe eines STECKSYSTEMS, das ohne jeglichen Klebstoff auskam. Die einzelnen MODULE waren demnach wieder leicht zu entfernen und ermöglichten somit ein großes Maß an FLEXIBILITÄT. Falls einzelne Teile zerbrachen, konnten sie mühelos mit neuen ausgetauscht werden.

In diesem Entwurfsstadium wurde bereits an einem geeigneten Fußbett geforscht. Dabei handelte es sich um von einander getrennte Platten, die mit den vertikalen Scheiben eine Verbindung eingingen und gleichzeitig die Stabilität des Systems erhöhten.

Weiters wurde der Vorder- und Hinterteil mit einer Art Streben zu einer geschlossenen Struktur geformt. Leider zeigte sich, dass diese im Bereich des Knöchels zu eng waren und somit ein Anziehen des Schuhs fast unmöglich machten.

Die TECHNOLOGIE des Webens wurde in dem Entwurf angewendet, um dem Objekt eine verstärkte Dreidimensionalität zu verleihen und das Aussehen des Schuhs je nach Bedarf zu verändern. Somit konnte zum Beispiel mit der Dichte des Systems gespielt werden. Um geeignete Öffnungen für die Fäden zu entwickeln wurden verschiedene getestet. Diese waren jedoch ungeeignet, da die Anstrengungen beim Hineinfädeln zu groß waren.

Zusätzlich stellte sich heraus, dass der Schuh im vorderen Bereich zu schmal und zu spitz war.



Bild 134: Modellfoto.



Bild 135: Modellfoto.



Bild 136: Modellfoto.

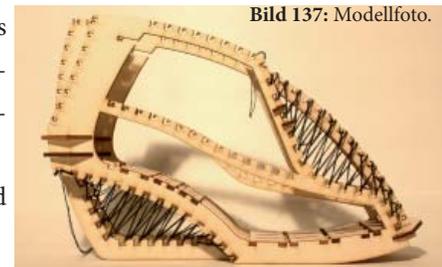
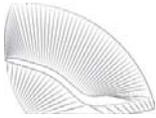
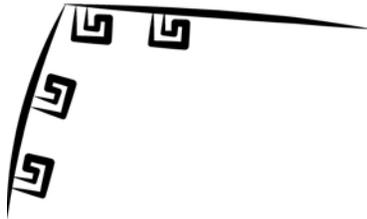


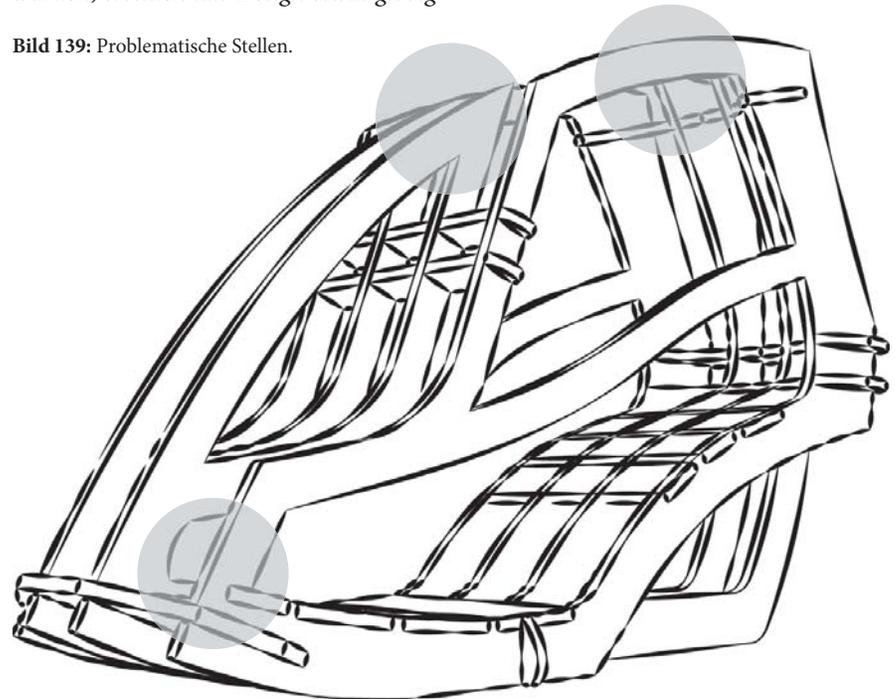
Bild 137: Modellfoto.

**BIONIK I | ENTWURF LASERCUT II***Erkenntnis*

**Bild 138:** Öffnungen für Schnüre.

- Der Bereich im Knöchel erwies sich leider als zu eng, weshalb ein Anziehen des Schuhs fast unmöglich war.
- Die Öffnungen für die Fäden waren ungeeignet, da die Anstrengung beim Hineinfädeln zu groß war.
- Zusätzlich stellte sich heraus, dass der Schuh im vorderen Teil zu schmal und zu spitz war.
- Da der Schwung und die unterschiedlichen Längen der Zehen nicht berücksichtigt wurden, erschien das Design etwas globig

**Bild 139:** Problematische Stellen.



## BIONIK I ENTWURF LASERCUT III

Anhand der Erkenntnisse aus dem oben genannten Lasercut entstand nun dieses dritte, verbesserte Modell aus Finnplatte. Im Bereich der Knöchel wurden die Streben entfernt, um mehr Platz zu schaffen und somit ein Einsteigen zu erleichtern. Die Öffnungen der Fäden wurden als Kreise ausgeführt, welche das Verbinden der Schnüre erheblich erleichterte. Zusätzlich wurden im vorderen Teil des Schuhs Querverstreben eingebaut, um die Auftrittsfläche somit zu vergrößern.

Bild 140: Gesamtes Stecksystem.

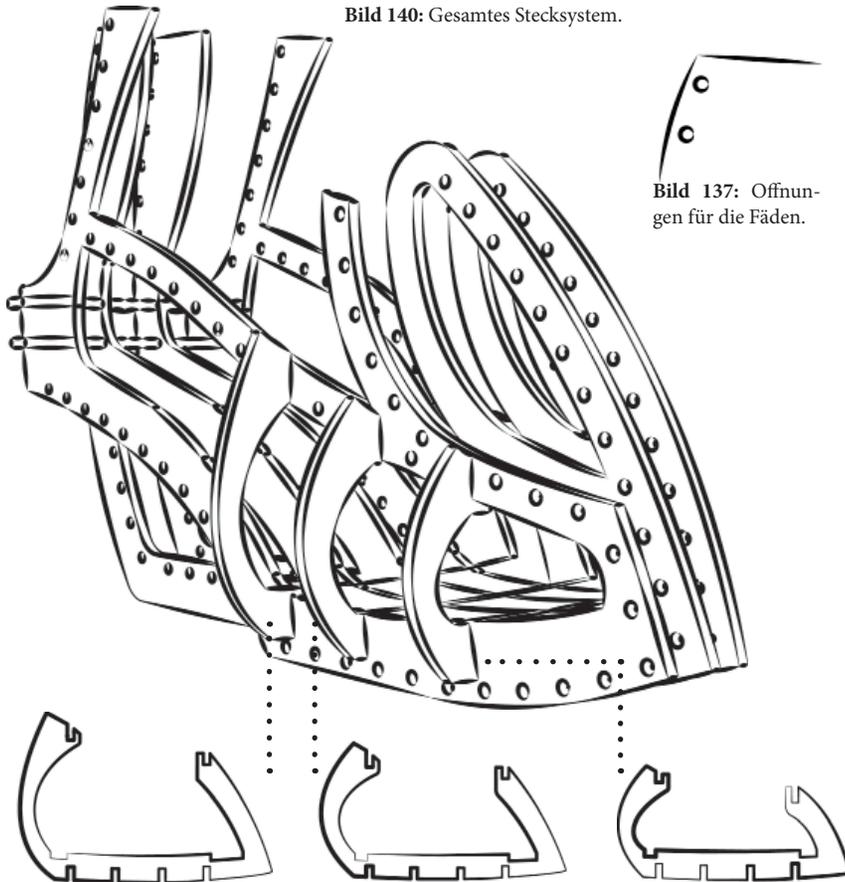


Bild 137: Öffnungen für die Fäden.

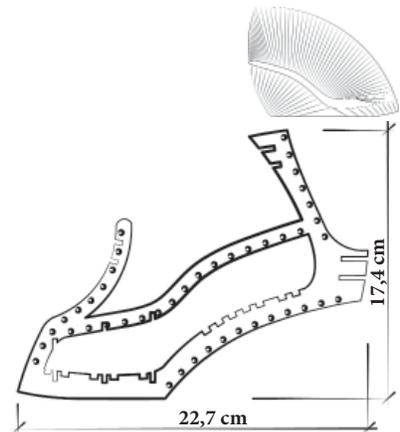


Bild 141: Element für Fußaußenseite.

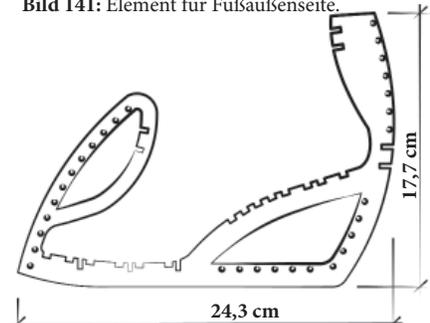


Bild 142: Modul für den mittleren Teil.

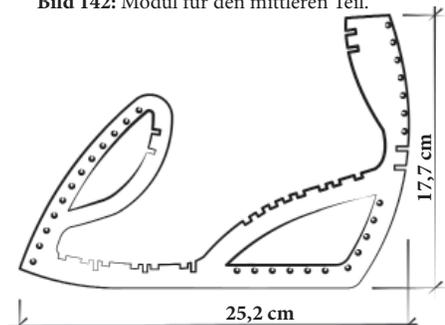


Bild 143: Modul für den mittleren Teil.

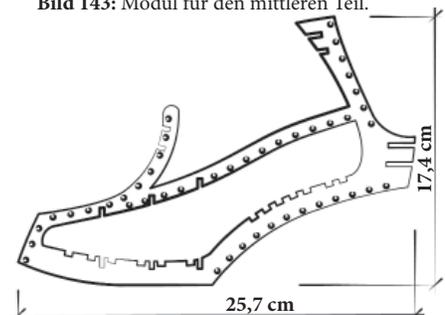


Bild 144: Element für Fußinnenseite.



Bild 145: Modellfoto.



## BIONIK I | ENTWURF LASERCUT III

Der neue Entwurf verzichtete auf die Verstrebungen zwischen Vorder- und Hinter- teil im Bereich der Knöchel, um die Öffnung zu vergrößern und somit ein Anziehen zu erleichtern. Zusätzlich wurden die spitzen Elemente im Gebiet des Fußrückens abgerundet, um eine Verletzungsgefahr zu vermeiden.

Bild 146: Modellfoto.



Neue Querverstrebungen im Bereich des Fußballens sorgten für eine Vergrößerung, die das Tragen des Schuhs erheblich verbesserte. Der Steckmechanismus musste noch verbessert werden, da nicht alle Querverstrebungen richtig fixiert werden konnten.

Um der Struktur des Fußes zu folgen und um auf die unterschiedliche Länge der Zehen einzugehen wurden alle vertikalen Module verschieden lang ausformuliert. Demnach waren sie im Bereich des großen Zehs am längsten und im Bereich des kleinen Zehs am kürzesten.

Die Öffnungen für die Fäden wurden in diesem Entwurf verändert, um das Weben einfacher zu gestalten. Diesmal handelte es sich um Kreise, die das Durchfädeln im Vergleich zum Entwurf II in der Tat erleichterten.



Bild 147: Modellfoto.

### Erkenntnis

- Der Bereich im Knöchel erwies sich leider immer noch nicht als schlüssig, weil er beim Gehen rieb.
- Nun war es an der Zeit, den ersten Prototyp aus Acrylglas zu fertigen.

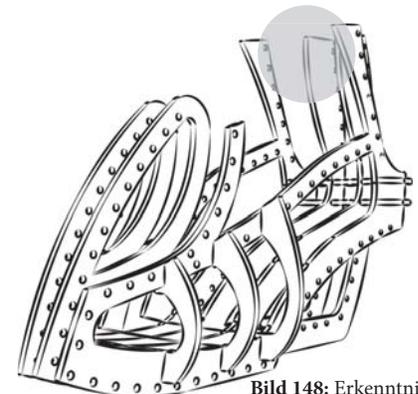


Bild 148: Erkenntnis.

## BIONIK I | ENTWURF LASERCUT IV

Aufgrund der Erkenntnisse aus dem zuvor erläuterten Entwurf entstand nun dieses angepasste, vierte Modell aus 3mm dickem, extrudiertem Acrylglas. Schnell stellte sich heraus, dass die Stärke von 3mm zu wenig war. Vor allem da es sich beim verwendeten Acrylglas, um einen sehr spröden Baustoff handelte. Sehr viele Teile brachen bereits beim Transport auseinander.

Bild 149: Gesamtes Stecksystem.

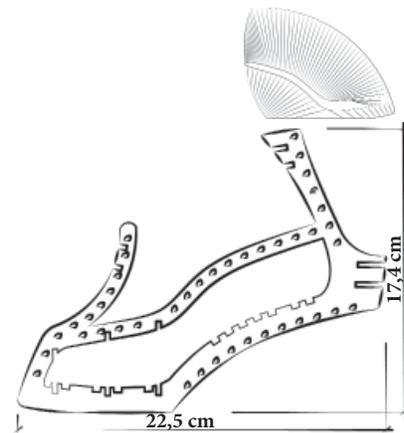
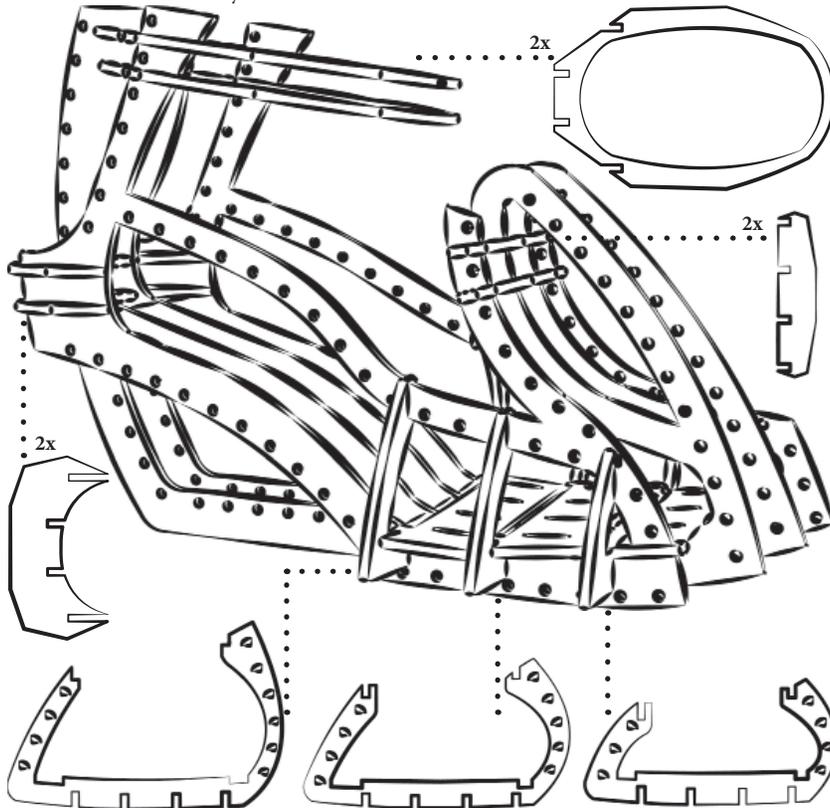


Bild 150: Element für Fußaußenseite.

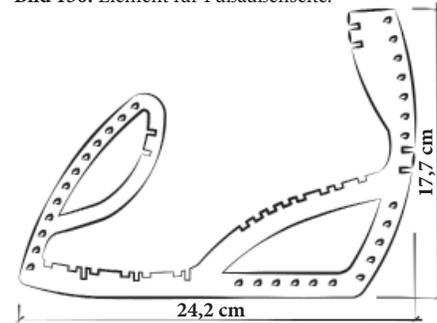


Bild 151: Modul für den mittleren Teil.

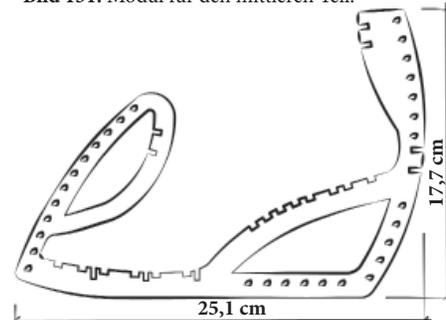


Bild 152: Modul für den mittleren Teil.

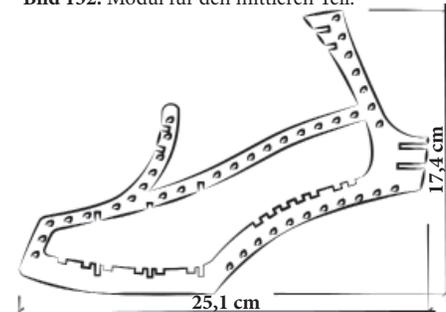


Bild 153: Element für Fußinnenseite.



Bild 154: Modellfoto.



Bild 155: Modellfoto.



Bild 156: Modellfoto.

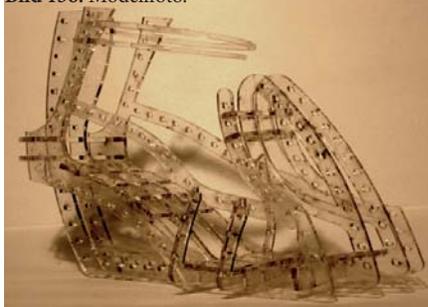
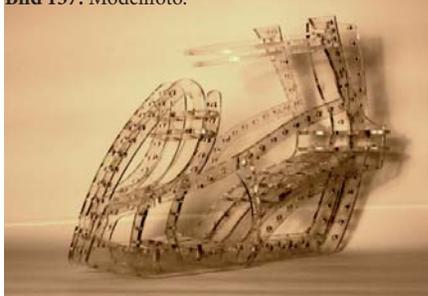


Bild 157: Modellfoto.



## BIONIK I | ENTWURF LASERCUT IV

Im neuen Entwurf spielte das verwendete Material die wichtigste Rolle. Anhand dieses Prototyps konnte ich nun die Probleme erkennen, die beim Gebrauch von extrudiertem Acrylglas auftraten. Da eine Plattenstärke von nur 3mm als Vorlage diente, gab es einige Stellen, die bereits beim Zusammenstecken brachen. Resultierend aus diesem Ergebnis, wurde im nächsten Schritt von einer größeren Dicke des Acrylglases ausgegangen. Ich versuchte ein zu enges Zusammenlaufen der einzelnen Teile zu vermeiden.

Die Problematik im Bereich des Knöchels konnte mit der neuen Variante nicht gelöst werden. Das runde Stabilisierungsmodul wurde zu klein ausformuliert und rutschte beim Gehen aus seiner Verankerung. Darüberhinaus war die Auskrägung für eine statische Belastung ungeeignet.

Die Öffnungen für die Fäden wurden in diesem Entwurf wieder verändert. Die ehemaligen Kreise wurden von Ellipsen ausgetauscht, die die Form des Schuhs widerspiegeln.

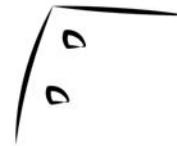
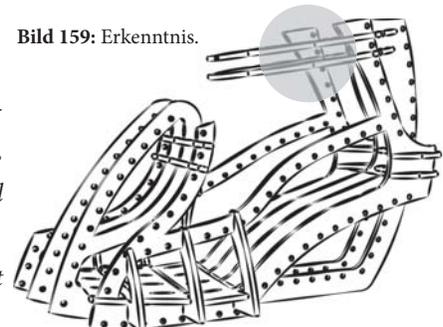


Bild 158: Öffnungen für die Fäden.

### Erkenntnis

- Die Module im Bereich der Knöchel waren leider immer noch nicht verwendbar, da sie den Fuß einengten und sehr schnell brachen.
- Die Dicke des Acrylglases musste erhöht werden.

Bild 159: Erkenntnis.



## BIONIK I | ENTWURF LASERCUT V

Bei diesem fünften Entwurf stand das Material im Hauptaugenmerk der Ausführung. Dabei handelte es sich um 5mm dickes, extrudiertes Acrylglas. Mit diesen Einstellungen entstanden mehrere Modelle, die noch einige Probleme im Bereich des Tragekomforts aufwiesen. Dies galt in den nächsten Schritten zu verbessern.

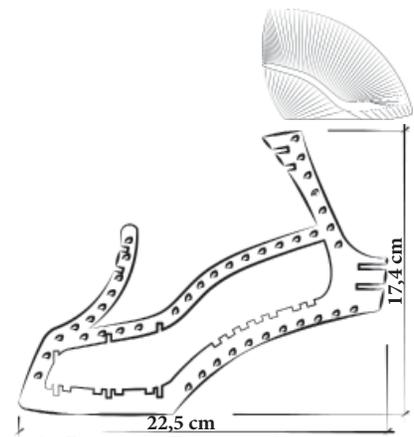
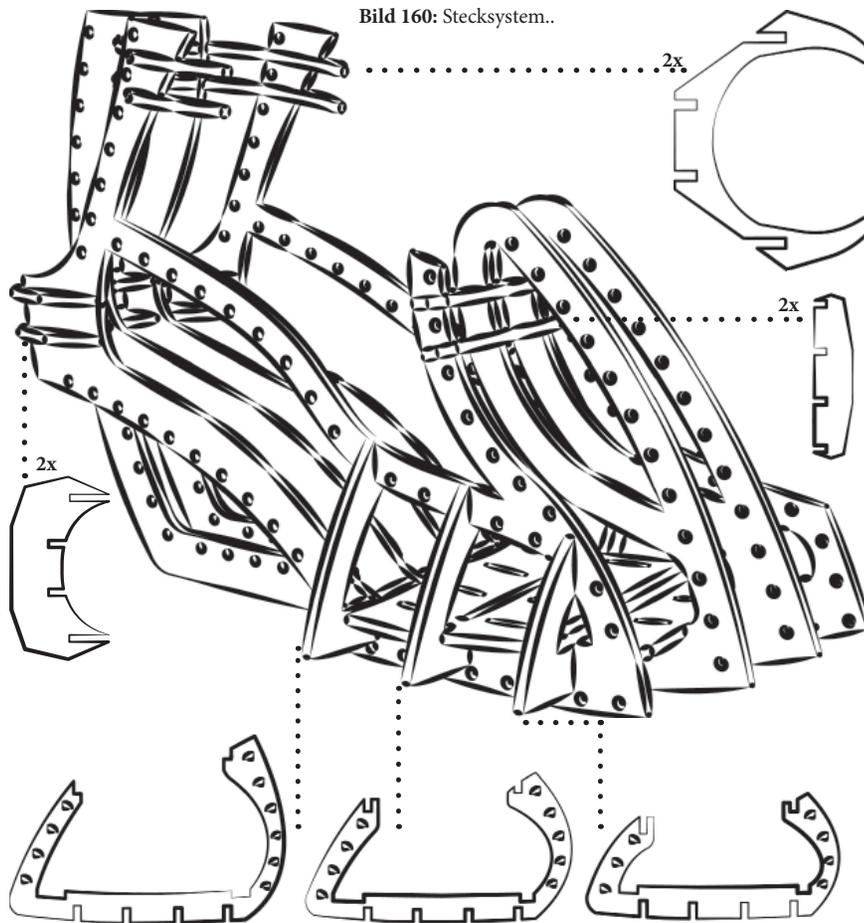


Bild 161: Element für Fußaußenseite.

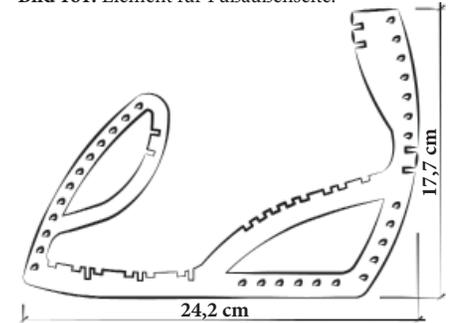


Bild 162: Modul für den mittleren Teil.

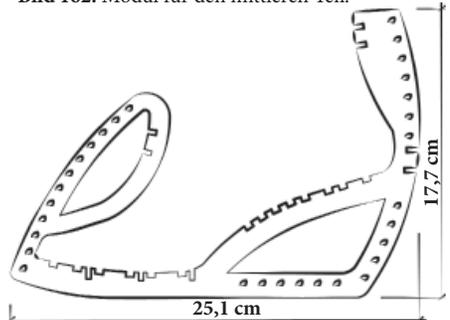


Bild 163: Modul für den mittleren Teil.

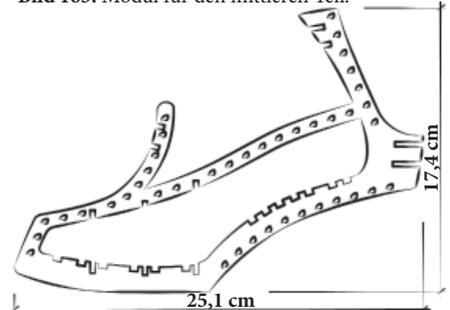


Bild 164: Element für Fußinnenseite.

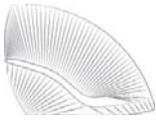


Bild 165: Modellfoto.



## BIONIK I | ENTWURF LASERCUT V

Dieses Modell wurde aufgrund seiner spröden Eigenschaften nun aus 5mm dickem Acrylglas gefertigt, statt der ehemaligen 3mm. Dennoch zerbrachen einige filigrane Elemente bereits beim Zusammenstecken. Es schien sich um ein ausgesprochen sprödes Material zu handeln. Daraus ergab sich im nächsten Schritt ein Arbeiten mit gegossenem Acrylglas, statt mit extrudiertem und ein Verzicht von kleinen, filigranen Modulen.

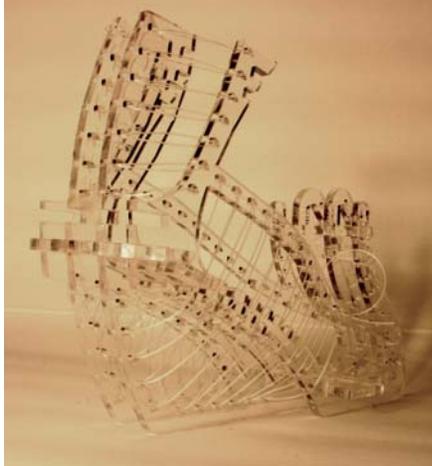
Bild 166: Modellfoto.



Bei diesem Entwurf wurden neue, durchsichtige Fäden ausprobiert, die einen Durchmesser von 0,7mm aufwiesen. Zu diesem Zeitpunkt war ich mit der komplett durchsichtigen Optik noch nicht zufrieden und überlegte Alternativen zu finden.

Der Bereich des Knöchels wurde wieder abgeändert und passte sich somit der Form des Fußes besser an. Die Ausführung schien aber immer noch nicht perfekt.

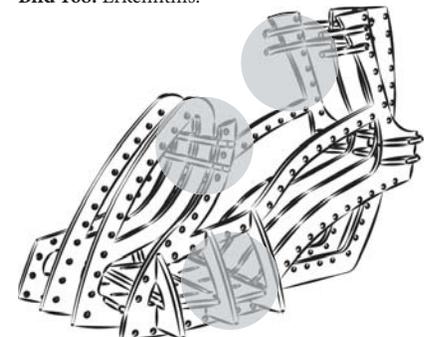
Bild 167: Modellfoto.



### Erkenntnis

- Da es sich um ein sehr sprödes Material handelte, mussten die einzelnen Elemente stärker ausgeführt werden.
- Statt extrudiertem Acrylglas sollte im nächsten Schritt gegossenes getestet werden.
- Verschieden farbige Schnürungen sollten ausprobiert werden, um die Veränderung der Optik zu überprüfen und deren Auswirkungen auf die Stabilität.

Bild 168: Erkenntnis.



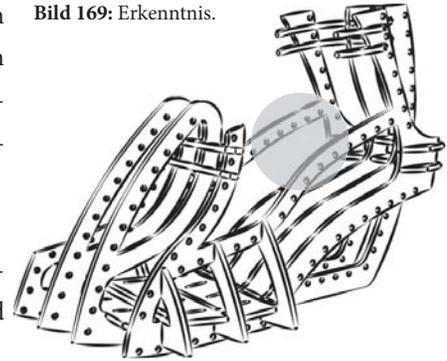


## BIONIK I | ENTWURF LASERCUT VI

Im sechsten Test wurde auf filigrane Elemente verzichtet, weshalb ein Zerbrechen der einzelnen Teile des Stecksystems ausblieb. Jedoch stellte sich heraus, dass durch die Anwendung einer stärkeren Acrylglasplatte, und zwar 5mm statt 3mm, die seitlichen Verstrebungen des Schuhs beim Gehen zu eng saßen, weshalb diese nachgaben und zur Gänze brachen.

Nun war es an der Zeit den Prototyp breiter zu gestalten, aber dennoch das schlanke Aussehen beizubehalten. Dieser Schritt wird sich noch als sehr langwierig und problematisch erweisen.

Bild 169: Erkenntnis.



### GANZ

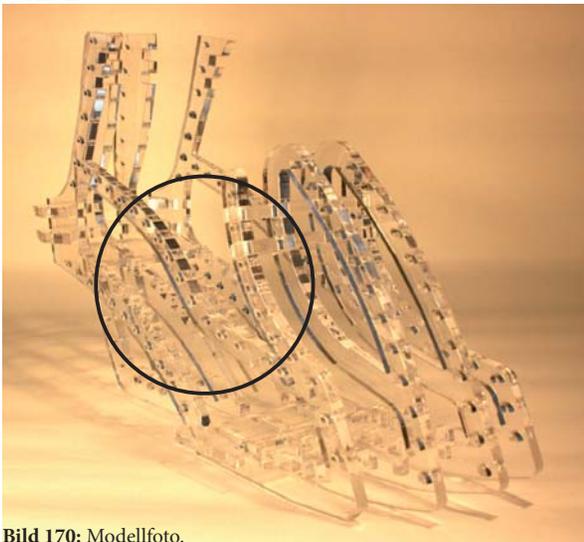


Bild 170: Modellfoto.

### GEBROCHEN

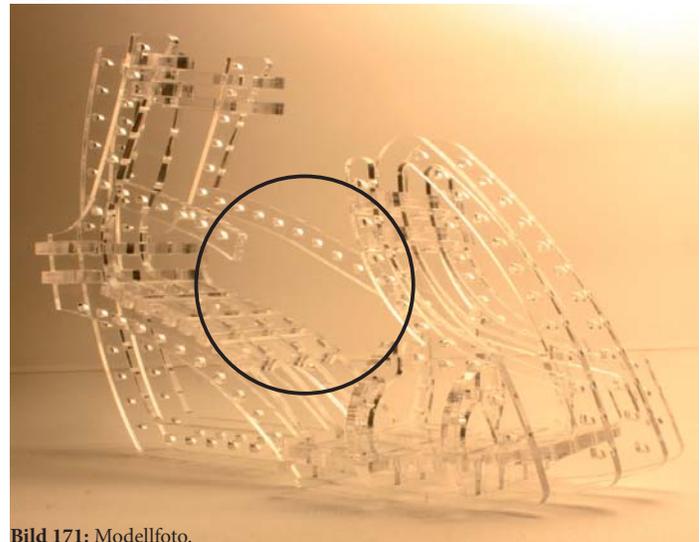


Bild 171: Modellfoto.

## BIONIK I | ENTWURF LASERCUT VII

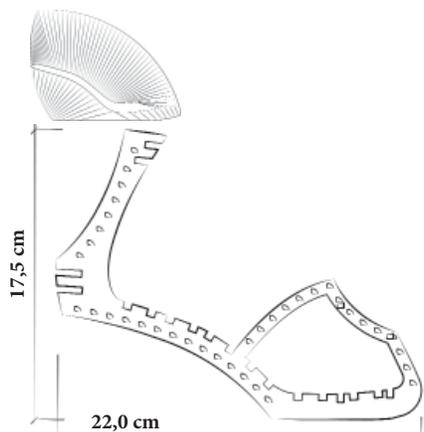


Bild 172: Element für Fußaußenseite.

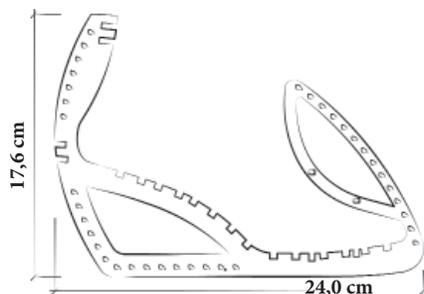


Bild 173: Modul für den mittleren Teil.

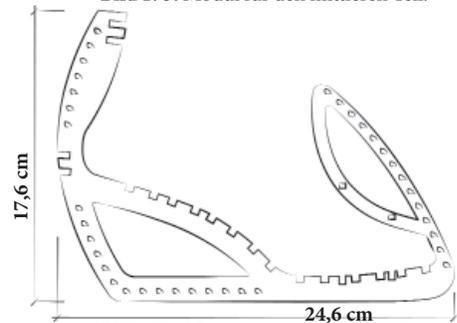


Bild 174: Modul für den mittleren Teil.

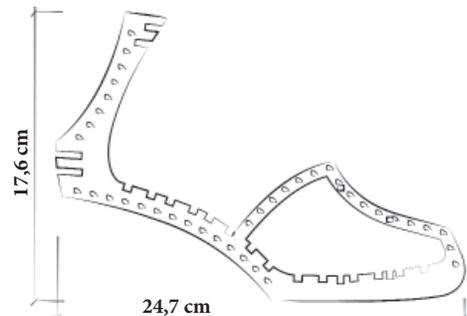


Bild 175: Element für Fußinnenseite.

Der siebte Entwurf ging auf die seitlichen Verstrebungen ein, die im Prototyp zuvor beim Tragen brachen. Weiters wurden die Querverbindungen durch neue ausgetauscht. Auf der nächsten Seite wird auf die Probleme und Fortschritte im Detail eingegangen.

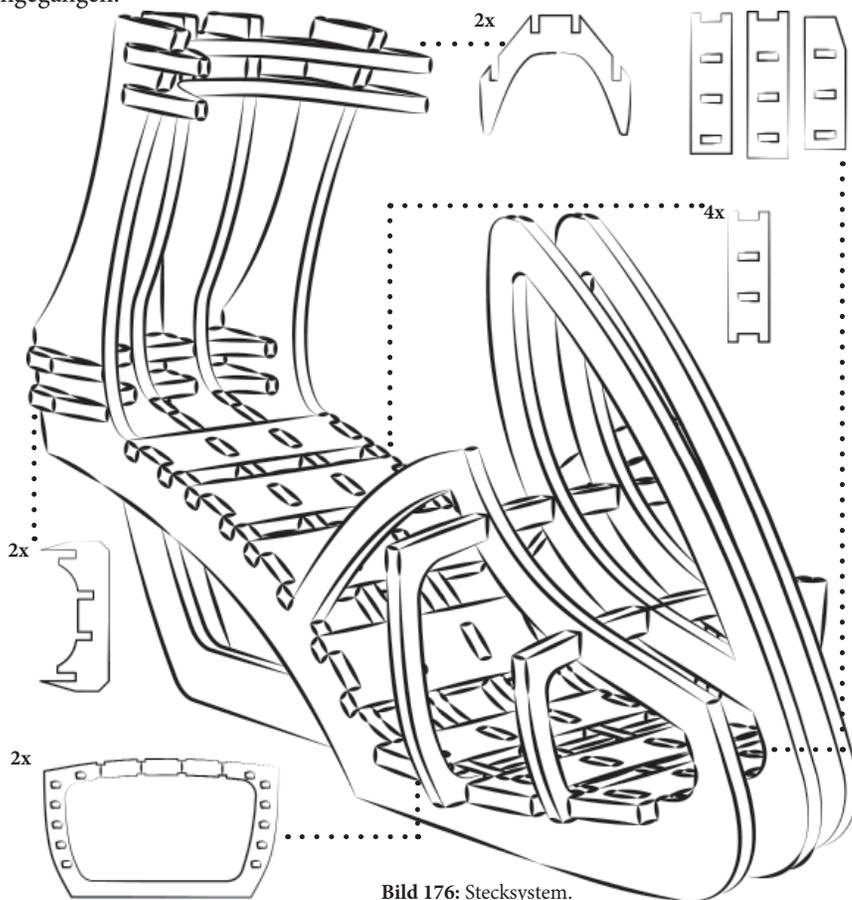


Bild 176: Stecksystem.

## BIONIK I | ENTWURF LASERCUT VII

In dem neuen Modell kam Pappelholz zum Einsatz, um die Beschaffenheit eines anderen Materials im Vergleich zu Acrylglas zu überprüfen. Die Stärke betrug 4mm, damit das Erscheinungsbild des Prototypen nicht zu wuchtig wirkte, sondern Leichtigkeit vermittelte. Gleichzeitig wurde somit die Statik ausgereizt, da die Schichtdicke der Holzplatte im Vergleich zum vorigen Modell um 1mm dünner wurde.

Die seitlichen Verstrebungen wurden von der Kontur des *High Heels 1* im Kapitel (SCHUH STUDIE) inspiriert und neu angeordnet. Sie betonten nun die natürliche Form des Fußes. Es zeigte sich aber, dass diese symmetrischen Verstrebungen wieder zu eng am Fuß saßen, sodass ein Anziehen des Schuhs sehr umständlich war.

Die Querverbindungen wurden von durchgehenden Rahmen abgelöst, die eine zusätzliche Aussteifung im vorderen Bereich ermöglichten.

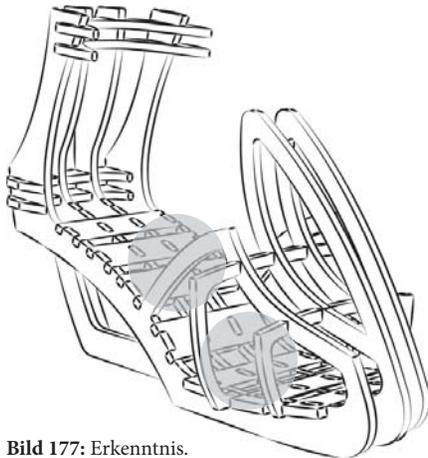


Bild 177: Erkenntnis.

### Erkenntnis

- Die symmetrische Anordnung der seitlichen Verstrebungen war für das Anziehen kontraproduktiv, weshalb auf diese im nächsten Schritt verzichtet werden musste.
- Die rechteckigen Querverbindungen wurden zu dünn ausgeführt (5mm), weshalb sie schnell brachen. Das neue Modell sollte mit mindestens 10mm dicken Querverbindungen ausgeführt werden.

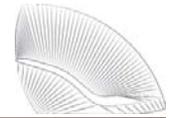


Bild 178: Modellfoto.



Bild 179: Modellfoto.



Bild 180: Modellfoto.





Bild 181: Fußaußenseite.

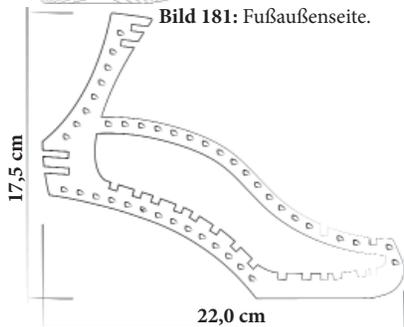


Bild 182: Modul des mittleren Teiles.

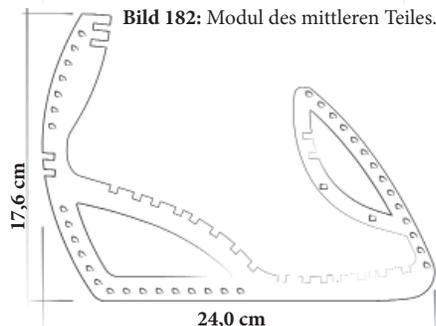


Bild 183: Modul für den mittleren Teil.

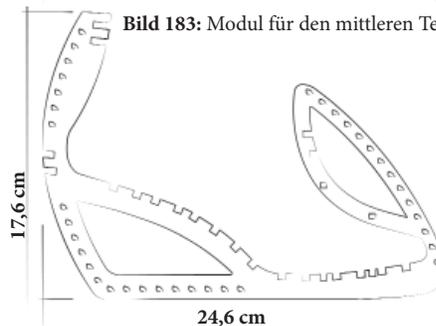
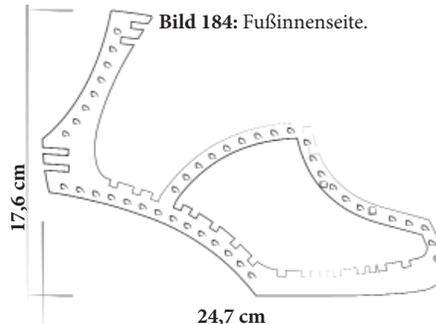


Bild 184: Fußinnenseite.



## BIONIK I | ENTWURF LASERCUT VIII

Der achte Entwurf vereinigte alle Erkenntnisse der letzten Modelle, um den Prototyp zu perfektionieren. Die Grundform, die seit dem ersten Design ersichtlich war, wurde beibehalten und verbessert. Nur einzelne Elemente wurden entweder ausgetauscht oder stärker ausgebildet, um die Funktion des Schuhs zu erfüllen.

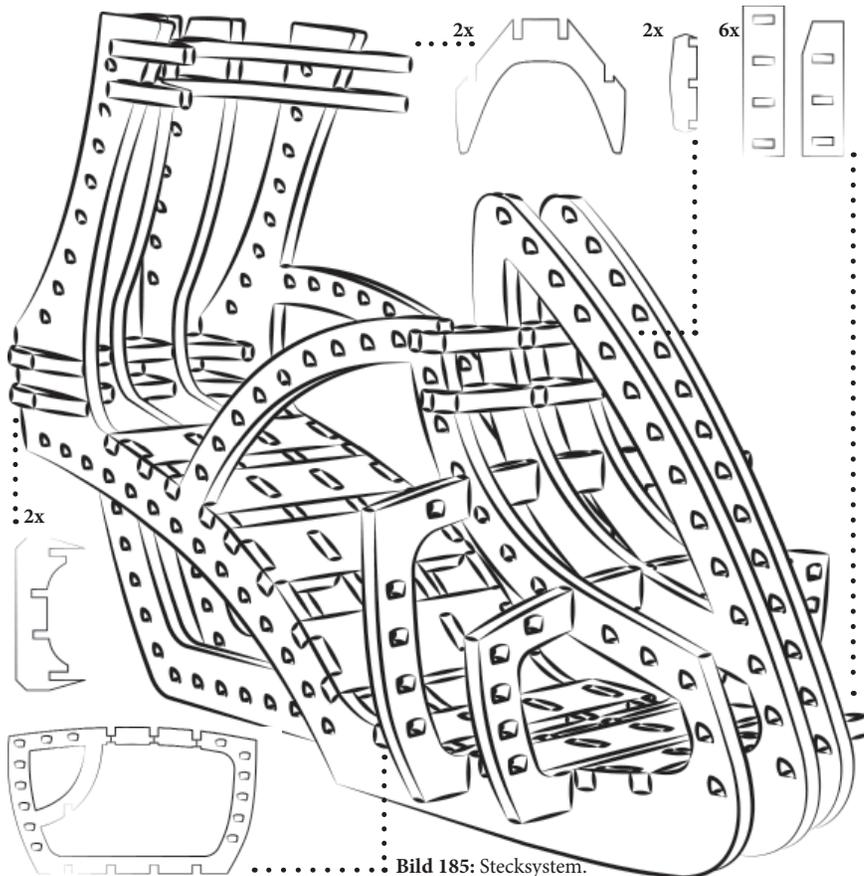


Bild 185: Stecksystem.

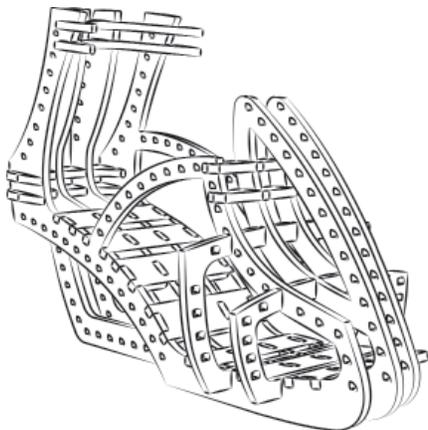


## BIONIK I | ENTWURF LASERCUT VIII

Das achte Modell, das wieder aus 4mm Pappelholz gefertigt wurde, verbesserte die Anordnung der seitlichen Verstrebungen. Diese wurden nicht mehr symmetrisch ausgebildet, was das Anziehen des Schuhs erheblich erleichterte und die Optik kontrastreicher erscheinen ließ. Auch während des Gehens reibten diese Stellen nicht mehr am Fuß, weshalb die Form als durchaus komfortabel bezeichnet werden kann.

Die Stärke der durchgehenden Querverbindungen wurde auf 10mm erhöht, um ein Brechen der Elemente zu vermeiden. Optisch harmonisierte diese Variante besser mit dem Gesamtbild des Objektes.

Die Idee des Webens wäre zwar für das Erscheinungsbild, die Dreidimensionalität und die Aussteifung des Objektes von Vorteil, führte jedoch zu keinem sinnvollen Ergebnis, da das Anbringen der Fäden sehr zeitaufwendig und mühsam war. Je nach Leidenschaft des Nutzers, konnte die Anordnung der Fasern zwischen ausgefallen und schlicht variieren.



### Erkenntnis

- Die Dauer für das Lasercutten eines Schuhpaares aus Holz betrug 30 Minuten.
- Das Weben war sehr zeitaufwendig und mühsam, dennoch sollte die aussteifende Wirkung nicht vernachlässigt werden.
- Leider waren alle Holzplatten verzogen, weshalb eine gewisse Ungenauigkeit während des Cuttens entstand.

Bild 186: Modellfoto.

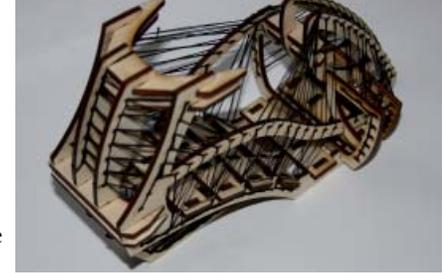


Bild 187: Modellfoto.



Bild 188: Modellfoto.



Bild 189: Modellfoto.





Bild 190: Modellfoto.



Bild 191: Modellfoto.

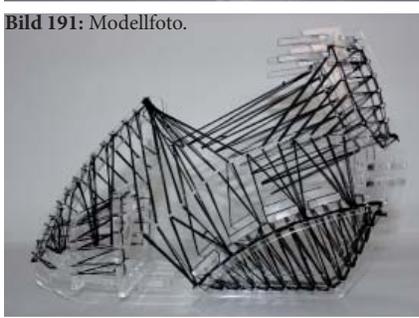


Bild 192: Modellfoto.

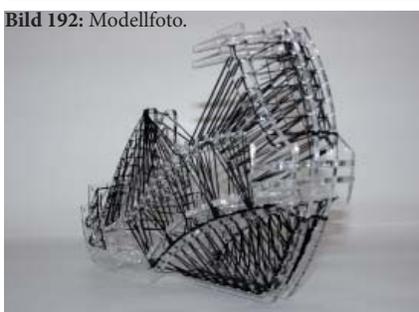


Bild 193: Modellfoto.

## BIONIK I | ENTWURF LASERCUT IX

Der neunte und somit letzte Prototyp, der mit Hilfe des Lasercutters aus gegossenem Acrylglas hergestellt wurde, konnte meine Erwartungen erfüllen. Im Vergleich zum extrudierten Acrylglas, das in den Entwürfen zuvor verwendet wurde, war der gegossene Werkstoff etwas flexibler und nicht so spröde. Vielleicht lag das auch an der neuen Materialstärke von 4mm, die den früheren Entwurf um 1mm unterschritt.

Die Anordnung der Elemente war mit der des hölzernen Modelles ident. Der einzige Unterschied in der Optik war der angewandte Werkstoff. Dadurch bekamen die beiden Prototypen ein sehr konträres Auftreten. Das hölzerne Objekt wirkte durch seine Farbe sehr warm und der Acrylschuh hingegen spielte mit der Durchsichtigkeit des Materials, weshalb spannende Effekte entstanden. Ein Vorteil des Acrylglases gegenüber dem Holz war die präzise Herstellung der Platten, weshalb alle Teile des Stecksystems sehr exakt waren.

Das Weben war wie im Entwurf zuvor erwähnt sehr mühsam und zeitintensiv. Dennoch musste es für die Aussteifung des Schuhs und für die Verbindung der einzelnen Module, durchgeführt werden. Das Weben konnte aber bei diesem Prototyp durch die Anwendung einer gebogenen Nadel deutlich vereinfacht und somit zügiger ausgeführt werden.

### Erkenntnis

- Das gegossene Acrylglas verhielt sich im Vergleich zu dem extrudierten Acrylglas etwas flexibler. Weitere Unterschiede waren nicht erkennbar.
- Die Dauer für das Lasercutten eines Schuhpaares aus Acrylglas betrug 50 Minuten.
- Das zeitaufwendige Weben sollte verbessert werden.

Bild 194-199: Modellfotos der letzten beiden Prototypen.

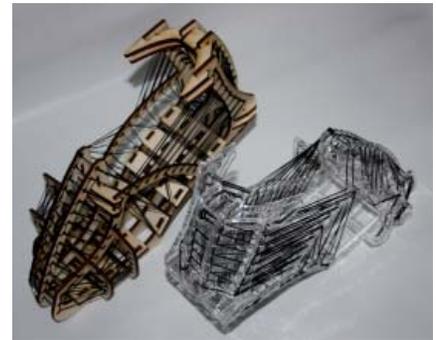
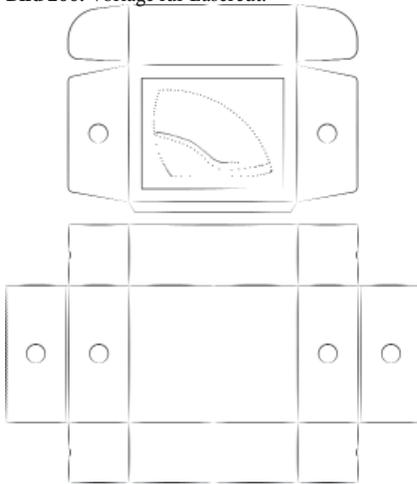


Bild 200: Vorlage für Lasercut.



## BIONIK I | Box

Die Box für den Laser gecutteten Prototypen wurde nicht wie herkömmliche Schuhgeschachteln ausgeführt. Sie wurde aus 1,5mm starken, schwarzen Wellpappe gefertigt, die an den Stellen, die geknickt werden mussten, eingeritzt wurde.

Auf der Deckfläche wurde ein Fenster aus Plexiglas angebracht, auf dem das Logo des Schuhs zu erkennen ist. Das Logo entstand händisch, indem schwarze Fäden an vordefinierten Löchern platziert wurden. Durch das durchsichtige Plexiglas wird dem Nutzer ermöglicht in das Innere der Schachtel zu blicken.

Das Logo bekam sein Aussehen durch die Form eines abstrahierten Blattes, welches wie im Prototypen durch sogenannte Spinnweben ausgesteift wurde.

Bild 201-203: Schuhgeschachtel.

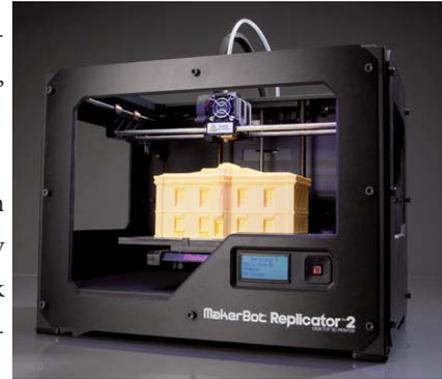


**PLANUNGSPROZESS II | 3D DRUCK**

Durchgeführte Studien im Bereich des 3D Drucks behaupten, dass in fünf Jahren jeder zweite Haushalt über einen 3D Drucker (wie im Bild 165) verfügen wird.<sup>83</sup> Somit kann ich den 3D gedruckten Prototyp einer breiten Massen zugänglich machen, die das Objekt bequem von zu Hause aus fertigen kann.

Andere Personen, die sich mit 3D Druck befassen, wie zum Beispiel die Designerin Iris van Herpen, mutmaßen, dass sich aufgrund der hohen Kosten bei qualitativ hochwertigen 3D Druckern viele Geschäfte entwickeln werden, die einen 3D Druck möglich machen. Somit können Privatpersonen, die über eine Datei eines dreidimensionalen Modells verfügen, Objekte von hoher Qualität anfertigen lassen.

Zusätzlich spielt die außergewöhnliche Individualität und die mögliche Materialersparnis durch komplexe Strukturen beim Entwurf, eine wichtige Rolle. Auch können raffinierte Verbindungen von Schaft und Plateau des Schuhs ein hohes Grad an Flexibilität ermöglichen. So können zum Beispiel an gewissen Stellen neue Teile in anderen Farben oder Mustern ausgetauscht werden. Auf dem Markt gibt es bereits einige Modelle, die mit Hilfe des 3D Druckers gefertigt wurden. Nun versuche ich zu beweisen, dass 3D gedruckte Schuhe tatsächlich tragbar sind.

**Bild 204:** 3D Drucker.

<sup>83</sup> Vgl. Thum, Marcel, (20.08.2014): Gartner-Marktforschung: 3D-Drucker in 5 Jahren auf den Markt etabliert, <<http://www.3d-grenzenlos.de/magazin/marktforschung/gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2014-bericht-2756853.html>>, in: <[www.3d-grenzenlos.de](http://www.3d-grenzenlos.de)>, 03.03.2015

Bild 205: Modell von Andreia Chaves.



## PLANUNGSPROZESS II | 3D DRUCK

Auf dem Markt gibt es bereits einige Schuhe, die mit Hilfe des 3D Druckers gefertigt wurden. Die angeführten Modelle wurden bereits im Kapitel IV DESIGN RESEARCH abgebildet und beschrieben, weshalb ich nicht näher auf deren Optik und Herstellung eingehe. Ob diese Schuhe nun wirklich bequem und dauerhaft zu tragen sind, wird in den kurzen Imagevideos, die existieren, nicht vermittelt.

Bild 206: Schuh von Continuum.



Dies inspirierte mich dazu, an der Technologie und der tatsächlichen Tragbarkeit 3D gedruckter Schuhmodelle, mit Hilfe eines eigens angefertigten Prototyp, zu forschen. Auch spielte die Wahl des Druckmaterials eine Schlüsselrolle im Designprozess.

Ich ließ mich von diesen Entwürfen inspirieren und versuchte auch bei meinem Design auf die komplexen Geometrien, die vor allem in der Natur ihren Ursprung finden, einzugehen. Natürlich ohne auf die Ergonomie und die Tragbarkeit zu verzichten.

Bild 207: Aus der Kollektion von United Nude.



Programmierbefehle sollten die Umsetzung aufwendiger Strukturen und Muster vereinfachen. Es wird sich aber zeigen, dass die Modellierung und die Herstellung einer intakten .stl Datei (Dateiformat für 3D Drucker) einen langwierigen Entwicklungsprozess mit sich bringt.

## PLANUNGSPROZESS II | 3D DRUCK

### ProJet 5500X

<b>Nettobauvolumen (xyz)</b>	
HD Modus (High Definition)	550 x 393 x 300 mm
UHD Modus (Ultra High Definition)	550 x 393 x 300 mm
<b>Auflösung (xyz)</b>	
HD Mode	375 x 375 x 790 DPI; 32µ Schichten
UHD Mode	750 x 750 x 890 DPI; 29µ Schichten
<b>Baumaterial</b>	
VisiJet® CR-CL	Festes Kunststoffmaterial - Transparent
VisiJet® CR-WT	Festes Kunststoffmaterial - Weiß
VisiJet® CF-BK	Gummi-ähnliches Material - Schwarz
<b>Stützenmaterial</b>	VisiJet® S500 Stützenmaterial
<b>Verpackungseinheiten</b>	Baumaterial und Stützenmaterial in 2,0 kg Kartuschen. Anlage kann bis zu 4 Kartuschen Bau- und 4 Kartuschen Stützmaterial fassen mit automatischer Materialzufuhr.
<b>Strom</b>	100 VAC, 50/60 Hz, einphasig, 15 Amps 115 VAC, 50/60 Hz, einphasig, 15 Amps 240 VAC, 50/60 Hz, einphasig, 8 Amps
<b>Abmaße (BxTxH)</b>	
3D Drucker verpackt	2032 x 1219 x 1981 mm
3D Drucker unverpackt	1700 x 900 x 1650 mm
<b>Gewicht</b>	
3D Drucker verpackt	1157 kg
3D Drucker unverpackt	934 kg
<b>ProJet Accelerator Software</b>	Leichtes Einrichten des Druck-Jobs, Vorlagen- und Warteschlangen Management Automatische Teileplatzierung und Bearbeitungs-Optimierungswerkzeuge Teileschachtelung und -stapelung Umfangreiche Teilebearbeitungswerkzeuge Automatische Support-Erzeugung Jobstatistik
<b>Netzwerkcompatibilität</b>	10/100 Ethernet Schnittstelle
<b>Hardware Voraussetzung</b>	1.7 GHz mit 4GB RAM OpenGL 1.1 Unterstützung 1280x1024 Auflösung, oder mehr
<b>Betriebssystem</b>	Windows® 7, Windows® 8 oder Windows® 8.1
<b>Unterstützte Datei-Formate</b>	STL und SLC
<b>Umgebungs-Temperatur</b>	18 - 28 °C
<b>Geräuschpegel</b>	< 65 dBa geschätzt, bei mittlerer Lüftereinstellung
<b>Zertifikate</b>	CE

### 3D Drucker

Auf der Suche nach einer geeigneten Technologie, stieß ich auf den folgenden 3D Drucker, der es mir ermöglichte einen hybriden Prototyp herzustellen. Dabei handelte es sich um eine Technik, die es erlaubte unterschiedliche Härtegrade und Farben in einem Objekt zu vereinen.

Der 3D Drucker ProJet 5500X, der das Verfahren MultiJet Printing anwendet, wurde im Detail untersucht.

Ihm steht es frei zwischen vordefinierten Verbundmaterialien und direkt vom 3D Drucker gemischte Verbundwerkstoffe, die er in sieben verschiedenen Mischverhältnissen druckt, zu wählen.

Tabelle 2: Firma 3D System.

## PLANUNGSPROZESS II | 3D DRUCK

### ProJet 5500X - MultiJet Printing

MultiJet 3D Drucker, wie der ProJet 5500X, drucken dünne Schichten eines UV-härtenden flüssigen Kunststoffes auf eine Bauplattform. Stützen aus einem Wachs-material halten das Bauteil während des Bauvorgangs. Eine UV Lampe härtet jede Schicht aus. Die Bauplattform wird jeweils um eine Schicht abgesenkt, bevor die nächste Schicht Material aufgetragen und ausgehärtet wird, so lange bis das Bauteil fertig gedruckt ist.

Der ProJet® 5500X von 3D Systems setzt beim Druck von robusten Qualitätsteilen aus mehreren Materialien auf das erprobte MultiJet Printing (MJP) Verfahren. Teile können mit hervorragender Detailwiedergabe gedruckt werden und das in unterschiedlicher Biegsamkeit, Transparenz und Farbgebung (Schwarz, Weiß oder Grautöne). Der ProJet 5500X besticht mit der höchsten Druckgeschwindigkeit, einem großen Bauvolumen und dem einfachsten Handling. So wird es ganz leicht, Modelle mit technischen Kunststoffen oder Gummieigenschaften zu fertigen.

<b>VisiJet® Baumaterialien Bedingungen</b>	<b>VisiJet® CR-CL</b>	<b>VisiJet® CR-WT</b>	<b>VisiJet® CF-BK</b>
Beschreibung	Transparent wie Polycarbonat	Weiß wie ABS	Schwarz wie Gummi
Dichte bei 80 °C (flüssig) ASTM D 4164	1,04 g/cm <sup>3</sup>	1,04 g/cm <sup>3</sup>	1,04 g/cm <sup>3</sup>
Zugfestigkeit ASTM D 638	58 MPa	56 MPa	2,2 MPa
Zugmodul ASTM D 638	2442 MPa	2414 MPa	0,7 MPa
Bruchdehnung ASTM D 638	13 %	8,1 %	293%
Biegefestigkeit ASTM D 790	65 MPa	66 MPa	n/a
Härte Shore D Scale D	83	83	n/a

Tabelle 3: Firma 3D System.

## PLANUNGSPROZESS II | 3D DRUCK

### Vordefinierte Verbundmaterialien für den ProJet® 5500X 3D Drucker

Der Druckkopf des ProJet 5500X mischt präzise und direkt die VisiJet Verbundwerkstoffe und erzielt so noch bessere mechanische Eigenschaften und individuelle Materialeigenschaften. Der ProJet 5500X druckt und mischt dabei simultan flexible und steife Verbundwerkstoffe, Schicht für Schicht in Pixelgröße, in einer Vielzahl von Farben und Nuancen wie opak, transparent, Schwarz oder Weiß und unzähligen Grautönen.

Tabelle 4: Firma 3D System.

Eigenschaften	ASTM	Grundmaterialien		
Materialbezeichnung		VisiJet CR-WT	VisiJet CR-CL	VisiJet CF-BK
Beschreibung		Steif wie ABS	Steif wie Polikarbonat	Flexibel wie Gummi
Aussehen		Weiß	Durchsichtig	Schwarz
Nettogewicht (je Flasche), kg		2	2	2
Gewicht bei 80°C (flüssig), g/cm <sup>3</sup>	D-4164	1.04	1.04	1.04
Zugfestigkeit, MPa	D-638	56	56	2.2
Elastizitätsmodul, MPa	D-638	2400	2400	0.7
Bruchdehnung, %	D-638	8.1	13	290
Biegefestigkeit, MPa	D-790	74	75.00	0.5
Biegemodul, MPa	D-790	2500	2500	5.5
Wärmeformbeständigkeit bei 0.45 MPa, °C	D-648	54	54	n/a
Schlagzähigkeit (Izod gekerbt), J/m	D-256	18	18	n/a
Härte, Shore A	D-2240	n/a	n/a	63
Härte, Shore D	D-2241	83	83	n/a
Glasübergangstemperatur, T <sub>g</sub>	DMA, E"	43	43	n/a
Härte, Shore A	D-2240	n/a	n/a	63
Härte, Shore D	D-2241	83	83	n/a
Glasübergangstemperatur, T <sub>g</sub> °C	DMA, E"	43	43	n/a

## PLANUNGSPROZESS II | 3D DRUCK

### Direkt vom ProJet 5500X gemischte Verbundwerkstoffe

Zusätzlich zum Drucken von multimaterial Bauteilen in den drei Grundwerkstoffen, mischt der ProJet 5500X jeweils zwei der Grundwerkstoffe in sieben verschiedenen Mischverhältnissen, Pixel für Pixel. Der Anwender kann den Teilbereichen eines Modells die unterschiedlichsten Materialkombinationen zuordnen.

Tabelle 5: Firma 3D System.

Eigenschaften	ASTM	Multi Material Verbundwerkstoffe (VisiJet CR-WT + VisiJet CF-BK)						
Materialbezeichnung		RWT-FBK 100	RWT-FBK 200	RWT-FBK 300	RWT-FBK 400	RWT-FBK 500	RWT-FBK 600	RWT-FBK 700
Beschreibung		Sehr steif	Steif	Leicht steif	Leicht flexibel	Leicht flexibel	Flexibel	Sehr flexibel
Aussehen		Sehr helles Grau	Hellgrau	Hellgrau	Grau	Grau	Dunkelgrau	Anthrazit
Zugfestigkeit, MPa	D-638	36	28	19	10	5.1	2.8	2.1
Elastizitätsmodul, MPa	D-638	1650	1200	630	160	23	11	1.4
Bruchdehnung, %	D-638	10	15	17	25	31	34	150
Biegefestigkeit, MPa	D-790	57	43	22	7.3	1.7	1.3	0.74
Biegemodul, MPa	D-790	1960	1550	800	250	50	14.5	7.5
Wärmeformbeständigkeit bei 0.45 MPa, °C	D-648	51	48	40	33	n/a	n/a	n/a
Schlagzähigkeit (Izod gekerbt), J/m	D-256	25	20	20	21	18	19	47
Härte, Shore A	D-2240	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	85
Härte, Shore D	D-2241	80	79	74	65	55	44	n/a
Glasübergangstemperatur, Tg °C	DMA, E''	40	33	31	24	19.5	15	8



## BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK

Bei den folgenden Bildern handelt es sich um eine Art Entwurfstrecke, die meine Schritte zum endgültigen Design näher bringen soll.

Die dreidimensionalen Modelle wurden mit Hilfe von Rhino und dessen Plugin *Grasshopper* generiert. Ich habe zwar schon mehrmals mit dem Programm *Grasshopper* gearbeitet, dennoch ist es immer wieder eine Herausforderung die richtigen Befehle zu finden.

Um einen ersten Anhaltspunkt zu schaffen, wurde die äußere Konturlinie des Acrylschuh-Entwurfs übernommen. Daraus bildete sich ein Volumen, um für *Grasshopper* eine Basis zu schaffen. Daraufhin generierte ich ein Skript, welches ein Muster an der Oberfläche entstehen ließ. Das Aussehen unterlag einer bestimmten Anordnung namens *Voronoi*, die sich von den natürlich vorkommenden Strukturen von Blättern oder Hautpartikeln inspirieren ließ. Dadurch bekam die Oberfläche ein sehr kristallines Erscheinungsbild, das sich bei allen Entwürfen wieder finden wird.

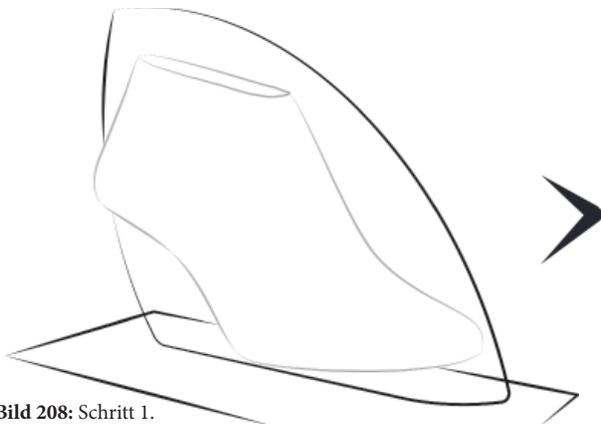


Bild 208: Schritt 1.

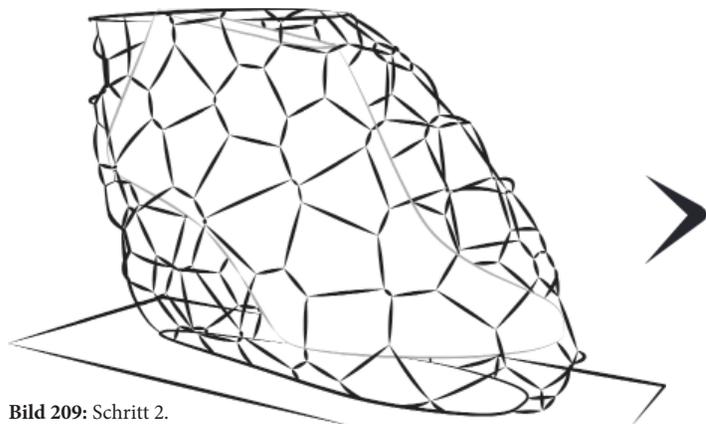


Bild 209: Schritt 2.

**BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK**

Im nächsten Schritt geschah eine Differenzierung zwischen dem Ober- und dem Unterteil. So entwickelten sich zwei unterschiedliche Elemente, die in ihrer Ausführung flexibel waren. Zum einen entstand das Plateau, das eine durchgehende Struktur aufwies und zum anderen der Schaft, der den Fuß mit einer Art Netz verankern sollte. Dadurch wurde die Idee geboren zwei austauschbare Systeme zu generieren. Man hatte also die Möglichkeit nach Bedarf das obere oder untere Modul in Bezug auf Farbe, Form oder Muster durch einen Mechanismus, der noch nicht entwickelt war, zu variieren.

Das Problem stellte jedoch der Oberteil des Schuhs dar. Eine Fixierung des Fußes war aufgrund der Größe beziehungsweise der außergewöhnlichen Form des oberen Netzes nicht möglich, da das Volumen einfach zu groß war. Daraufhin entstand der Gedanke, das obere Element exakt an den Fuß anzupassen, was mir durch das Programm Grasshopper ermöglicht wurde. Auf der nächsten Seite wird der neue Entwurf veranschaulicht.

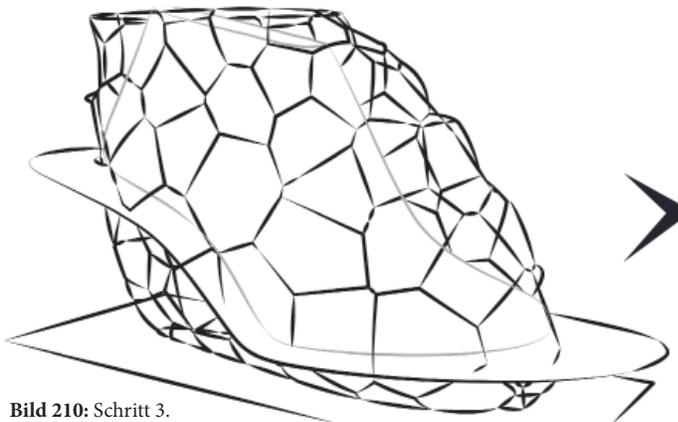


Bild 210: Schritt 3.

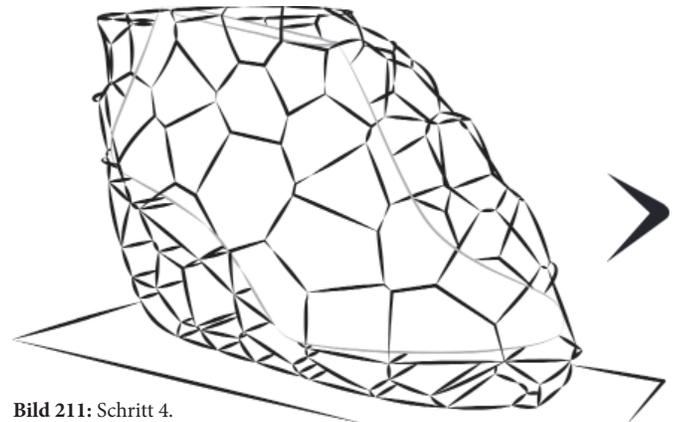


Bild 211: Schritt 4.



## BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK

Nun lag das Netz direkt auf dem Fuß, um ihn sicher im Schuh zu befestigen. Die dreidimensionale Modellierung erwies sich als sehr kompliziert, da die einzelnen Röhren keine Verbindung miteinander eingingen. Konkreter gesagt kamen dabei ungültige Volumenkörper zustande, die für einen 3D Druck nicht geeignet waren.

Das Plateau war ganz darauf ausgelegt mit flexiblen Materialien gedruckt zu werden, um eine Dämpfung während des Gehens zu erzeugen. Nach der Programmierung in Grasshopper waren weitere Bearbeitungsschritte in Rhino erforderlich. Die Elemente mussten händisch mit den vorhandenen Linien extrudiert werden.

In diesem Stadium wurde noch nicht an einer Verbindung zwischen Schaft und Plateau geforscht. Es sollte ein einfaches, variables System werden, um nach Bedarf die einzelnen Module auszutauschen.



Bild 212: Schritt 5.



## BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK

Bild 213: Logo.



Die *Legero Schuhfabrik GesmbH* mit Hauptsitz in Graz wurde 1872 gegründet und befindet sich mehrheitlich im Besitz der Familie Stoltzka. Die Unternehmenszentrale ist zugleich kreatives wie logistisches Zentrum für die Entwicklung der Marken *Legero* und *Superfit*. Das Unternehmen betreibt eigene Produktionsstätten in Europa, beschäftigt weltweit nahezu 1.000 MitarbeiterInnen und ist eine feste Größe auf dem europäischen Schuhmarkt.<sup>84</sup>

*Legero*® - *der Leichtschuh* - versteht sich als globale Schuhmarke für Erwachsene und ist ein überzeugter Partner des Fachhandels in nahezu ganz Europa. Pro Jahr werden mehr als 600.000 Paar Leichtschuhe produziert und verkauft.<sup>84</sup>

Im nächsten Schritt kam durch die Präsentation meiner bisherigen Arbeit eine Projektpartnerschaft mit der Schuhmanufaktur *Legero* zustande. Sie luden mich ein, meine Entwürfe vorzustellen.

Bei einem gemeinsamen Treffen mit den Zuständigen für innovative Technologien, ergab sich, dass die Firma zur Zeit auch stark in Richtung 3D Druck forscht. Nachdem ich meinen damaligen Entwurf präsentierte, hörte ich absolut positives Feedback. Sie schienen begeistert von der Idee des flexiblen 3D Drucks und der einfachen Austauschbarkeit des oberen beziehungsweise unteren Elementes durch neue Muster, Farben oder Formen. Jedoch wurde ich davor gewarnt, dass es in Österreich nicht so einfach sei flexibel zu drucken, da an diese Technologie zur Zeit noch geforscht wird.

Bild 214: Entwurf Voronoi.



<sup>84</sup> Vgl. Legero: Unternehmen, <<http://www.legero.at/de/unternehmen>>, in: <[www.legero.at](http://www.legero.at)>, 18.03.2015

**BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK**

Obwohl ich meine Inspiration für den Entwurf in der Natur fand, schöpfte die angewandte Voronoi Struktur noch nicht das erhoffte Potential aus. Es kristallisierte sich immer mehr die Idee heraus, Bienenwaben in das Design des Plateaus einfließen zu lassen. In dem Gespräch mit den Mitarbeitern der Technologie Abteilung von Legero wurde ich bekräftigt, diesen Gedanken weiter zu verfolgen. Vor allem da eine Wabenstruktur statt des vorher verwendeten Voronoi Musters für die Dämpfung eine positive Auswirkung hätte und sie somit zu einem besseren Ergebnis führen würde.

Auch die Entscheidung die Struktur im vorderen Bereich des Plateaus enger und dichter auszuarbeiten erwies sich während des Treffens als richtig, da hohe Kräfte auf diesen Abschnitt des Schuhs einwirken.

Bild 215: Bienenwaben.



**BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK**

Für die erfolgreiche Umsetzung des Entwurfs waren die folgenden, von mir bereits beim Acrylschuh festgelegten Begrifflichkeiten aus der Wa-  
benstruktur unabdingbar:

DÄMPFUNG, DURCHLÄSSIGKEIT, ERGONOMIE, FLEXIBILITÄT, LEICHTIGKEIT, LÜFTUNG, MATERIALITÄT, MODULE, PARAMETRIE, STECKSYSTEM, TECHNOLOGIE und VERBINDUNG.

Bei diesem Design legte ich besonderen Wert auf die Verwirklichung der DÄMPFUNG, da diese bei dem Acrylglasschuh nicht möglich war. Somit entstand vorerst die Idee eines durchbohrten Plateaus aus einem flexiblen Material, um die gewünschte dämpfende Wirkung zu erzeugen.





## BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK

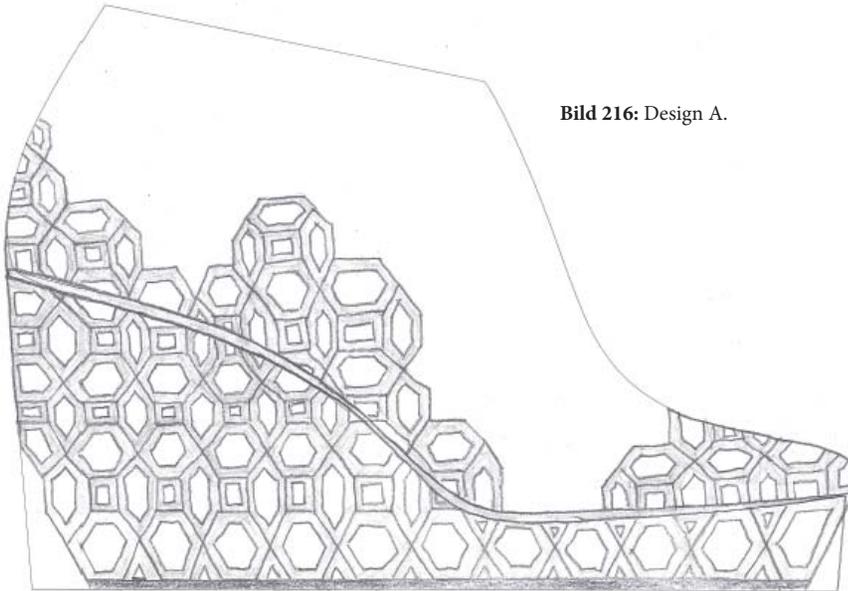


Bild 216: Design A.

Die nachfolgenden Designs legten besonderen Wert auf die Anordnung der Bienenwaben. In Design A kam das Muster durch die Stapelung der Waben übereinander zustande. Dabei bildeten sich Quadrate, die dazwischen situiert waren.

Die Struktur wurde über das Plateau hinweg weiter nach oben gezogen, um ein einheitliches Erscheinungsbild zu erzeugen. Bänder würden durch die Öffnungen der Waben gesteckt werden, um eine Verankerung des Fußes im Schuh zu gewährleisten

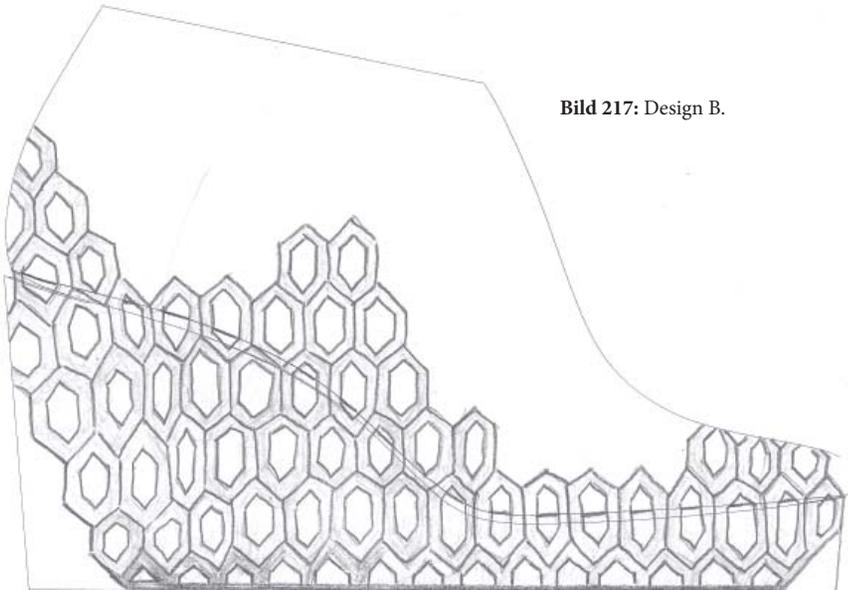


Bild 217: Design B.

Die Abbildung links versuchte mit einer Wabenstruktur zu arbeiten, die in die Länge gezogen wurde und direkt aufeinander lag. Somit kamen keine Quadrate zustande, die eine effektive Dämpfung eventuell stören könnten.

Das Muster zog sich über den gesamten Schuh, um eine Einheit zu bilden. Wieder würden Bänder für eine Befestigung des Fußes sorgen. Das Thema der Verbindung zwischen Plateau und Schaft wurde noch nicht gelöst, da es ein simpler Mechanismus werden sollte.

**BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK**

Dieser Entwurf spielte mit einer dichteren Wabenstruktur. Die Wabenstruktur wurde um 90° gedreht und das Muster des Plateaus wurde wieder nach oben durchgezogen. Neu war jedoch, dass die Waben im Bereich des Schaftes voll ausgebildet waren. Nur an den Stellen, die für Schuhbänder angedacht waren, wurden Löcher integriert.

Ein anwendbarer Mechanismus, der das Problem der Verbindung lösen könnte, wird in der nächsten Abbildung behandelt, da in diesem Entwurf noch keine simple Idee vorlag.

In diesem Design wurde versucht ohne zusätzliche Schuhbänder auszukommen, indem geschlossene Waben, wie bei einer Sandale, über den Fuß geführt wurden. Dabei entstand auch die Idee einer möglichen Verbindung.

Und zwar sollte der Schaft gleichzeitig mit einzelnen Elementen des Plateaus gedruckt werden, um ein zusammenhängendes Modul zu generieren. Anschließend konnte der Oberteil seitlich in das Plateau hineingeschoben werden, um eine Einheit zu bilden.

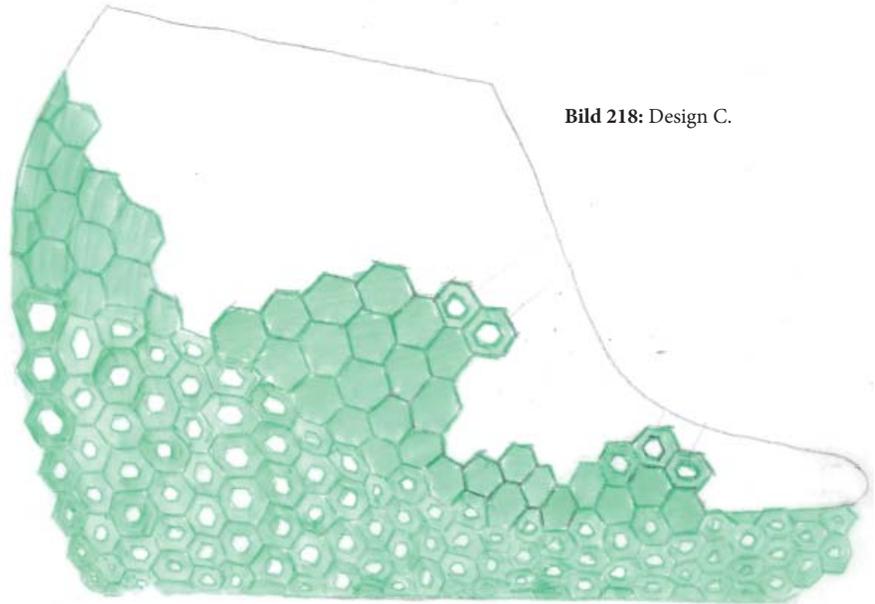


Bild 218: Design C.

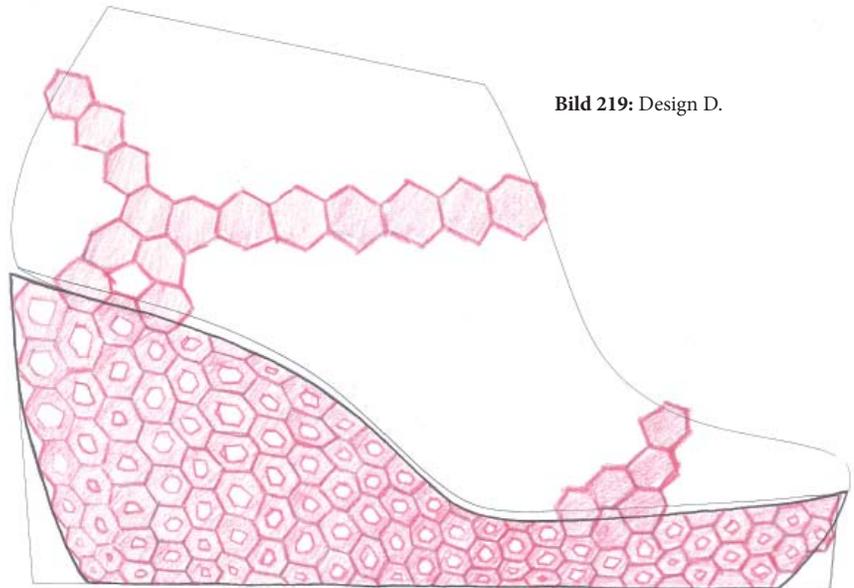


Bild 219: Design D.



## BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK SCHAFT

Bei der Differenzierung zwischen dem Ober- und dem Unterteil ergaben sich aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen zwei verschiedene Entwurfsstrategien. Der Schaft diente lediglich der Verankerung des Fußes im Schuh, weshalb er die Aufgabe des Umhüllens übernahm und somit eine offene Struktur erlaubte. Das Plateau musste die statischen Anforderungen erfüllen und eine dämpfende Funktion mit sich bringen. Deswegen sollte dieses Element als Volumen ausgeführt werden. Durch die strikte Trennung zwischen den beiden Modulen gab es die Möglichkeit den Schuh aus zwei unterschiedlichen Materialien zu drucken. Somit konnte an den gewünschten Stellen mit dem Härtegrad des Druckstoffes variiert werden. Im Hinterkopf blieb dabei immer eine angemessene Verbindung zwischen dem Ober- und dem Unterteil zu finden.

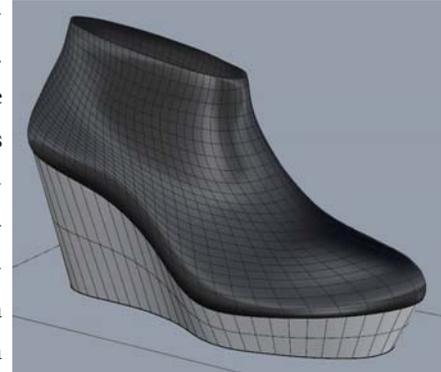
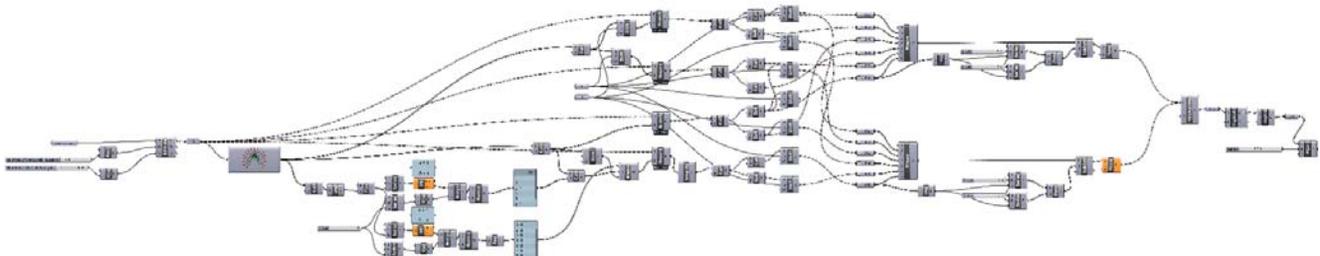


Bild 220: Dreidimensionaler Leisten in Rhino.

Angefangen hatte die Umsetzung des Entwurfs mit einem dreidimensionalen Leisten, der in Rhino nachbearbeitet wurde. Dieser Leisten wurde an meine Schuhgröße 37 angepasst und in einem weiteren Schritt genau für meinen Fuß abgeändert. Bei Legero gibt es auch die Möglichkeit eines 3D Scans, der den Fuß exakt abmisst und eine 3D Datei entstehen lässt. Künftig können somit individuelle, aber dennoch maßgeschneiderte und passgenaue Schuhe für jeden erzeugt werden.

**Neu generiertes Grasshopper Skript, welches durch weitere Plugins (Kangaroo und LunchBox) modelliert wurde.**

Bild 221: Skript für Bienenwaben.



**BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK SCHAFT**

Auf den digitalen Leisten wurde ein neu generiertes Grasshopper Skript gelegt, welches durch weitere Plugins modelliert wurde. Somit entstand eine dem Leisten angepasste Wabenstruktur, die anders als herkömmliche Bienenwaben ein gekrümmtes Erscheinungsbild aufwies. Durch das neue Skript konnte das ehemalige Problem der Voronoistruktur, die mittels des Befehls *Loft* generiert wurde, gelöst werden. Die defekte Verbindung zwischen den Röhren wurde beseitigt und durch neue geschlossene Volumenkörpern, die aus *Pipes* bestanden, ausgetauscht. Das Skript kann künftig auf alle möglichen Leistenformen gelegt werden und je nach gewünschter Einstellung der Parameter ein dichtes oder weniger dichtes Netz erstellen.



Bild 222: Voronoistruktur.



Bild 224: Defekte Verbindung der Röhren.

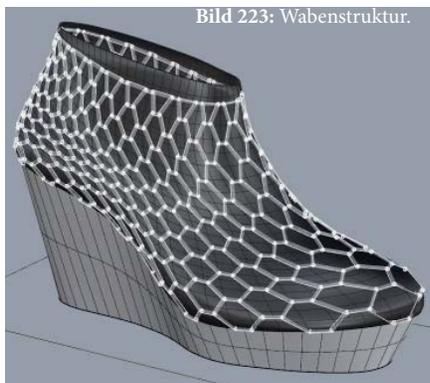


Bild 223: Wabenstruktur.



Bild 225: Intakte Verbindung der Röhren.



## BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK PLATEAU I

Nach der erfolgreichen Modellierung des Oberteils konzentrierte ich mich nun auf die Ausarbeitung des unteren Elementes. Die Anordnung der Waben am Plateau wurde in mehreren Testphasen perfektioniert.

Der erste Entwurf wurde folgender Maßen gelöst. Mit Hilfe eines neuen Grasshopper Skriptes wurde das Modul, bestehend aus einem Sechseck und einem Quader, das am Bild 189 zu sehen ist, an das dreidimensionale Modell des Plateaus gereiht und vervielfältigt. Auf der Abbildung 186 kann man erkennen, dass die Bienenwaben übereinander gestapelt wurden, was zur Bildung von Karos führte. Das Plateau wurde innen voll ausgeführt, weshalb die eigentliche Aufgabe der Wabenstruktur in Bezug auf die Dämpfung verloren ging. Die Geometrie war nur an der Oberfläche ersichtlich und konnte somit nicht als dämpfende Technologie genutzt werden.

Der nächste Schritt erforderte die Suche nach einem besseren Konzept, das die fehlenden Anforderungen, wie DÄMPFUNG, DURCHLÄSSIGKEIT, LEICHTIGKEIT, STECKSYSTEM und VERBINDUNG, erfüllte.

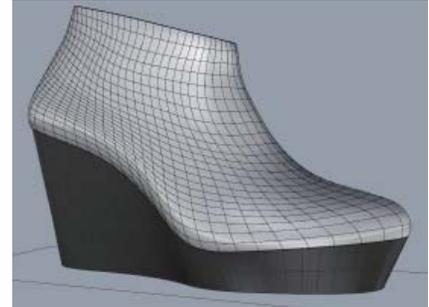


Bild 226: Dreidimensionaler Plateau in Rhino.

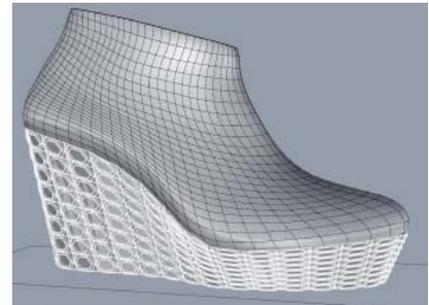


Bild 227: Wabenstruktur am Plateau.

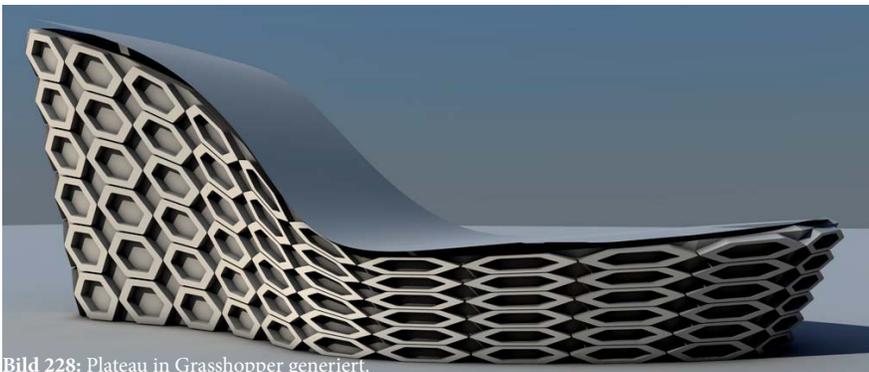


Bild 228: Plateau in Grasshopper generiert.



Bild 229: Modul für Skript.



**BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK PLATEAU II**

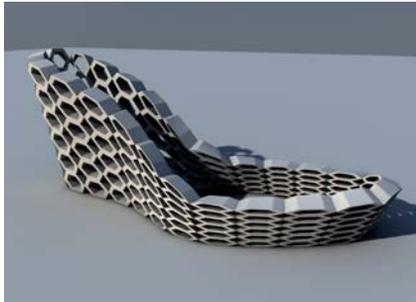


Bild 230: Wabenstruktur am Plateau.

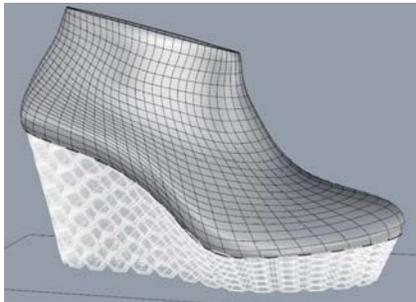


Bild 231: Modellierung in Grasshopper.



Bild 232: Modul für Skript.

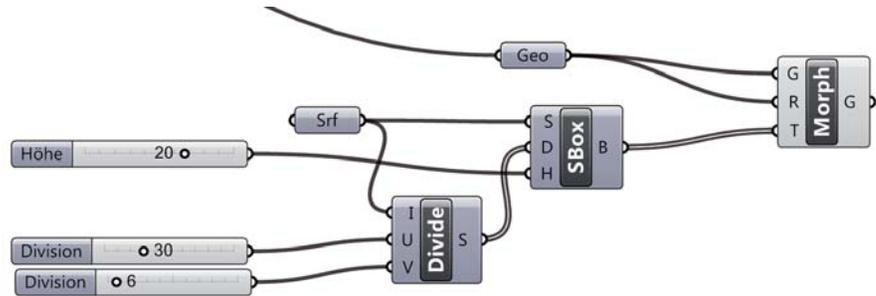


Bild 233: Skript für Plateau.

Auf der Abbildung 193 wird das Skript gezeigt, das zur Generierung des Plateaus erforderlich war. Dabei handelte es sich, um einen sehr kurzen und einfachen Code, der eine vorgefertigte Geometrie an eine definierte Oberfläche reiht und vervielfältigt. Bei dem zweiten Entwurf diente eine einzelne Bienenwabe als Vorlage, die zur Erzeugung des Skriptes notwendig war. Wieder ergab sich die Struktur aus der Stapelung der Waben übereinander. Das Problem bestand darin, dass das Plateau trotz Extrusion der Waben nicht voll ausgeführt werden konnte, da beim Schließen des Plateaus unerwünschte Verschneidungen auftraten und somit keine gültigen Volumenkörper entstanden.

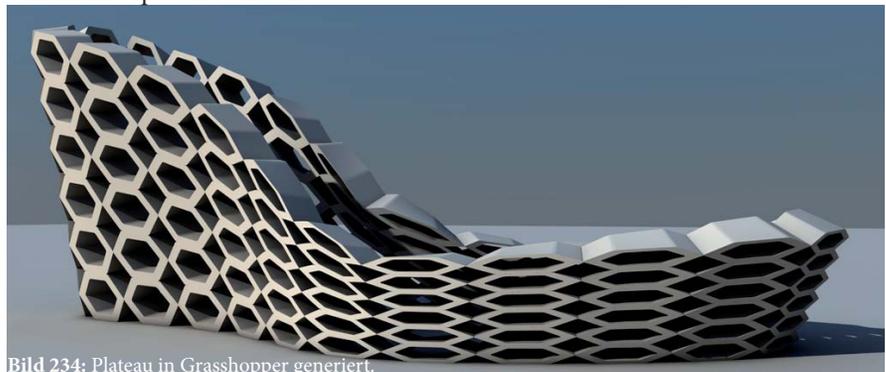


Bild 234: Plateau in Grasshopper generiert.



## BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK PLATEAU III

Bei dem dritten Entwurf wurde wieder auf das alte Skript, das auch beim Oberteil verwendet wurde, zurückgegriffen und auf den digitalen Plateau projiziert. Resultierend aus den vorher geschilderten Ergebnissen, entstand die Idee durchgehender, hohler Wabenkammern, die direkt aneinander gereiht wurden, um die Entstehung von Karos zu vermeiden. Schnell wurde klar, dass die Programmiersprache in Grasshopper an ihre Grenzen stieß und so das Plateau händisch in Rhino weiterbearbeitet werden musste. Aus Grasshopper wurden die Waben in Form von Linien exportiert und bearbeitet. Wenn man das Plateau der Länge nach durchschneiden und spiegeln würde, könnte man erkennen, dass die Linien auf beiden Seiten beinahe exakt symmetrisch angeordnet waren. Diesen Umstand konnte ich bereits mit der Erstellung der Plateau Surface durch den Befehl *Sweep two Rails* erreichen. Die Leitkurve wurde mittig auf beide Querschnittskurven gesetzt und erzeugte so eine symmetrische Anordnung der Surface.

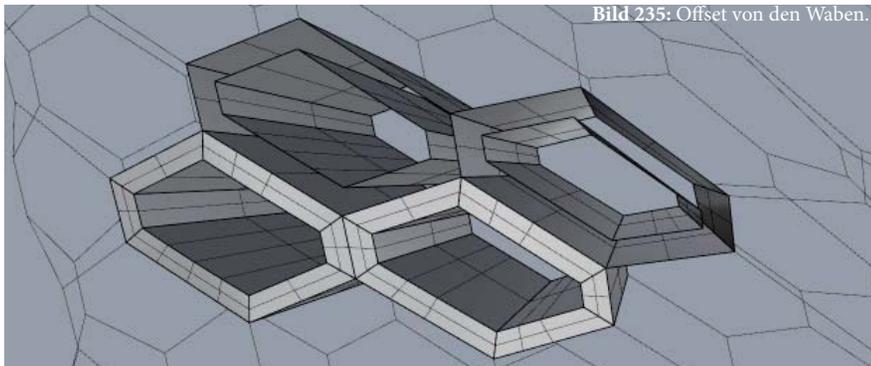


Bild 235: Offset von den Waben.

Anschließend wurde von jeder Wabe mit Hilfe des Befehls *Offset Curve on Surface* eine Parallelkurve von zwei Millimetern generiert und mit dem Befehl *Sweep two Rails* in eine durchgehende Wabenstruktur umgewandelt, die auf Abbildung 195 zu sehen ist.

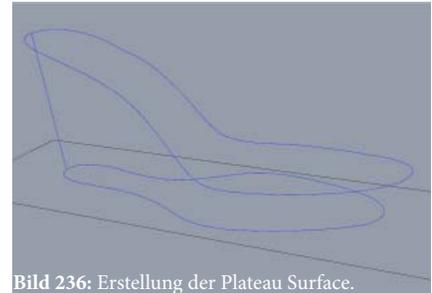


Bild 236: Erstellung der Plateau Surface.

Bild 237: Generierte Linien in Form von Waben.

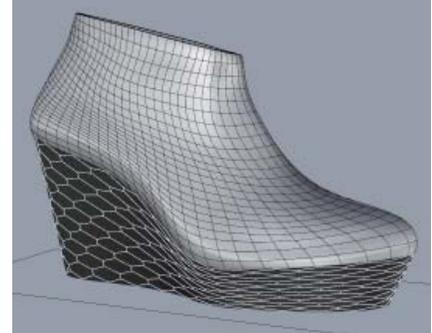
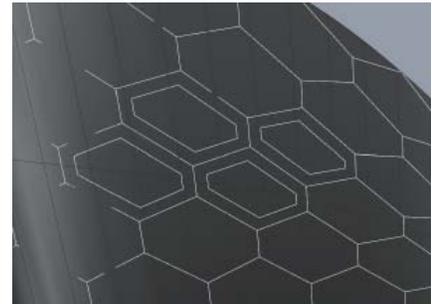
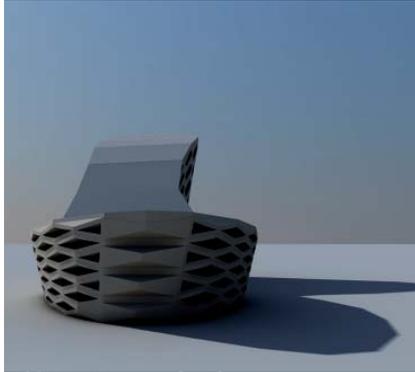


Bild 238: Offset von den Waben.

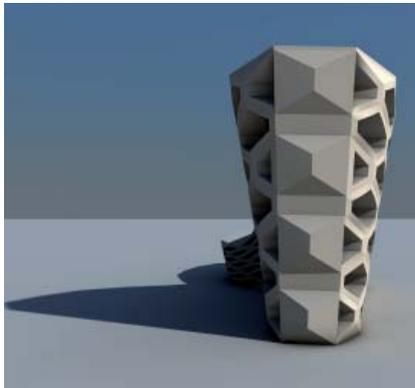
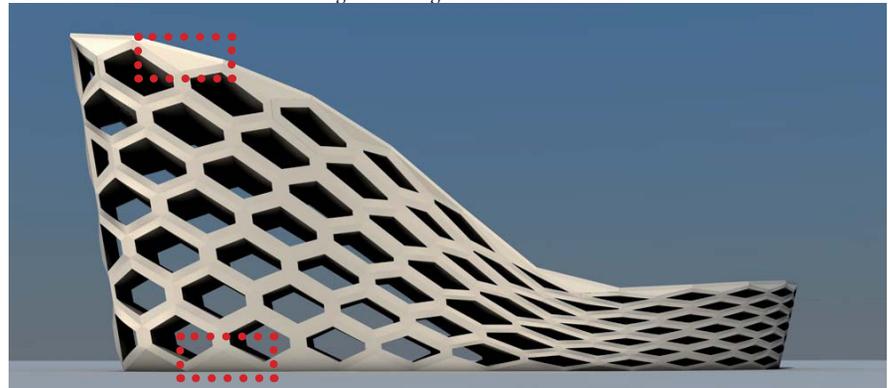


**BIONIK II | ENTWURF 3D DRUCK PLATEAU III****Bild 239:** Stirnseite des Plateaus.

Nach der Bearbeitung jeder einzelner Wabe entstand das fertige Plateau. Die Stirnseiten mussten gesondert bearbeitet werden, um einen optimalen Abschluss zu erzeugen. Die Vorder- und Rückseite bekamen ein kristallines Auftreten, das aus der Hälfte einer Bienenwabe gewonnen wurde, um eine geschlossene Struktur zu schaffen.

Das gleiche Problem stellte sich an der Ober- und Unterseite des Plateaus heraus. Um eine planare Auftrittsfläche zu erhalten, mussten die halben Bienenwaben, die den Abschluss des Schuhs bildeten, aufgefüllt werden.

Nun stellte sich die Frage nach einer geeigneten Verbindung zwischen dem Ober- und dem Unterteil. Diese Problemstellung sollte durch die Fertigung einer zusätzlichen Einlage im Bereich des Fußbettes gelöst werden, was man auf der nächsten Seite erkennen kann.

**Bild 240:** Rückseite des Plateaus.**Bild 241:** Seitenansicht mit Markierungen der aufgefüllten Bienenwaben.



## BIONIK II | ENTWURF VERBINDUNG

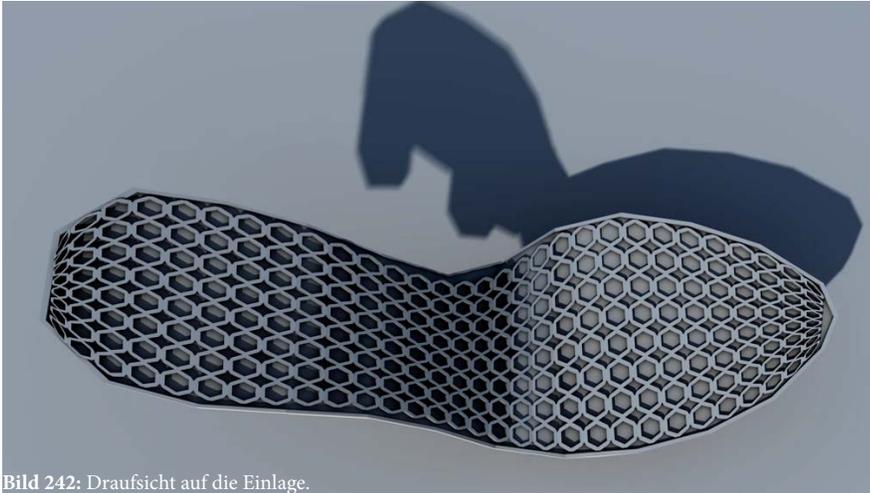


Bild 242: Draufsicht auf die Einlage.

Die Einlage des Schuhs wurde zur Gänze aus Sechsecken gefertigt, um den Komfort und die Durchlüftung zu fördern. Der Rand wies einen geraden, durchgehenden Abschluss auf, der die Verbindung der Sohle mit der Wabenstruktur des Oberteils ermöglichte. So konnte der Schaft zusammen mit der Einlage aus einem einzigen Stück gedruckt werden.

Auf der Unterseite des Fußbettes befanden sich einzelne Waben, die eigentlich Bestandteil des Plateaus wären. Um die beiden Komponenten, also die Sohle und die vier entnommenen Waben des Plateaus zu verbinden, wurden diese auf die Einlage angedockt. Nun wurde eine Verbindung zwischen der Einlage, den Waben und dem Oberteil geschaffen.

Bild 243: Einlage mit Modulen aus Plateau.



Bild 244: Detailausschnitt der Einlage.





## BIONIK II | ENTWURF VERBINDUNG

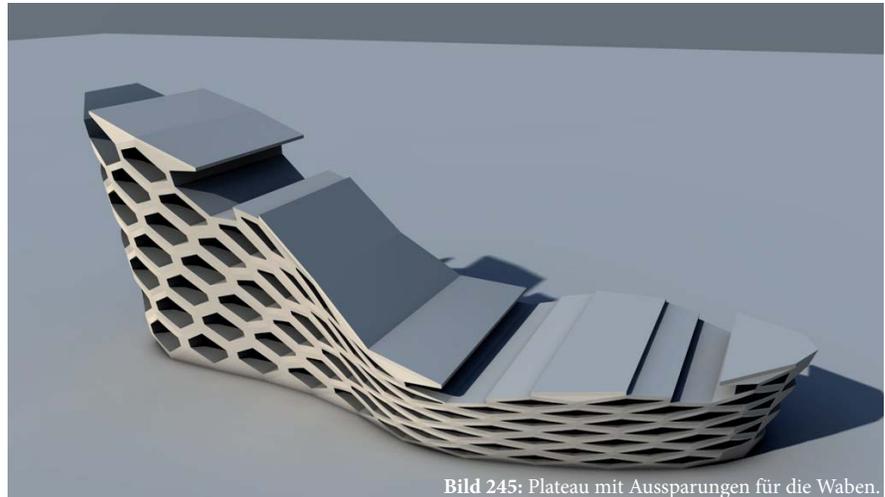


Bild 245: Plateau mit Aussparungen für die Waben.

In diesem Schritt sieht man das Plateau, das an definierten Stellen Aussparungen aufwies, die an der Sohle andockten. Dadurch entstand der Mechanismus, der den Ober- und Unterteil miteinander verband. Dies funktionierte durch simples Hinausschieben des Fußbettes. Auf diese Weise gebe ich den Kunden die Möglichkeit, das Aussehen ihrer Schuhe ganz einfach und individuell zu verändern, was natürlich auch bei Beschädigung nützlich sein kann.

Die Waben, die durch anschließendes Andocken mit dem Oberteil eine Verbindung eingehen, wurden im Vorhinein gespiegelt, damit sie in die jeweils andere Richtung zeigten. Damit sollte eine Verkeilung während des Gehens erzeugt werden, um ein Hinausrutschen zu verhindern. Dieses Detail wurde im Bild 206 rot markiert.

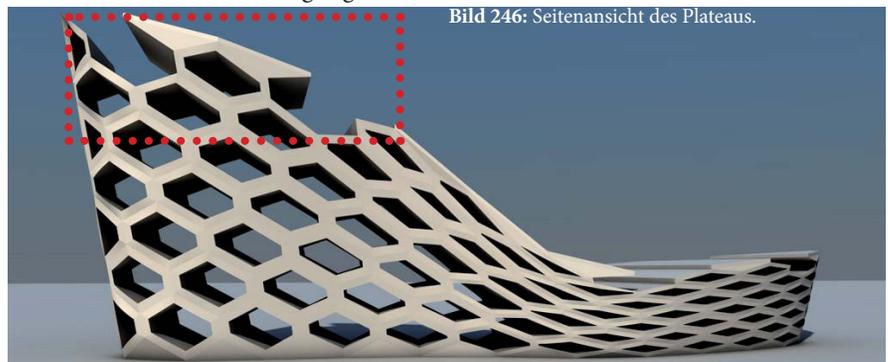


Bild 246: Seitenansicht des Plateaus.



## BIONIK II | ENTWURF VERBINDUNG

Diese Abbildung veranschaulicht noch einmal den Mechanismus der Verbindung zwischen Schaft und Plateau. Problemlos wird der Oberteil, bestehend aus einem einzigen Stück aus Schaft, Einlage und vier Waben, hinausgeschoben und durch ein anderes Design ausgetauscht.

Die Idee beinhaltete auch die Variation der Farben, die aber im jetzigen Entwicklungsstadium des 3D Drucks noch nicht möglich war. Die Materialien waren an die Farbe schwarz gebunden. Je weicher der Stoff, desto dunkler das Druckmaterial. Somit ergab sich ein schwarzer Oberteil und der Unterteil bekam ein anthrazitfarbenes Erscheinungsbild.

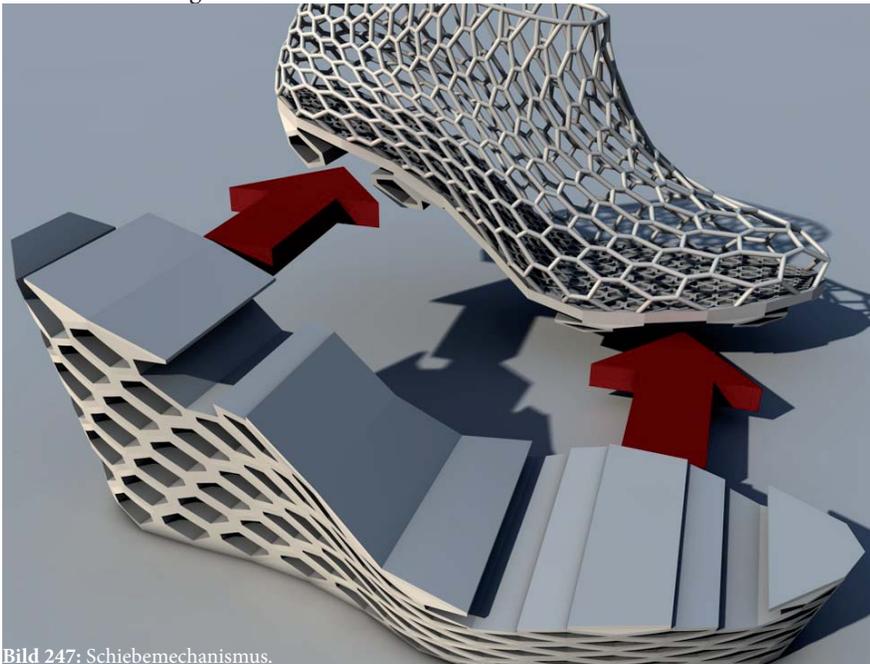


Bild 247: Schiebemechanismus.

**BIONIK II | ENTWURF VERBINDUNG**

Auf diesem Bild ist nun das neue Design zu erkennen, welches durch den Schiebemechanismus auf den Plateau gesteckt wird. Problemlos können verschiedene Muster, wie zum Beispiel Karos, Diamanten oder Kreise gedruckt und anschließend je nach Bedarf ausgetauscht werden. Auch kann das Netz mit der Dichte der Anordnung spielen. Auf Wunsch kann der Schaft so dicht ausgeführt werden, dass er beinahe geschlossen erscheint.

Die Produktion des Prototyps wird nun zeigen, ob diese austauschbare Variante eingesetzt und im Alltag verwendet werden kann.

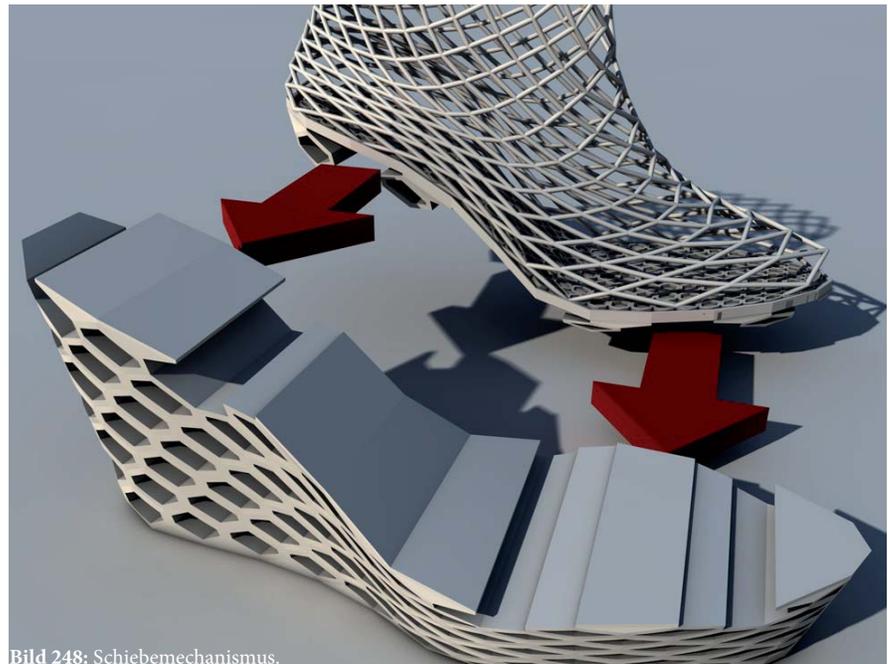


Bild 248: Schiebemechanismus.



## BIONIK II | ENTWURF ENDPRODUKT I

Auf dieser Abbildung ist nun der gesamte Schuh, zusammen mit Schaft, Fußbett und Plateau zu sehen. Dieses dreidimensionale Modell wurde mit Hilfe der Firma Legero flexibel 3D gedruckt.

Durch die Differenzierung zwischen dem Ober- und Unterteil konnte der Schuh aus zwei verschiedenen Härtegraden gedruckt werden. Das Netz und die Einlage, welche in direktem Kontakt mit dem Fuß stehen, wurden am flexibelsten gedruckt, um auch das Anziehen zu erleichtern. Das Plateau wurde etwas härter ausgeführt, um einen sicheren Halt zu gewährleisten. Im Vergleich zu anderen Schuhen ist dieser dennoch weich, um eine effiziente Dämpfung zu erzeugen.

Bild 249: Computer generierte Visualisierung.

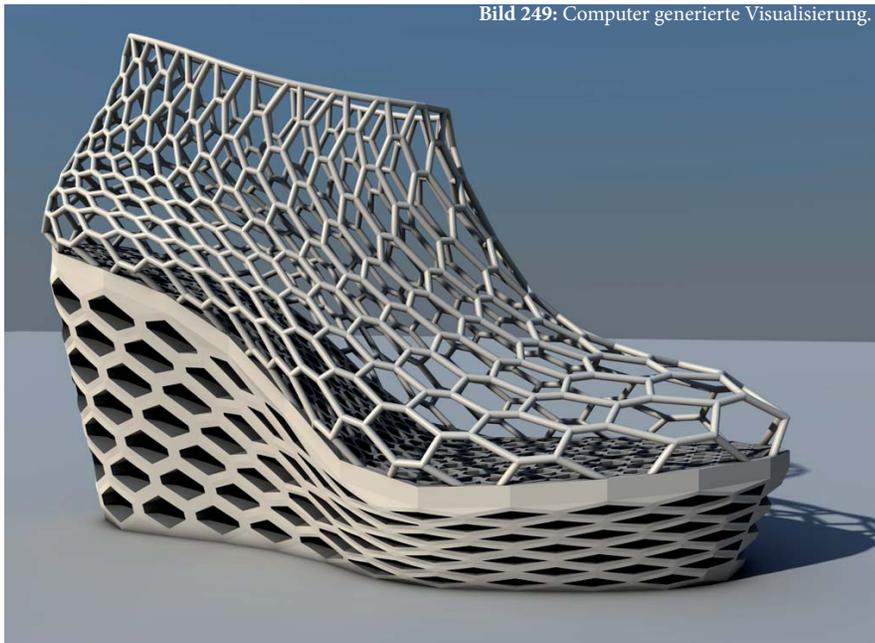


Bild 250: Computer generierte Visualisierung.

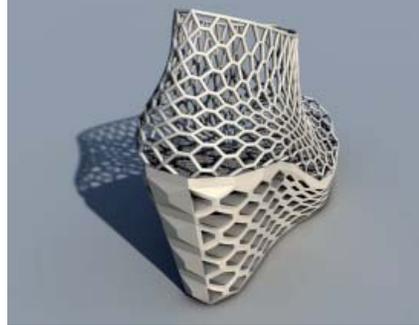


Bild 251: Computer generierte Visualisierung.

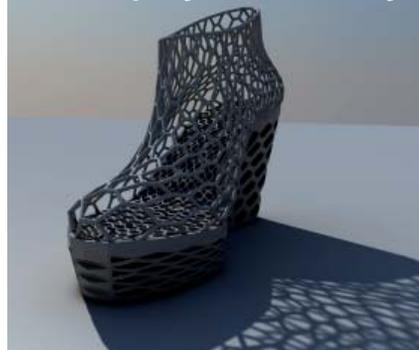
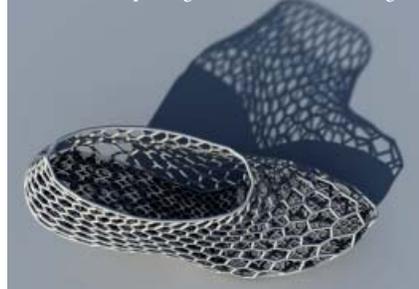


Bild 252: Computer generierte Visualisierung.



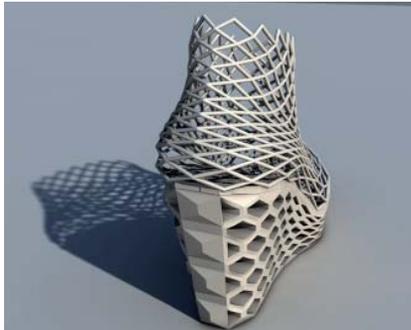
**BIONIK II | ENTWURF ENDPRODUKT II**

Bild 253: Computer generierte Visualisierung.



Bild 254: Computer generierte Visualisierung.

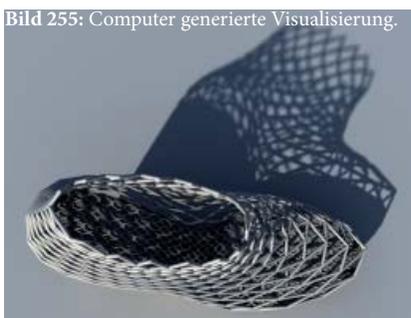


Bild 255: Computer generierte Visualisierung.

In diesem Modell wurde eine andere Anordnung des Netzes ausprobiert. Genauso wie die Wabenstruktur des vorher gezeigten Entwurfs, entstand das Muster der Karos in Grasshopper. Durch das Verschieben der einzelnen Parameter in Grasshopper, kann mit der Dichte des Netzes gespielt werden.

Auf Wunsch kann die Oberfläche ganz dicht erscheinen, sodass man den Fuß von außen kaum wahrnimmt. Diese Variation wird lediglich durch das Ändern zweier Parameter im vorher generierten Skript erzeugt. Natürlich können auch andere Muster programmiert werden. Man kann auf individuelle Wünsche eingehen, je nach Geschmack des Kunden.

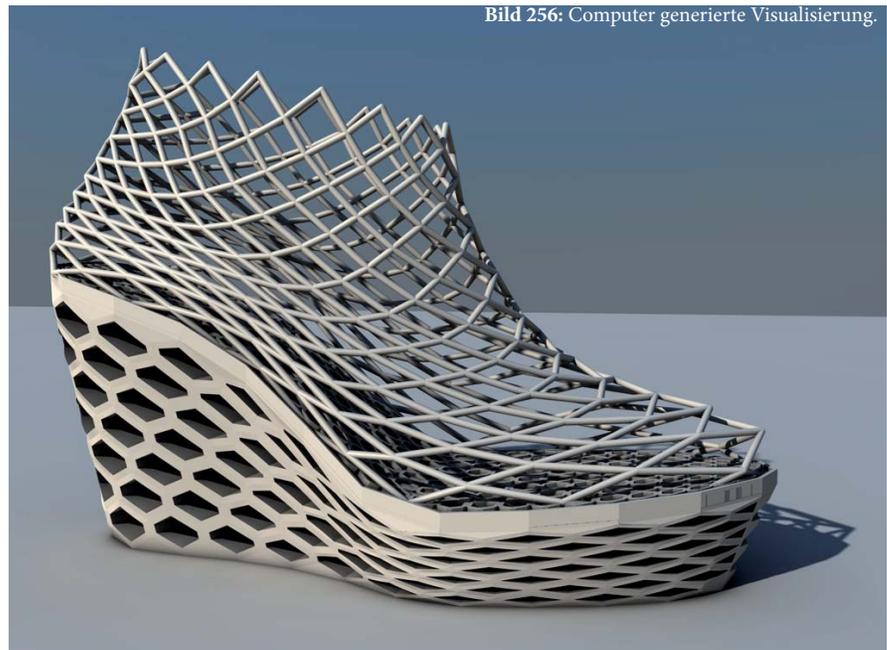


Bild 256: Computer generierte Visualisierung.

## BIONIK II | Box

Die Schuhschachtel für den 3D gedruckten Prototypen wurde mit dem Lasercutter hergestellt. Bei dem Material handelte es sich um 1,5mm starke Wellpappe, die an der Oberfläche graviert wurde. Die Abmessungen des Volumens entsprachen einer herkömmlichen Schuhschachtel für Damenschuhe.

Die Deckfläche bekam die Struktur von Bienenwaben, um den Entwurfsgedanken erneut aufzugreifen und zu verdeutlichen. Die Waben wurden mit Hilfe des Lasercutters graviert und an gewissen Stellen völlig durchgeschnitten, um Ausschnitte des Inhalts bereits von außen zu präsentieren und dadurch auf den Inhalt neugierig zu machen.

Die Schuhschachtel könnte durch die Verwendung eines stärkeren Materials etwas verbessert werden. Auch würde ich vorschlagen, die Kanten zunächst nicht einzuritzen, sondern einfach zu falten, um den Werkstoff an diesen Stellen nicht zu schwächen.

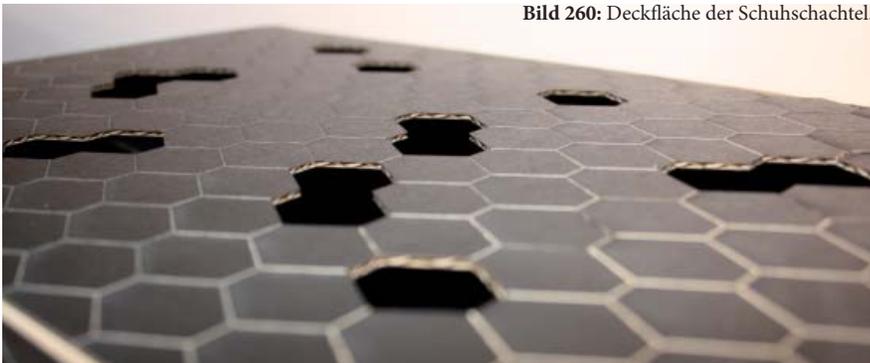


Bild 260: Deckfläche der Schuhschachtel.

Bild 257: Vorlage für Lasercut.

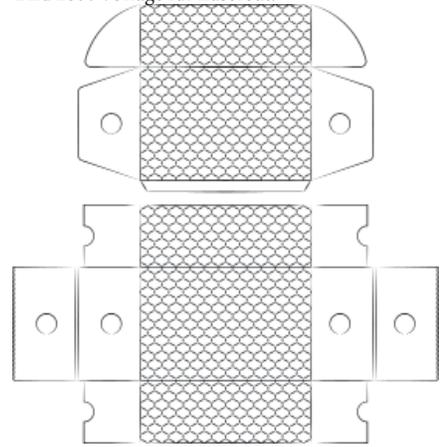


Bild 258: Schuhschachtel geschlossen.



Bild 259: Schuhschachtel offen.



**RESÜMEE BIONIK I | LASERCUT**

Der Grund für die Fertigung der Laser gecutteten Prototypen war mein Interesse, die tatsächliche Tragbarkeit eines Acryl- beziehungsweise Holzschuhs zu überprüfen. Denn in der Ausstellung *Shoetingstars* im Wiener Kunsthaus wurden Modelle aus diesen Werkstoffen präsentiert, jedoch nichts über deren Komfort oder Tragbarkeit ausgesagt.

Meine Idee beruhte auf einem Stecksystem, ähnlich der Marke Lego und Matador. Natürlich war mir klar, dass ein volles Volumenmodell mehr Material und somit bessere statische Eigenschaften aufzuweisen hätte. Aber ich wollte das System und die Leichtigkeit der Prototypen ausreizen und ohne Klebstoff auskommen, weshalb das Stecksystem als die sinnvollste Lösung erschien.

Anfänglich stand der Gedanke im Vordergrund, alle Entwürfe parametrisch zu generieren. Doch schon bald stellte sich dabei ein Problem heraus, da das Laser gecuttete Modell zweidimensional direkt für die spätere Herstellung am Lasercutter produziert wurde. Je größer der Detaillierungsgrad am digitalen Objekt war, desto größer erschien auch die Problematik, parametrische Codes für die Planung des Prototyps einzusetzen. Deswegen musste in diesem Entwurf auf die Programmiersprache von Grasshopper verzichtet werden.

In einem nächsten Schritt sollte eine Software entwickelt werden, die dem Kunden eine einfache Handhabung ermöglicht. Dieser sollte imstande sein die vorher abgemessene Länge und Breite seines Fußes in eine Software einzutragen und eine gültige CAD Datei, die zum Lasercutten geeignet ist, zu erhalten. Dabei kann individuell auf Größe und Form des Fußes eingegangen werden.

Durch die Technologie des Lasercutters und des Stecksystems können Kunden, nach dem Erhalt der richtigen CAD Daten, in ein Geschäft gehen, um ihr neues Paar Schuhe cutten zu lassen. Daraufhin können sie die einzelnen, zweidimensionalen Elemente von Hand zusammenfügen und werden dabei Zeuge, wie ein dreidimensionales Objekt entsteht. In einem weiteren Schritt steht es den Verbrauchern frei, wieviel Zeit und Leidenschaft sie in das Weben der Fäden stecken wollen. Dafür reicht ein normales Garn, welches mit einer gebogenen Nadel durch die vordefinierten Löcher geführt wird.

Ein weiteres Plus sind die günstigen Herstellungskosten eines Prototyps. Bei Holz betragen die Kosten für eine 4mm Pappelplatte (594x420mm), auf der sich ein Paar Schuhe ausgeht, lediglich 2€ und eine 4mm Acrylglasplatte (750x500mm) 25€. Eine Stunde Lasercutten kostet auf der TU Graz 8€. Wenn man damit rechnet, dass jeder Haushalt

## RESÜMEE BIONIK I | LASERCUT

Nadel und Garn besitzt, belaufen sich die Kosten für den Endverbraucher bei dem *Holzschuh auf 10€* und bei dem *Acrylschuh auf 33€*. Dazu würden dann eventuell noch die Kosten für die CAD Daten kommen.

Um die Herstellungskosten noch weiter zu reduzieren könnte auch auf die individuelle Eintragung der Länge und Breite des Fußes in eine Software verzichtet werden. Stattdessen werden die Bauklötze für die Prototypen in den herkömmlichen Schuhgrößen (36-40) vorgefertigt. Die einzelnen Elemente wären in den unterschiedlichen Größen und Materialien in Geschäften abgepackt und zu einem fixen Preis erhältlich. Dabei entfällt die Erstellung einer Software und der Zeitaufwand des Verbrauchers ein Geschäft zu finden, das einen Lasercutter besitzt.

Ich kann mir durchaus vorstellen, dass dieses System der spielerischen Schuhherstellung gut ankommt, vor allem da sich Erwachsene in ihrer Freizeit gerne mit Modellbau und Handarbeit jeglicher Art befassen. Das Weben nach dem Zusammenbau der einzelnen Module kann eine individuelle Optik jedes Schuhs erzielen, was den Kauf eines solchen Produktes noch reizvoller macht.

Ich muss aber dazu sagen, dass sich beide Prototypen eher im Design Bereich bewegen. Ein Gehen auf dem Catwalk

ist durch die Leichtigkeit und den Komfort der Schuhe

zwar einfach, dennoch würden sich die Modelle im Außenraum schnell abnutzen. Zusätzlich müsste der Holzschuh gegen äußere Einflüsse geschützt werden.

Zum Komfort der Schuhe sollte noch erwähnt werden, dass sich dieser durch die Ausarbeitung neun unterschiedlicher Modelle erheblich verbessert hat, und auf jeden Fall mit anderen Schuhen, die es zu kaufen gibt, mithalten kann. Jedoch kann durch die Eigenschaften der Materialien keine Dämpfung erzielt werden, weshalb ich auf dieses Kriterium bei dem 3D gedruckten Prototyp besonderen Wert lag.

**RESÜMEE BIONIK II | 3D DRUCK**

Um zu vergleichen und eine Aussage über den Preis und die Effizienz zu treffen, fertigte ich nicht nur einen lasergeschnittene sondern auch einen 3D gedruckten Prototyp an.

Da ich beim Laser geschnittenen Entwurf keine Dämpfung erzielen konnte, legte ich beim 3D gedruckten Modell besonderen Wert auf dieses Merkmal. Vor allem da bis jetzt keine Damenschuhe mit Absatz und integrierter Dämpfung auf dem Markt existierten.

Ich wollte bei diesem Design, wie schon beim geschnittenen Prototyp durch das Weben, eine gewisse Individualität erreichen, die meinen Schuh einzigartig machen sollte. Diese Voraussetzung wurde durch einen Schiebemechanismus erzielt, der es mir erlaubte gewisse Teile des Schuhs auszutauschen.

Als Vorbild für den Entwurf diente die Außenkante des vorigen Modells. Dabei handelte es sich um die abstrahierte Kontur eines Blattes. Daraus bildete ich ein Volumen, auf das im nächsten Schritt ein selbst generiertes Skript aus dem Programm Grasshopper gelegt wurde. Dabei entstand die Idee, das Skript direkt auf den Leisten zu legen, um somit die Form des Fußes nachzubilden.

Es folgte eine Differenzierung zwischen Schaft und Plateau des Schuhs, um daraufhin über eine mögliche Austauschbarkeit der Elemente nachzudenken.

Für das Plateau konnte nicht dasselbe Skript benutzt werden, da dieses ganz andere Anforderungen als der Schaft des Schuhs hatte. Es musste ein geeigneter Entwurf entwickelt werden, um zum einen eine ansprechende und geschlossene Form zu finden, und zum anderen die passenden Voraussetzungen für eine dämpfende Wirkung während des Gehens zu erreichen.

Das erste dreidimensionale Modell, das mit einer Voronoi Struktur versehen war, wies aufgrund des Skriptes leider ungünstige Volumenkörper auf, weshalb ein neues Skript generiert werden musste.

Durch ein Treffen mit Mitarbeitern der Abteilung für innovative Technologien der Schuhfirma *Legero* wurde ich in meiner neuen Idee bekräftigt, Bienenwaben als Basis für den nächsten Entwurf zu verwenden. Ich fertigte ein neues Skript an, das auf den mir angepassten digitalen Leisten gelegt wurde. In späterer Folge könnte man durchaus Füße 3D scannen, um die Datei anschließend als Vorlage für das Skript einzusetzen.

**RESÜMEE BIONIK II | 3D DRUCK**

Mittels der Erstellung von *Pipes* im oberen Bereich des Schuhs konnten endlich gültige Volumenkörper generiert werden.

Das Plateau wurde durch vorher geskriptete Linien händisch ausgearbeitet. Dabei wurden dreidimensionale Wabenkammern angefertigt, um eine optimierte Dämpfung zu erzeugen. Diese konnte natürlich nur durch einen flexiblen 3D Druck erzielt werden.

Im letzten Schritt wurde noch an einer Verbindung zwischen Ober- und Unterteil des Schuhs gearbeitet, um diese Elemente austauschbar zu gestalten. Durch den Einsatz einer Einlage, die mit dem Schaft und ausgewählte Waben aus dem Plateau verbunden war, konnte ein einfacher Mechanismus erzielt werden, der es erlaubte den Schaft beziehungsweise das Plateau durch andere Designs auszutauschen.

Legero hatte mir angeboten, den Prototyp extern flexibel drucken zu lassen. Doch es gab große Probleme mit den angefertigten .stl Dateien. Trotz geschlossener Volumenkörper und langer Planung konnte der 3D Druck nicht rechtzeitig produziert werden.

Zweifelsohne ist die Herstellung mittels 3D Druck eine sinnvolle Anwendung im Bereich des Prototypenbaus, dennoch sollten auch andere Technologien für die serielle Produktion (z.B.: Gussverfahren) in Betracht gezogen werden.

In einer Broschüre im hinteren Teil des Buches wird mit einer Fotostrecke im Detail auf die Qualität, den Komfort und Tragbarkeit des Schuhs eingegangen.



## CONCLUSIO

Der Grundgedanke während meiner Arbeit, befasste sich mit der Planung zweier Prototypen und dem anschließenden Vergleich der angewandten Herstellungstechnologien. Im Laufe des Entwicklungsprozesses stellte sich jedoch heraus, dass die Ergebnisse so konträr waren, dass man diese nicht gegenüberstellen konnte. Vor allem da sich der Laser gecuttete Schuh bei der Ausarbeitung der Primärstruktur mit der zweidimensionalen Ebene auseinandersetzte und sich der 3D gedruckte Prototyp im dreidimensionalen Raum bewegte.

Trotz der Qualität und der tatsächlichen Tragbarkeit beider Entwürfe würde ich das gecuttete Produkt in die Kategorie der Modellbauer zuordnen. Das 3D gedruckte Ergebnis könnte, sofern sich die Technologie tatsächlich so entwickelt wie es prophezeit wird und jeder zweite Haushalt über einen 3D Drucker verfügt, in der Schuhindustrie Fuß fassen und andere Entwürfe durchaus in den Schatten stellen.

Durch die praktische Umsetzung meiner Prototypen lernte ich, dass zwischen Entwurf und Realisierung, egal in welchem Maßstab man sich bewegte, ein sehr großer Sprung existierte. Weshalb es auch nicht für jedes Problem die perfekte Lösung gab. So mussten beim Laser gecutteten Schuh neun Modelle gefertigt werden, um einen funktionstüchtigen und den Anforderungen entsprechenden Prototyp zu erzeugen. Beim 3D Druck zeigten sich die

Probleme in der Erstellung der richtigen .stl Datei. Trotz der Anfertigung geschlossener Volumenkörper, konnte der Drucker diese nicht als solche erkennen. In Fachkreisen ist bereits bekannt, dass mit dem Modellierprogramm *Rhino* die größten Schwierigkeiten auftauchen.

Meine Voraussetzung am Anfang der Arbeit lag darin, meine Modelle ausschließlich durch Programmieren umzusetzen, um eine spätere Nachbearbeitung zu vereinfachen. Doch meine Entwürfe ließen die vollständige parametrische Modellierung nicht zu. Es stand außer Frage, dass die geskripteten Elemente eine händische Verfeinerung und Adaption benötigten. Nichts konnte komplett programmiert werden, da entweder mir oder der Software die gewissen Fertigkeiten fehlten.

Trotz des spürbaren Wandels in der heutigen Entwurfsfindung und Herstellungstechnologie, kann unter keinen Umständen auf den Einsatz menschlicher Fähigkeiten verzichtet werden.

Das Erfreuliche an meiner Arbeit zeigte sich anhand der resultierenden Endprodukte. Durch zahlreiche Entwicklungsschritte konnte eine Optimierung von Anfang bis Ende erreicht werden und erzielte dabei sehr innovative und zeitgemäße Ergebnisse.



# KAPITEL VII

ANHANG

QUELLENVERZEICHNIS

BILDVERZEICHNIS

DESIGNS | SKIZZEN

**QUELLENVERZEICHNIS BÜCHER**

Andritzky, Michael (Hg)/Kämpf, Günter/Link, Vilma: Z.B. Schuhe. Vom bloßen Fuß zum Stöckelschuh Eine Kulturgeschichte der Fußbekleidung, Bochum 1988

Choklat, Aki: Footwear Design. London 2013

Durian-Ress, Saskia: Schuhe, vom späten Mittelalter bis zur Gegenwart. München 1991

Fastermann, Petra: 3D-Druck/Rapid Prototyping. Eine Zukunftstechnologie - kompakt erklärt. Berlin 2012

Kahle, W./Leonhardt, H./Platzer, W.: Taschenatlas der Anatomie für Studium und Praxis. Band I Bewegungsapparat. Stuttgart 1975

Marco, Eva (Hg)/Assel, Daniela/Universalmuseum Joanneum: Ihr Auftritt! Schuhe mit Geschichten, Graz 2013

Nachtigall, Werner/Pohl, Göran: Bau-Bionik. Natur – Analogien – Technik, Berlin 2013

Sobotta, Johannes/Becher, Hellmut: 1. Band. Atlas der Anatomie des Menschen, München-Berlin-Wien 1972

**QUELLENVERZEICHNIS    BROSCHÜREN**

Kalt, Daniel: Gut zu Fuß. Das liebste Modeobjekt von Ausstellungsmachern ist zweifellos der Schuh. Das Kunsthaus Wien versammelt nun eine Vielzahl experimenteller Ansätze, in: Schaufenster (2014), 22, 23

Reischer, Peter: Temporäre Bauten. Zauberwort Bionik I, in: Architektur (2014), H. 06, 80-81

Reischer, Peter: Zauberwort Bionik II, in: Architektur (2014), H. 06, 82-83

**QUELLENVERZEICHNIS    INTERVIEWS**

Interview mit Chau Har Lee, geführt von Andy Butler, Mailand, 21.02. 2014

Interview mit Iris van Herpen, geführt von Claire Barrett, London, 24.04.2014

Interview mit Rem D. Koolhaas, geführt von Marcus Fairs, London, 10.07.2013

**QUELLENVERZEICHNIS TEXTE ONLINE**

Chalcraft, Emilie, (17.07.2012): Biomimicry Shoe by Marieka Ratsma and Kostika Spaho, <<http://www.dezeen.com/2012/07/17/biomimicry-shoe-by-marieka-ratsma-and-kostika-spaho/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 20.10.2014

Etherington, Rose, (13.03.2011): Invisible Shoe by Andreia Chaves, <<http://www.dezeen.com/2011/03/13/invisible-shoe-by-andreia-chaves/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 20.10.2014

Etherington, Rose, (20.05.2009): Footwear by Zaha Hadid for Lacoste, <<http://www.dezeen.com/2009/05/20/footwear-by-zaha-hadid-for-lacoste/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 22.10.2014

Fairs, Marcus, (02.08.2013): Cubify launches free-to-download shoes you can „print overnight“, <<http://www.dezeen.com/2013/08/02/cubify-launches-free-to-download-shoes-you-can-print-overnight/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 21.10.2014

Fairs, Marcus, (03.07.2013): NOVA Shoe by Zaha Hadid for United Nude, <<http://www.dezeen.com/2013/07/03/nova-shoe-by-zaha-hadid-for-united-nude/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 21.10.2014

Griffiths, Alyn, (11.12.2013): Self-repairing trainers 3D-printed from biological cells by Shamees Aden, <<http://www.dezeen.com/2013/12/11/3d-printed-trainers-synthetic-biology-protocells-shamees-aden-wearable-futures/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 15.10.2014

**QUELLENVERZEICHNIS TEXTE ONLINE**

Housley, Sarah, (23.09.2009): Mojito shoe by Julian Hakes, <<http://www.dezeen.com/2009/09/23/mojito-shoe-by-julian-hakes/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 21.10.2014

Howard, Dan, (06.08.2014): United Nude's Float shoes are created on a desktop 3D printer, <<http://www.dezeen.com/2014/08/06/3d-printed-shoes-by-united-nude/>>, in: <[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)>, 21.10.2014

Huang, Mary, (30.05.2014): About, <<http://shop.continuumfashion.com/pages/about-us>>, in: <[www.continuumfashion.com](http://www.continuumfashion.com)>, 20.10.2014

Kruse, Niels, (19.02.2014): Was von „Zurück in die Zukunft II“ wahr wird und was nicht, <<http://www.stern.de/kultur/film/selbstschnuerender-turnschuh-was-von-zurueck-in-die-zukunft-ii-wahr-wird-und-was-nicht-2091011.html>>, in: <[www.stern.de](http://www.stern.de)>, 15.10.2014

Legero: Unternehmen, <<http://www.legero.at/de/unternehmen>>, in: <[www.legero.at](http://www.legero.at)>, 18.03.2015

Linde Schweisstechnik GmbH, (2014): Laserschneiden, <<https://www.schweisshelden.de/fachwissen/schneiden-trennen/laserschneiden>>, in <[www.schweisshelden.de](http://www.schweisshelden.de)>, 12.04.2015

Mantey, David, (21.04.2014): Behind the mask, <<http://www.pddnet.com/articles/2014/04/behind-mask>>, in <[www.pddnet.com](http://www.pddnet.com)>, 08.04.2015

**QUELLENVERZEICHNIS TEXTE ONLINE**

ShoeRA, (19.07.2013): BEYOND WILDERNESS: IRIS VAN HERPEN FOR UNITED NUDE, <<http://www.shoera.com/2013/07/19/beyond-wilderness-iris-van-herpen-for-united-nude/>>, in: <[www.shoera.com](http://www.shoera.com)>, 21.10.2014

Technische Universität München, (2015): Laserschneiden, <<https://www.ai.ar.tum.de/digital-design-lab/laserschneiden/>>, in <[www.ai.ar.tum.de](http://www.ai.ar.tum.de)>, 12.04.2015

Todd, Savannah, (12.04.2013): 3-D Printed Heels x Marla Marchant, <<http://www.wgsn.com/blogs/footwear/3d-printed-heels-x-marla-marchant>>, in: <[www.wgsn.com](http://www.wgsn.com)>, 20.10.2014

Thum, Marcel, (20.08.2014): Gartner-Marktforschung: 3D-Drucker in 5 Jahren auf den Markt etabliert, <<http://www.3d-grenzenlos.de/magazin/marktforschung/gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2014-bericht-2756853.html>>, in: <[www.3d-grenzenlos.de](http://www.3d-grenzenlos.de)>, 03.03.2015

United Nude, <<http://www.unitednude.com/lo-res-pump-pastel-sky-rubber-1999>>, in: <[www.unitednude.com](http://www.unitednude.com)>, 21.10.2014

United Nude, <<http://www.virtualshoemuseum.com/united-nude/highrise-shoes>>, in: <[www.virtualshoemuseum.com](http://www.virtualshoemuseum.com)>, 21.10.2014

Vielmeier, Jürgen, (08.06.2013): Der Schuh aus dem 3D-Drucker, <<http://neuerding.com/2013/06/08/3d-schuh/>>, in: <[www.neuerding.com](http://www.neuerding.com)>, 15.10.2014

**QUELLENVERZEICHNIS TEXTE ONLINE**

Wikipedia (15.03.2015): Bionik, <<http://de.wikipedia.org/wiki/Bionik>>, in: <<http://de.wikipedia.org>>, 09.04.2015

Wikipedia, (20.01.2015): Benoît Mandelbrot, <[http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Beno%C3%A4t\\_Mandelbrot&oldid=137976409](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Beno%C3%A4t_Mandelbrot&oldid=137976409)>, in: <[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)>, 13.03.2015

Wikipedia, (15.02.2015): Fuß, <<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fu%C3%9F&oldid=135219322>>, in: <[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)>, 09.04.2015

Wikipedia, (15.02.2015): Polymethylmethacrylat, <<http://de.wikipedia.org/wiki/Polymethylmethacrylat>>, in: <<http://de.wikipedia.org>>, 10.03.2015

Williamson, Caroline, (26.08.2013): MELISSA + ZAHA HADID = COOL PLASTIC FOOTWEAR, <<http://design-milk.com/melissa-zaha-hadid-really-cool-plastic-footwear/>>, in: <<http://design-milk.com>>, 22.10.2014

## BILDVERZEICHNIS

- Bild 1:** Durian-Ress, Saskia 1991, 105.  
**Bild 2:** Marco/Assel/Universalmuseum Joanneum 2013, 19.  
**Bild 3:** Choklat 2013, 10.  
**Bild 4:** Marco/Assel/Universalmuseum Joanneum 2013, 51.  
**Bild 5:** Marco/Assel/Universalmuseum Joanneum 2013, 53.  
**Bild 6:** Durian-Ress, Saskia 1991, 43.  
**Bild 7:** Durian-Ress, Saskia 1991, 62.  
**Bild 8:** Durian-Ress, Saskia 1991, 34.  
**Bild 9:** Durian-Ress, Saskia 1991, 56.  
**Bild 10:** Durian-Ress, Saskia 1991, 122.  
**Bild 11:** Durian-Ress, Saskia 1991, 123.  
**Bild 12:** <http://www.moviebreak.de/stories/zuruck-in-die-zukunft-zeitreise-klassiker-kommt-2015-zuruck-dot-dot-dot-als-musical>, 15.10.2014  
**Bild 13:** <http://www.filmjunkies.de/news/zurueck-zukunft-mattel-praesentiert-hoverboard-37944.html>, 15.10.2014  
**Bild 14:** <http://neuerdings.com/2013/06/08/3d-schuh/>, 15.10.2014  
**Bild 15:** <http://neuerdings.com/2013/06/08/3d-schuh/>, 15.10.2014  
**Bild 16-18:** <http://www.dezeen.com/2013/12/11/3d-printed-trainers-synthetic-biology-protocells-shamees-aden-wearable-futures/>, 15.10.2014  
**Bild 19:** Sobotta/Becher 1972, 88.  
**Bild 20:** Choklat 2013, 31.  
**Bild 21:** Sobotta/Becher 1972, 89.  
**Bild 22:** Sobotta/Becher 1972, 252.  
**Bild 23:** Sobotta/Becher 1972, 254.  
**Bild 24:** Choklat 2013, 33.  
**Bild 25:** <http://www.shoepassion.at/schuhwissen/schuhaufbau>, 1.11.2014  
**Bild 26:** Choklat 2013, 35.  
**Bild 27:** Choklat 2013, 41.  
**Bild 28:** Choklat 2013, 46.  
**Bild 29:** Choklat 2013, 48 f.  
**Bild 30:** <http://usi.web.tr/gorsel/g/http-39174-75424-75424www-30365koinor-30365com-75424uploads-75424pics-75424leder-65422d-65422dick-6542212-30365jpg/leder/kollektion.html>, 04.03.2015  
**Bild 31:** <http://www.archiexpo.de/prod/vi-spring-europe/mobelstoffe-einifarbig-leinen-51351-1332895.html>, 04.03.2015  
**Bild 32:** <http://www.boesner.ch/papiere/finnpappe-2-und-3-mm>, 04.03.2015  
**Bild 33:** [http://www.adpic.de/lizenzfreie\\_bilder/Texturen/Sonstige/Zerknicktes\\_Papier\\_159065.html](http://www.adpic.de/lizenzfreie_bilder/Texturen/Sonstige/Zerknicktes_Papier_159065.html), 04.03.2015  
**Bild 34:** <http://de.forwallpaper.com/wallpaper/brushed-metal-352404.html>, 04.03.2015  
**Bild 35:** Michaela Worschitz  
**Bild 36:** <http://www.gmgastro.com/plexiglassscheibe-2-86m.html>, 04.03.2015  
**Bild 37:** [http://www.chip.de/artikel/3D-Drucker-Grundlagen-und-Praxistest-MakerBot-Replicator2-2\\_62356285.html](http://www.chip.de/artikel/3D-Drucker-Grundlagen-und-Praxistest-MakerBot-Replicator2-2_62356285.html), 04.03.2015  
**Bild 38:** <https://jedentagetwas.wordpress.com/2010/11/>, 08.04.2015  
**Bild 39:** [http://www.janbouten.de/Med\\_Praparate/med\\_praparate.html](http://www.janbouten.de/Med_Praparate/med_praparate.html), 08.04.2015  
**Bild 40:** Michaela Worschitz  
**Bild 41:** Michaela Worschitz  
**Bild 42-43:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Mandelbrot-Menge>, 08.04.2015  
**Bild 44-50:** <http://icd.uni-stuttgart.de/?p=11187>, 08.04.2015  
**Bild 51-58:** <http://icd.uni-stuttgart.de/?p=11173>, 08.04.2015  
**Bild 59:** <http://www.lasercutters.co/>, 04.03.2015  
**Bild 60:** <https://www.schweisshelden.de/fachwissen/schneiden-trennen/laserschneiden>  
**Bild 61:** Michaela Worschitz  
**Bild 62:** <http://fashioningtech.com/profiles/blogs/friday-roundup-laser-cut-fashi>, 12.04.2015  
**Bild 63:** <http://www.archiray.de/gallery.php>, 12.04.2015  
**Bild 64-69:** <http://www.winderienstra.com/>, 21.10.2014  
**Bild 70:** <http://www.3drucker.at/3d-druck-wird-eine-eigene-industrie-begrunden/>, 21.10.2014  
**Bild 71:** <http://weblogit.net/2014/01/15/choc-creator-schokolade-aus-dem-3d-drucker-87091/>, 08.04.2015  
**Bild 72:** <http://3dprint.com/wp-content/uploads/2015/02/o3.jpg>, 08.04.2015  
**Bild 73-77:** [http://www.protec3d.de/rapid-prototyping\\_3d-drucken/](http://www.protec3d.de/rapid-prototyping_3d-drucken/), 08.04.2015  
**Bild 78-79:** <http://www.pddnet.com/articles/2014/04/behind-mask>, 08.04.2015

## BILDVERZEICHNIS

**Bild 80-84:** <http://www.irisvanherpen.com/haute-couture>, 08.04.2015

**Bild 85:** <http://www.virtualshoemuseum.com/sahil-lungani/moksha2>, 20.10.2014

**Bild 86:** Kalt, Daniel: Gut zu Fuß. Das liebste Modeobjekt von Ausstellungsmachern ist zweifellos der Schuh. Das Kunsthaus Wien versammelt nun eine Vielzahl experimenteller Ansätze, in: *Schaufenster* (2014), 22, 23

**Bild 87:** Ausstellung Kunsthaus Wien

**Bild 88:** <http://www.virtualshoemuseum.com/julia-kaldi/construct-black>, 20.04.2014

**Bild 89:** <http://www.kunsthawien.com/de/ausstellungen/archiv/54-2014/234-shoetingstars>, 20.10.2014

**Bild 90-91:** <http://www.designboom.com/design/interview-with-shoe-designer-chau-har-lee-02-20-2014/>, 20.10.2014

**Bild 92-93:** <http://showtime.arts.ac.uk/MarlaMarchant>, 20.10.2014

**Bild 94-95:** <http://www.continuumfashion.com/3D-printed-shoes-2014.php>, 20.20.2014

**Bild 96-97:** <http://www.andreiachaves.com/AndreiaChaves/>, 20.10.2014

**Bild 98-99:** <http://www.dezeen.com/2013/08/02/cubify-launches-free-to-download-shoes-you-can-print-overnight/>, 20.10.2014

**Bild 100:** <http://www.dezeen.com/2012/07/17/biomimicry-shoe-by-marieka-ratsma-and-kostika-spaho/>, 20.10.2014

**Bild 101:** <http://i.materialise.com/blog/entry/juxtapose-a-new-3d-printed-shoe-by-marieka-ratsma>, 20.10.2014

**Bild 102-103:** <http://www.dezeen.com/2009/09/23/mojito-shoe-by-julian-hakes/> 21.10.2014

**Bild 104:** <http://shesaidshoes.com/tag/julian-hakes/>, 09.04.2015

**Bild 105:** <http://www.dezeen.com/2013/07/10/rem-d-koolhaas-interview/>, 21.10.2014

**Bild 106:** <http://www.dexigner.com/news/17362>, 21.10.2014

**Bild 107:** <http://www.unitednude.com/mobius-hi-black-nappa-842>, 21.10.2014

**Bild 108:** <http://www.unitednude.com/lo-res-pump-pastel-sky-rubber-1999>, 21.10.2014

**Bild 109:** <http://www.dezeen.com/2014/08/06/3d-printed-shoes-by-united-nude/> 21.10.2014

**Bild 110:** <http://www.virtualshoemuseum.com/united-nude/highrise-shoes>, 21.10.2014

**Bild 111:** <http://www.shoera.com/2013/07/19/beyond-wilderness-iris-van-herpen-for-united-nude/>, 21.10.2014

**Bild 112-113:** <http://www.dezeen.com/2013/07/03/nova-shoe-by-zaha-hadid-for-united-nude/>, 21.10.2014

**Bild 114-115:** <http://www.zaha-hadid.com/design/melissa-shoes/>, 21.10.2014

**Bild 116-117:** <http://www.dezeen.com/2009/05/20/footwear-by-zaha-hadid-for-lacoste/>, 21.10.2014

**Bild 118-120:** Michaela Worschitz

**Bild 121:** <http://www.lasercutters.co/>, 04.03.2015

**Bild 122-203:** Michaela Worschitz

**Bild 204:** <http://www.3drucker.at/3d-druck-wird-eine-eigene-industrie-begrunden/>, 21.10.2014

**Bild 205:** <http://www.andreiachaves.com/AndreiaChaves/>, 20.10.2014

**Bild 206:** <http://www.continuumfashion.com/projects.php> Bilder, 20.10.2014

**Bild 207:** <http://www.unitednude.com/lo-res-pump-pastel-sky-rubber-1999>, 20.10.2014

**Bild 208-212:** Michaela Worschitz

**Bild 213:** <http://www.legero.at/de/unternehmen>, 18.03.2015

**Bild 214:** Michaela Worschitz

**Bild 215:** <http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-17805-2014-07-18.html>, 18.03.2015

**Bild 216-260:** Michaela Worschitz

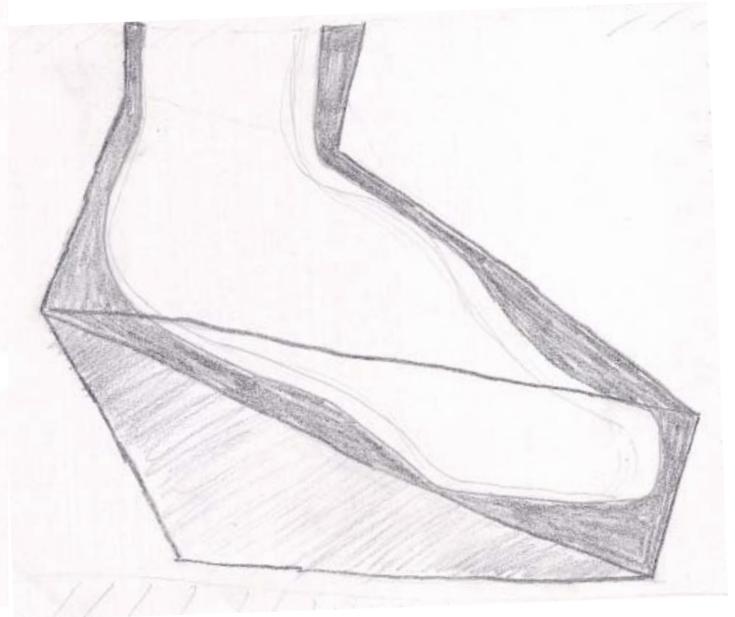
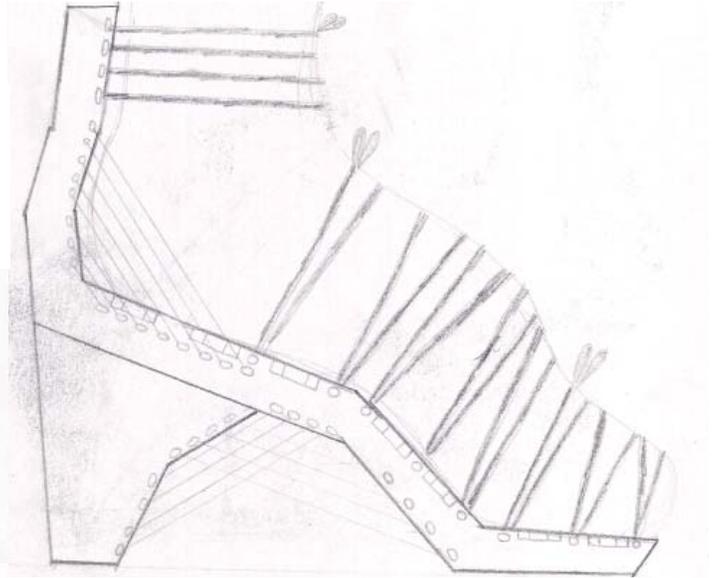
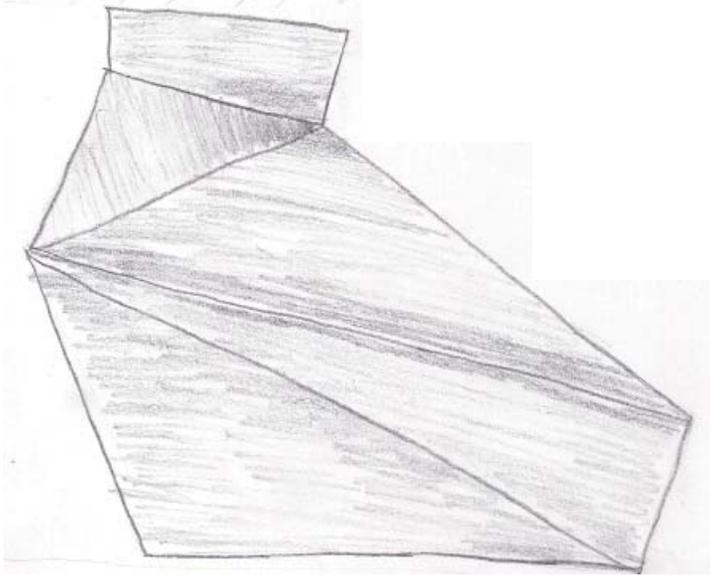
**Tabelle 1:** Firma Glas Zemann

**Tabelle 2-5:** Firma 3D System.

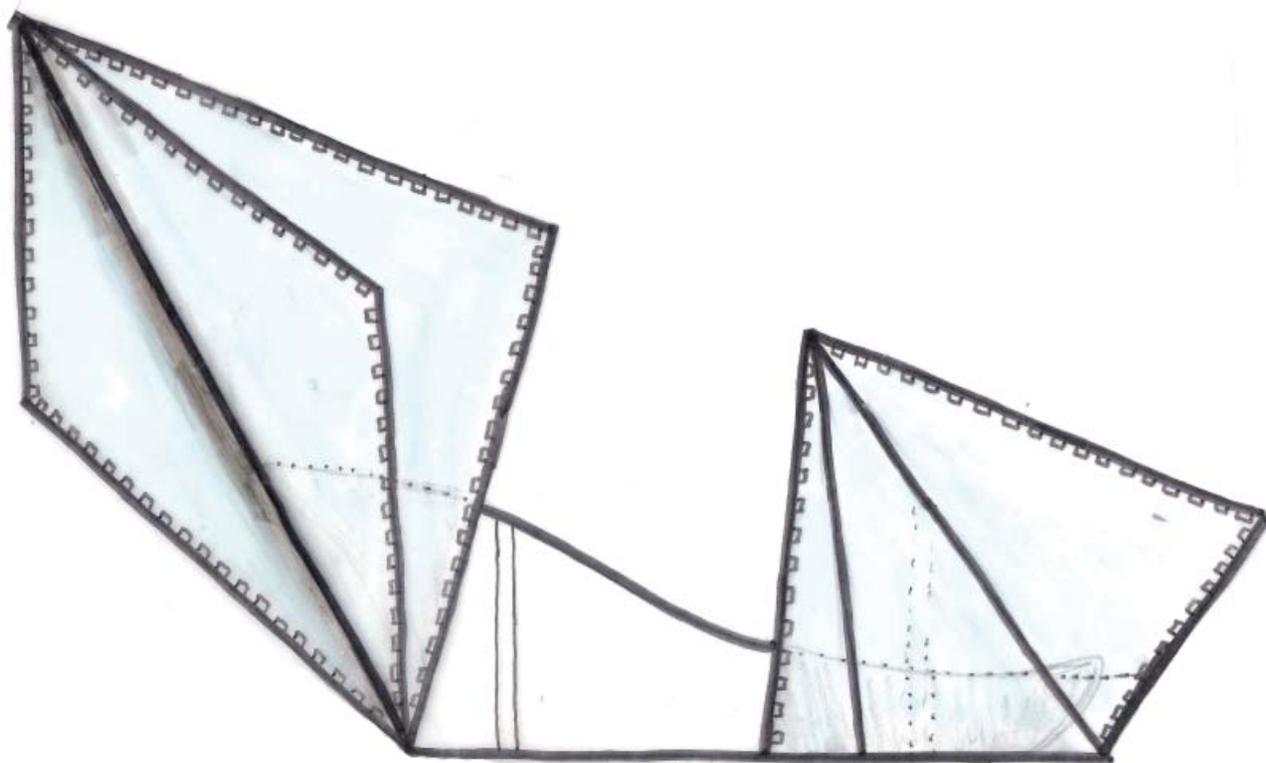
## SKIZZEN



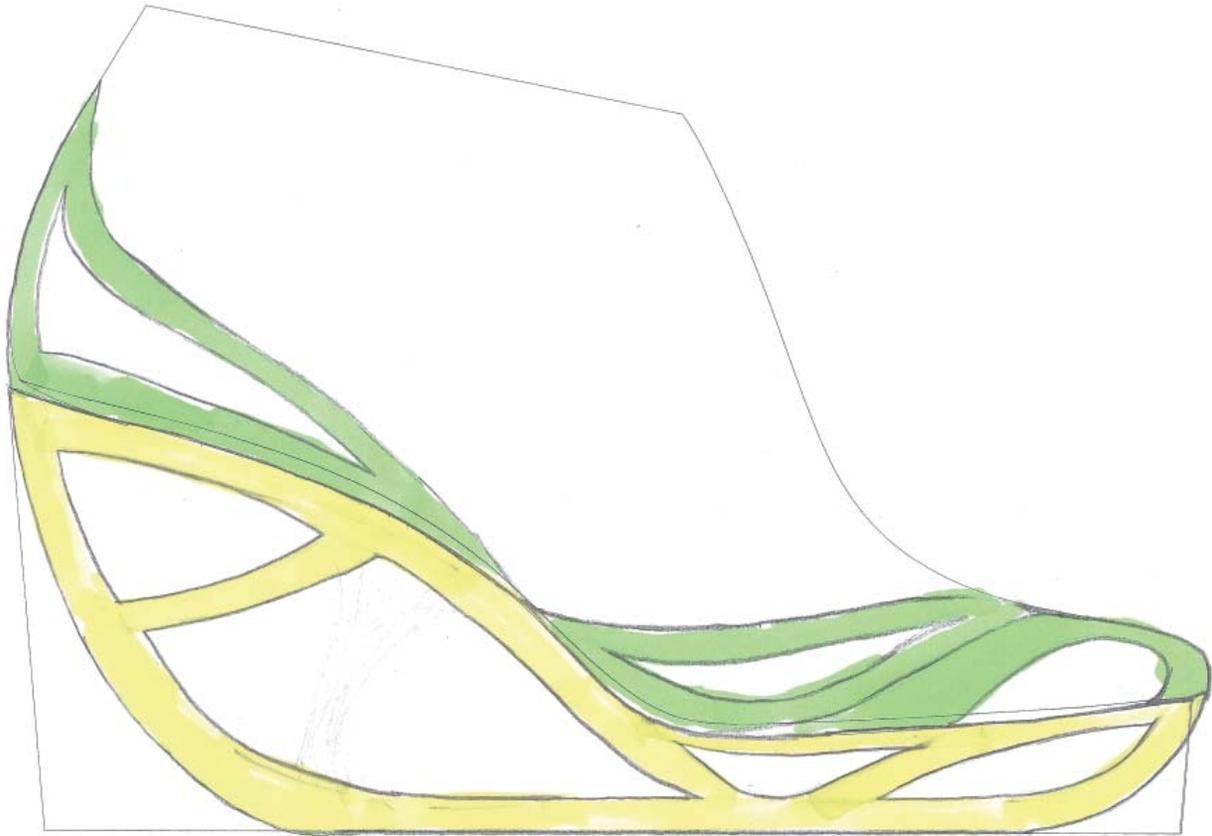
## SKIZZEN



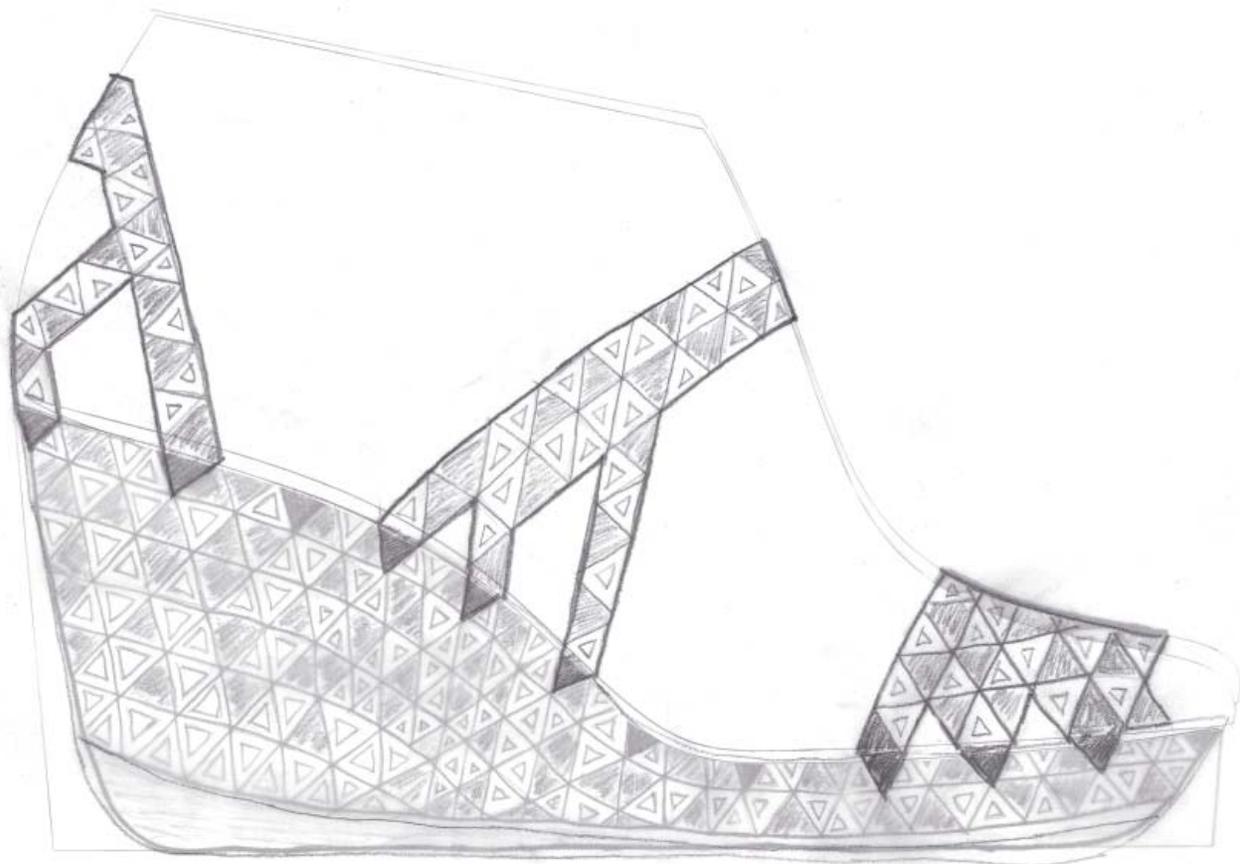
## SKIZZEN



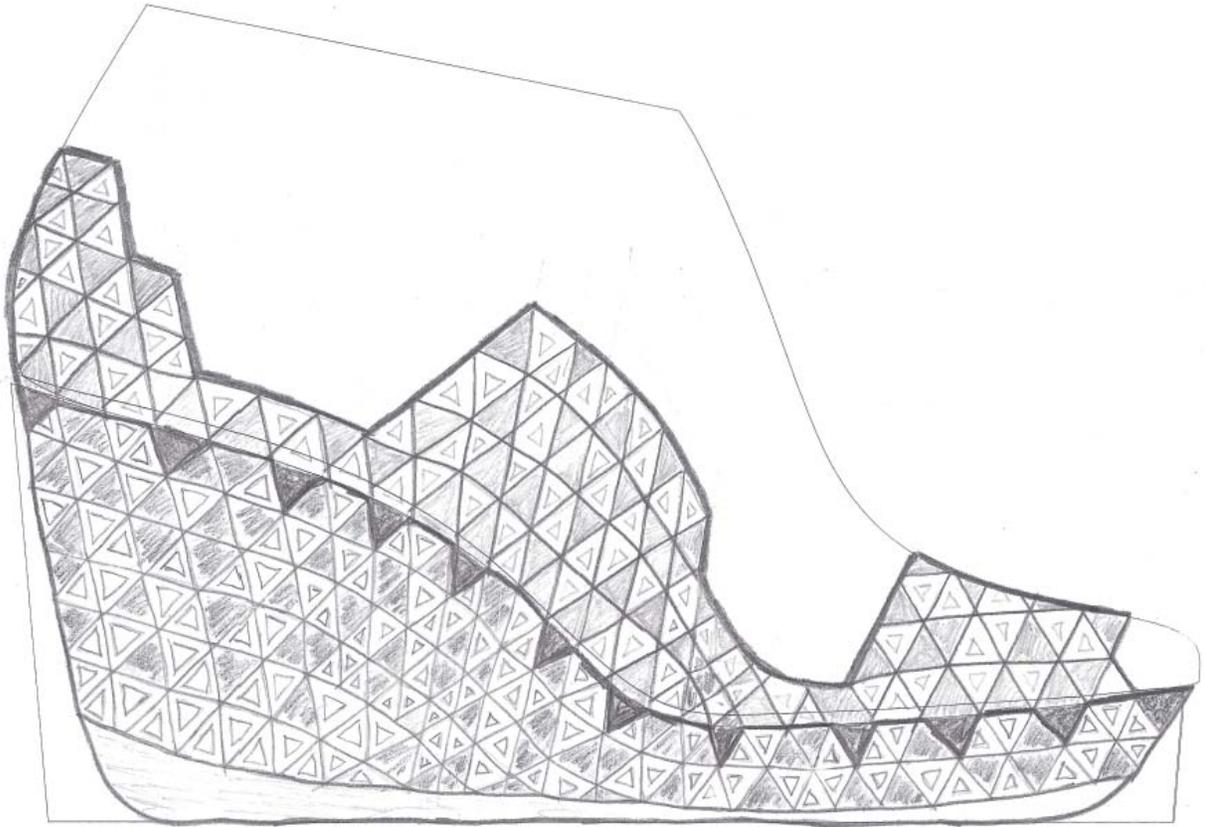
## SKIZZEN

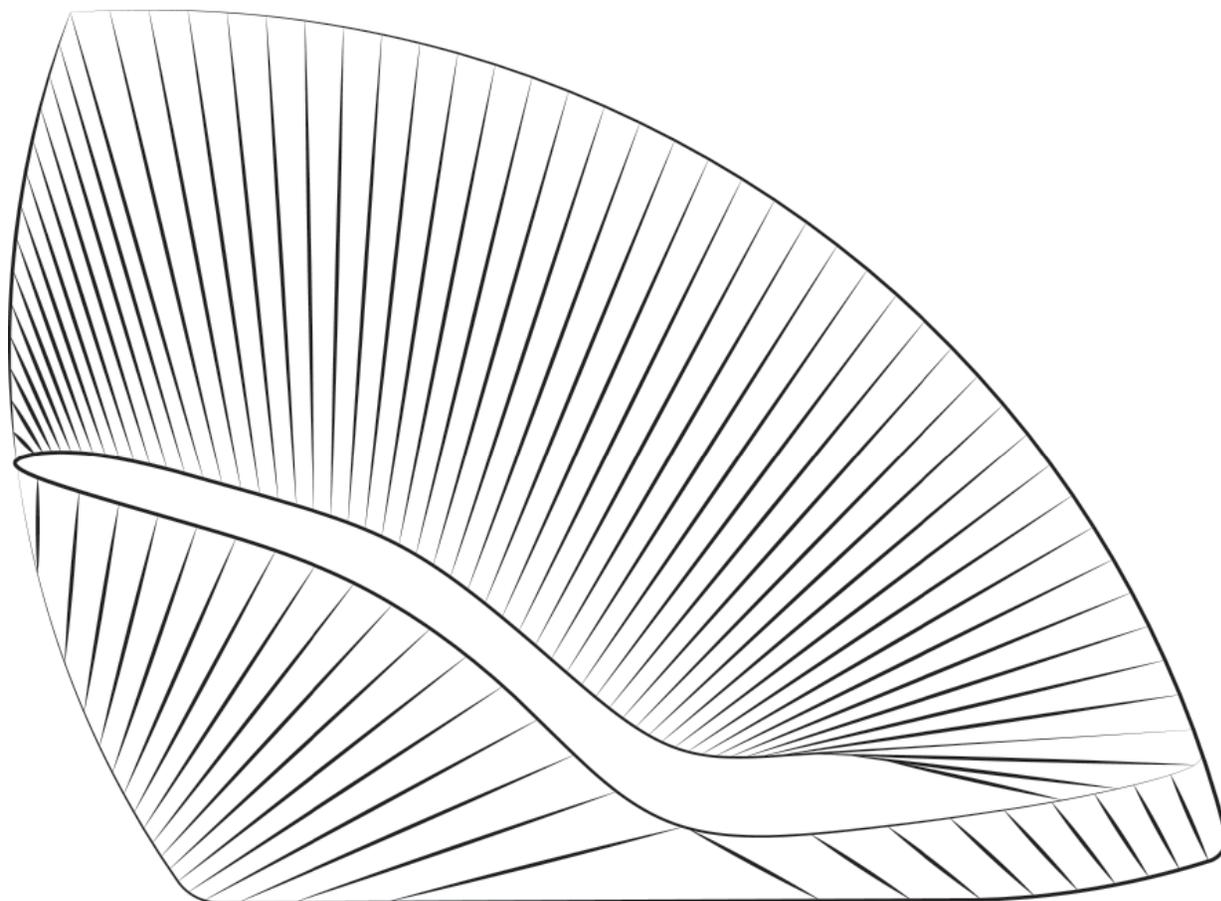


## SKIZZEN

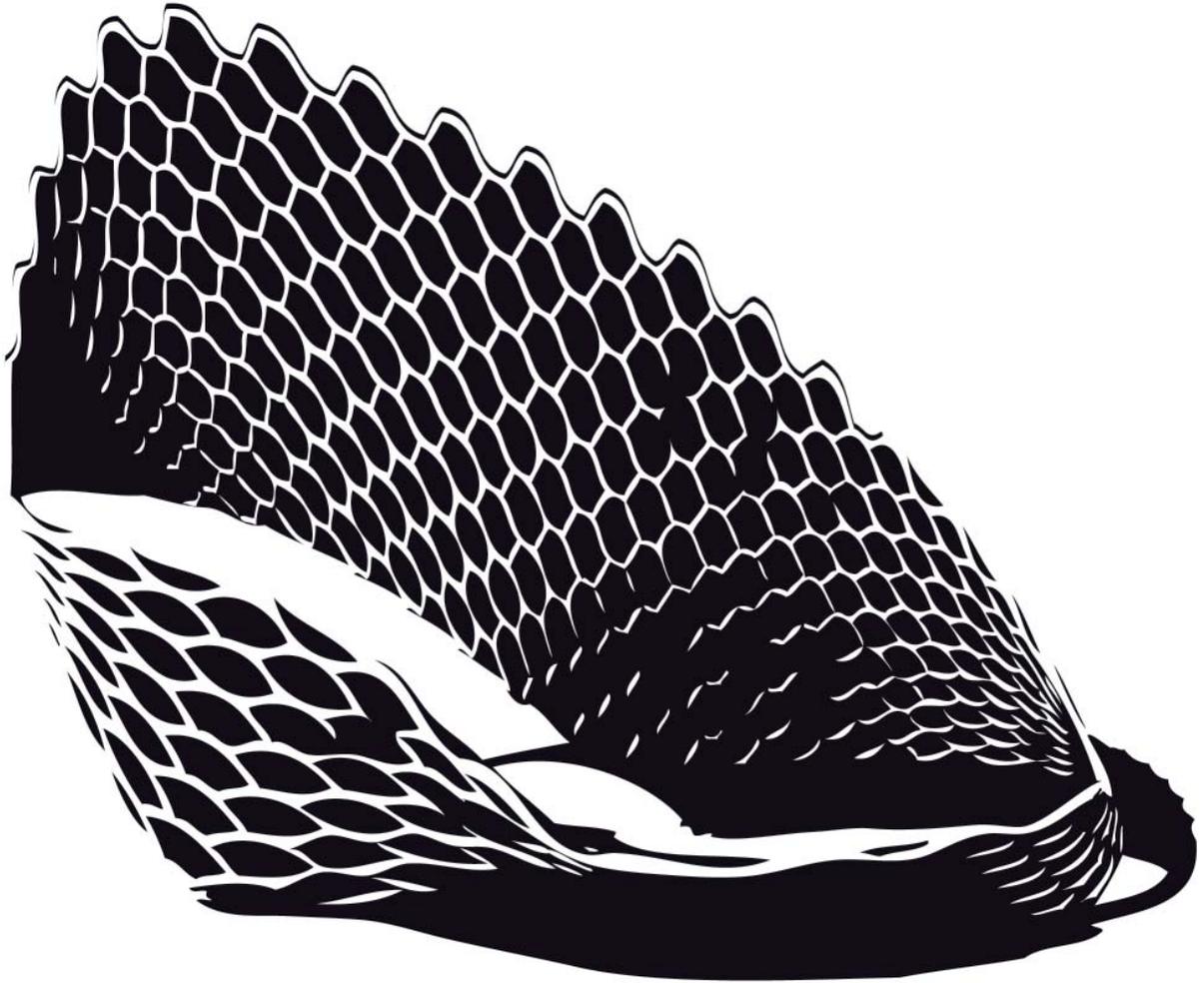


## SKIZZEN



**DESIGNS**

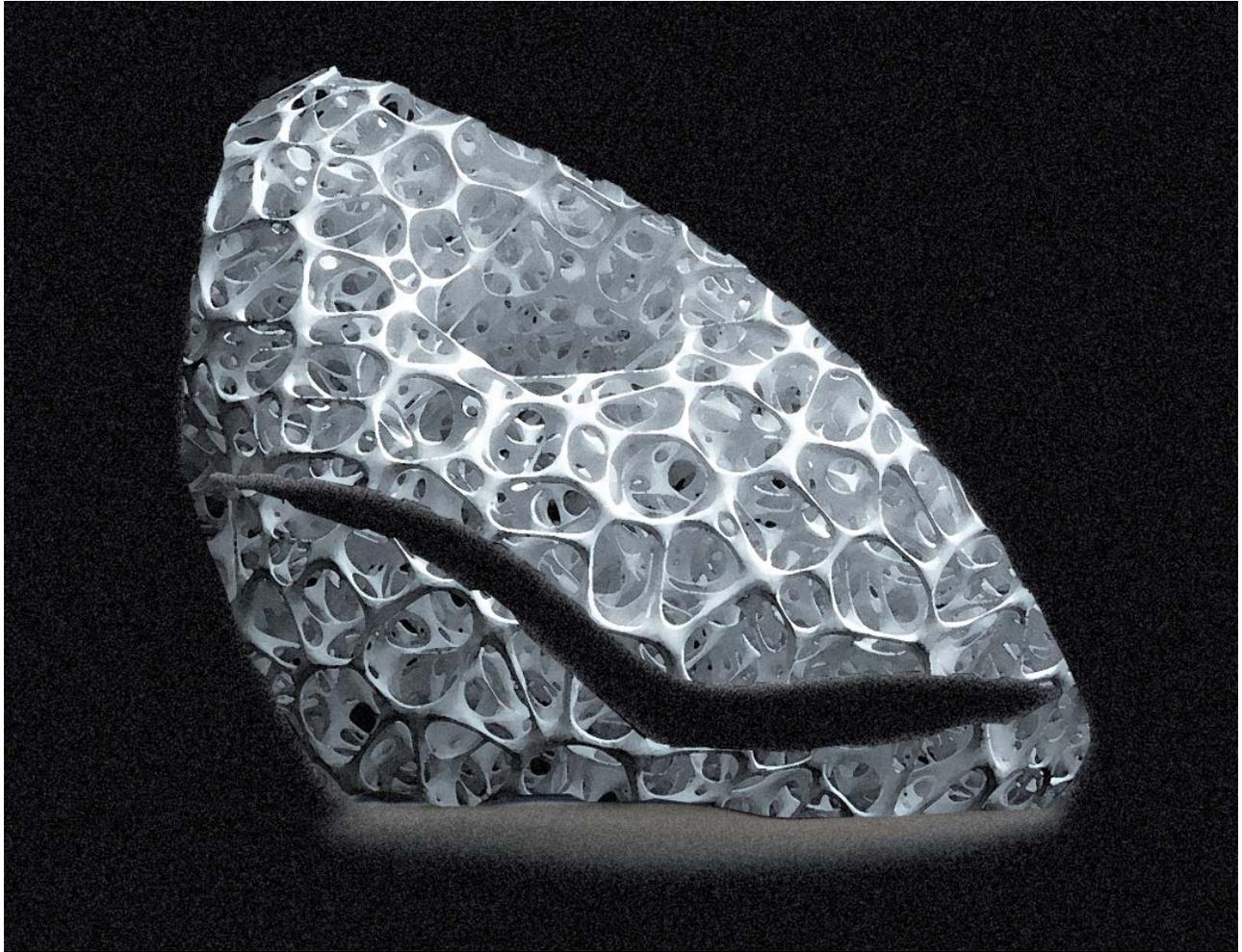
## DESIGNS



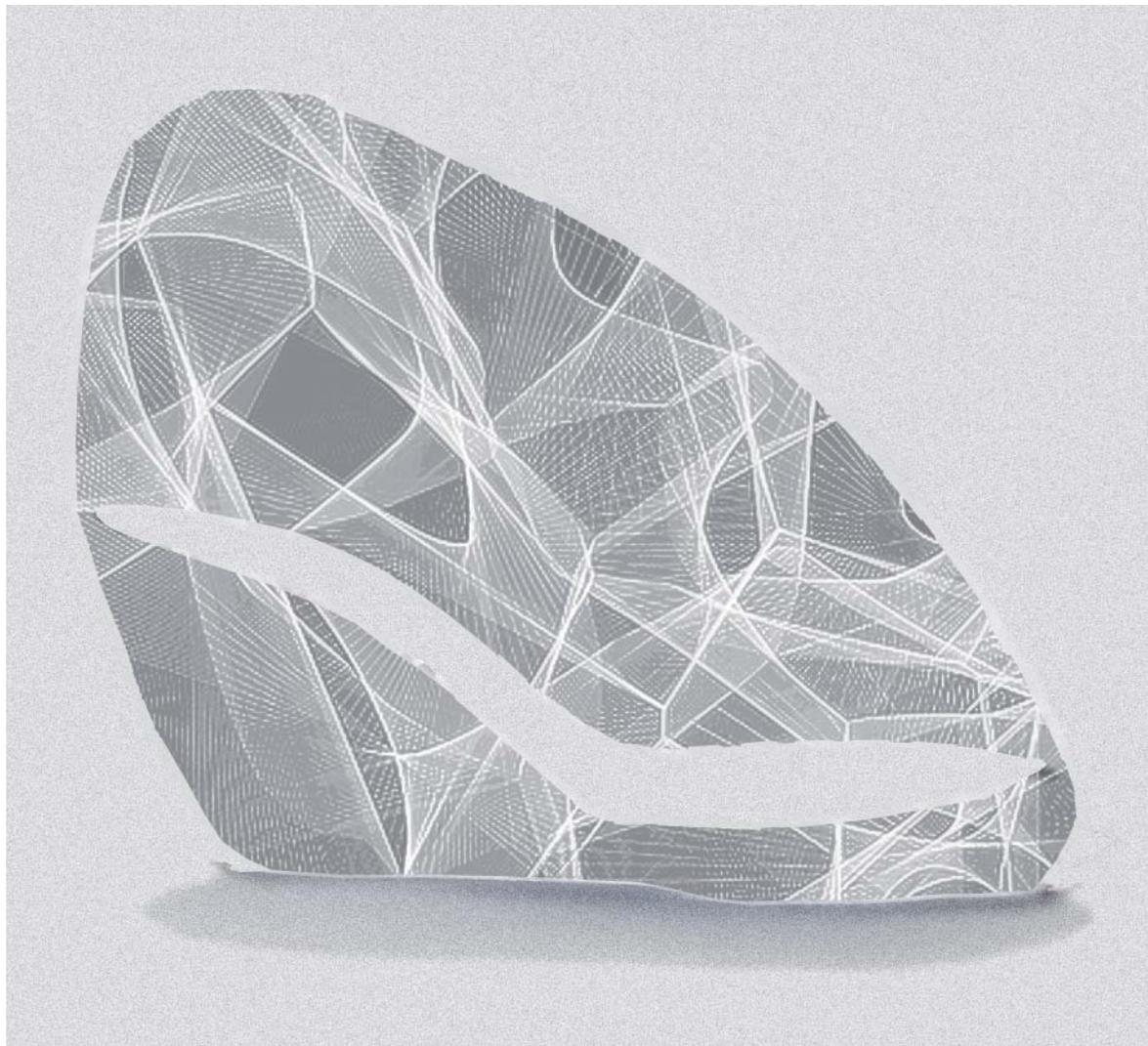
DESIGNS



## DESIGNS



## DESIGNS



## DESIGNS

