FYTON

Fassadenbegrünung durch Beton-3D-Druck

Projektdokumentation

HSLU Hochschule Luzern

FYTON

Fassadenbegrünung durch Beton-3D-Druck

Künstlerisch-gestalterische Bachelorarbeit von Pascal Stutz
in Zusammenarbeit mit

Affentranger 3DCP AG
Gartenstrasse 7
4537 Wiedlisbach BE

www.affentranger3dcp.ch

Mentor: Christof Sigerist

BA Objektdesign 6. Semester
Januar – Juli 2022

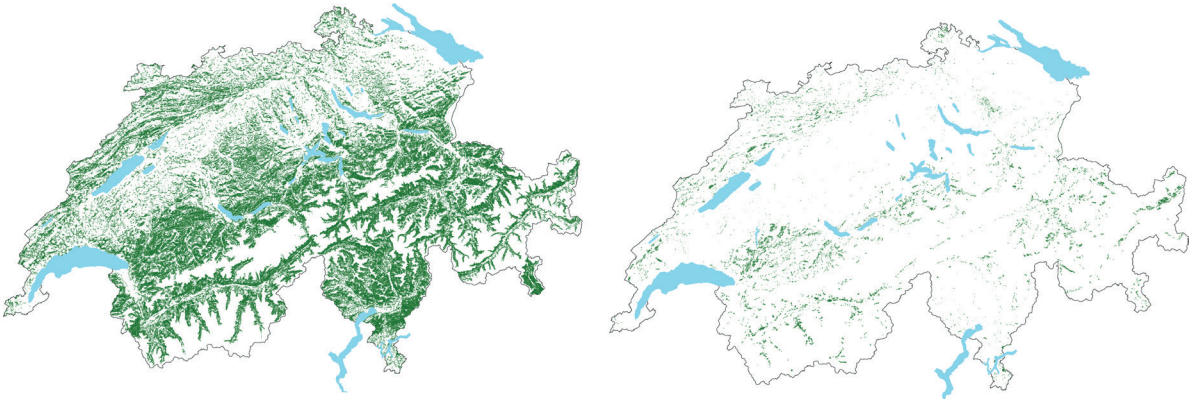
Hochschule Luzern Design & Kunst

AFFENTRANGER 3DCP
Swiss Concrete Printing in perfection

HSLU Hochschule Luzern

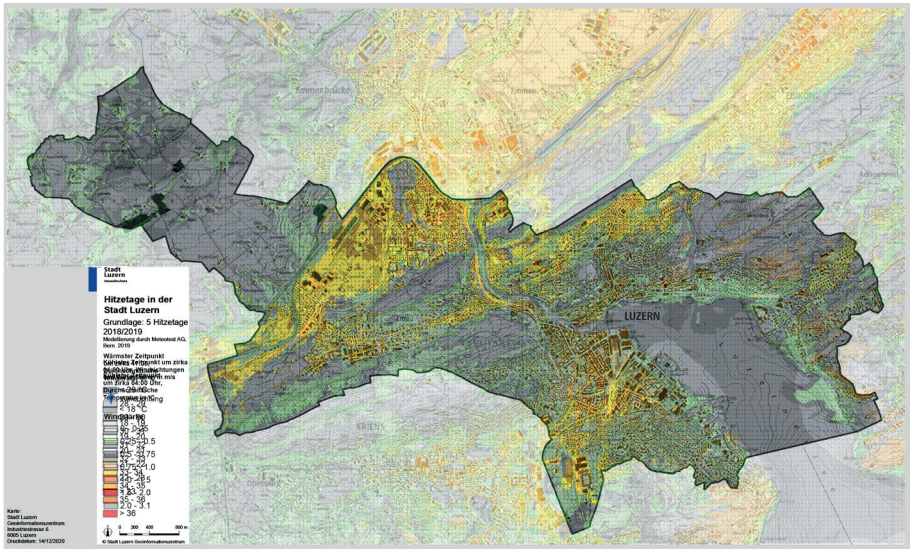
Einführung und Vorhaben

In der Schweiz, wie auch weltweit nimmt die natürliche Biodiversität ab. Ein grosser Aspekt dieser Abnahme ist das Fehlen von Flächen, auf welchen sich die Natur selber reguliert. Ein Beispiel hierfür wären Trockenwiesen, welche diversen Pflanzen- und Tierarten ein Habitat bieten. Über die Dauer des letzen Jahrhunderts hat der Anteil von Trockenwiesen in der Schweiz um satte 95% abgenommen. Der wirtschaftliche Schaden eines Ausfalls der Biodiversität in der Schweiz wird auf 4% des Bruttoinlandsproduktes pro Jahr geschätzt, in Zahlen sind dies 28 Mia. Franken die jedes Jahr zur Kompensation aufgewendet werden müssten. Ein wichtiger Grund für die Abnahme von Biodiversität ist die Art der Flächennutzung. In der Schweiz werden die Landwirtschaftsflächen intensiv genutzt und die Siedlungsfläche vergrössert sich; Da bleibt wenig Platz für naturbelassene Orte.



Abnahme von Trockenwiesen in der Schweiz. Bestand von 1900 links und von 2010 rechts

Interessanterweise zeigt sich jedoch in den urbanen Gebieten eine grosse Artenvielfalt, welche jedoch durch mehr Grünfläche gefördert werden muss. Weiter heizen sich die Städte der Schweiz im Sommer immer mehr auf, daher sich die grösstenteils versiegelten Flächen (Asphaltböden, Stein-, Glas- und Metallfassaden) die Wärme den Tag über speichern oder reflektieren und dann nachts kontinuierlich wieder abgeben. Auch hier können Grünflächen neben dem erweiterten Lebensraum einen guten Beitrag zur Kühlung der Städte leisten.



Hitze in der Stadt Luzern: Die gelben und roten Bereiche heizen sich tagsüber stark auf und kühlen nachts nicht richtig ab

In Schweizer Städten ist der vorhandene Raum jedoch effizient und verdichtet für Wohnraum und Infrastruktur genutzt. Horizontale Grünflächen neu anzusiedeln ist aus diesem Umstand recht schwer. Ein Raum der recht ungenutzt erscheint sind indes Fassaden. Fassaden werden aus Kosten- und Effizientgründen relativ selten begrünt obschon enorm Fläche dafür vorhanden wäre: Der Zürcher «Prime Tower» alleine hat eine Fassadenfläche so gross wie drei Fussballfelder.

Durch den Kontakt zu der Partnerfirma, mit welcher ich diese praktische Bachelorarbeit absolviere, erfuhr ich von einer neuen Technologie: Beton-3D-Druck. Die Affentranger 3DCP AG brachte mir die Technik näher und schnell sah ich spannende Synergien. Der Beton-3D-Druck bietet ein beständiges und erprobtes Material, welches sich durch das Fertigungsverfahren flexibel formen lässt. Diese Flexibilität zeigt neue Möglichkeiten auf die ich als Designer nutzen kann: Zum einen habe ich neue Möglichkeiten als Designer in ästhetischer Hinsicht mit dem Material neue Wege zu gehen, jedoch kann ich auch auf die Bedürfnisse von Pflanzen und Tieren im urbanen Raum adäquat reagieren.

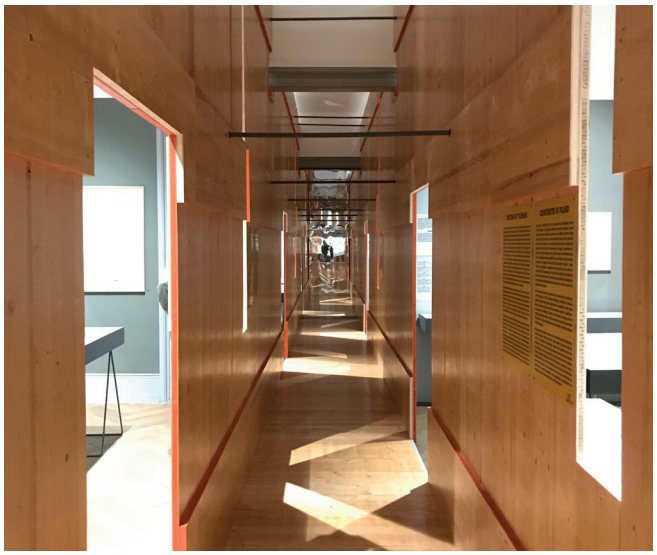
Dies sind auch die beiden Dreh- und Angelpunkte in meiner kompletten Bachelorarbeit: Grünfläche an Fassaden und Beton-3D-Druck. Am Ende meiner Arbeit soll ein Ansatz ersichtlich sein, wie mit den Mittel des Beton-3D-Drucks neue Grünfläche an Fassaden generiert werden kann.

So will ich in dieser praktischen Bachelorarbeit erfahren: Wie funktioniert der Beton-3D-Druck und welche Möglichkeiten bietet er? Wie kann ich als Designer damit arbeiten? Wie bringe ich neuen Grünraum in Städte? Und wie kreiere ich eine Lösung für Pflanzen, Tiere und Menschen welche auch die ästhetischen Aspekte nicht ausser acht lässt?

Auf den folgenden Seiten lässt sich nachverfolgen wie mein Ansatz und der Weg dahin verlaufen sind.

Ausstellung «Beton»

Zum besseren Verständnis der Materie und in der Hoffnung Inspiration zu schöpfen begab ich mich nach Basel ins Schweizerische Architekturmuseum SAM. Die aktuelle Ausstellung zum Thema Beton klang vielversprechend und so schlenderte ich durch die Räume. Der Schwerpunkt der Ausstellung lag in der Geschichte des Bauens mit Beton in der Schweiz und dessen diverse Anwendungen. Für mein BA-Thema ergab sich leider realtiv wenig, jedoch wurde ich mir während dem Besuch bewusst wie divers sich das Material in unseren Städten und Landschaften zeigt. Weiter zeigte sich auch, dass der Beton in der breiten Öffentlichkeit auch ein Streitpunkt sein kann. Das Aufzeigen der Herstellung von Beton gab mir ein grösseres Bewusstsein, besonders hinsichtlich der Ökologie.



Ausstellungsansichten

Schalungselement mit Ornament; Verwendet beim Bau des «Atelier Bardill» in Scharans GR

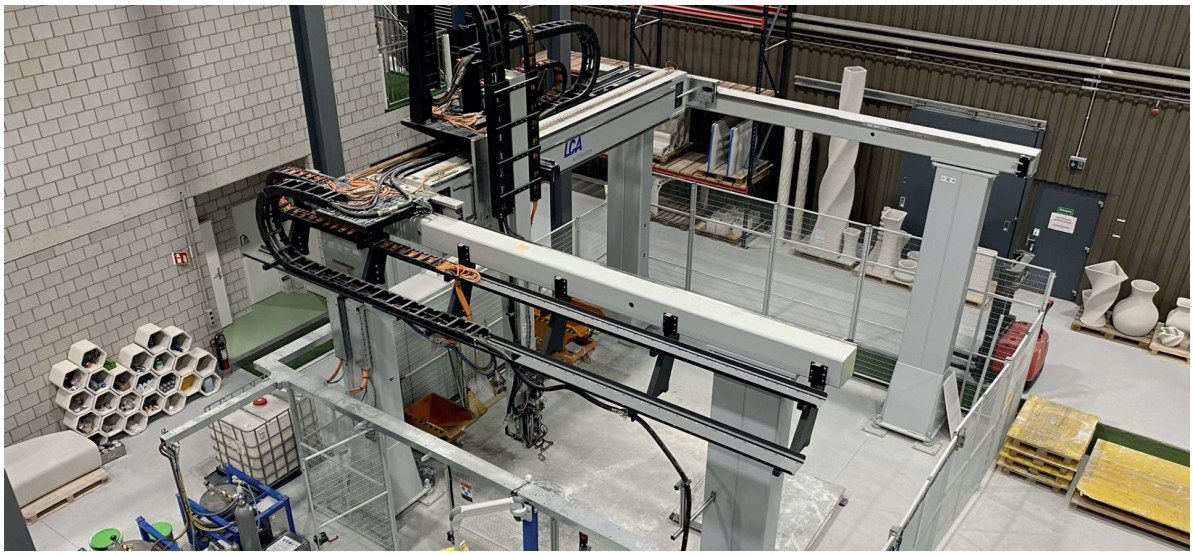
Kennenlernen der Maschine

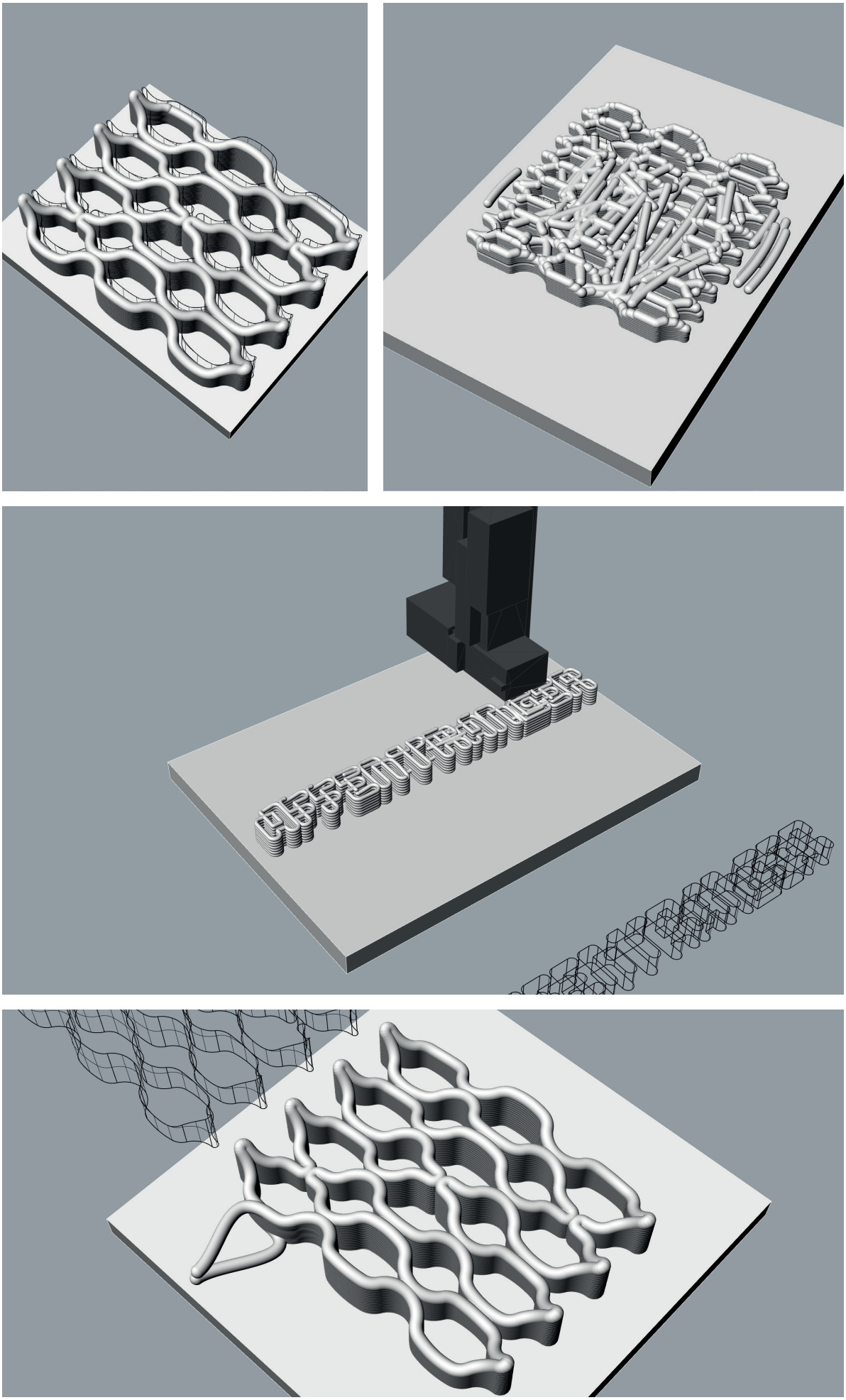
Durch einen zweitägigen Arbeitseinsatz bei meiner Partnerfirma, Affentranger 3DCP AG, erfuhr ich die Grundlagen der Maschine und der Softwareumgebung.

Der erste Tag war durch eine Einführung in den speziell für diese Maschine konzipierten Slicer geprägt. Zu meinem Vorteil basiert die Softwareumgebung auf Rhinoceros und Grasshopper, das CAD-Programm auf welchem ich schon in der HSLU geschult wurde.

An diesem Tag ergaben sich schon erste Erkenntnisse betreffend den Limitierungen der Maschine. So druckt die Maschine keine Stützstrukturen (was ergo Aussparungen und grosse Überhänge verunmöglicht). Weiter benötigt die Maschine geschlossene Konturen die sie abfahren kann, sowie sind Überschneidungen von Druckpfaden kaum zu Drucken.

Der zweite Tag bestand aus aktivem Mitarbeiten im Betrieb um den Druckprozess auch von der praktischen Seite her kennenzulernen. Beim abschliessenden Reinigen der Maschine bekam ich fundierte Einblicke in die Funktionsweise der Anlage.





Meine ersten «Gehversuche» mit Rhino und dem Slicer der Maschine. In der Mitte sind auch Erkundungen in Richtung Schrift zu erkennen.

Expertisen von Fachpersonen

Damit die Panels, welche am Ende gedruckt werden sollen nicht an der Realität vorbeidesignt werden, setzte ich mich mit diversen Fachpersonen und Institutionen in Verbindung. Vertreten waren diverse Akteur*innen aus der Privatwirtschaft, von staatlichen Stellen, NGO's und Bildungseinrichtungen. Die jeweiligen Gespräche dienten sowohl der schriftlichen Arbeit als Quellen, jedoch auch massgeblich der praktischen Arbeit. Durch die gesammelten Expertisen zeichneten sich «Richtlinien» für den Designprozess ab. Durch die Inputs erlangte ich wertvolle Informationen zu den Bedingungen und Möglichkeiten von Flora, Fauna, Technik und Architektur.

Alle beteiligten Stellen; Herzlichen Dank an die Mitwirkenden!

Visiten

Zusätzlich zu den Interviews ergaben sich drei Möglichkeiten von physischen Besuchen.

Die erste Visite war studiengangsintern. Die Studierenden des (dazumaligen) 2.Semesters im Objektdesign erhielten in ihrem Modul «Design Positions» zum Thema Keramikbegrünung durch Moos einen Input von Cornelia Gassler, welche selbst in der Forschungsabteilung der Hochschule Luzern Design & Kunst zum selben Thema tätig ist. Weiter folgte ein Input durch Evelyn Trachsel, ihres Zeichens Mitarbeitende zum Thema Pflanzenverwendung an der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaft ZHAW in Wädenswil.

Die zweite Visite war hochschulintern und führte mich an das Technik- und Architekturdepartement der Hochschule Luzern in Horw. Das Treffen mit Kilian Arnold, Mitarbeiter im Kompetenzzentrum Gebäudehülle drehte sich um seine Forschungarbeit im Bereich Pflanzen an Fassaden. In seinem Forschungsteam laufen bereits seit 5 Jahren Versuche betreffend dem Verhalten von Pflanzen an Fassaden und deren Auswirkungen.

Besonders eindrücklich war ein Versuch mittels einem 12 m hohen Stahlturm. An diesem wurden über die letzten 5 Jahre Rankpflanzen an Stahlseilen hochgezogen, welche am unteren Ende jeweils einen 80 kg schweren Betonwürfel befestigt haben. Beim Anpflanzen «starteten» alle Kubi auf der selben Höhe. 5 Jahre später zeigt sich, dass einzelne Stränge enorme Kräfte beim Wachsen entwickeln und einen solchen Würfel rund 10 cm in die Höhe heben können. Dieser Umstand änderte auch meine Herangehensweise an den Designprozess grundlegend, daher ich mir hier bewusst wurde welche grossen Kräfte auf die Wuchshilfen wirken können.

Die dritte Visite führte mich nach Frauenfeld im Thurgau. Ich erhielt die Möglichkeit mit Beat Guhl, Gründer und CEO der Firma Sky Frame AG zu sprechen. Die Sky Frame AG hat beim Neubau ihres Hauptsitzes 2015 eine trogbasierte Fassadenbegrünung, die «Brise Soleil» mitimplementiert. Mein Ziel war es mehr darüber zu erfahren wie sich eine Fassadenbegrünung längerfristig behauptet und welche Erfahrung die Eigentümerschaft damit macht. Der bereichernde Austausch brachte hervor, dass der Firma fast nur Vorteile aus der Begrünung erwachsen sind. Die Begrünung lockte über die Jahre viele interessierte Fachpersonen an und verstärkte die Aussenwirkung der Firma.

Ansicht der erwähnten Betonblöcke (jeweils 80 kg). Der zweite Block von links wurde durch die Wuchskraft 11 cm angehoben.

12 m-Versuchsturm der HSLU in Horw

Ansicht der blühenden «Brise Soleil» der Sky Frame AG in Frauenfeld

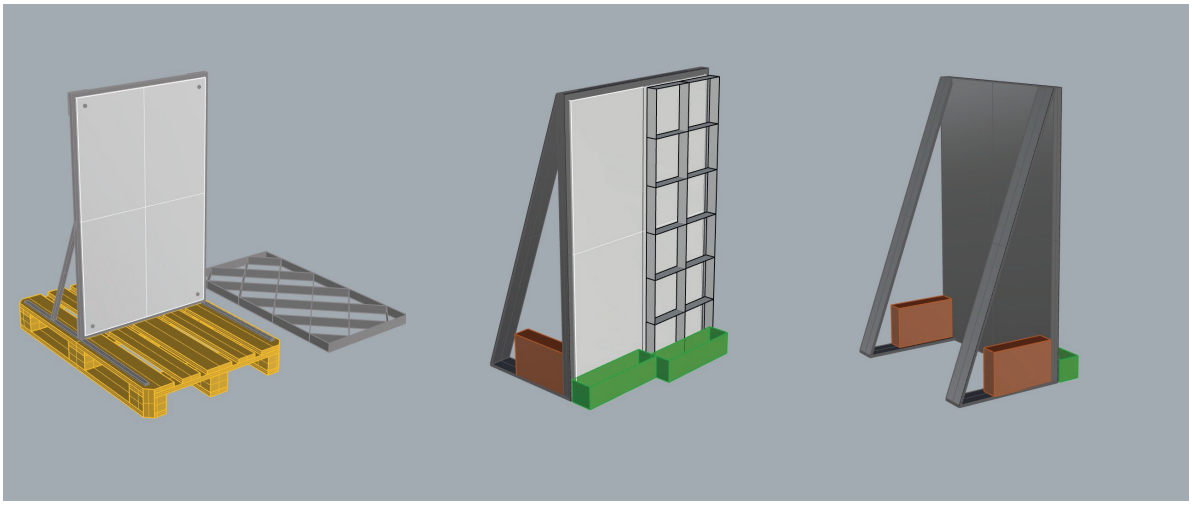
Eine von vielen Kletterpflanzen-Versuchsstationen der HSLU in Horw

Trog der «Brise Soleil»

Design der Testpanels

Nach den gesammelten Eindrücken der Visiten und der umfangreichen Recherche im Rahmen der schriftlichen Arbeit startete ich nun mit der Konstruktion der ersten Panels. Ziel und Zweck dieser Panels ist ledigilich das Testen von Pflanzenbewuchs am Material und das Verhalten des Materials in der Witterung. So werden diese «Teststationen» nach dem Drucken auf zwei Aussenterassen der Hochschule, bepflanzt mit selbstklimmenden Kletterpflanzen, bis zur Präsentation an der Werkschau der Witterung ausgesetzt.

Anfänglich lag mein Fokus darauf, möglichst schnell zu drucken und ich zeichnete lediglich eine Rankhilfe nach Vorgaben aus der Fachliteratur, sowie eine ganz flache Platte. Die Teile sollten danach in einen geschweissten Metallrahmen montiert werden.



Ansicht der allerersten Panels. Die zweite Version links mit einer Europalette als Basis, rechts die Vollmetall-Konstruktion.

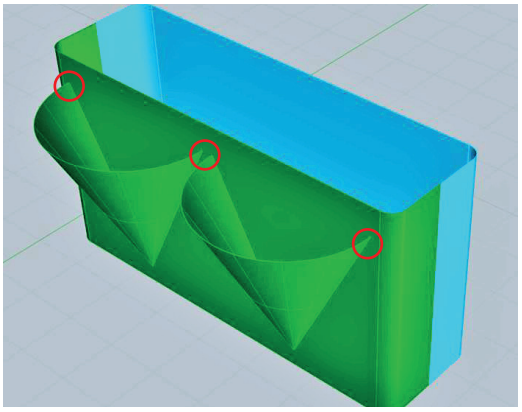
Im Austausch mit meinem Mentor, Christof Sigerist, leuchtete mir die Synergie ein, dass ich auf den Testpanels, welche noch keinen ästhetischen Standards entsprechen müssen, bereits einige Versuche hinsichtlich der Formen tätigen kann. Bereits zu diesem Zeitpunkt hatte ich Ideen, welche Formen sich potenziell einbauen liessen. So wollte ich unbedingt Töpfe und Tröge mit in die Panels eindrucken, so dass Pflanzen auch in höheren Lagen eine Basis finden.

Weiter entschied ich mich als Basis anstelle einer geschweissten Metallkonstruktion zwei Europaletten zu verwenden, daher die Grösse einer Europalette gut transportierbar ist und die Konstruktion viel schneller und günstiger von statten geht.

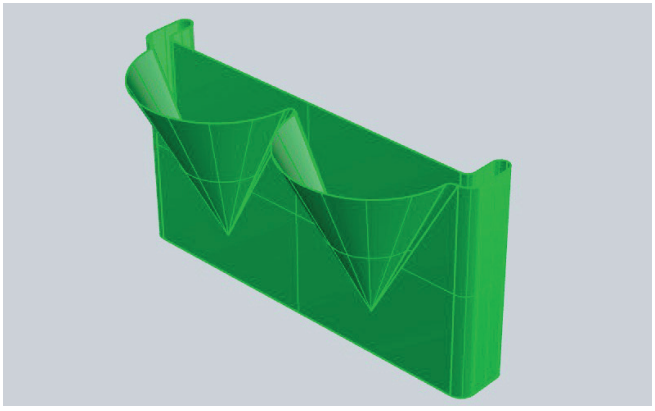
Daher die Maschine geschlossene Konturen zum Drucken braucht (quasi «Runden» fährt) konstruierte ich 6 Panels, die dann in 3 «Blöcken» gedruckt werden sollten. Diese «Blöcke» werden danach in der Hälfte auseinandergeschnitten damit 3 C-förmige Stücke entstehen. Die erste gezeichente Datei sendete ich danach an Lara Schneider, Produktionsleiterin bei der Affentranger 3DCP AG, meiner Partnerfirma, und bat sie um ein Feedback.

Designfehler in den ersten Panels

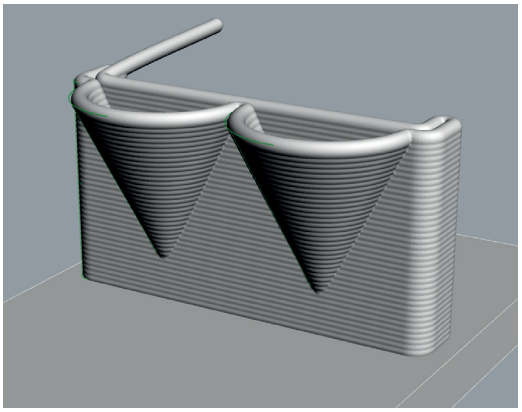
Nach dem Feedback stellte sich heraus, dass einige Panels so gar nicht druckbar waren. Nachfolgend wird erläutert weshalb: Bei meinem «Topfpanel» findet sich keine geschlossene Kontur. An den rot eingekreisten Stellen weiss die Maschine nicht, ob sie den Bogen für den Topf drucken soll, oder die gerade Rückwand (Beides geht logischerweise nicht miteinander). Ich habe das Problem gelöst indem ich das Panel als C-förmige, geschlossene Kontur konstruierte, bei welchem Töpfe und Rückwand einzelne Kurven sind. Die Kurven sind jeweils 1.5 cm voneinander entfernt, so dass sie durch die Schichtbreite (3 cm) schlussendlich wieder bündig werden und die Töpfe geschlossen sind. Durch dieses «Hands-on»-Beispiel lernte ich schnell wie genau ich die Panels zeichnen muss, damit sie die Maschine überhaupt drucken kann.



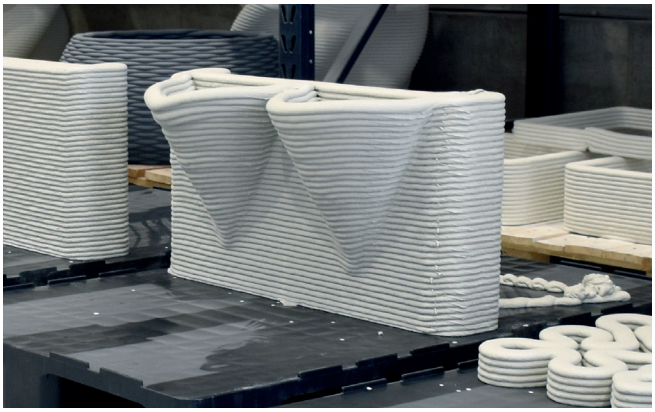
Ungeschlossene Konturen...



...und die neue, funktionierende Konstruktion

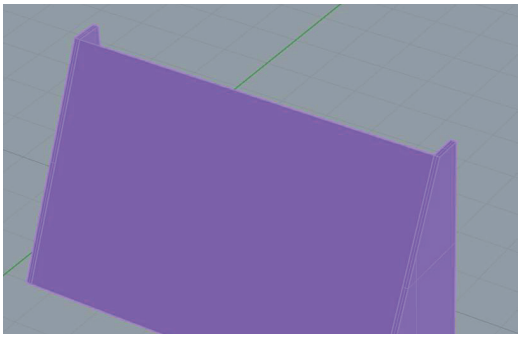


Ansicht aus dem Slicer

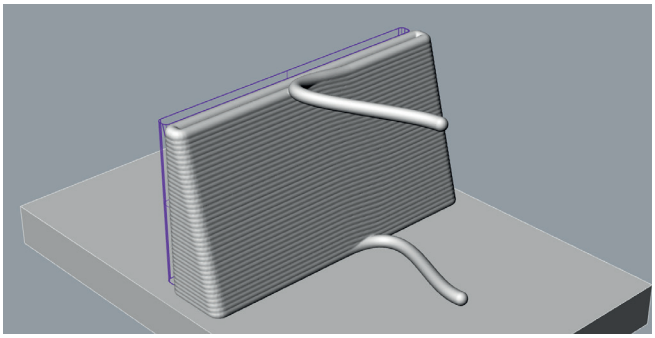


Das fertig gedruckte Panel

Das gleiche Problem ergab sich auch bei einem weiteren Panel, welches ich konstruierte um das Verhalten von Steigungen zu testen. Auch hier war die ungeschlossene Kontur das Problem.

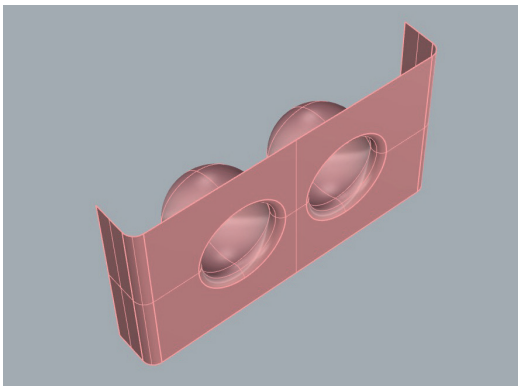


Ansicht des alten Panels ohne geschlossene Konturen

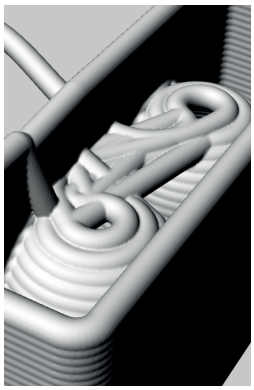


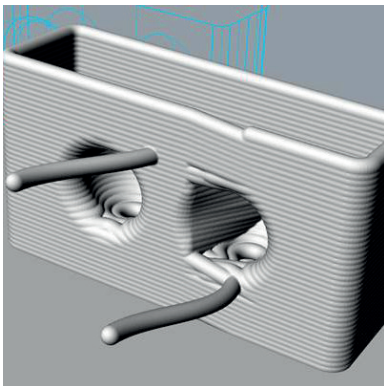
Ansicht des funktionierenden Panels im Slicer

Ein weiteres Panel, bei welchem ich davon ausging dass es druckbar sein würde, war ein Panel mit zwei kugelartigen «Höhlen». Beim Feedback von Lara Schneider stellte sich jedoch heraus, dass die Formen zu weit nach aussen ragen und eine zu steile Steigung haben. Daher die Maschine keine Stützstrukturen drucken kann wäre hier quasi ins Leere gedruckt worden und die «Höhlen» würden beim Druck abbrechen. Als Faustregel kristallisierte sich (auch für die anderen Panels) heraus, dass pro Schicht rund 5 mm Überhang möglich sind (bei 3 cm Schichtbreite also ⅙ der Schichtbreite). So konstruierte ich nach dieser Information die überhängenden Formen mit dem Faktor 0.5; Wenn also ein Überhang von 15 cm eingebaut ist, muss die Form mindestens 30 cm hoch sein. Ferner dessen existierte hier auch dasselbe Problem wie bei beim Topfpanel; Die Kontur war nicht geschlossen und ist so schlecht druckbar.



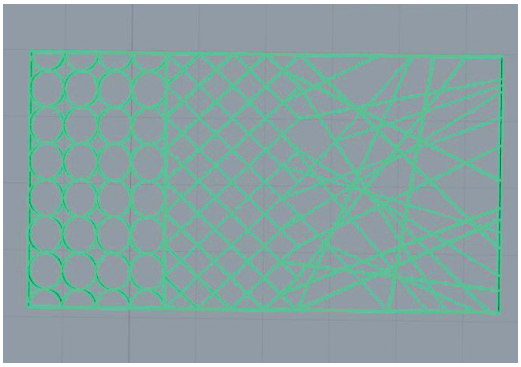
Das Panel als CAD-Zeichnung



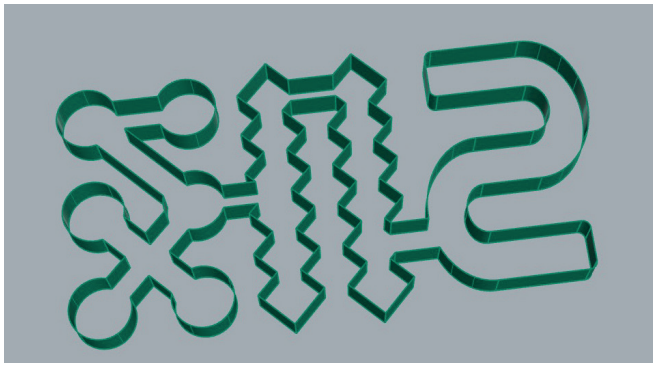


Ansichten aus dem Slicer

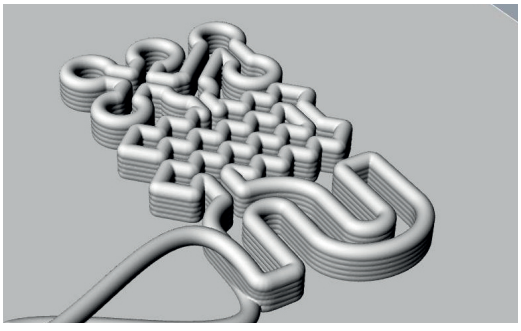
Die bis jetzt gezeigten Panels wurden alle geplant um «aufrecht» gedruckt zu werden, sprich die Fläche baut sich in der Vertikalen auf. Jedoch habe ich schnell auch schnell Interesse an einer anderen Methode gefunden: Die Panels «liegend» zu drucken (sprich die Fläche baut sich in der Horizontalen auf und die Vertikale gibt die Dicke vor). Zu diesem Zweck zeichnete ich ein Stück mit diversen gitterartigen Strukturen. Hier stellte sich nachher heraus dass die Maschine kaum mit Überschneidungen von Pfaden umgehen kann. Bei Kreuzungen von Pfaden weiss die Maschine nicht ob sie zuerst die Z-Achse anheben soll (und somit quasi ins Leere druckt) oder ob sie dem Druckpfad auf gleicher Höhe folgt (und somit in die vorher gedruckte Schicht fährt). Zur Behebung dieses Problems habe ich das Stück mit geschlossenen Pfaden ohne Überschneidungen neu gezeichnet.



Erstes Panel mit offensichtlichen Kreuzungen der Pfade



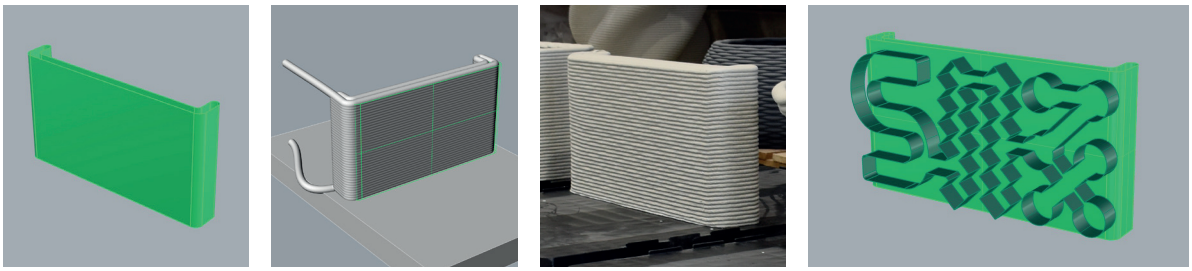
Verbessertes, druckbares Panel



Ansicht im Slicer

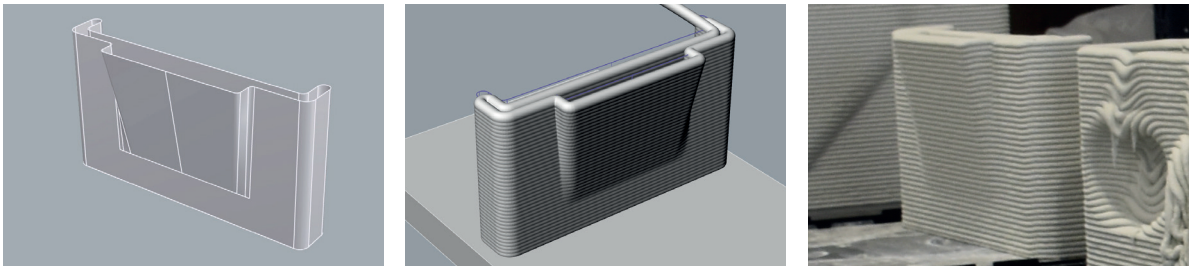
Gedrucktes Exemplar

Abgesehen von den aufgezeigten Beispielen hatte ich auch Stücke gezeichnet, welche von Anfang an gedruckt werden konnten und keinen Korrekturen bedürften. Die Ideen hinter den einzelnen Teilen werden nachfolgend beschrieben.

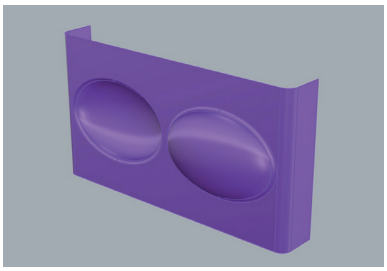


Dieses «Plano»-Panel habe ich als Basis und Halterung für das vorher gezeigte Gitterpanel gezeichnet. Aufgrund der simplen Form bestanden von Anfang an wenig Zweifel an der Druckbarkeit. Die Darstellungen oben zeigen (v.l.n.r.) das CAD-File, die Ansicht aus dem Slicer sowie das fertige Stück.

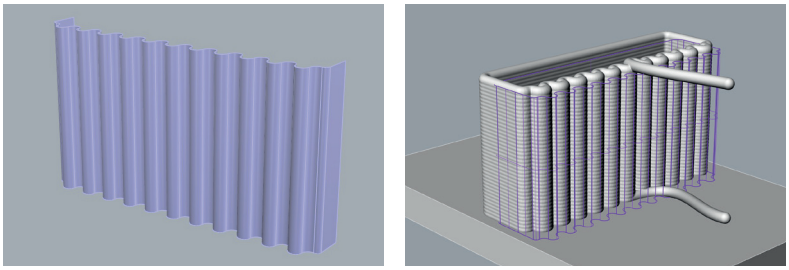
Das nachfolgend gezeigte «Trog»-Panel hat den gleichen Hintergrund wie das «Topf»-Panel und soll die Machbarkeit von Trogstrukturen in Erfahrung bringen.



Beim nachfolgenden Panel wollte ich das Verhalten von Material und Maschine in Bezug zu Ein-und Ausbuchtungen herausfinden.

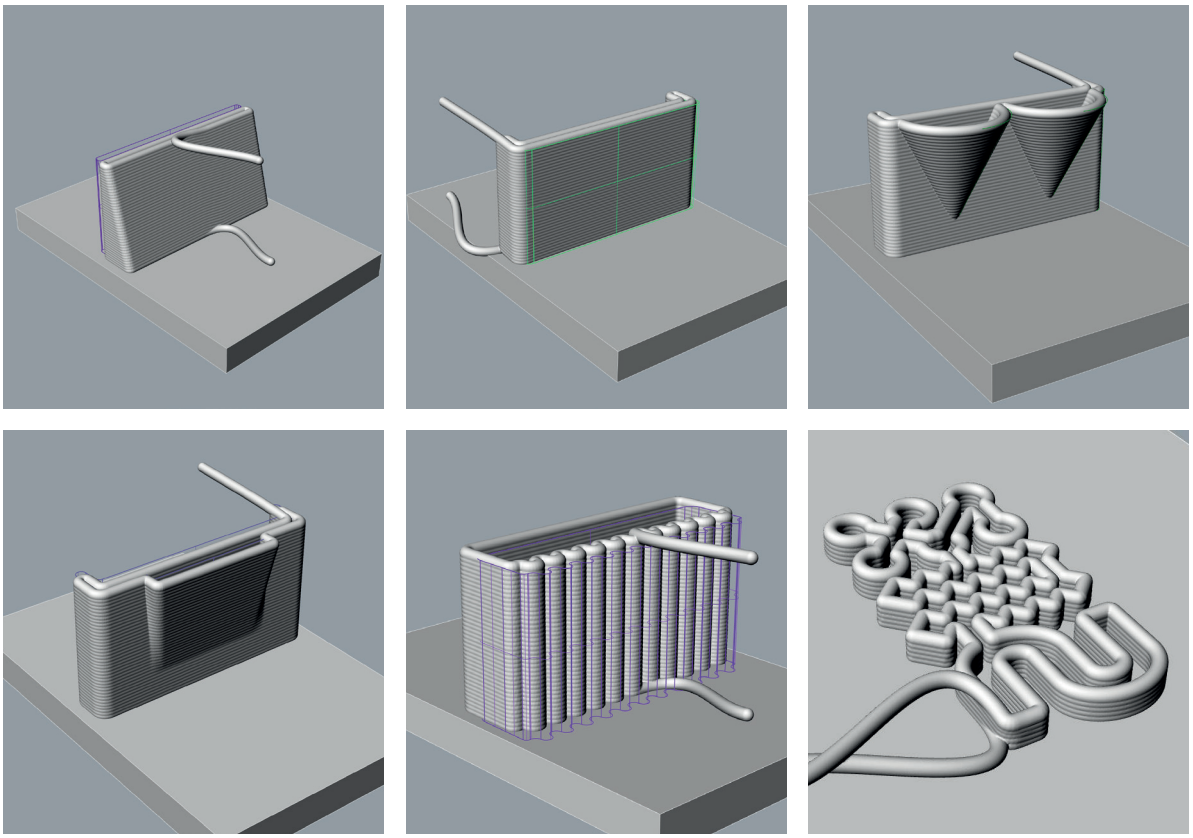


Dieses «Slalom»-Panel habe ich zum einen konstruiert um zu erfahren wie die gedruckte Struktur aussieht, aber auch um einen Test während des Druckens durchzuführen; Mehr dazu im nächsten Kapitel.



Drucken der Testpanels

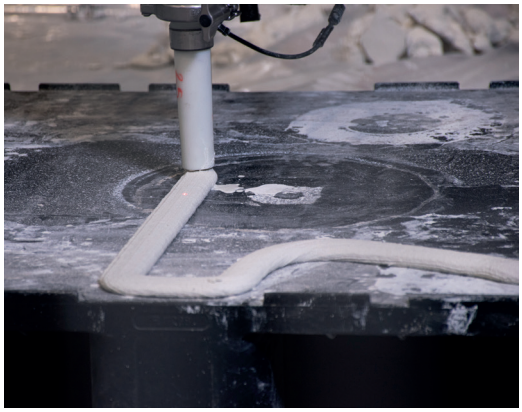
Nach den Feedbacks durch meine Partnerfirma setzten wir den Drucktermin für die Testpanels fest. Als erstes bereitete ich meine CAD-Daten via Slicer für den 3D-Drucker auf, welche dann auf die Maschine gesendet wurden.



Ansichten der aufbereiteten Daten im Slicer

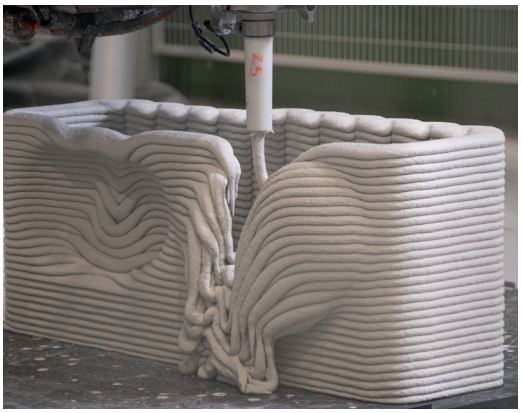
Das Drucken der Panels velief reibungslos, grösstenteils wurden die gewohnten und erprobten Verhältnisse von Härter und Beton verwendet um eine konstante Druckqualität zu garantieren. Die Drucke wurden im Nachgang von zwei Mitarbeitern der Firma geprüft um Aufschluss darüber zu erhalten, ob die angewandten Parameter für dieses Stück auch adäquat waren.

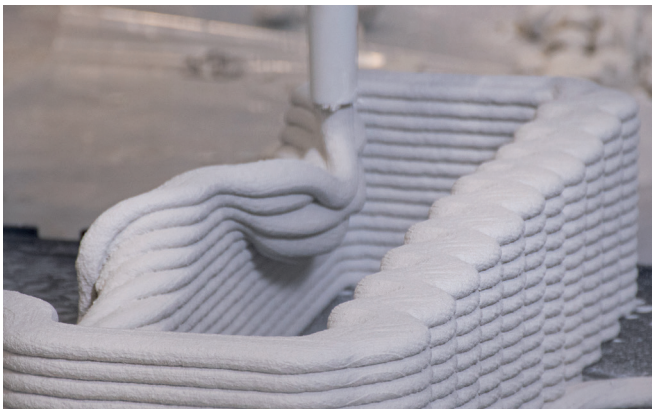
Prüfung des Drucks im Nachgang

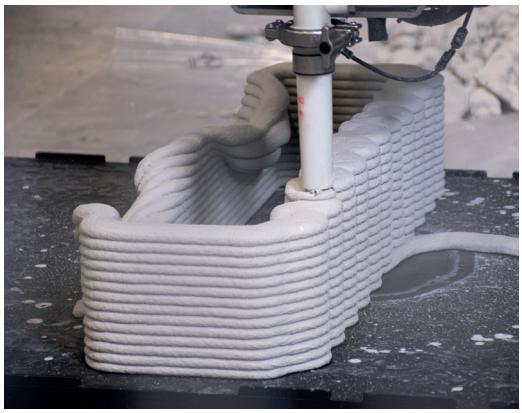


Impressionen des Druckverfahrens

In der Vorbereitung für den Drucktag hatte ich bereits eingeplant ein Panel auf der Maschine besonders zu behandeln. Das Panel mit den Schlangenlinien (auf der letzten Seite in der zweiten Reihe in der Mitte dargestellt) plante ich mit dem Gedanken, dass beim Drucken der Härteranteil zurückgenommen wird. Dadurch wird der Beton dünnflüssiger und ich erwartete verlaufende, zufällige und organische Formen. Beim Drucken stellte sich dann heraus, dass der «Schlangenlinien»-Teil trotz des reduzierten Härteranteils kaum eine Veränderung im Druckbild zeigte, der Gegenüberliegende Teil mit einer Ein- und Ausbuchtung jedoch sehr. Aufgrund der Ein-und Ausbuchtung und des geringen Härteranteils verschoben sich die ersten Druckschichten dermassen stark, dass das ganze Panel nun «verlief». Auf der rechten Seite bildete sich regelrecht ein Loch und der Drucker druckte die Betonmasse ins Leere. Obwohl dies aus produktionstechnischer Sicht ein Fehlschlag war, stiess dieses Panel in der Hochschule auf viel Interesse und Zuspruch aufgrund seiner experimentellen Erscheinung.





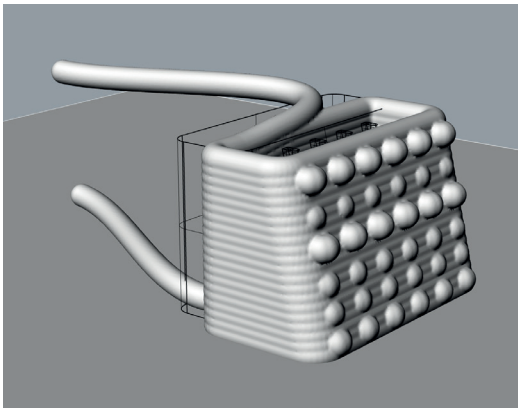


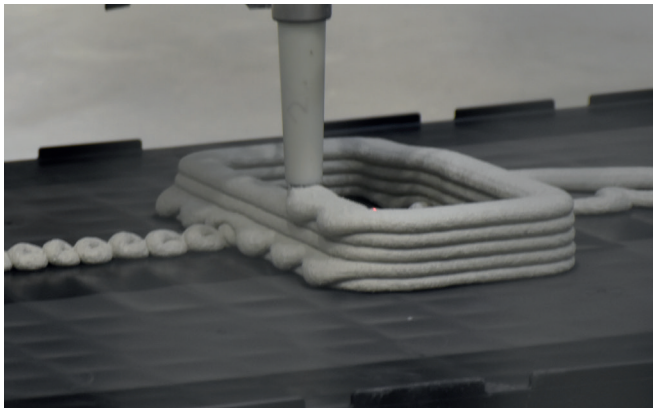
Ansichten des «Unfalls»

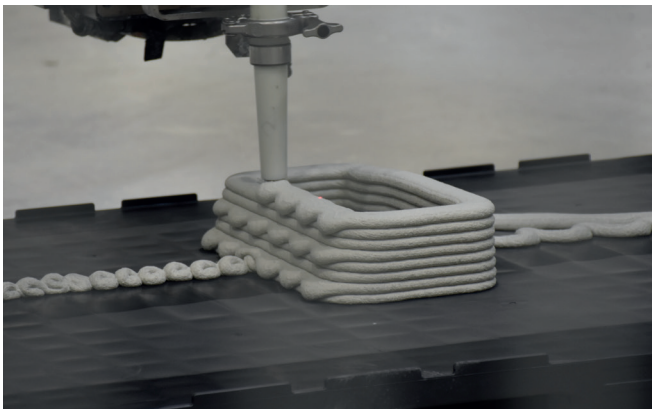
Beim Beobachten des Druckes des «Topf»-Panels fiel mir auf, dass der Beton auch bei optimalem Mischverhältnis erstaunlich «crèmig» blieb. So lief der Beton immer ein bisschen nach wenn damit eine Kurve oder ein Überhang gedruckt wurde.

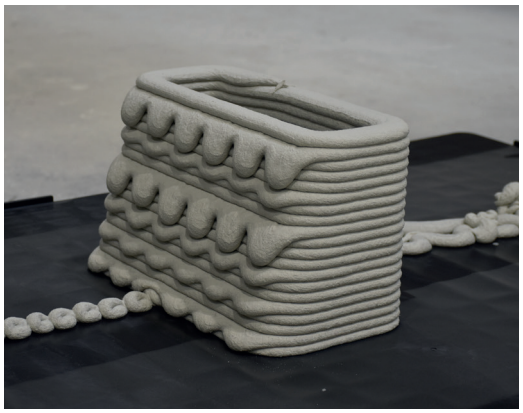
Impression des Verhaltens des Betons beim Drucken von Kurven/Überhängen

Diese Beobachtung verleitete mich spontan ein neues Panel als Materialversuch zu gestalten. So zeichnete ich eine Seite ansteigend / geneigt und plante in die einzelnen Druckschichten kleine «Schlenker» im Bereich von 5 bis 20 mm ein. Ich erhoffte mir davon organische Stücke in der sonst homogenen Druckstruktur. Nach dem Druck der eigentlichen Panels folgte dieses Experiment.









Das Ergebnis war sowohl für die Mitarbeitenden wie auch für mich erstaunlich. Nur schon kleine Schlenker in der Breite von 2 cm riefen Zungen/Nasen hervor, welche ganze 4 cm über die anderen Schichten liefen.

Nach diesem Drucktag standen 7 Betonpanels auf den Paletten. Diese wurden über Ostern zum Trocknen stehen gelassen, damit die Restfeuchte verdampfen kann und der Beton richtig aushärtet.

Bau der Versuchsstationen

Meine Testpanels waren von Anfang an eingeplant zum drei Funktionen zu erfüllen: Zum Ersten wollte ich Erfahrungen in der Datenerstellung für den Drucker sammeln und so den Workflow bis zum Endprodukt lernen. Zum Zweiten hatten alle Panels bestimmte Formen und Topografien eingebaut, um die Möglichkeiten beim Drucken zu erfahren. Zum Dritten war aber auch eingeplant, dass die entstandenen Panels mit Kletterpflanzen bestückt und danach der Witterung ausgesetzt werden. So erfahre ich über die Zeit wie sich der Beton in der Witterung und sich die Pflanzen auf dem Beton verhalten.

Zu diesem Zweck baute ich zwei Versuchsstationen, welche danach auf zwei Terassen im Gebäude der Kunsthochschule platziert wurden. Als Basis dienten je zwei Europaletten pro Station, daher diese Grösse im gesamten Gebäude transportierbar bleibt, sowie in alle beteiligten Fahrzeuge und Lifte passt. Diese Europaletten besorgte ich als erstes und fuhr nach Oberdorf NW zur Firma Kayser, welche ein Produktionswerk für Europaletten betreibt.

Transport der neuen Europaletten nach Emmenbrücke

Aufgrund der exponierten Lage in der Witterung mussten die Versuchsstationen stabil und gut befestigbar sein können. In Absprache mit dem Hausdienst der Hochschule Luzern konstruierte und baute ich nun das Gestell für Beton und Pflanzen. Mit diversen Winkeln, Streben und Spansets enstand so ein stabiler Rahmen.

Fertige Gestelle noch ohne Panels

Nach Ostern waren die Panels nun sicher genug getrocknet und bereit für den Transport. Mit dem schuleigenen Transportbus und der Unterstützung durch das Personal der Affentranger 3DCP AG gelangten die Stücke in Emmenbrücke für die Endmontage an.

Verladen des Paletts mit allen Betonteilen. Gesamtgewicht rund 230 kg.

Nach dem Besorgen der Pflanzen begann nun die Endmontage. Ich habe mich für die Bepflanzung der Stationen für drei Pflanzen entschieden: Einen gemeinen Efeu (Hedera Helix), einen Wilden Wein (Parthenocissus quinquefolia var. engelmannii) und eine Kletterhortensie (Hydrangea petiolaris). Die Wahl fiel auf diese Pflanzen, daher sie relativ wenig Ansprüche an die Pflanzerde haben, schnell und gut wachsen, aber vor allem daher sie Selbstklimmer sind und ohne Rankhilfe mit eigenen Haftwurzeln klettern.

Impressionen des Baus

Recherche nach Referenzobjekten

Nach der Installation der Versuchsstationen stellte sich bald die Frage, wie genau die effektiven Panels aussehen sollten. Die Panels werden massgeblich durch die Nutzenden daran beeinflusst und welche Nutzenden an der Fassade sind ist wiederum stark vom Standort abhängig. Damit ich nicht «ins Blaue hinaus» designe machte ich mich also auf die Suche nach Referenzobjekten.

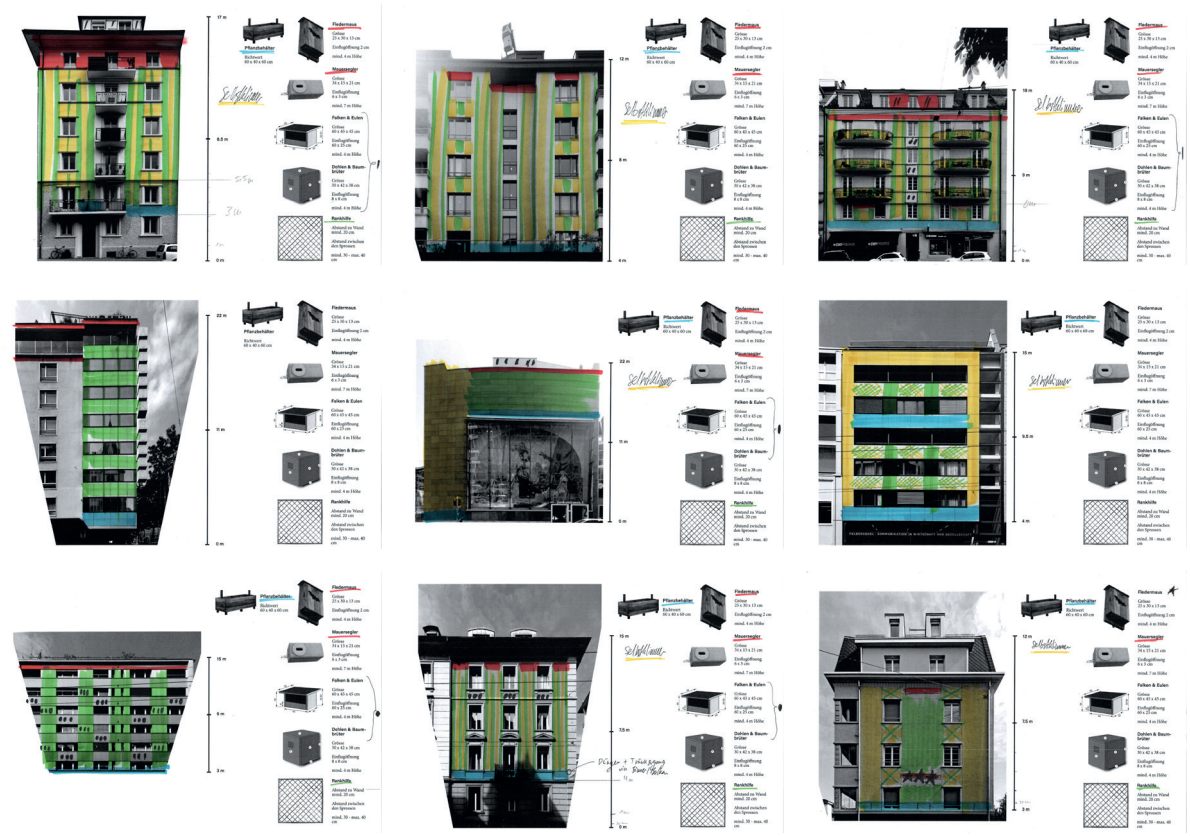
Daher gerade an den Hauptverkehrsachsen in der Stadt Luzern wenig Begrünung vorhanden ist, zeigt sich hier der urbane Hitzeinseleffekt am meisten (Siehe Seite 2). Der urbane Hitzeinseleffekt beschreibt den Umstand dass sich Fassaden und versiegelte Böden im heissen Wetter aufheizen und nachts diese Hitze wieder kontinuierlich abgeben. Je mehr versiegelte Flächen und blanke Fassaden vorhanden sind, je stärker zeigt sich dieser Effekt. Daher eine begrünte Fassade hier positive Effekte aufweisen kann, konzentrierte ich meine Route auf die «Hotspots» des urbanen Hitzeinselffekts in Luzern. Diese führte mich über die Zürichstrasse, Seebrücke, Pilatusstrasse, Pilatusplatz, Moosmattstrasse und Allmend zur Luzerner Musikhochschule in Kriens.

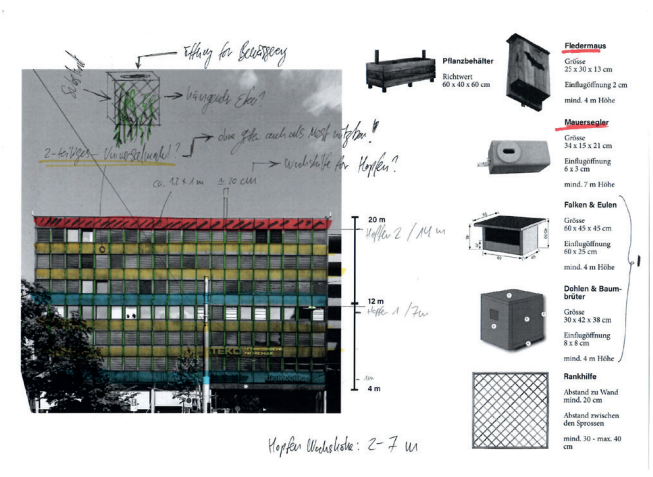
Auf dem Weg fotografierte ich Fassaden in diversen Bauweisen und Optiken. Jedoch bestand schon ein gewisses Interesse an Fassaden mit vorgehängten Panels, daher diese bestehende Struktur gut für die Befestigung meiner zukünftigen Panels genutzt werden kann.

Marschroute auf der Suche nach Referenzobjekten und eine Auswahl der fotografierten Fassaden

Im Anschluss an das Suchen nach geeigneten Gebäuden begann ich mit Papier und Farbmarkern eine Einteilung vorzunehmen, wo genau welche Elemente (Vogel- und Fledermausnester, Rankhilfen, Töpfe etc.) hinkommen würden. Dabei lag das Augenmerk auch darauf, dass beispielsweise Vogelnester direkt über einem Fenster aufgrund der potenziellen Verschmutzung eher ungeeignet sind, oder dass Fledermäuse geschützte Zonen wie Dachvorsprünge bevorzugen. Diese Einflüsse ergaben dann eine farbliche Aufschlüsselung zur Platzierung der Elemente unter Berücksichtigung der Präferenzen der ensprechenden Flora und Fauna.

Am Ende dieser Recherche und dieses Gedankengangs kristallisierte sich besonders ein Objekt als lohnenswert heraus. Das Bürohaus an der Pilatusstrasse 38 in Luzern erschien mir als optimales Referenzobjekt für meine Panels. Das Haus hat eine vorgehängte Fassade bestehend aus Metallpanels, es steht an einem Standort bei welchem der Hitzeinseleffekt gross ist und bietet dazu eine grosse Fassadenfläche ohne Balkons.



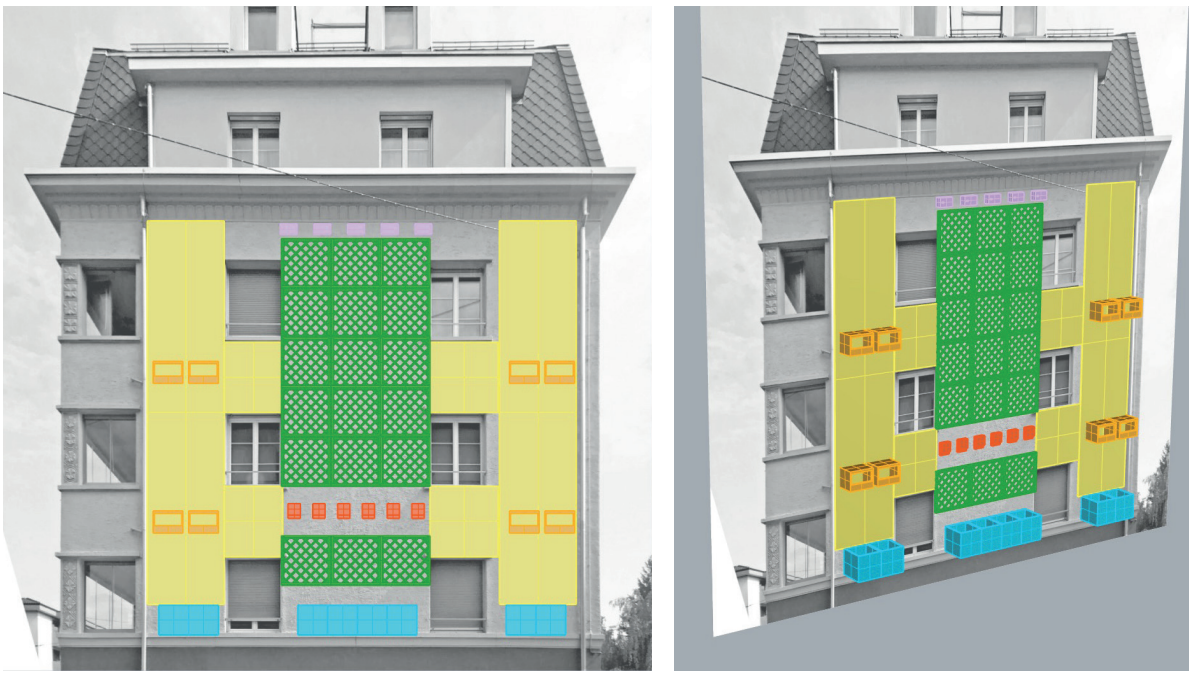


Alle bearbeiteten Objekte sowie das Gebäude an der Pilatusstrasse 38 gross unten.

Formgebung der Elemente

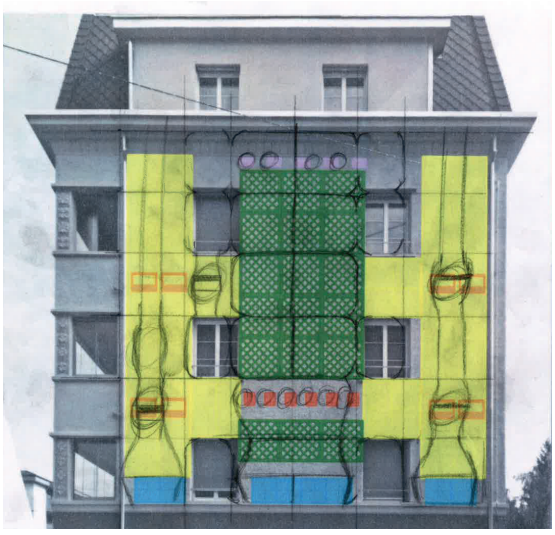
Die gezeichneten Farbmarkierungen an den Referenzgebäuden fielen divers aus, gaben aber auch eine Art Perimeter vor, an welcher Stelle welches Objekt Platz hat. Im nächsten Schritt beschäftigte ich mich mit der Form der jeweiligen Objekte. Der Beton-3D-Druck lässt viele Formen zu, deshalb waren zu diesem Zeitpunkt schier alle Möglichkeiten offen.

Um einen Anfang zu finden platzierte ich eine Referenzfassade im CAD-Programm Rhino und baute danach rudimentäre, dreidimensionale Platzhalter die ich anhand der Farbmarkierungen platzierte.



Platzierung der Platzhalterelemente in Rhino. Blau = Pflanzbehälter, Gelb = Planopanels, Orange = Falken/Dohlennest
Rot = Fledermausnest, Grün = Rankhilfe, Lila = Mauerseglernester

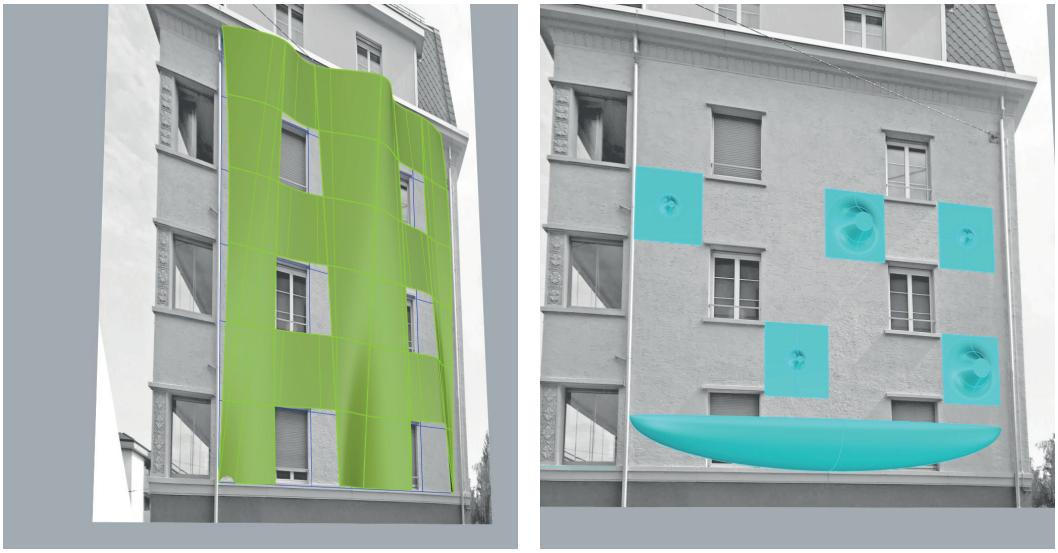
Auf drübergelegtem, transparentem Papier skizzierte ich so die ersten Versuche einer Formgebung. Um die Druckbarkeit der Teile zu gewährleisten, teilte ich die gesamte Fläche in kleinere Stücke von etwa 1 x 1 m.



An diesem Zeitpunkt zeigten sich erste Schwierigkeiten mit der Formfindung. Auch wenn ich mehrere Versuche unternahm um eine ansprechende und nutzbare Form zu kreieren, so wollte dies nicht wirklich gelingen. Ein neuer Ansatz zeigte sich darin, dass ich nicht mehr von einem Raster ausgehe, sondern eine Form über die ganze Fassade plane und diese erst in einem zweiten Schritt unterteile. Die (damals) vielverprechendste Variante tendierte zu einer Wellenform. Ich stellte mir vor, dass sich in dieser Formsprache von Wellen alle Elemente an der Fassade einbauen liessen (geschwungene Pflanzbehälter, Aussparungen für Vogelnester). Mit der Zeit musste ich feststellen, dass dieser Versuch besonders aus ästhetischer Sicht kein befriedigendes Ergebnis lieferte.

Ein weiterer Versuch in der Formfindung tendierte in die Richtung einer zylinder/kegelförmigen Formsprache mit rotationssymmetrischen Nestpanels und einem Ellipsenförmigen Pflanzbehälter (unten blau dargestellt).

Ich probierte diesen Ansatz aus zwei Gründen aus: Zum einen wusste ich, dass die kegelartigen Formen einfach in Beton zu drucken waren, zum anderen lassen sich in verschiedenen Dimensionen höhlenartige Räume generieren, die Vögeln einen praktischen Nistplatz bieten. Schlussendlich scheiterte dieser Ansatz daran, dass er zum einen ästhetisch unbefriedigend war aber auch nicht alle Ansprüche mit diesen Formen bedient werden können (Pflanzbehälter und Fledermausnester sind kaum so druckbar).

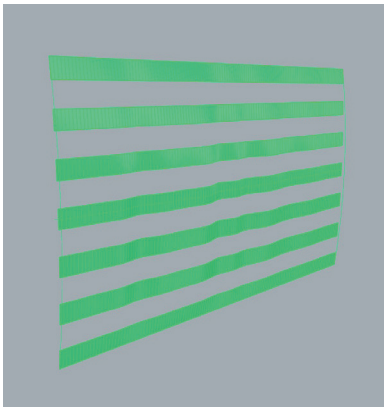


Erste Versuche in der Formfindung: Wellenartige Struktur über die ganze Fassade (grün, links) und rotationssymmetrische Panels (blau, rechts).

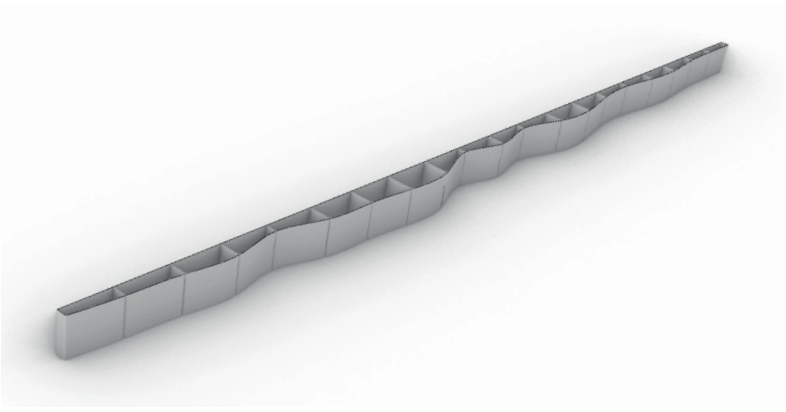
An diesem Punkt zeigten sich bei mir Schwierigkeiten in der Formfindung und eine Art «Schreibblockade» setzte ein. Mir wollten keine guten Ansätze zur Formgebung einfallen und ich sah immer mehr Restriktionen durch das Druckverfahren und die Bedürfnisse von Vögeln und Pflanzen.

Im Zuge der ersten, nicht allzu erfolgreichen Versuche startete ich trotzdem einen zweiten Versuch mit der Wellenstruktur. Dieses Mal ging ich bereits von Anfang an vom Referenzobjekt aus. Ich konstruierte also nochmal eine Wellenstruktur über die ganze Fassadenfläche, welche ich dann zeilenweise auseinanderschnitt um unter einer Fensterreihe Pflanzbehälter zu platzieren. Diese Möglichkeit schien nicht schlecht zu funktionieren, jedoch realisierte ich auch recht schnell, dass diese Methode nur für die Töpfe gut funktioniert. Wie in diesem Konzept die Rankhilfen, Vogel- und Fledermausnester eingebaut werden sollten blieb fraglich.

Weiter startete ich einen zweiten Versuch mit den rund-extrudierten Formen (blaues Beispiel auf der letzten Seite), jedoch ergab sich da abermals kein gutes Ergebnis und ich verwarf die Idee recht schnell wieder.



Gesamte Wellenstruktur



Konstruierte Töpfe der mittleren «Zeile»

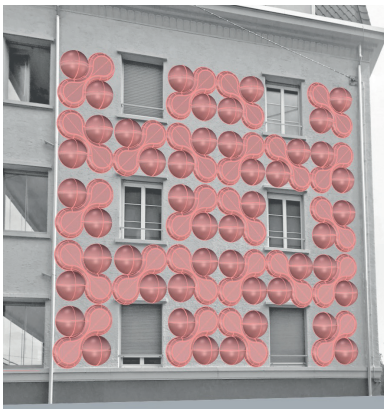
Ansicht der Töpfe am Referenzobjekt

Gescheiterter Versuch mit rotationssymmetrischen Elementen

Ein Ansatz eröffnete sich, als ich nach geometrischen Gitterstrukturen suchte und auf eine Form von repetitiven 8-förmigen Formen stosste. Nun taten sich wieder neue Visionen auf wie aus diesem (meiner Meinung nach) cleveren und ansprechenden Muster sich ein Rapport und eine Formensprache für die ganze Fassade generieren liess. Die runden Teile der «8» können rotationssymmetrisch extrudiert als Vogelnester dienen, während die gesamte «8er»-Form auch für Pflanzbehälter dienen kann, selbst wenn es «nur» ein Relief auf der Vorderseite ist.

Ich visualisierte eine Variante dieses Ansatzes in 3D und machte mich auch an eine Funktionsprobe. Wie oben erwähnt kann der 3D-Drucker keine Überschneidungen drucken und so brauchte ich eine Lösung um eine Gitterstruktur mit diesen «8»-Formen zu konstruieren. Via Rhino modellierte ich das Panel und druckte dieses als Miniatur, um zu prüfen ob keine Teile herausfallen und alles als eine kontinuierliche Linie druckbar ist.

Ursprüngliche Inspiration



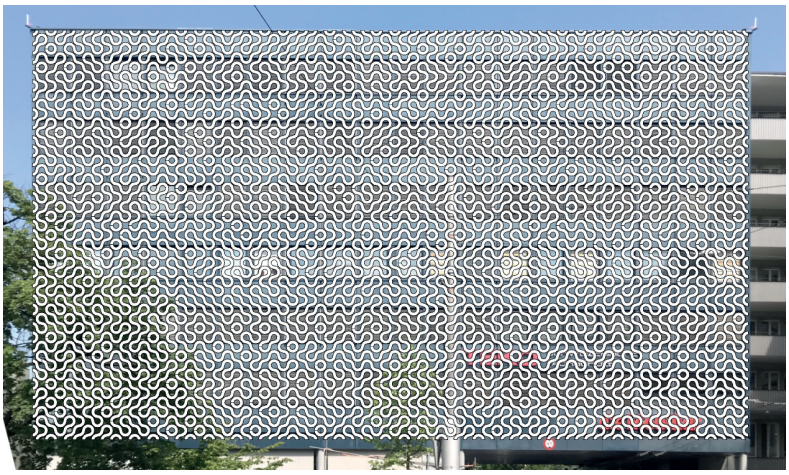
Ansatz in CAD visualisiert

3D-gedrucktes Versuchsobjekt

Nach Gesprächen mit meinem Mentor und einem Kommiliton verwarf ich diesen Ansatz jedoch wieder. Das repetitive Muster und die konstante Form der Teile heben die Vielseitigkeit des Beton-3D-Drucks nicht hervor. Mit dem Fertigungsverfahren lassen sich viel individuellere Formen herstellen welche auch heterogen und assymmetrisch sein können.

Daher heterogene und assymmetrische Formen enorm Zeit brauchen wenn sie «von Hand» hergestellt werden, wandte ich mich an ein starkes Feature meines CAD-Programms Rhino: Grasshopper.

Grasshopper bietet den entscheidenen Vorteil, dass Formen parametrisch aufgebaut sind. Sprich: Sie sind immer anpassbar und berechnen sich auf Grund von Faktoren immer neu wenn sie geändert werden. Genau hier sah ich eine Synergie zwischen dem flexibel einsetzbaren Beton-3D-Druck und der sehr anpassbaren Modellierung in Grasshopper. Ein erster Ansatz basierte auf so genannten «Truchet-Kacheln», Viertelkreise die immer wieder rotiert ein Muster ohne Wiederholungen ergibt.

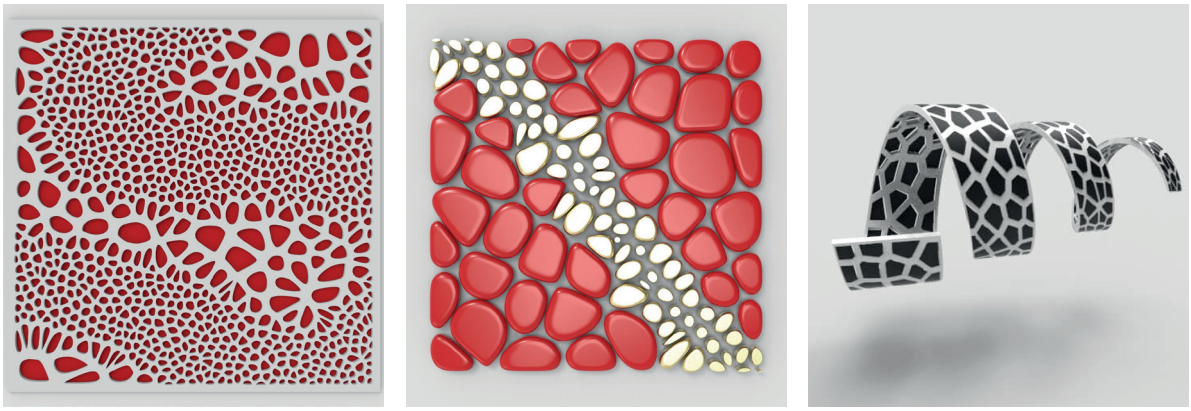


Ansicht der «Truchet-Kacheln» an meinem Referenzobjekt

Diese Datei, wie auch die folgenden Grasshopper-Dateien, stammen aus einem Pool von Tutorialdateien. Der Urheber konzentriert sich ausschliesslich auf Onlinekurse bezüglich Grasshopper. Beim Durchstöbern von diversen Dateien und Anleitungen auf der Seite stiess ich auf eine Variante die mir als optimal erschien: Voronoi-Muster.

Obschon ich die Variante mit den «Truchet-Kacheln» nicht abwegig fand, erschien sie mir trotzdem noch zu geometrisch und ich hatte wiederum das Gefühl, dass das Potenzial des Beton-3D-Drucks nicht ausgeschöpft wird.

Anders sieht dies bei den Voronoi-Strukturen aus: Sie sind assymmetrisch, sehen organisch aus, repetieren sich nicht und können vielseitig editiert werden.



Beispiele für verschiedene Voronoi-Strukturen

Voronoi-Struktur

Mit dem Entdecken der Voronoi-Strukturen löste sich auch meine «Schreibblockade». Auf Basis eines Tutorials richtete ich die erste Version ein. In diesem Stadium rechnete ich noch mit einer Art von Voronoi-«Blasen», sprich noch nicht mit einer Gitterstruktur. Weiter waren diese «Blasen» noch relativ homogen in ihrer Grösse.

Ansichten der ersten Version der Struktur. In der Mitte mit einer Projektion auf das Referenzobjekt, Rechts der Aufbau in Grasshopper

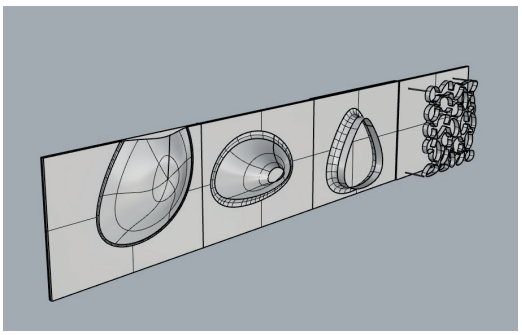
Das erste Ergebnis sah zufriedenstellend aus und eröffnete neue Möglichkeiten wie ich mit dieser Struktur arbeiten kann. Schnell stellte sich die Frage wie sich diese «Blasen» in effektive Gefässe und eine begrünbare Fassade wandeln lässt.

Zu diesem Zweck extrahierte ich eine «Blase» und versuchte damit Gefässe herzustellen. Es enstanden so drei Panels und die Erkenntnis, dass die Form für alle Funktionen geeignet ist.

Das erste Panel (Links im folgenden Bild) ist als Pflanzbehälter geplant. Die rechteckige Rückwand gewährt, dass das Stück druckbar ist, daher eine solch überhängende, freistehende Form sonst in dieser Position nicht zu fertigen wäre. Weiter habe ich darauf geachtet, dass der Abschluss an der Oberkante gerade und bündig mit der Rückwand ist, auch dies aus technischen Gründen der Druckbarkeit.

Die zwei nachfolgenden Panels sind als Nester für Vögel geplant. Das zweite Panel von links für kleinere Vögel wie Mauersegler und das daneben liegende für grosse Vögel wie Falken und Dohlen. Diese Panels nehmen eine kegelförmige Form auf wie in den vorherigen Versuchen, dieses mal jedoch in der Konturform der Voronoi-«Blase». Die kegelförmige Form ergibt eine Art «Höhle» bei welcher die Eier der Vögel nicht herausrollen sowie ihnen und ihrem Nest Schutz bietet.

Das Panel ganz rechts ist als Rankhilfe geplant. Um die Formsprache beizubehalten nutzte ich einen Ausschnitt von mehreren «Blasen», kopierte ihre Kontur, brach Überschneidungen durch das Einschneiden von Stegen/Verbindungen und extrudierte die gesamte Kontur um 3 Centimeter. Die Rankhilfe ist zweiteilig geplant, daher das «Gitter» liegend gedruckt werden muss. Die «Platte» dahinter wird stehend gedruckt.

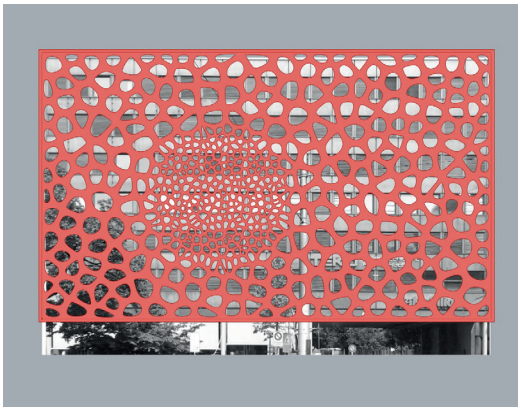


Ansicht der ersten Version der Panels

Nach weiterer Rücksprache mit meinem Mentor zeigte sich zwar auf, dass die Voronoi-Struktur Potenzial bot, jedoch die aktuelle Version eher nicht zielführend ist. Ich befasste mich also weiter mit den Möglichkeiten von Grasshopper und den Strukturen.

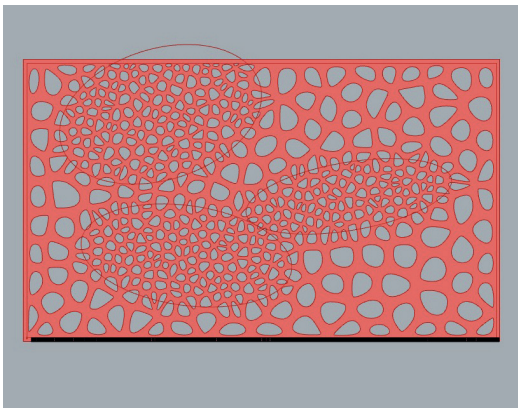
Ein neuer (und vielversprechender) Ansatz tat sich auf, als ich auf ein weiteres Tutorial und die dazughörige Grasshopper-Datei stiess. Hier wurden keine «Blasen» wie im vorherigen Beispiel generiert, sondern genau das Gegenteil: Die «Blasen» sind aus einer Fläche ausgespart und ergeben eine Art Gitterstruktur.

Ferner dessen lässt sich die Gitterstruktur mit so genannten «Attraktoren» verändern. Diese bewirken, dass die Dichte bzw. Grösse der Löcher innerhalb einer definierten Form dichter wird.



Ansicht der ersten Version der Struktur mit einem kreisrunden Attraktor, appliziert auf das Referenzobjekt

Um meinen Gestaltungsmöglichkeiten mehr Flexibilität zu bieten tauschte ich einen einzelnen, kreisförmigen Attraktor durch drei Ellipsenförmige. Diese waren in zwei Radien in der Grösse individuell anpassbar, aber auch drehbar. So erhoffte ich mir ein ausreichendes Mass an Flexibilität für die Gestaltung.



Weiterentwickelte Version mit 3 ellipsenförmigen Attraktoren, alle in Grösse, Position und Rotation anpassbar

Obschon dies für mich einen Fortschritt darstellte war ich mit den Möglichkeiten dieser Attraktoren noch nicht zufrieden. Hauptgrund dafür war, dass die Ellipsenformen immer noch zu geometrisch, gleichmässig und begrenzt aussahen und nicht mit dem organischen Überbau harmonierten.

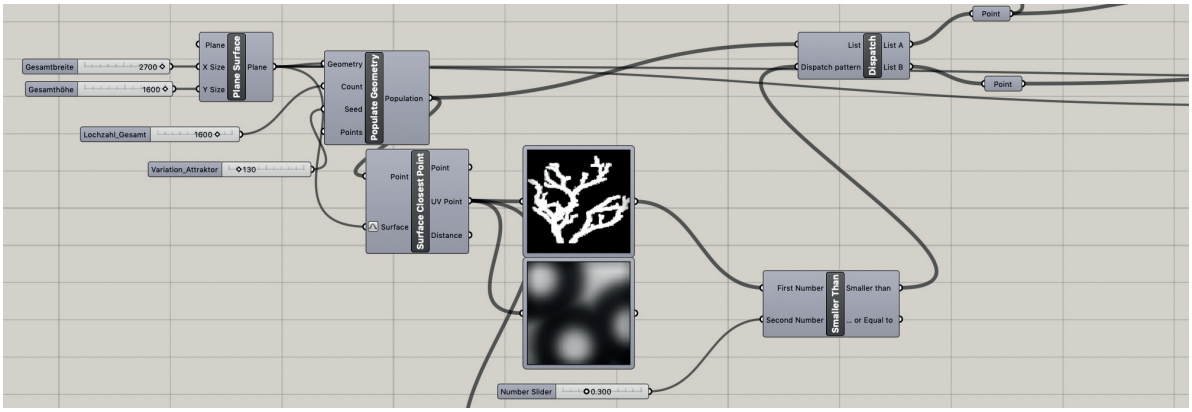
Der Ansatz welcher auch im Endprodukt Verwendung fand eröffnete sich durch meine Entdeckung einer bestimmten Funktion in Grasshopper: so genannte «Image Sampler».

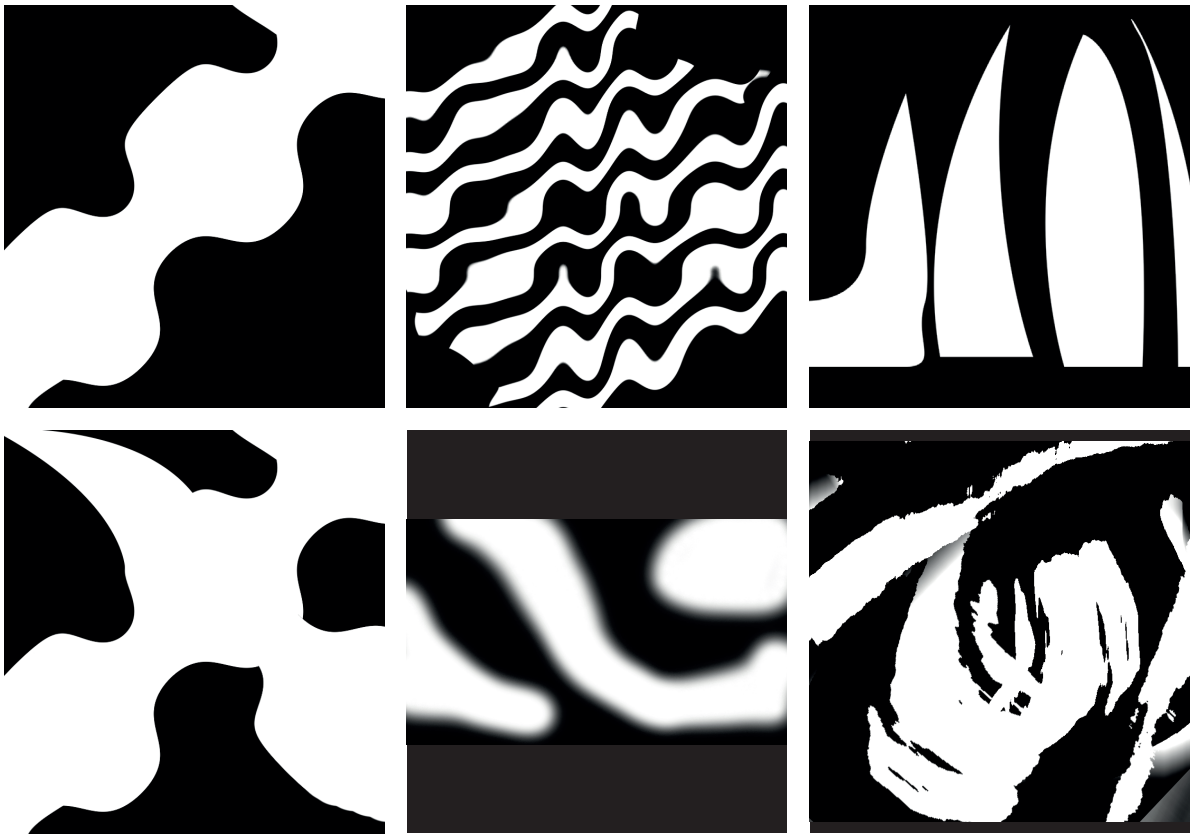
Image Sampler sind Bausteine welche die Farb- und/oder Helligkeitsdaten eines Bildes auslesen und danach in Werte umwandeln. Diese Werte lassen sich danach wieder in andere Bausteine, welche beispielsweise eine Geometrie generieren, einspeisen.

In meinem Fall liess ich die Helligkeitsdaten eines reinen Schwarz-Weiss-Bildes wieder in den Voronoi-Generator einfliessen. So ergibt sich ein Attraktor nach der vorher aufgezeigten Funktionsweise, dieses mal jedoch mit äusserst individuellen Formen.

Faktisch gesehen kann man sagen: Alles was in Photoshop weiss gemalt wird, wird nachher bewachsen sein. Durch den Umstand dass die Rankpflanzen an dieser Stelle ein feineres Gitter zur Verfügung haben um sich daran festzuhalen. So lässt sich in Photoshop schon indirekt mit den Pflanzen «malen», ihre Position vorbestimmen und das Bild, was die voll bewachsene Fassade zeigen soll, vorbestimmen.

In Adobe Photoshop experimentiere ich dann mit diversen Ansätzen von assymmetrischen schwarzweiss Bildern, immer auf der Suche nach einem optimalen Ergebnis für die Fassade.



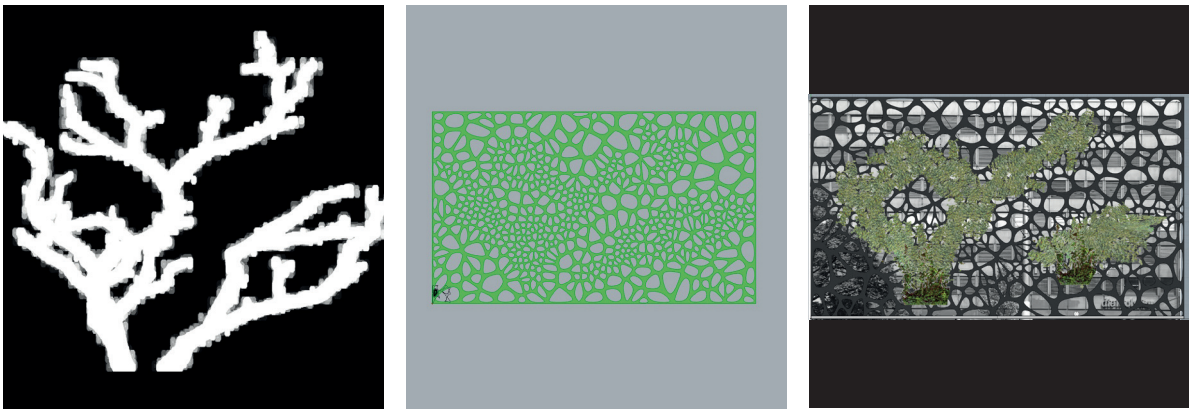


Zuoberst: Ansicht eines Image Sampler-Bausteins in Grasshopper. Darunter diverse Versuche aus Photoshop für das Fassadenbild

Beim Kennenlernen des Image Samplers bemerkte ich, dass die Funktion nur mit quadratischen Bildern gut funktioniert. Der Image Sampler bzw. die ganze Grasshopper-Datei nimmt dann dieses quadratische Bild und verzerrt es auf die festgelegte Fläche. Um eine bessere Kontrolle über das Endergebnis zu bekommen, setzte ich ein neues Photoshop-Dokument auf. Dieses hatte das Referenzobjekt im Hintergrund platziert damit ich einen Eindruck bekomme, wo die Gitterstruktur genau feiner wird. Diese Datei wurde wiederum als Smart-Objekt in eine quadratische Fläche transformiert um den Ansprüchen des Image Samplers zu genügen.

Nachdem keines der vorher gezeigten «Muster» ein befriedigendes Ergebnis lieferte, besann ich mich auf die vorliegende, organische Ästhetik und traf technische Massnahmen um dies umzusetzen.

Schlussendlich kam ein astartiges, baumähnliches Muster heraus. Ich spies das Muster in den Imagesampler. Et voilà: Das generierte Muster zeigte sich als passend und ging stark in die Richtung welche ich mir vorgestellt hatte.



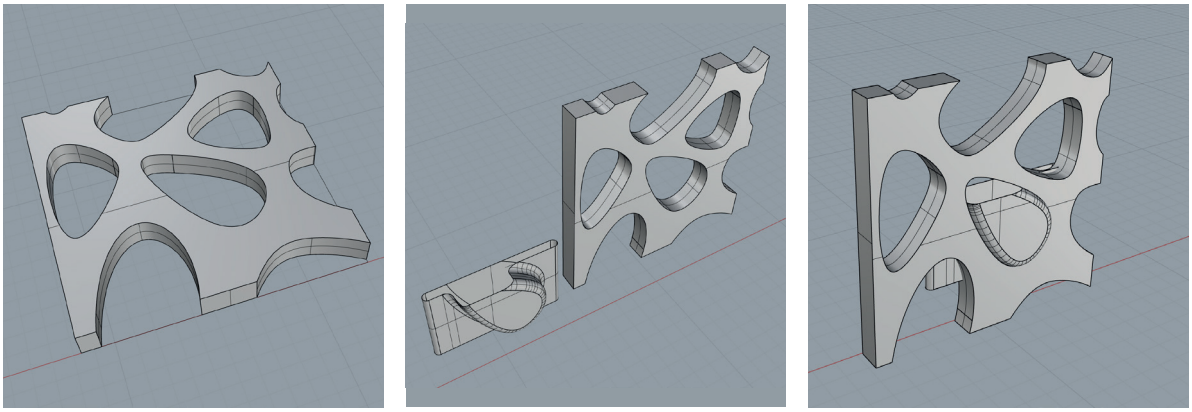
Links das Bild für den Image Sampler, in der Mitte das Ergbnis in CAD und rechts eine rudimentäre Visualisierung mit Pflanzen

Umsetzung in druckbare Teile

Langsam zeichnete sich ab, dass die enstandene Form auch die finale Form sein wird. Dies zum einen daher sie sowohl ästhetisch wie auf funktional meinen Ansprüchen genügte, zum anderen aber auch daher für einen erfolgreichen Abschluss meiner Arbeit der Drucktermin eingehalten werden musste und die Aufbereitung für den Druck doch einige Zeit in Anspruch nehmen kann.

Ich plante von Anfang an eine zweiteilige Konstruktion: das gesamte sichtbare Muster stellt die «Gitterstruktur» für die Ästhetik und als Rankhilfe dar, die Aussparungen bieten Platz für Töpfe unf Nester. So wird das «Gitter» über die anderen Objekte darübergelegt.

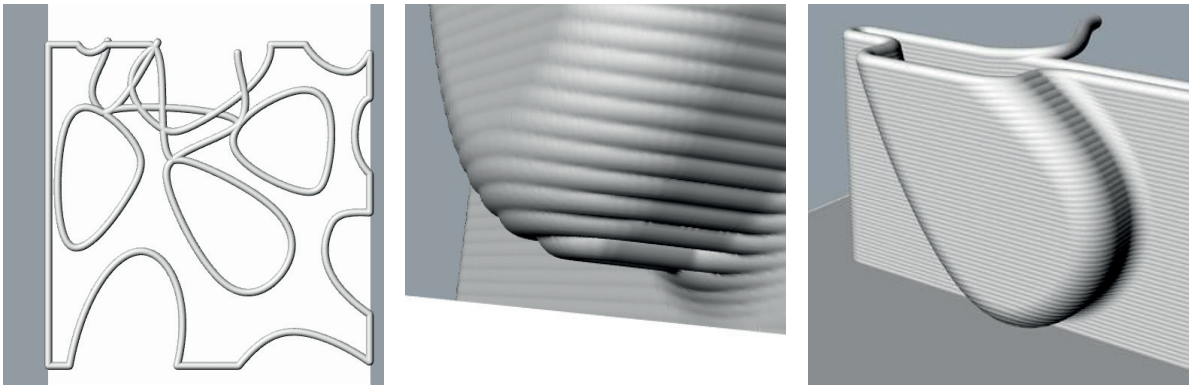
Als ersten Ansatz wählte ich die Taktik einfach «Blöcke» aus der ganzen, extrudierten Struktur auszuschneiden, sowie die Pflanzbehälter und Nester mit einer rechteckigen Basis zu konstruieren. Dies gewährte zum einen die Druckbarkeit (oder zumindest dachte ich das), zum anderen wird die rechteckige Basis der «Aussparungsteile» (sprich Töpfe und Nester) durch die geschlossene Oberfläche des «Gitters» kaschiert. Weiter erhoffte ich mir eine gute Wiedergabe und Erkennbarkeit meiner Voronoi-Struktur.



Links ein Ausschnitt aus der Struktur, mittig ein eingeplanter Topf und rechts beide Teile zusammengesetzt

Um zu prüfen ob meine Vorstellung der Druckbarkeit auch wirklich stimmt sendete ich die Datei zu meiner Partnerfirma. Lara Schneider prüfte dann die Daten mit dem Slicer der Maschine. In meiner Vorstellung würde der «Block» mit mehreren aneinanderliegenden Druckbahnen gedruckt werden, welche dann die gefüllte Form ergeben.

Leider war dies nicht der Fall und beide Teile konnten so nicht direkt gedruckt werden. Die Maschine fährt beim «Block» nur die Konturen ab und lässt die Zwischenräume leer. Weiter waren die Überhänge beim Topfpanel zu gross und mussten ebenfalls angepasst werden. Als Lösung für das Überhangproblem zeigte sich dass die Form gegen unten verjüngt werden musste; Wenn eine Betonschicht so schnell so horizontal gedruckt wird fällt sie zu Boden; Der Drucker druckt quasi ins Leere.



Links die unausgefüllte Form des «Blocks», mittig eine Ansicht der zu grossen Überhänge, rechts des gesamten Topfpanels

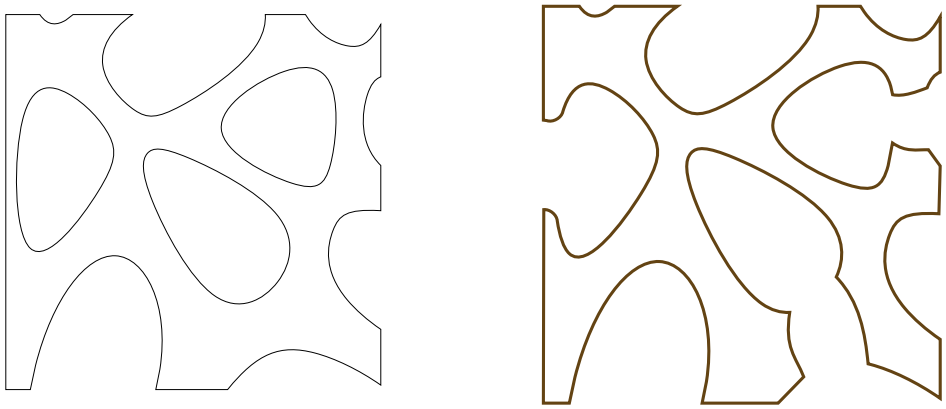
Durch meine Partnerfirma wurde mir mitgeteilt, dass der «Block» der Gitterstruktur eigentlich schon zu Fertigen sei; Zuerst werden die Konturen der Form gedruckt (Siehe Abbildung unten links auf der letzten Seite) und die Zwischenräume werden danach mit regulärem Beton ausgegossen.

Dies stellte für mich jedoch keine Alternative dar, daher das Panel erstens sehr schwer wird (Schätzungen zufolge ca. 300 kg) und zweitens daher ich so weit wie möglich mit der Maschine und dem Druckverfahren selbst arbeiten wollte ohne Fremdkomponente.

Mit der gewonnenen Expertise der letzten Monate überlegte ich mir also Strategien, wie das Panel druckbar zu machen ist. Dabei gab es grundsätzlich zwei Möglichkeiten: eine konturbasierte Variante ohne geschlossene Oberfläche und eine Variante mit eng aneinanderliegenden Zeilen/Druckbahnen um eine geschlossene Oberfläche zu erzeugen.

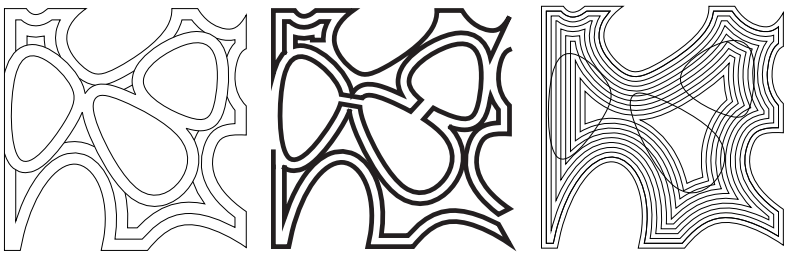
Zuerst befasste ich mich mit der konturbasierten Variante. Daher ich bereits bei den Testpanels ein Exemplar gefertigt hatte, welches auf Konturen basiert, hatte ich da schon eine gewisse Expertise. Ganz wichtig ist dabei geschlossene Konturen zu bilden, damit die Maschine quasi «Runden drehen» kann bei jeder Schicht.

Um dies zu ermöglichen schnitt ich Stege zu den Aussparungen, damit die Löcher auch ich in einer «Runde» mitgedruckt werden können.



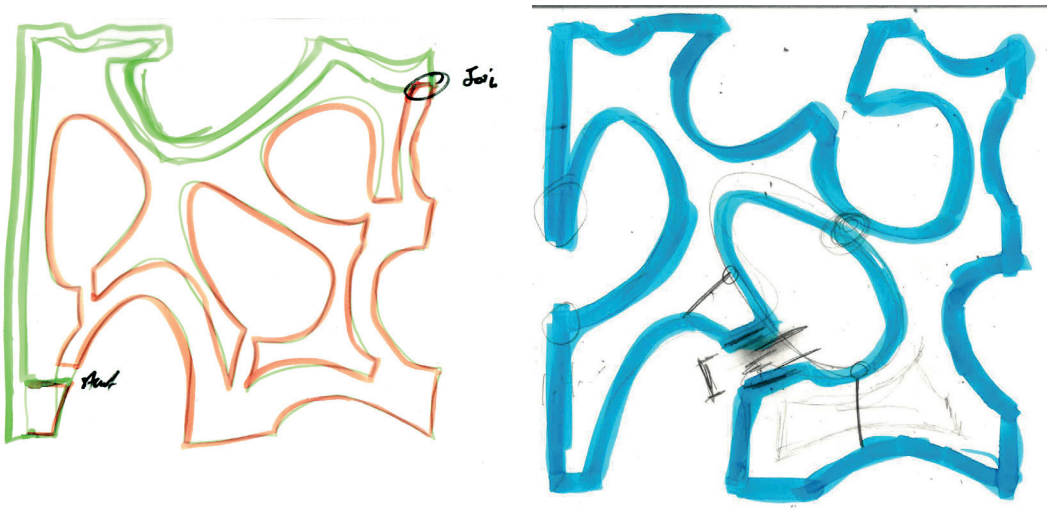
Vergleich der Konturen: Links ohne Stege, rechts mit Stegen. Die Stege sind essentiell für die Druckbarkeit

Um eine geschlossene Kontur zu erhalten und um Stabilität zu generieren versetzte ich die Kontur einmal und verband die beiden Kurven durch eine Schlaufe am Ende. Diese Aufgabe brauchte viel mehr Zeit als eingeplant; Es brauchte viel Hirnschmalz die unregelmässige Form zu einer kontinuierlichen Linie zu Formen. So wechselte ich ständig zwischen Rhino und Adobe Illustrator um dies digital zu planen.



Diverse Zwischenschritte und Ansätze um eine kontinuierliche Linie zu erreichen

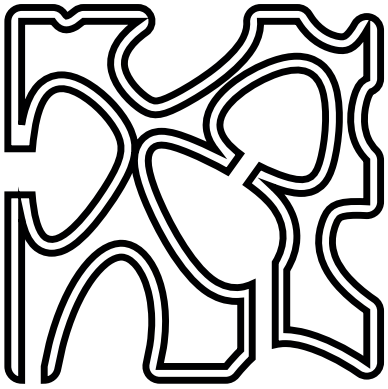
Um speditiver zu einer Lösung zu gelangen sattelte ich auf eine rudimentäre Methode um. Ich druckte die Kontur ohne Stege aus, legte ein Transparentpapier darüber und fuhr mit Kugelschreibern und Farbmarkern die Konturen ab. Die Methode ist einfach, aber funktioniert gut: Alle Konturen müssen abgefahren werden, der Startpunkt muss auch der Endpunkt sein plus der Stift darf nie abgesetzt werden.



Zwei Versuche eine kontinuierliche Kontur zu erstellen mit der Stift-und-Papier-Methode

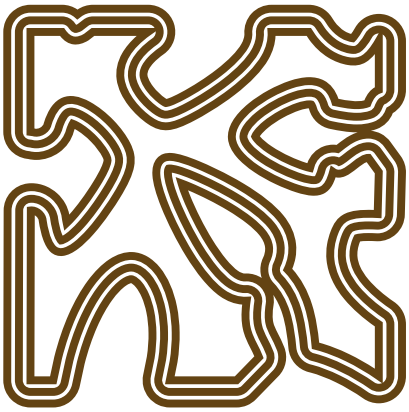
Die Stift-und-Papier-Methode erwies sich als zielführend und half bei der Konstruktion als Gedankenstütze. Im nächsten Schritt ging ich wieder zurück zu den digitalen Methoden.

Die ursprüngliche Kontur wurde mit Stegen an den vorgesehenen Stellen versehen und einmal gegen innen versetzt. Nun wurden die beiden Kurven miteinander verbunden, et voilà, war die erste druckbare Form entstanden.



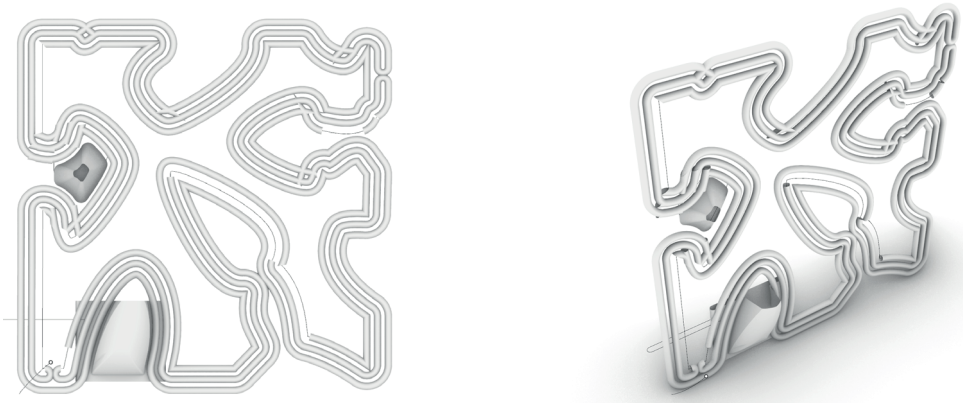
Geschlossene Linie in zwei Konturen druckbar

Das Verhältnis der Schichtbreite (2.5 cm) zur Grösse des Panels (Kantenlänge 1.5 m) erschien mir unproportional und stabilitätstechnisch kaum stemmbar. Weiter machten mir die grossen Abstände zwischen den Löchern/Kurven Sorgen. Ich bezweifelte dass die Verbindungsstellen/Stege das Gewicht der eigenen Form halten können ohne dass sie sich gegenseitig abstützen. Um dem Entgegenzuwirken plante ich die Gesamtkontur nicht nur zweimal sondern dreimal zu drucken.



Dreifach versetzte Kontur. Die braune Konturbreite ist mit 2.5 cm genau so Breit wie auf dem Endprodukt.

Mir gelang es alle sechs Konturen miteinander zu verbinden und via CAD zu visualisieren. In meinem Kopf sollte die ganze Konstruktion recht gut halten aufgrund der erhöhten Konturzahl und ihrer Gegenseitigen Verbindung an einem Punkt. Die Rhino-Datei sowie Visualisierung sendete ich noch einmal an meine Partnerfirma für ein Feedback.

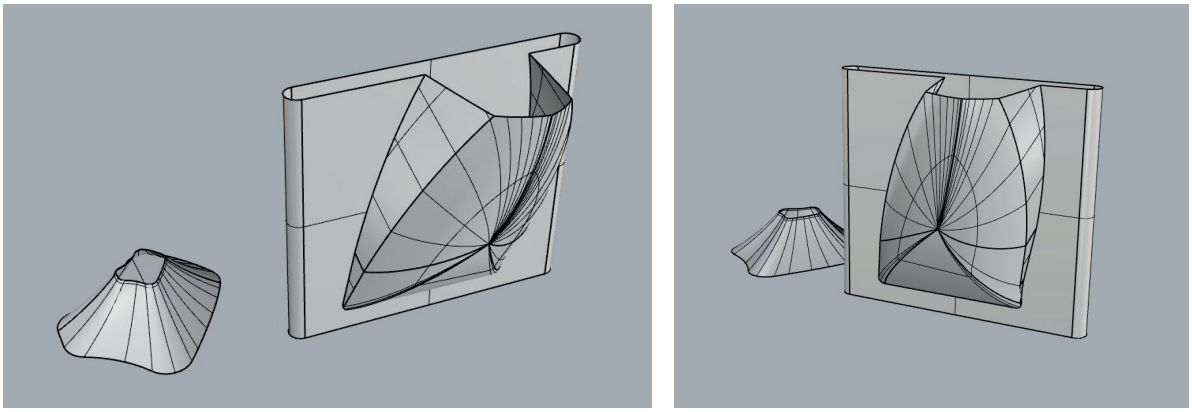


Visualisierungen der Dreifachkontur in Rhino. Um die Schichtbreite darzustellen wurde eine Röhre von 2.5 cm Durchmesser über die Konturen gezogen. Die Überschneidungen sind Rechnungsfehler des Programms und in der Kontur nicht vorhanden.

Aus meiner Partnerfirma wurde mir zurückgemeldet dass das Panel zwar so druckbar ist, jedoch grosse Zweifel an der Stabilität herrschen. Daher die Schichten zu grosses Spiel untereinander aufweisen, werden diese wohl einfach abbrechen und an den wenigen Verbindungsstellen gar nicht halten.

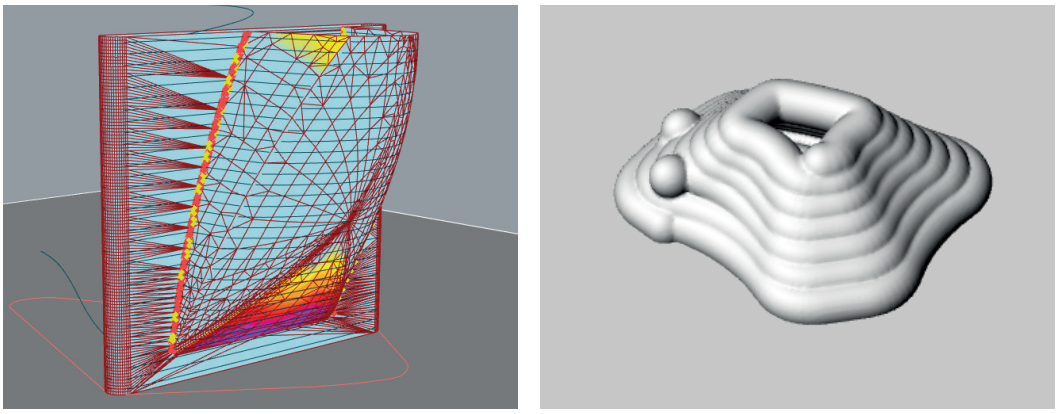
Nach telefonischer Rücksprache stellte sich aber heraus, dass sich dieses Problem massiv verbessern lässt, wenn die Konturen aneinander anliegen. Während der Beton noch fluide ist beim Druck können sich die Konturen so an den Kanten verbinden und so massiv mehr an Stabilität gewinnen.

Ferner dessen sind in der vorher gezeigten Visualisierung auch schon je eine Version eines Vogelnestpanels und eines Topfpanels zu sehen. Beim Topfpanel lernte ich aus der letzten Version und verjüngte die Form gegen unten, so dass die Druckschichten kontinuierlich auf die Letzte aufbauen konnten und genug an Stabilität gewannen. Das Nestpanel wurde regulär liegend konstruiert und folgt der Form der Aussparung in welche es platziert wird.



Ansicht der beiden neu konstruierten Teile. Jeweils links das Nestpanel und rechts das Topfpanel

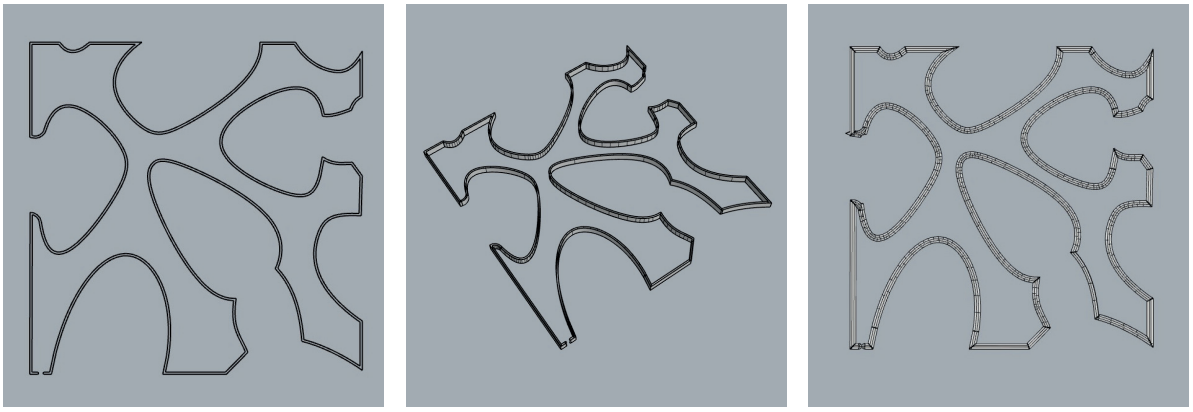
Die neuen CAD-Daten für die Panels wurden durch meine Partnerfirma auf ihre Machbarkeit geprüft. Während das Nestpanel kaum Bedenken gab waren die Steigungen beim Topf doch eine potenzielle Schwachstelle. Lara Schneider von der Affentranger 3DCP AG hierzu: «Beim nächsten Objekt (Topfpanel) bin ich zwar im roten/violetten Bereich, das ist überhangmässig an der Grenze könnte aber funktionieren».



Ansichten aus dem Slicer der beiden Panels

Die oben beschriebenen und im linken Bild sichtbaren violetten und roten Bereiche markieren im Slicer Überhänge, welche in einem kritischen Bereich sind beim Druck. Dies bezieht sich jedoch auf parametrisch festgelegte Werte und muss nicht bedeuten dass das Teil nicht druckbar ist. Abhängig von Materialzustand, Mischverhältnissen und Druckgeschwindigkeit lässt sich auf solche Gegebenheiten reagieren und potenzielle Schwierigkeiten auskorrigieren.

So tat sich abermals ein Lösungsweg auf und ich zeichnete das Stück nochmals neu, dieses mal jedoch mit eng anliegenden Konturen. Durch den relativ kleinen Abstand von 1 cm zwischen den Konturen konnte ich sicherstellen, dass sich beim Druck eine Überschneidung von 5 mm zwischen den Konturen ergibt, was der Stabilität sehr zuträglich ist.

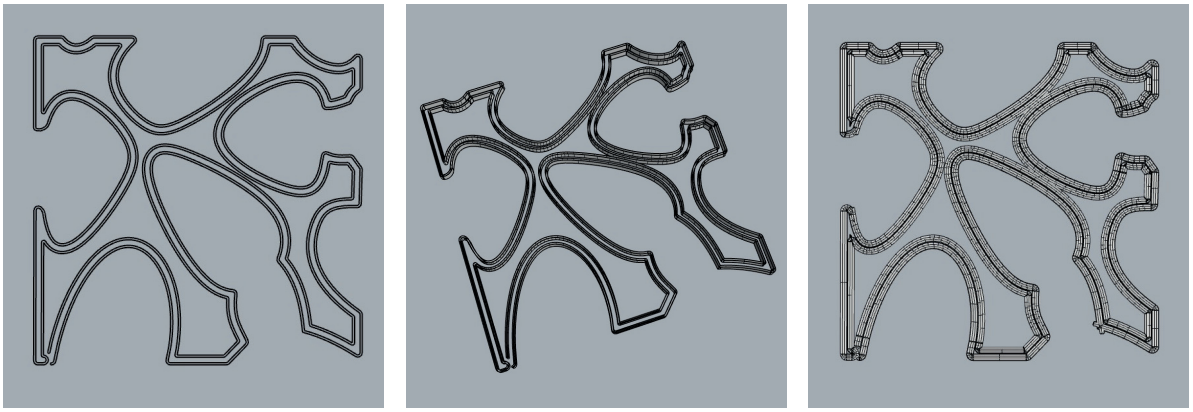


Ansichten der ersten druckbaren Gitterform: Links als Kontur, mittig als Extrusion und rechts umgeben von einer Röhre mit 2.5 cm Durchmesser um die Breite der Druckschichten zu emulieren.

Obschon sich die Stabilität des Panels um einiges verbesserte kamen von diversen Seiten Bendenken, dass die inneren Teile («Löcher») ab ihrem eigenen Gewicht abbrechen könnten und mehr Berührungspunkte zwischen den Konturen nötig sind um das Stück quasi «selbsttragend» zu machen.

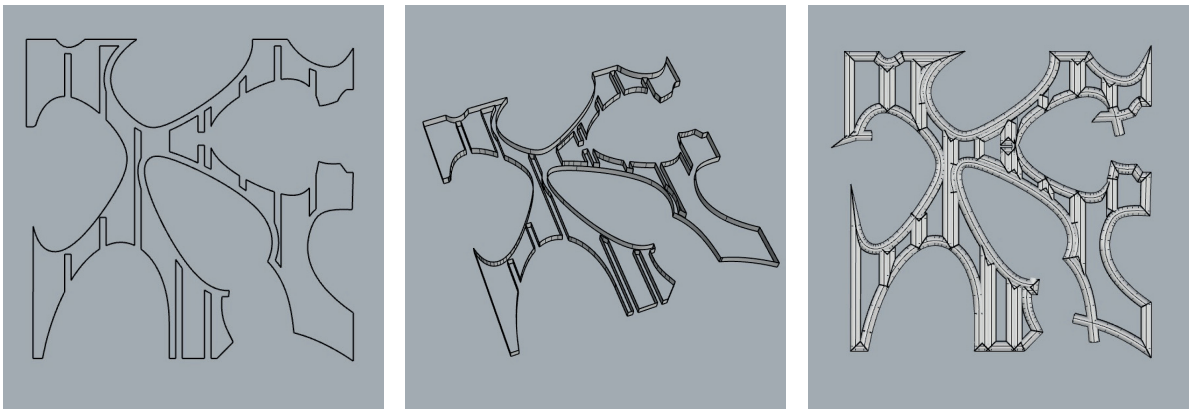
Hier evaluierte ich zwei Ansätze wie sich mehr Kontakt und gegenseitige Unterstützung der Segmente erzeugen liesse:

Der Erste bestand einfach darin, die aktuelle Druckbahn noch einmal gegen innen zu versetzen. So berühren sich alle Konturen, sowie entsteht dann die doppelte Breite an Material, welches weitere Kontaktpunkte erzeugt.



Ansichten der zweiten Version: Links als Kontur, mittig als Extrusion und rechts umgeben von einer Röhre mit 2.5 cm Durchmesser um die Breite der Druckschichten zu emulieren. Im rechten Beispiel zeigen sich erste Kontaktpunkte zwischen den Druckbahnen

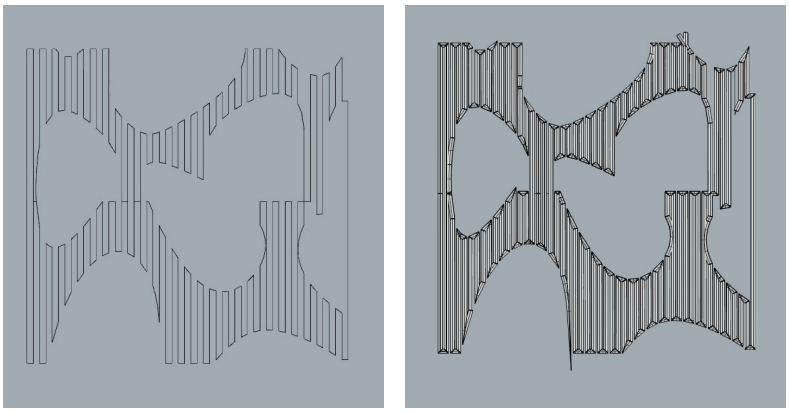
Mit der zweiten Version zeigte sich zwar ein Weg auf das Panel stabiler zu machen, jedoch schwirrte mir noch eine andere Methode im Kopf herum. Der Plan war, das Panel mit eingedruckten «Stützen» zu verstärken. Ich plante also unten und oben an den Aussparungen eng anliegende, vertikale Druckpfade ein wo sich sie sich implementieren liessen. Die Challenge war hier einmal mehr eine kontinuierliche Linie zu kreieren, damit das ganze auch druckbar bleibt.



Ansichten der dritten Version: Links als Kontur, mittig als Extrusion und rechts umgeben von einer Röhre mit 2.5 cm Durchmesser um die Breite der Druckschichten zu emulieren. Die Überschneidungen sind Rechnungsfehler des Programms und in der Kontur nicht vorhanden

Nach der Emulation via der «Pipe»-Funktion in Rhino (rechtes Bild oberhalb) erschien mir die Form sicherlich stabiler und barg den Vorteil, dass die rechteckigen Kanten der geplanten Töpfe und Nester besser kaschiert werden konnten. Weiter füllten sich die Zwischenräume zwischen den Ausspraungen besser und über die ganze Fassade gesehen würde so optisch auch wieder eine Art Fläche entstehen. Schlussendlich entschied ich mich jedoch gegen diese Variante, daher sie ästhetisch nicht meinen Ansprüchen entsprach; Ich empfand die konturbasierte Version ohne «Stützen» definitiv als eleganter, auch über die ganze Fassade gesehen.

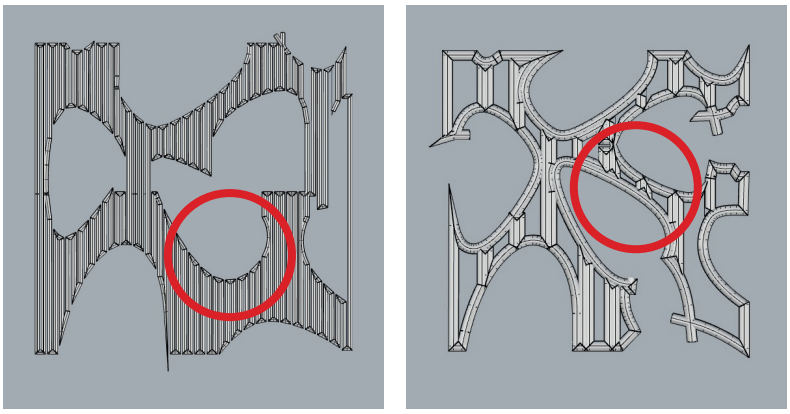
Wie ganz am Anfang dieses Kapitels erwähnt verblieb aber noch eine zweite Variante das Panel als «Block» oder Fläche druckbar zu machen. Bei dieser Methode plante ich eine kontinuierliche Linie, welche beim Auftreffen auf eine Aussparung eine 180°-Wende macht und so das ganze Panel Spalte für Spalte «abtastet».



Ansichten der vierten Version: Links als Kontur und rechts umgeben von einer Röhre mit 2.5 cm Durchmesser um die Breite der Druckschichten zu emulieren. Die Überschneidungen sind Rechnungsfehler des Programms und in der Kontur nicht vorhanden

Anfänglich erschien mir diese vierte Variante und komplett neue Methode als zielführend. Die Form machte einen stabilen Eindruck und füllte die Zwischenräume zwischen den Aussparungen, was ästhetisch wieder eine Fläche ergeben würde.

Der riesige Nachteil, welcher mich auch dazu bewog diese Methode zu verwerfen, lag jedoch darin dass es Bereiche gab, welche durch diese «Spalte-für-Spalte»-Technik nicht erreicht werden konnten. Obschon ich das Panel halbierte und mit zwei Linien arbeitete (eine von der unteren Kante bis zur Mitte und eine von der oberen Kante runter bis zur Mitte) gibt es Bereiche welche von beiden Seiten her nicht erreicht werden können.



Fehlende Abtrennung (jeweils rot eingekreist) bei der «Spalte-für-Spalte»-Version links. Im Vergleich dazu die «Stützen»-Version welche diese noch enthält.

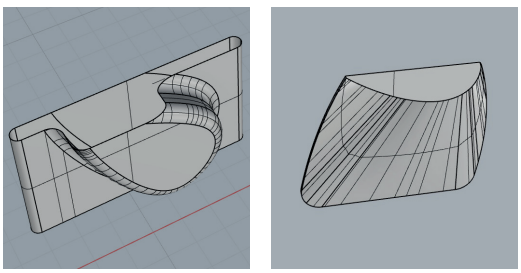
Aus ästhetischer Perspektive bin ich stark der Meinung dass genau diese Abtrennungen grundlegend sind für den Wiedererkennungswert der ganzen Voronoi-Struktur. Wenn diese im grösserem Masse fehlen verliert die Optik über die ganze Fassade ihre Ästhetik und wird unlogisch. Aus diesen Gründen entschied ich mich für die konturbasierte Variante und gegen die «Spalte-für-Spalte»-Methode.

Mit dem nahenden Drucktermin entschied ich mich nach der Evaluation der verschiedenen, hier vorgängig gezeigten Methoden zur konturbasierten Variante ohne Stützen.

Die gesamte Fassade besteht aber nicht nur aus der Gitterstruktur, sondern auch aus den Töpfen und Nestern welche in die Löcher montiert werden. Anfänglich ging ich aus drucktechnischen Gründen davon aus, dass die Lochform eher als Relief dient und jedes Stück einen rechteckigen «Rücken» braucht um überhaupt gedruckt werden zu können.

Beim Konstruieren des Gitterpanels hatte ich jedoch einen Geistesblitz: Aufgrund meiner bisherigen Kenntnisse des Verfahrens dachte ich mir, dass es möglich sein muss bei einer genug grossen Grundfläche und einer gegen oben verjüngten Form die Töpfe und Nester aufrecht drucken zu können und dies gleich in der Form des Lochs in der Fassade (quasi «konturgeschnitten»).

Gleich setzte ich mich an die Konstruktion, welche im Digitalen zu funktionieren schien.

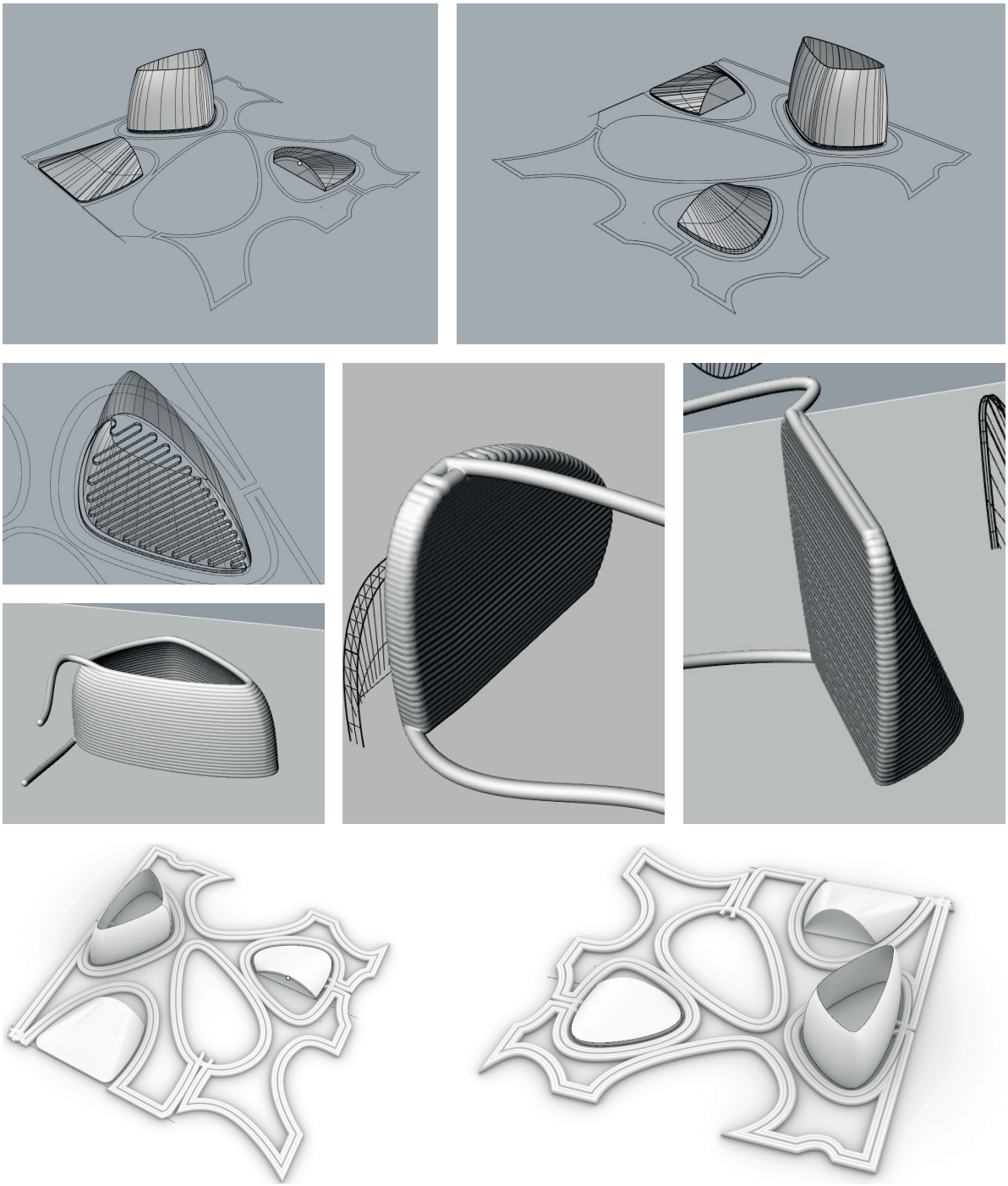


Vergleich des Topfpanels mit rechteckigem «Rücken» und als konturbasierte Version

Gleich wie das Topfpanel konstruierte ich auch das Fledermausnest. Aus meiner Vorrecherche wusste ich, dass Fledermauskästen am unteren Ende einen kleinen Schlitz brauchen welche die Tiere dan n für den Ein-und Ausflug nutzen. Beim Konstruieren des Topfpanels fiel mir auf, dass sich diese Bauart so lösen liesse, dass das Nest gleich wie der Topf gebaut wird, jedoch umgekehrt aufgehängt. So würde auch das zweite Panel seine rechteckige Basis verlieren und zu einer besseren Optik beitragen.

Das Vogelnest-Panel war am einfachsten zu konstruieren. Ich extrahierte die Kontur der Aussparung, versetzte sie ein wenig nach innen und rotierte eine Profilkurve um 2 Schienen (Rhino-Befehl: Sweep2). Damit das Panel hinten auch geschlossen ist, konstruierte ich einen Boden nach der «Zeile-für-Zeile»-Methode welche in diesem Kapitel schon beschrieben wurde.

Nun sendete ich die aktuellste Version aller Panels noch einmal meiner Partnerfirma zu für eine Einschätzung. Glücklichweise waren meine Überlegungen richtig und alle Panels waren so druckbar.

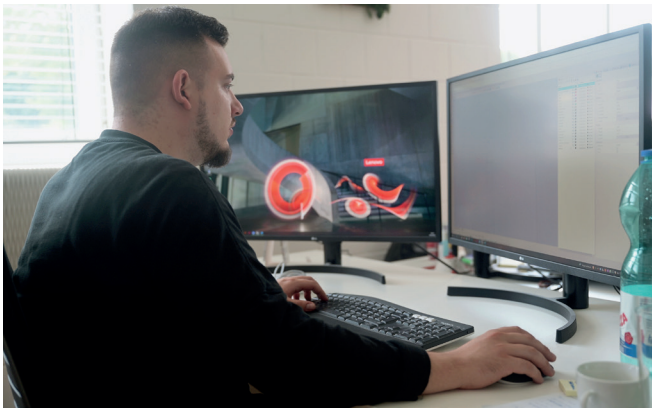


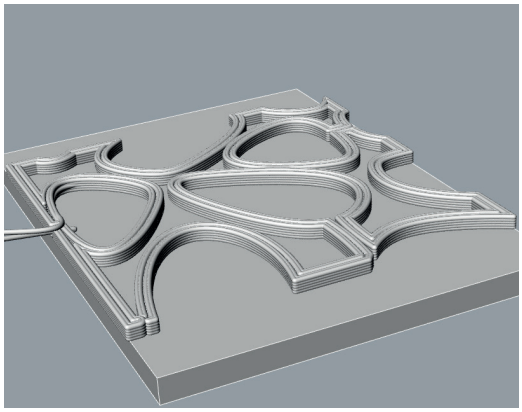
Ansichten und Details aller Teile aus CAD und Slicer

Drucken der finalen Teile

Nachdem mir von der digital-technischen Seite her grünes Licht gegeben wurde für den Druck begab ich mich nach Wiedlisbach BE um in meiner Partnerfirma die finalen Panels zu drucken. Um möglichst viel Flexibilität für Eventualitäten zu haben begann ich mit dem Druckprozess um 07:30 Uhr morgens.

Wie schon zuvor transferierte ich zuerst meine Rhino-Dateien auf den Firmen-PC und generierte mit dem Slicer die für die Maschine lesbaren Druckdaten.

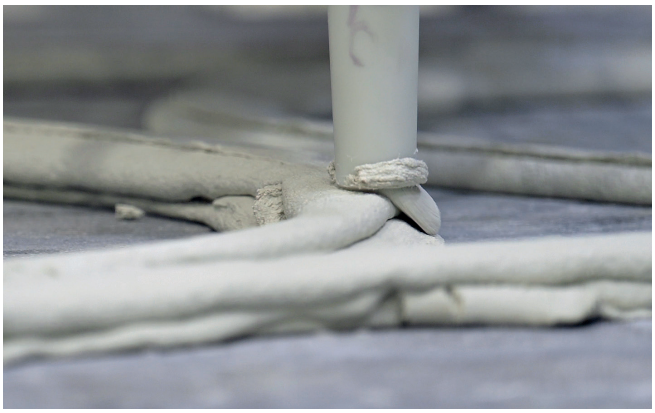


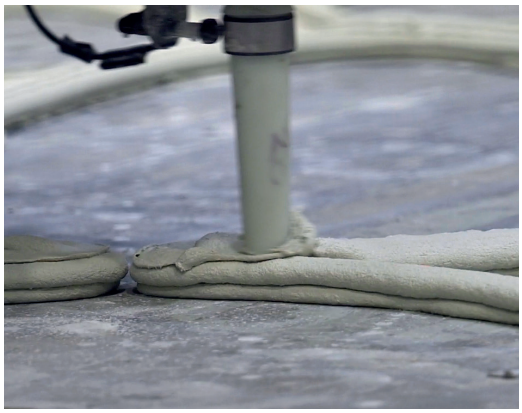


Generierung der Druckdaten und ein Ergbnis davon: Das Gitterpanel in der Slicer-Ansicht

In Absprache mit meiner Partnerfirma brachte ich zwei Versionen des Gitterpanels mit, einmal mit einer einfachen Kontur und einmal mit einer Doppelten (Siehe letztes Kapitel). Wir einigten uns darauf, dass beide Dateien gedruckt werden für den Fall dass eines aus Stabilitätsgründen brechen sollte. Als erste Datei wurde das Gitterpanel mit der doppelten Struktur auf die Maschine gesendet.

Leider war das Material an diesem Tag sehr dünnflüssig im Verhältnis zur gewohnten Viskosität. Dieser Umstand würde uns noch den ganzen Tag verfolgen. Experten der Sika Schweiz AG kümmerten sich um eine Verbesserung, jedoch ohne beeinflussende Ergebnisse. Die Schwierigkeit die sich aus einem dünnflüssigen Material ergibt liegt darin, dass eng aneinanderliegende Druckpfade (wie ich sie eingpeplant habe) sich gegenseitig verdrängen und Material auftürmen. Dieses wird wiederum vom Druckkopf mitgeschleift und es enstehen recht unschöne Oberflächen. So geschah dies auch bei meinem ersten Panel, welches massgeblich auf engen Druckpfaden (1 cm Abstand zwischen den Pfaden bei 2.5 cm Schichtbreite) basiert.





Verdrängen und Wegstossen von Material im Druckprozess. Ergebnis ist ein unschönes Druckbild

Das Endprodukt war ein Panel, dass zwar durch die vergleichsweise niedrige Viskosität des Betons sich stark den Druckpfaden entlang verband, jedoch eine unschöne Oberfläche erhielt. Nach einem Austausch und dem Abklären von Optionen mit Mitarbeitenden der Affentranger 3DCP AG und der Sika Schweiz AG entschied ich mich dazu das Panel entsorgen zu lassen, daher es eine zu unschöne Oberfläche hatte.

Ansicht und Details des erstgedruckten Panels

Daher nun Wartungen an der Maschine und andere Aufträge der Firma anstanden widmete ich mich den Videodreharbeiten mit Sandro Burkhalter zusammen für das dazugehörige Video zu meiner BA-Arbeit.

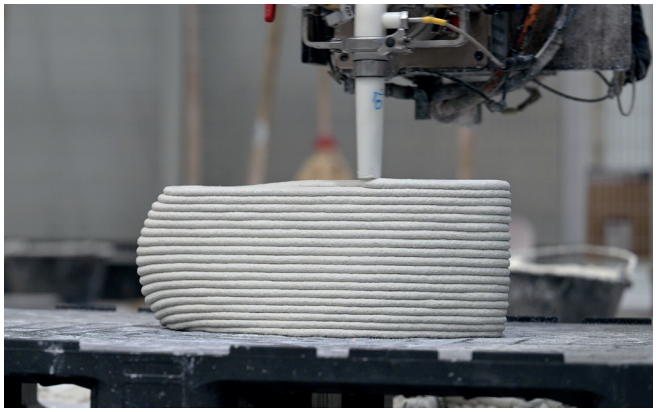
Impressionen des Videodrehs

Nach den Expertisen der Mitarbeitenden der Sika AG und einer Maschinenwartung stand endgültig fest dass sich an der Viskosität des Betons zum gegebenen Zeitpunkt nichts ändern lässt und zu einem späteren Zeitpunkt andere Massnahmen ergriffen werden mussten.

Dies bedeutete aber auch für mich und meine Teile ein Umdenken und Umplanen. Die eng anliegenden Pfade meiner Gitterpanels mussten unbedingt vergrössert werden, potenziell um das Doppelte. Nach dem Abschluss des Videodrehs machte ich mich also an die Rekonstruktion des betroffenen Teils. Daher die Abstände zwischen den Panels nun effektiv auf 2 cm verdoppelt wurden entfiel aus Platzgründen das Drucken der doppelkonturigen Version, daher zwischen den Löchern einfach zu wenig Platz war für 4 Druckpfade mit diesen Abständen.

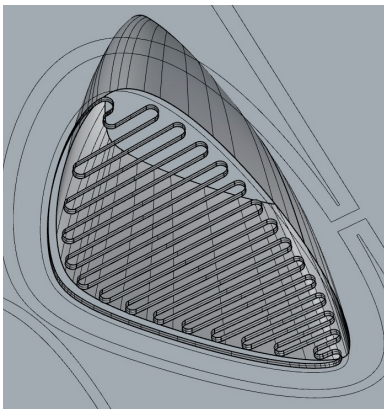
So zeichnete ich das Panel mit der einfachen Kontur neu, vergrösserte und platzierte jedoch das mittlere Loch etwas anders um mehr Kontaktpunkte ausgehend von den neuen Druckbedingungen zu generieren.

In der Zwischenzeit fuhr der Maschinenführer mit dem Drucken meiner anderen Panels fort. Das Topf- und das Fledermauspanel machten beim Druck keine Probleme, waren schnell gedruckt und zur Trocknung abtransportiert.



Impressionen des Drucks des Topfpanels (links) und des Fledermausnestpanels (rechts)

Nach den zwei erfolgreich gedruckten Panels war das Dritte, das Vogelnestpanel, an der Reihe. Hier zeigten sich schnell Schwierigkeiten, auch hier aufgrund der niedrigen Betonviskosität. Gleich wie beim zuerst gedruckten Gitterpanel mit der doppelten Kontur gab es grössere Schwierigkeiten mit den eng anliegenden Druckpfaden des Bodens.



Eigentlich gezeichnete Druckpfade (links) und Druckergebnis auf der rechten Seite

Wie sich gut an der obenstehenden Aufnahme auf der rechten Seite erkennen lässt, verlief das Material, verdrängte sich, türmte sich auf und wurde schlussendlich vom Druckkopf mitgeschleift und verstrichen. Mit der Zeit bildeten sich Ablagerungen an der Druckdüse und ein stabiler und gut aussehender Druck wurde unmöglich. Auch hier entschieden sich die Partnerfirma und ich bilateral für einen Abbruch und eine Enstorgung des Stücks.

Wie auch beim Gitterpanel wurde auch hier eine neue CAD-Zeichnung mit dem doppelten Abstand zwischen den Zeilen am Boden des Stücks nötig. Aufgrund des grösseren Aufwandes einer neuen Zeichnung und der fortgeschrittenen Zeit einigten wir uns darauf an diesem Tag nur noch das neu gezeichnete Gitterpanel zu drucken. Das neue Vogelnestpanel würde ich dann in der Hochschule neu zeichnen und nachreichen.

Zum Abschluss des Drucktages sendete ich die neue Datei für das Gitterpanel auf die Maschine. Gespannt erwartete ich die ersten Bahnen und zu meiner Erleichterung zeigte sich, dass die Verdoppelung des Abstands zwischen den Bahnen sicherlich genug war, um auf die Differenzen im Material zu antworten. Ich wies den Maschinenführer an die Druckgeschwindigkeit um 10% zu reduzieren, so dass die Schichtbreiten etwas breiter wurden und sich an den geplanten Kontaktstellten besser verbanden. Am Ende lag nun ein Panel mit mehreren Kontaktstellen da, welches auch über eine schöne Oberfläche verfügte.

Im Diskurs nach dem Druck entstanden jedoch auch Bedenken betreffend der Stabilität. Das Panel hat eine Kantenlänge von 150 cm und ein Gewicht von rund 70 kg. Ob die geplanten Kontaktstellen dieses Gewicht und die Torsionskräfte beim Transport aushalten werden, wird sich erst beim Transport zeigen.

Impressionen des Drucks, des Panels und der Kontaktstellen

Etwa nach anderthalb Wochen Trocknungszeit begab ich mich nach Wiedlisbach um meine Panels abzuholen. Wegen der oben erwähnten Schwierigkeiten mit dem Material war ein Druck des Vogelnestpanels nicht möglich und daher die Werkschau in kurzer Zeit startete, verzichteten wir bilateral auf einen Nachdruck des Stücks.

An diesem Tag bewahrheiteten sich auch die Befürchtungen der letzten Wochen: Beim Anheben des Gitterpanels mit 4 Personen haftete das Teil noch relativ stark am Schalungselement. Durch diese Haftung und die entstehenden Torsionskräfte ergaben sich schon erste Risse und Brüche. Das Teil brach nicht in Stücke, hatte aber ergo schon die ersten Schäden.

Nichtsdestotrotz wurde das Stück auf eine Einwegpalette gehievt und mittels Stapler verladen. Nach dem Rückweg nach Emmenbrücke wurde der Bus entladen und alle Teile zwischengelagert für die weitere Aufbereitung für die Werkschau.

Ansicht der Risse, des Transports und der Teile für das Endprodukt

Ergebnis der Versuchsstationen

Per Ende April habe ich meine Versuchsstationen auf zwei Terassen des HSLU-Gebäudes in der Viscosistadt platziert. Mit diesen beiden Stationen wollte ich herausfinden wie sich Kletterpflanzen und der Beton verhalten.

Nach bald 2 Monaten in der Witterung ist es nun Zeit für ein Fazit.

Das Panel auf der Dachterasse im 5. Stock in Nord-Ost-Ausrichtung befand sich für die ersten Wochen unter einem Vordach (daher die Pflanzen halbschattig gepflanzt werden sollten). Nach wenigen Wochen stellte ich es jedoch unter den freien Himmel, daher unter dem Dach bei Niederschlägen kaum Wasser in die Pflanzbehälter kam. Nach anfänglichen Trockenphasen im Mai, welche eine zusätzliche Bewässerung von Hand nötig machten, regelte dies die Natur anschliessend selber durch ausgiebigie Regenfälle. Etwa Mitte Mai entschied ich mich Düngerstäbchen in die Erde zu setzen um das Wachstum voranzutreiben.

Stand Mitte Juni war bei diesen Panels keine Haftung der Triebe auf dem Beton zu erkennen. Die Theorien weshalb dies so ist gehen dabei auseinander. Eine Variante ist, dass die Pflanzen einfach zu wenig gewachsen sind um an den neuen Trieben neue Haftwurzeln zu generieren, welche dann auf dem Beton haften. Ein weiterer Aspekt ist, dass bei dieser Station keine «Gitterstruktur» vorhanden ist, welche mehr «Angriffsfläche» für die Pflanzen bietet, sondern plane Flächen. Ich gehe jedoch davon aus, dass bei längerem Wachstum auch neue Haftwurzeln einen Bereich finden, an welchem sie sich festhalten können.

Die zweite Station auf der Terasse im ersten Stock mit Nord-West-Ausrichtung zeigt sich ergiebiger. Die Pflanzen und Panels standen von Anfang an exponiert unter freiem Himmel und bekamen permanent Niederschläge ab. Ebenso wie bei der anderen Station folgten Düngerstäbchen. Meinem Eindruck nach wuchsen die Pflanzen (identisch mit denen auf dem Dach) an diesem Ort besser und buschiger.

Eine weitere Entdeckung hierbei ist die Haftung. Bei dieser Station haben sich erfreulicherweise die ersten Haftwurzeln schon auf dem Beton festgesetzt. Diese sind natürlich noch sehr klein, jedoch zeigt dies zumindest bei diesen Panels, dass der Beton geeignet ist für die Ansiedlung von Selbstklimmern. Weiter verkeilten sich einige Triebe (besonders die des Efeus) in der Gitterstruktur am oberen Ende der Station. Durch diese Verkeilung befinden sich die Triebe der Pflanze wieder näher am Beton und machen so eine weitere Haftung auf dem Material wahrscheinlicher. Ferner dessen sehe ich hier eine Bestätigung für meine Designentscheidung: Die konturbasierten Betonpanels mit grossen und kleinen Aussparungen bieten ein gutes «Netz» für die Triebe; Die Pflanze kann «etwas damit anfangen».

Abschliessend bin ich besonders bei der zweiten Station im ersten Stock zufrieden mit dem Ergebnis. Der Beton blieb beständig, stabil und ohne Verfärbungen in dieser Zeit bei Sonne und Regen. Die Pflanzen starben nicht ab und vertragen sich grundsätzlich mit dem Beton. Ich glaube bei längerem Wachstum der Pflanzen werden sie sich weiter mit dem Beton verbinden und diesen als neues Habitat nutzen.

Stand Ende April von Station 1

Stand Mitte Juni von Station 1

Stand Mitte Juni von Station 2

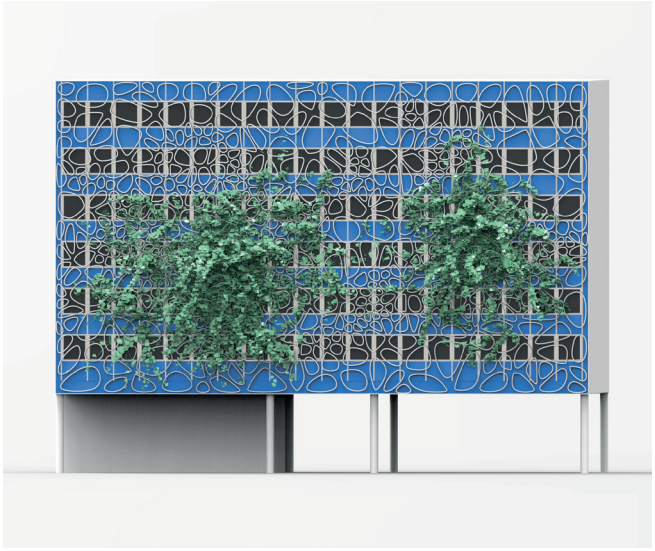
Erste Haftwurzeln siedeln sich auf dem Beton an

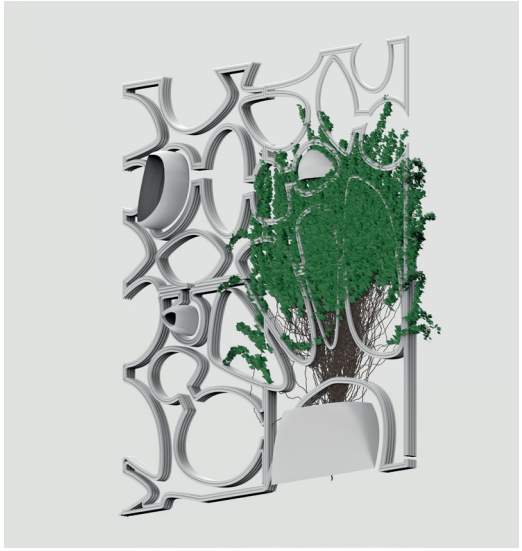
Die Pflanzen nutzen die Aussparungen der Gitterstruktur

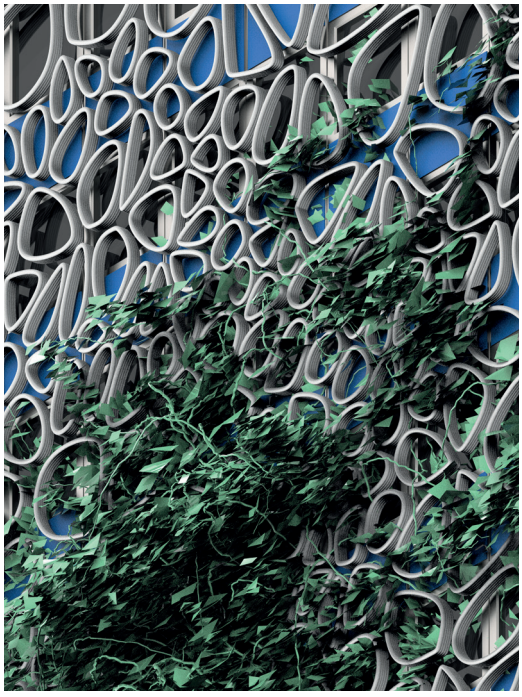
Endergebnis, Ausblick und Fazit

Daher besonders das Gitterpanel aufgrund seiner potenziellen Brüchigkeit möglichst lange trocknen soll, befasste ich mich in der Zwischenzeit mit der Visualisierung des Endergebnisses. Das gedruckte Stück versteht sich als Ausschnitt aus der Fassade, welche als Gesamtes eine Möglichkeit der Fassadenbegrünung via Beton-3D-Druck aufzeigt.

In meinem CAD-Programm Rhino baute ich die Fassade des Referenzgebäudes nach und platzierte die Voronoi-Struktur darüber. Aus Speditivitätsgründen verzichtete ich auf flächendeckende Nest- und Topfelemente sowie auf die Implementierung von Stegen über die ganze Fassade. Via einem separaten Programm liess sich Efeu in die Struktur generieren um einen Eindruck des Bewuchs zu geben.







Die letzten Monate an dieser Arbeit zeigten vor allem eines auf: die Komplexität des Themas. Ich als Designer sehe darin Chancen, aber auch Herausforderungen.

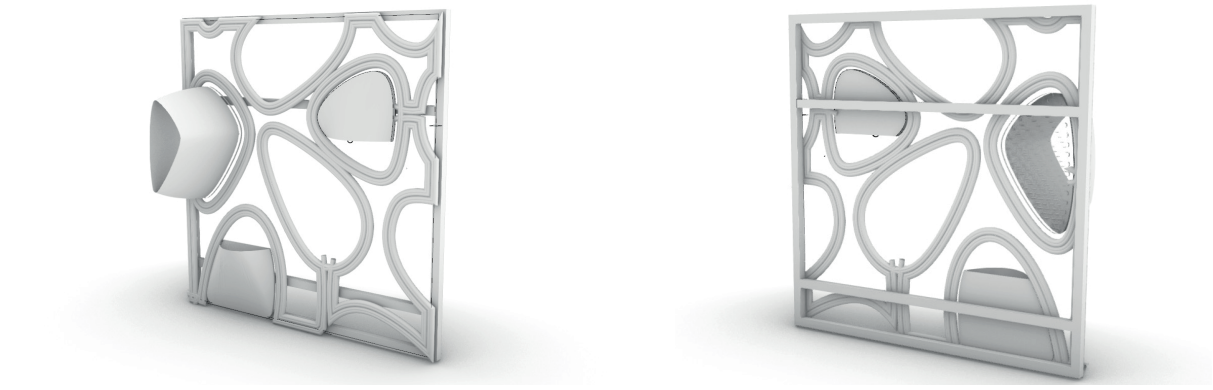
Die Chancen liegen darin, dass durch die Flexibilität des Druckverfahrens auf diverse Aspekte reagiert werden kann. Eine recht freie Formgebung bietet neue Möglichkeiten um auf die Bedürfnisse von Architekt*innen, Flora, Fauna aber auch auf technische Aspekte einzugehen. Im Vergleich zu konventionellen Fertigungstechniken im Betonbereich öffnen sich ganz neue Wege.

Andererseits muss ich auch feststellen, dass technische Limitierungen wie das Drucken ohne Stützstruktur, ohne Überschneidungen, in geschlossenen Konturen und mit Begrenzungen bei Überhängen auch viel Denkarbeit forderten um einen Ansatz zu verfolgen, welcher auch realisierbar ist. Diese Limitierungen sind jedoch erst die der technischen Seite, hinzu kommen die Bedürfnisse von Flora und Fauna, technische Aspekte sowie ferner dessen baurechtliche Richtlinien, ästhetische Ansprüche der Gestaltenden wie aber auch des Staates (Stichwort Stadtbild) und der Bevölkerung.

Diese Komplexität und Limitierungen sind jedoch genau das Spannungsfeld in welchem ich meine Aufgabe als Designer sehe: Aus den gegebenen Möglichkeiten durch Konzeption die beste Lösung für die Endnutzenden entstehen zu lassen.

Essentiell über den ganzen Prozess: Austausch mit Fachpersonen

Am Ende dieser Fassung der Dokumentation befinden sich die gedruckten Panels noch bei der Affentranger 3DCP AG zur Trocknung. In der Zwischenzeit baue ich eine Rahmenkonstruktion aus Metall, auf welcher alle Teile montiert werden. Diese wird danach an meinem Stand an der Werkschau der HSLU zu sehen sein. Somit bleiben als letzte Schritte (welche zum Zeitpunkt der Abgabe dieser Dokumentation noch ausstehen) der Transport der Teile und die Montage auf der Rahmenkonstruktion zu erledigen um das Projekt endgültig abzuschliessen und der Öffentlichkeit vorzustellen.



Rudimentäre Darstellung der Metallkonstruktion inklusive der Betonteile

Dank

Herzlichsten Dank an alle die diese Arbeit unterstützt haben!

Lara Schneider und Marius Affentranger
Affentranger 3DCP AG
www.affentranger3dcp.ch

Mike Wegmüller
Agenza GmbH
www.agenza.ch

Sandro Burkhalter
www.sandroburkhalter.com

Elias Bader
Stiftung Fledermausschutz Schweiz
www. fledermausschutz.ch

Pascale Haas
Grünstadt Schweiz
www.gruenstadt-schweiz.ch

Nicolas Disch
Grün Stadt Zürich
www.stadt-zuerich.ch

Moritz Burger
Geographisches Institut Universität Bern
www.geography.unibe.ch

Rainer Brunner
skygardens / Diebold & Zgraggen Gartenbau AG
www.skygardens.ch

Tobias Ammann
Umweltberatung Luzern
www.umweltberatung-luzern.ch

Petra Horch
Vogelwarte Sempach
www.vogelwarte.ch

Beat Guhl
Sky-Frame AG
www.sky-frame.com

Herzlichen Dank auch an alle Beteiligten in der Hochschule Luzern

HSLU Hochschule Luzern

Christof Sigerist
Objektdesign
Departement Design & Kunst

David Zuber und Jonas Zahno
Objektdesign
Departement Design & Kunst

René Odermatt und Nadia Müller
Kunststoff- und Keramikwerkstatt
Departement Design & Kunst

André Schuler und Isabelle Hertzeisen
Metallwerkstatt
Departement Design & Kunst

Res Wallimann und Tim Frank
Holzwerkstatt
Departement Design & Kunst

Pascal Brodard
Hausdienst
Departement Design & Kunst

Cornelia Gassler
Forschung
Departement Design & Kunst

Kilian Arnold
Kompetenzzentrum Gebäudehülle und Ingenieurbau
Institut für Bauingenieurwesen
Departement Technik & Architektur