

# EEN PARAMETRISCHE ARCHITECTUUR

PARAMETRISCH MODELLEREN  
EN ONTWERPEN

Vincent Macris





# EEN PARAMETRISCHE ARCHITECTUUR

PARAMETRISCH MODELLEREN EN ONTWERPEN

Provinciale Hogeschool Limburg  
Departement Architectuur en Beeldende Kunst  
Universitaire Campus Gebouw E  
3590 Diepenbeek  
Academiejaar 2009-2010  
Seminarie Bouwtechnisch Concept

**EEN PARAMETRISCHE ARCHITECTUUR**

PARAMETRISCH MODELLEREN EN ONTWERPEN

Cover: Gramazio & Kohler,  
Architecture & Digital Fabrication, ETH Zurich

Scriptie Vincent Macris  
Promotor Marc Knapen  
Co-Promotor Stefan Boeykens



## **ABSTRACT**

In het huidige digitale tijdperk worden onze leefpatronen gewijzigd en zal er opnieuw nagedacht worden over de hedendaagse architectuur en zijn nieuwe eisen. De duidelijk zichtbare tendens naar meer vrijheid en mobiliteit vraagt om een nieuw architectuurconcept. Dit concept uit zich in een parametrische architectuur en zou het vakgebied helemaal kunnen veroveren, zowel op het vlak van modelleren als ontwerpen. Er is reeds sprake over het 'Parametricisme', een nieuwe stijlperiode volgens Patrik Schumacher. Daar waar het Structuralisme zou gefaald hebben zou deze stijl een nieuw era aankondigen met een nieuw parametrisch paradigma. Deze thesis tracht zowel theoretisch als praktijkgericht te achterhalen wat een parametrische architectuur inhoudt en welke mogelijkheden het biedt om onze ruimtelijke wereld op te bouwen.



# **EEN PARAMETRISCHE ARCHITECTUUR**

PARAMETRISCH MODELLEREN EN ONTWERPEN

**INHOUDSOPGAVE**





|  |           |
|--|-----------|
| <b>ABSTRACT</b>  | <b>3</b>  |
| <b>INHOUDSOPGAVE</b>   | <b>5</b>  |
| <b>INLEIDING</b>   | <b>11</b> |
| <b>DEEL 1/ VAN MASTER BUILDER TOT DIGITAL MASTER BUILDER</b> | <b>17</b> |
| 1. DE MASTER BUILDER, EEN KORTE GESCHIEDENIS                 | 19        |
| 2. CAAD TOOLS  | 20        |
| 3. DE ROL VAN DE ARCHITECT                                   | 21        |
| 4. DE DIGITALE MASTER BUILDER                                | 21        |
| 5. EEN TWEEZIJDIGE PARAMETRISATIE                            | 22        |
| 6. UITDAGINGEN   | 23        |
| <b>DEEL 2/ EEN DIGITAAL NEO-STRUCTURALISME?</b>              | <b>25</b> |
| INLEIDING  | 27        |
| INTERNATIONAAL SYMPOSIUM                                     | 28        |
| 1. DE OPKOMST VAN HET STRUCTURALISME                         | 29        |
| 2. HET STRUCTURALISTISCH TIJDPERK                            | 31        |
| 2.1 DE PROTAGONISTEN   | 32        |
| 2.2 STRUCTURALISTISCH ONDERZOEK                              | 34        |
| 2.3 DE NEERGANG VAN HET STRUCTURALISME                       | 36        |
| 3. EEN HEROPLEIVING VAN IDEALEN                              | 37        |
| 3.1 EEN DIGITAAL NEO-STRUCTURALISME                          | 37        |
| 3.2 EEN REGEL-GEBASEERDE ARCHITECTUUR                        | 38        |
| <b>DEEL 3/ WAT IS PARAMETRISATIE?</b>                        | <b>41</b> |
| INLEIDING  | 43        |
| DE VARIABELE PARAMETER                                       | 44        |
| 1. GEOMETRIE   | 45        |
| 1.1 EUCLIDISCHE GEOMETRIE                                    | 45        |
| 1.2 NIET-EUCLIDISCHE GEOMETRIE                               | 46        |
| 1.3 TOPOLOGIE  | 47        |
| 2. PARAMETRISATIE  | 48        |
| 2.1 NURBS: EEN PARAMETRISCHE GEOMETRIE                       | 48        |
| 2.2 DATASTRUCTUREN   | 51        |
| 2.3 CAAD   | 53        |
| 2.4 CAM  | 56        |
| 3. SCRIPTING: EEN INTERFACE VOOR PARAMETERS                  | 59        |
| 3.1 (TRANS-)FORMERENDE ALGORITMES                            | 59        |
| WISKUNDIGE MODELLEN EN NATUURLIJKE INTELLEGENTIE             | 60        |
| 3.2 GENERATIEVE PROCESSEN                                    | 63        |
| CELLULAR AUTOMATA  | 64        |
| SHAPE GRAMMAR  | 65        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.3 GENETISCHE PROCESSEN                         | 66         |
| EEN EVOLUTIONAIRE ARCHITECTUUR                   | 67         |
| GENETISCH ALGORITME                              | 69         |
| 4. VOORLOPERS                                    | 71         |
| 4.1 ANTONIO GAUDI                                | 71         |
| 4.2 FREI OTTO                                    | 74         |
| 5. HET TWEELUIK VAN PARAMETERS IN ARCHITECTUUR   | 76         |
| 5.1 PARAMETRISCH MODELLEREN                      | 76         |
| 5.2 PARAMETRISCH ONTWERPEN ALS METHODE           | 77         |
| <b>DEEL 4/ PARAMETRISCH MODELLEREN;</b>          |            |
| <b>ARCHITECTURALE ANALYSE &amp; INFORMATIE</b>   | <b>79</b>  |
| 1. VAN ANALOOG NAAR DIGITAAL                     | 81         |
| 1.1 PARAMETRISCH MODELLEREN (PARAMETRIC ENABLED) | 82         |
| 1.2 VAN EXPLICIETE NAAR IMPLICIETE GEOMETRIE     | 83         |
| 1.3 EEN PARAMETRISCHE LAMP (REVIT FAMILY)        | 85         |
| 2. BIM (BUILDING INFORMATION MODELLING)          | 86         |
| 2.1 VAN DOCUMENTGEBASEERD NAAR MODELGEBASEERD    | 86         |
| 2.2 PARAMETRISCH MODEL                           | 88         |
| 2.3 INTEROPERABILITEIT                           | 89         |
| 2.4 ONDERZOEK                                    | 89         |
| 3. PERFORMATIEVE ARCHITECTUUR                    | 90         |
| 3.1 PROBLEM-SOLVING FOSTER & PARTNERS            | 91         |
| 3.2 SPECIALIST MODELLING GROUP (SMG)             | 91         |
| 3.3 THE SWISS RE TOWER & LONDON CITY HALL        | 92         |
| 3.4 GEOMETRISCHE RATIONALITEIT                   | 94         |
| 4. CASE TOYO ITO/ SENSITIVITY ANALYSIS METHOD    | 95         |
| 4.1 METHODE GENETISCH ALGORITME                  | 95         |
| <b>DEEL 5/ PARAMETRISCH ONTWERPEN</b>            |            |
| <b>ALS METHODE</b>                               | <b>101</b> |
| 1. PARAMETRISCH/GENERATIEF ONTWERPEN             | 103        |
| 1.1 VAN TOP-DOWN NAAR BOTTOM-UP                  | 104        |
| 2. PARAMETRISCHE TENDENSEN                       | 106        |
| 2.1 PARAMETRISCHE FIGURATIE                      | 107        |
| 2.2 PARAMETRISCHE URBANISATIE                    | 108        |
| 2.3 PARAMETRISCHE RESPONSIVITEIT                 | 109        |
| 3. CASE PAPIERSTROOK                             | 110        |
| 4. BIOMIMETICA: PARAMETRISCHE STRATEGIEËN        | 113        |
| 4.1 MORFOLOGIE & MORFOGENESE                     | 114        |
| 4.2 MORFO-ECOLOGIE                               | 115        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.3 PARAMETRISCHE MULTI-SYSTEEM VERBANDEN                    | 118        |
| 4.4 OPEN SYSTEMEN  | 118        |
| 4.5 ZELF ORGANISATIE   | 119        |
| <b>DEEL 6/ CASE STUDIES</b>                                  | <b>121</b> |
| CASE 1: AUTOCAD VISUAL LISP VERSUS RHINOCEROS GRASSHOPPER    | 123        |
| 1.1 INLEIDING AUTOCAD VISUAL LISP                            | 123        |
| 1.2 VISUAL LISP SCRIPT                                       | 125        |
| 1.3 INLEIDING RHINOCEROS & GRASSHOPPER                       | 135        |
| 1.4 GRASSHOPPER  | 139        |
| 1.5 VISUAL LISP VS GRASSHOPPER                               | 142        |
| CASE 2: SWISS RE TOWER - NORMAN FOSTER                       | 143        |
| 2.1 WERKWIJZE  | 144        |
| 2.2 CONCLUSIE  | 147        |
| CASE 3: NORDPARK KABELBAAN, EEN GLOBAAL PARAMETRISCH SYSTEEM | 149        |
| 3.1 INLEIDING  | 149        |
| 3.2 FUNCTIE  | 150        |
| 3.3 STRUCTURELE KARAKTERISTIEKEN                             | 150        |
| 3.3 FABRICATIE   | 154        |
| CASE 4: EIGEN PROJECT/ CHARGE & SERVICE STATION              | 157        |
| 4.1 LOCATIE & CONTEXT  | 157        |
| 4.2 OPLAADSTATION & ENERGIEPRODUCTIE                         | 160        |
| 4.3 PROJECTONDERSTEUNEND EN ONTWERPEND ONDERZOEK             | 163        |
| EERSTE VOORONTWERP   | 163        |
| TWEEDE VOORONTWERP   | 167        |
| HET PARAMETRISCH ONTWERPPROCES                               | 170        |
| HET PARAMETRISCH CONCEPT                                     | 182        |
| <b>DEEL 7/ PARAMETRICISME: EEN NIEUWE STIJL?</b>             | <b>187</b> |
| 1. PARAMETRICISME/ EEN NIEUWE RAGE                           | 189        |
| 1.1 HET DRL  | 191        |
| 1.2 HET VERSCHIL TUSSEN PARAMETRISATIE EN PARAMETRICISME     | 192        |
| 1.3 RELATIE: MEDIA/TECHNIEK – STIJL                          | 192        |
| 1.4 STIJL ALS PROGRAMMA VOOR ONDERZOEK                       | 193        |
| <b>NAWOORD</b>   | <b>197</b> |
| <b>DANKWOORD</b>   | <b>203</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIE</b>  | <b>207</b> |



## **INLEIDING**



*'Architecture is a direct statement of a way of life.'*<sup>1</sup>

Onze tijdsgeest is vandaag niet meer het grote optimisme van utopische modernistische idealen, noch het speelse technologische wonder dat de avant-garde van de jaren 60 & 70 beïnvloedde. Het lijkt erop dat architectuur nog nooit zo trendy of wenselijk is geweest, als een consumeerbaar object, waarvan het doel echter open staat voor debat.

Wat een aantal decennia geleden nog in zijn kinderschoentjes stond is nu een levensstijl geworden, we kunnen niet meer zonder en we zijn er zelfs volledig afhankelijk van. De vernuftige technologische instrumenten die het digitale tijdperk tot nu reeds ontwikkelde bepalen vandaag ons leven, onze stijl en vooral onze omgeving vormgegeven door de architectuur.

Sinds de ontwikkeling van de microprocessor in de jaren 80 stond het nieuwe digitale tijdperk voor de deur. De desktopcomputer was breed toepasbaar en software was goedkoop en steeg bijgevolg exponentieel. Dit resulteerde in bouwkundige (architecturale) grafische 2D tekenpakketten die eind jaren 80 stilaan een derde dimensie kregen. Deze nieuwe toepassingen zijn vandaag enorm geëvolueerd en ze zijn talrijk aanwezig in de architectuurpraktijk. Het resultaat hiervan is een immense verschuiving naar het digitale, dat de rol van de architect opnieuw definieert.

Een aspect dat hier ontegensprekelijk verbonden is met de evolutie van deze maatschappij, is de wijze waarop we vandaag informatie vergaren. Het dynamische medium genaamd 'World Wide Web' brengt ons vandaag bij media op een snelheid die nooit gezien is. We leven in een soort van hyper-reëlieit waarin de globale connecties het menselijke perspectief veranderd hebben. Informatie kan bekomen worden van overal en de hoeveelheid ervan stijgt dan ook exponentieel. De open source<sup>2</sup> methoden versterken dit proces en hoe meer mensen hierin participeren, hoe uitgebreider, sneller en betrouwbaarder deze bronnen worden.

Op eenzelfde wijze is de communicatie in de architectuur aanzienlijk gewijzigd. De expansie van informatie en data vinden we ook terug in de digitale tools van de huidige bouwindustrie. Er is in verschillende disciplines dan ook een bewustzijn ontstaan dat men deze grote hoeveelheid informatie en data in projecten moet managen met informatietechnologieën. Het communiceren en delen van ideeën en ontwerpen krijgt een totaal andere wending. Aan de hand van parametrische digitale modellen kan men projectinformatie controleren en beheren en wordt een totaal andere manier van communiceren realiteit. Verschillende partijen in het bouwproces zullen nauwer gaan samenwerken waardoor architectuur veel efficiënter zal gemaakt kunnen worden. De architect moet zich aanpassen aan deze

1 Alison & Peter Smitson

2 Open source beschrijft de praktijk die in productie en ontwikkeling vrije toegang geeft tot de bronmaterialen (de source) van het eindproduct. Deelnemers mogen hieraan vrij veranderingen doorvoeren en deze ook vrij terugleveren. (bijvoorbeeld Wikipedia)

nieuwe technologieën die het ontwerpproces en de fabricatie radicaal veranderen. Vandaag leidt dit tot het parametrisch modelleren en het generatief parametrisch ontwerpen in een digitaal continuüm van ontwerp tot productie. De architect verkrijgt controle over heel het proces en zal in de nabije toekomst met deze nieuwe tools zijn ontwerpen concipiëren.

Deze thesis tracht te achterhalen wat een parametrische architectuur inhoudt en welke mogelijkheden het biedt. Het onderzoek vertrekt van een theoretische basis met een korte geschiedenis. Het betreft hierbij de Structuralistische periode en verklaart nader de evolutie tot een nieuw Parametrisch tijdperk.

Het parametriseren van geometrie in de architectuur wordt vervolgens grondig onderzocht, waarbij de huidige CAD- en CAM-methoden aangehaald worden. Ook grensoverschrijdende toepassingen en evoluties die tot nieuwe concepten leiden komen aan bod. In het kader van de generatieve en algoritmische werkwijzen wordt parametrische architectuur vervolgens ingedeeld in twee verschillende takken. Het onderzoek toont aan dat er een duidelijk onderscheid gemaakt kan worden tussen het parametrisch modelleren en het parametrisch ontwerpen.

Naast het theoretisch onderzoek volgt er een praktijkgericht onderzoek. De eerste studie behandelt het parametrisch programmeren & fabriceren dat vergeleken wordt tussen AutoCAD Visual LISP en Rhinoceros met de plug-in Grasshopper. In een tweede studie wordt de Swiss-Re tower van Foster & Partners associatief gemodelleerd in Grasshopper, waaruit het potentieel van de techniek duidelijk zichtbaar wordt. Het afstudeerproject dient als finale studie en is van groot belang in het onderzoeksproces. Hierin wordt grondig onderzocht hoe een parametrische ontwerpmethodede tot uiting kan komen in een nieuw innovatief concept.





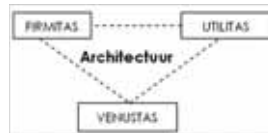


**DEEL 1/**  
VAN MASTER BUILDER TOT  
DIGITAL MASTER BUILDER



## 1. DE MASTER BUILDER, EEN KORTE GESCHIEDENIS

Vitruvius, De Romeinse architect-schrijver en bouwmeester van Julius Caesar en Augustus, maakte in de eerste eeuw voor Christus een onderscheid tussen drie aspecten in de architectuur, namelijk bruikbaarheid, duurzaamheid en schoonheid. In zijn boek 'De Architectura Libri Decem' staat deze drie-eenheid bekend als 'utilitas', 'firmitas' en 'venustas'<sup>3</sup>. Hieruit kunnen we afleiden dat architecten doorheen de eeuwen naast het ontwerpen van ruimte ook altijd geacht werden bouwers te zijn. Een architecturale vorm ontwerpen betekende immers het constructieprincipe in rekening brengen en vice versa.



De 'master builders' van de Oud-Griekse tot de middeleeuwse architectuur zijn altijd verantwoordelijk geweest voor alle aspecten van het bouwen. Dit veranderde echter in de middeleeuwen waar architecten begonnen in te spelen op de toenemende handelsmogelijkheden. Zij zorgden ervoor dat ze specialisten werden in het steeds complexere bouwen aan de hand van de opkomende constructietechnieken. Deze middeleeuwse master builder raadpleegde bijna nooit tekeningen of maquettes en vertrouwde ten volste op een goede mondelinge communicatie met zijn werklui. Dit impliceerde echter wel een voortdurende aanwezigheid op de werf.

Het begin van de Renaissance daarentegen zorgde voor een grote culturele, sociale en economische verschuiving waardoor architecten en kunstenaars zich gingen distantiëren van de vaklieden in het bouwproces. Architecten gingen zich bijgevolg meer toespitsen op de intellectuele essentie van de architectuur en lieten de constructie over aan de gespecialiseerde vaklui. Ze werden stilaan op een hoger niveau geplaatst dan de werklui wat resulteerde in een beperkte aanwezigheid op de werf. Dit had als gevolg dat de communicatie door middel van plannen een noodzaak werd.

In de 19de eeuw maakten aannemers en ingenieurs vervolgens hun intrede in de bouwwereld en plannen gingen dienst doen als contractuele documenten die de relaties tussen alle partijen bepaalden. De gevolgen waren van een zekere omvang omdat deze relaties grotendeels een financiële kwestie werden. Deze situatie kennen we tot op de dag van vandaag, waarbij het bouwproces voor een groot deel bestaat uit een juridisch en stijf vastgelegd proces. Jammer genoeg resulteerde dit in een verschuiving van de rol van de architect, wiens taak nu voornamelijk bestaat uit contractuele administratie. De titel als 'master builder' is voor een groot stuk verloren gegaan waarbij de macht over het bouwproces grotendeels opgegeven werd.

<sup>3</sup> Vitruvius, Handboek Bouwkunde, vertaling van De Architectura Libri Decem door Ton Peters, Amsterdam Polak & Van Gennep, 1997

## 2. CAAD TOOLS

*“Slowly, a new language is evolving that allows designers to express highly complex structures, impossible to specify by conventional drafting and modeling methods. Computer-aided design systems can develop dynamic models which describe designs on a higher level of abstraction: by defining relationships between components in so called “parametric systems”.”<sup>4</sup>*

Door de introductie van Computer Aided Architectural Design (CAAD) werden de werkwijzen in architectuur stilaan gewijzigd. Dit transformatieproces kwam langzaam maar zeker op gang. Eens de technologie zijn intrede deed en erkend werd in het vakgebied, begon het op zijn beurt een hogere druk uit te oefenen op de technologische innovaties. De laatste decennia zijn we allemaal getuigen geworden van de verschuiving van traditionele tekentafels naar computerinterfaces vol parameters. De nieuwe digitale ontwerpinstrumenten hebben zich bijgevolg in een hoog tempo geïntegreerd in de bouwwereld, maar hun leeftijd en volwassenheid vervalt in het niets wanneer we ze naast klassieke instrumenten plaatsen waarmee architecten en aannemers gedurende vele eeuwen gebouwen ontworpen, getekend en uitgevoerd hebben. Daarbovenop hebben ontwerpers tijd nodig om het maximum uit deze nieuwe tools te kunnen halen, zowel op het vlak van rendement als creativiteit. Hoewel deze verandering veel voordelen had bleven vele architecten echter denken in ontwerpmethodes die gebaseerd waren op de tekentafel, nietsvermoedend van de vele andere opties die deze tools konden verschaffen. Het is dan ook zeer moeilijk afstand te nemen van de denkpatronen waarin velen vastgeroest zitten, net zoals het moeilijk is zichzelf zaken voor te stellen die nog onbekend zijn.

In de scheepsbouw en vliegtuigindustrie was men al snel gewoon om met digitale informatie te werken. Door de nieuwe generatie architecten die interesse had om met deze verworven technieken te werken, kwamen we voor het eerst in aanraking met het digitaal concipiëren van gebouwen. Er ontstond een ontwikkeling van nieuwe ontwerpmethodes die beroep deed op nieuwe fabricatiemogelijkheden. Traditionele bouwkundige tekeningen konden weggelaten worden en tijdverlies alsook fouten werden hierdoor geminimaliseerd. Naarmate het onderzoek vorderde om bouwelementen op ware grootte te realiseren, begon ook een kleinschaligere ontwikkeling tot stand te komen die we kennen onder de term Rapid Prototyping. Doorheen de jaren verschenen dan ook alternatieven wat leidde tot de hedendaagse parametrische praktijken zoals het Building Information Modeling (BIM) en parametrisch en/of generatief ontwerpen.

---

<sup>4</sup> Fabian Schreurer, 2009

### 3. DE ROL VAN DE ARCHITECT

Met de opkomst van het digitale tijdperk is de rol van de architect opnieuw een variabele geworden. Omdat de architect een grote verantwoordelijkheid draagt wordt zijn rol een belangrijke parameter in het evoluerende bouwproces. Het beroep moet in staat zijn te antwoorden op de uitdagingen en de mogelijkheden van het digitale. Door opnieuw de leiding te nemen in deze digitale herstructurering van de architectuurpraktijk kunnen architecten het belang van hun maatschappelijke functie opnieuw aantonen. Volgens Branko Kolarevic is het belangrijkste gevolg van deze nieuwe manier van werken dat de architect de rol krijgt van 'coördinator van informatie'<sup>5</sup>. Het parametrische in de architectuur zou kunnen leiden tot het opnieuw controleren van het bouwen, zowel het ontwerp als de uitvoering ervan. Het doel van deze manier van werken is het hele bouwproces te optimaliseren door het verenigen van informatie. Hoe meer informatie beschikbaar is, des te minder fouten men maakt, en het bevordert de efficiëntie op het terrein.

### 4. DE DIGITALE MASTER BUILDER

Het beroep van de architect zal in de toekomst terug betekenen dat hij een bouwer is, een denkende bouwer. Op een digitale manier wordt er informatie gegenereerd die betrekking heeft op het constructieproces van het gebouw. De mogelijkheid om constructie-informatie direct uit de ontwerp-informatie te genereren is een zeer vernieuwend aspect. Deze ontwikkeling noemt men file-to-factory, het laat architecten toe om meer controle te krijgen over het ontwerp. Alle gegevens die met het bouwproces te maken hebben worden verwerkt en beheerd in een 3D model. De hedendaagse architect die dit model beheert noemt men de 'digital master builder'<sup>6</sup>. De uitdagingen die hieruit voortvloeien hebben een grote impact op de traditionele werkwijze van de architectuurpraktijk. Door het ontwerp, de analyse, de productie en assemblage op te bouwen rond digitale technieken, hebben architecten, ingenieurs en aannemers een kans om de relatie tussen conceptie en productie fundamenteel te veranderen.

---

<sup>5</sup> Kolarevic, B., *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, 2003, New York: Spon Press, p 60

<sup>6</sup> Branko Kolarevic, 2003

## 5. EEN TWEEZIJDIGE PARAMETRISATIE

Zoals elke software op een parametrische manier werkt kunnen we ook architectuur parametrisch modelleren en/of ontwerpen. Het gebruik van parametrische en algoritmische ontwerpmethodes in de architectuurproductie is de laatste tien jaar exponentieel gestegen. In de architectuurpraktijken van vandaag zijn er twee verschillende parametrische invloeden. De ene is gefocust op het ontwikkelen van parametrisch ontwerpen als methode, terwijl het andere volledig gebaseerd is op het genereren van analyse en informatie aan de hand van een digitaal model, vaak gebruikt voor 'problem-solving'.

De eerste generatie digitale modelleerprogramma's liet architecten reeds toe om nieuwe vormen en ontwerpmethodes te ontwikkelen. Deze technieken worden nog steeds onderzocht op de mogelijkheid om modellen, wanneer ze eenmaal ontworpen zijn, te controleren, aan te passen en te produceren. Ze hebben ook een groot potentieel om het alternatief te worden op de T-lat met een hoek van negentig graden die gebruikt wordt alsof er geen andere mogelijkheden zijn. Organische architectuur komt bijgevolg ook vaker voor; vroeger moest men al een tekenkundig genie zijn om complexe vormen op papier te krijgen en het was slechts voor een aantal visionaire individuen weggelegd. Wanneer het uiteindelijk op papier stond werd men al gauw geconfronteerd met de constructieve problemen waar traditionele oplossingen geen uitweg meer bieden. Wout Sorgeloos besprak dit onderwerp reeds in zijn thesis over File-to-Factory die vooral toegespitst is op de maakbaarheid van organische architectuur en het hoge kostenplaatje wat hier aanvast hangt. Dit hoge kostenplaatje is intussen wel gedaald maar heeft nog steeds als gevolg dat het zeer moeilijk is om in dit gebied experimenteel te werk te gaan waardoor architecten in een vicieuze cirkel terecht komen. Een indrukwekkende organische gevel wordt bijvoorbeeld vaak gedragen door een traditionele draagconstructie, hetgeen deze architectuur dan eigenlijk herleidt tot maquillage. Cyberarchitecten worden dan ook vaak bestempeld als onrealistische dromers, maar hier lijkt nu stilaan wel verandering in te komen.

*“Ontwerp- en tekenkundig hebben we momenteel een punt bereikt waar we alles kunnen wat binnen ons ‘huidige denken’ mogelijk geacht wordt. De frustratie moeten we momenteel zoeken in de constructiebranche. Traditie en duurzaamheid zijn elementen waaraan dit vakgebied sterk vastgeroest zit.”<sup>7</sup>*

---

7 Sorgeloos, W., Digitaal Ontwerpen & File-To-Factory, 2006, Diepenbeek



## 6. UITDAGINGEN

De architectuuropleidingen hebben momenteel de belangrijke taak om de toekomstige generaties van architecten klaar te stomen in deze nieuwe digitale praktijken. Studenten zijn de ideale kracht om te experimenteren met nieuwe methodes en ontwikkelingen, zij mogen tenslotte ook nog dromen en puur conceptueel tewerk gaan. Meestal worden de beste innovaties net door studenten ontwikkeld, omdat ze de tijd en de mogelijkheid hebben terwijl ze hun weg proberen te vinden in de huidige tools. Als men een totaal parametrisch en interactief systeem wil opbouwen voor verschillende praktijken dan moet men ten eerste een goede kennis hebben van de software (tools) en ook van de mogelijkheden die deze genereren.

De vraag is hoe deze parametrische benadering de architectuurpraktijk kan beïnvloeden en wat het potentieel is voor deze discipline. Het 'huidige denken' kan verruimd worden door ontwikkelingen die we ons op voorhand niet kunnen inbeelden. De noodzaak van 'intelligent design' is nu echter meer fundamenteel dan ooit. Onze dagelijkse realiteit is provocerend en radicaal, met een versneld tempo van transformatie en instabiliteit die de rol van de architect stilaan herdefinieert. Er is dan ook een bewustzijn gegroeid onder de avant-garde architecten en er worden steeds meer eigen ontwerpstrategieën bedacht en uitgezuiverd. Architecten willen vaak hun eigen stempel drukken maar het tijdperk van het geniale individu is helaas gepasseerd. Na stevig tegen de lamp gelopen te zijn, werken architecten nu vaker in samenwerking met informatici, wiskundigen en ondersteunende ingenieursbureaus. Werken in teamverband is de realiteit en dit wordt met de hedendaagse communicatiemiddelen en 'open source' methoden alleen nog maar versterkt. Problemen en uitdagingen worden hierdoor steeds sneller opgelost. Er wordt zelfs samengewerkt met biologen en bio-ingenieurs om ontwerpstrategieën uit te natuur te achterhalen en te imiteren. Waar vroeger de middelen niet bestonden om met deze complexiteit om te gaan kunnen we nu aan de hand van parametrische technologieën oplossingen bieden.



**DEEL 2/**  
EEN DIGITAAL NEO-  
STRUCTURALISME?



## INLEIDING

Vele professionelen stelden zich reeds de vraag waar dit huidige digitale en parametrische naar toe zou kunnen leiden. Gedreven door een soort angst voor het ongekende en een eeuwenoude architectuurtraditie blijven vele architecten echter op afstand van bepaalde nieuwe ontwerpinstrumenten. Naarmate de jaren passeren blijven essays, artikels, columns, papers en thesissen zichzelf ophopen over de vraag welke (vaak negatieve) gevolgen dit allemaal met zich mee zou kunnen brengen. Het lijkt erop dat steeds meer mensen zich toewijden tot het in vraag stellen van deze nieuwe ontwerpinstrumenten. Men wil blijkbaar graag kunnen voorspellen hoe dit de architectuurpraktijk zal beïnvloeden en vooraf reeds de gevaren bewust maken. Hierop volgt dat men deze nieuwe ‘stijl’ reeds probeert te definiëren en probeert te koppelen aan voorafgaande stromingen.

Of er op een dag als vandaag nog sprake kan zijn van een bepaalde stijl betwijfel ik. Dat we momenteel wel in een stijl-clash zitten van verschillende door elkaar heersende principes is een meer realistische interpretatie. Bij het creatieve proces van architectuur moet het ontwerp hoe dan ook op de eerste plaats staan, de verschillende ontwerpinstrumenten die gebruikt worden door de architect kunnen variëren en hangen af van het ontwerpproces en het concept. Vorm, esthetiek en eventueel stijl daarentegen, zijn begrippen die in mijn visie pas achteraf gedefinieerd worden door de gebruikte methoden en vertaling van het concept. Hoewel ik dus niet geloof in één bepaalde ‘stijl’ is het toch interessant om de denkwijzen die ons voorafgaan te bestuderen in het kader van het ‘Parametricisme’<sup>8</sup>. De toekomst in architectuur zal hoe dan ook parametrisch worden en voor een groot stuk is het dat trouwens al.



001- MRDV - SKY VILLAGE

---

8 Geïntroduceerd door Patrik Schumacher

## INTERNATIONAAL SYMPOSIUM

Van 18 tot 21 november 2009 vond het internationaal symposium plaats in München onder de titel 'Structuralism in Architecture & Urbanism Reloaded'. Het werd mede georganiseerd door de afdeling Architectuur van de TU Delft met keynote sprekers als Winy Maas<sup>9</sup>, Herman Hertzberger, Herman van Bergeijk<sup>10</sup> en Tom Avermaete<sup>11</sup>. Op 21 november, de laatste dag van het symposium, heb ik in München het derde deel over het digitaal Neo-Structuralisme bijgewoond.

Tijdens het symposium gingen verschillende sprekers in op de herleving van het structuralisme dat momenteel in de architectuur aanwezig is en dat bestempeld wordt als een 'digitaal neo-structuralisme'. In tegenstelling tot het Parametricisme dat als nieuw bestempeld wordt, teert het neo-structuralisme op zijn voorganger met een uitgebreide basis en geschiedenis, maar de nood blijft bestaan om een betere definitie te formuleren. De doelstelling van het symposium was om deze huidige definitie te verbeteren en daarbij te onderzoeken of de nieuwe digitale ontwerpmethodes hierin een plaats zouden kunnen krijgen. In dit hoofdstuk volgt een theoretische basis met ook enkele praktische voorbeelden over de evolutie van het structuralisme en hoe we deze stroming met zijn wederzijdse invloeden terug kunnen vinden in het parametrische van vandaag.

---

9 Winy Maas is het boegbeeld van MVRDV-architecten

10 Herman van Bergeijk is een architectuurhistoricus verbonden aan de TU Delft en eveneens voorzitter van de Dudokstichting

11 Belgisch architect en docent

## 1. DE OPKOMST VAN HET STRUCTURALISME

Structuralisme is een denkwijze uit de 20<sup>ste</sup> eeuw die op diverse plaatsen, periodes en vakgebieden is ontstaan. Deze stijl komt voor in verschillende vakgebieden zoals linguïstiek, antropologie, filosofie, kunst en architectuur.

De grondlegger van de structuralistische benadering in de wetenschap is de Zwitserse taalkundige Ferdinand de Saussure. Al voor de Eerste Wereldoorlog was hij leergierig naar de regels en conventies die de basis vormen van de individuele taalkundige expressie. Door de differentiatie tussen taal en gesproken woord introduceerde hij de dubbelzijdige categorie van een primaire en secundaire structuur.



002- Ferdinand de Saussure



003 - Claude Lévi-Strauss

In de periode tussen de wereldoorlogen werden zijn ideeën opgenomen en ontwikkeld door de Russische formalisten en door de structuralistische school in Praag. Na WO II was het de Franse etnoloog Claude Lévi-Strauss die het structuralistische model herdefinieerde en gebruikte in de antropologie. Doorheen de jaren 60 werd zijn benadering gebruikt als centrale methode voor sociale en humane wetenschappen om individueel observeerbare fenomenen te verklaren door de onderliggende diepere structuren.

Hoewel de geschiedenis van de term in de architectuur niet volledig gekend is, kan er hoe dan ook geen twijfel bestaan dat de term oorspronkelijk overgewaaid is van de menswetenschappen uit 1960-70. Structuralisme in architectuur was oorspronkelijk geen naam die een beweging zichzelf had gegeven, maar eerder een term die later gebruikt werd van buitenaf, om een collectief label voor specifieke fenomenen in architectuur en stedenbouw te kenmerken. Dit is ook één van de redenen waarom we geen officiële definitie hebben van structuralisme in de architectuur en ons nog steeds op een vaag terminologisch gebied bevinden. Bijna elke auteur die schrijft over het structuralisme in architectuur wordt bijgevolg geconfronteerd met de nood om zijn eigen definitie eraan te geven.

Wim van Heuvel<sup>12</sup> blijkt het te reduceren tot de zichtbare structuur die de ruimte organiseert, en we kunnen merken dat hij tussen de grote lijnen probeert te verklaren dat het een Nederlandse nationale stijl is. Arnulf Lüchinger<sup>13</sup> karakteriseert het totaal van de gestandaardiseerde secundaire elementen als de “Esthetica van het Aantal”, een term die hij overnam van Aldo van Eyck<sup>14</sup>. Met deze methode van constructie beschrijft hij elk individueel secundair element dat aangebracht is op een primaire structuur. Herman Hertzberger legt op zijn beurt de nadruk op de differentiatie tussen een duurzame structuur en een minder lange invulling, en probeert beide te combineren en duurzaam te maken.

*“Structuralisme gaat over het onderscheid tussen een kader of structuur met een lange levenscyclus en een invulling met een minder lange cyclus.”<sup>15</sup>*

De karakteristieken van het Structuralisme werden in de literatuur vaak omschreven als:

- een totaal van identieke elementen;
- een modulaire structuur;
- zelfgenererende structuren;
- oneindige uitbreiding door het helder afgebakende ontwikkelingprincipe;
- structureel raamwerk (primaire) waarin kleinere units ingebracht worden (secundaire);
- de primaire structuur als designtool of draagstructuur met een veel langere levenscyclus dan de secundaire elementen;
- het beheer van het project op het niveau van het gebouw en tegelijkertijd op het niveau van de stad;
- ontwikkeling in lagen met het concept van superpositie boven de grond.

---

12 Wim J. Van Heuvel, *Structuralisme in de Nederlandse Architectuur*, Rotterdam, 1992

13 Arnulf Lüchinger, *Strukturalismus – eine neue Strömung in der Architektur, Bauen + Wohnen, 1976 & Strukturalismus in Architektur und Städtebau, Stuttgart, 1981*

14 Zie volgend hoofdstuk

15 Herman Hertzberger



## 2. HET STRUCTURALISTISCH TIJDPERK

De klassieke fase van het structuralisme begon in de late jaren 50. De ontwikkelingen, visioenen en de fenomenen zijn zo divers dat het onmogelijk is om dit kort te beschrijven. Maar omdat veel hedendaagse ontwikkelingen hierin hun oorsprong vinden zullen er enkele kort geschetst worden.

Het structuralisme als een architectuurstroming uit de jaren zestig en zeventig speelde zich vooral af in Nederland. Het is ontstaan uit onvrede over de heersende architectuuropvattingen van het CIAM-functionalisme<sup>16</sup> waarbij de sociale aspecten van de mens en de gemeenschap verwaarloosd werden en wat bijgevolg tot uitdrukking kwam in een onbewoonbare stedenbouw zonder identiteit van de bewoners en de gebouwde omgeving.

Team X, een afsplitsing van het CIAM en het gezicht van de structuralistische beweging, stond in het teken van het verenigen van tegenstellingen. In contrast met het scheiden van functies (Functionalisme), zouden deze echter vermengd moeten worden. Een gebouw moet meer zijn dan enkel functies, ze kunnen een potentiële betekenisdrager zijn en betekend worden door de gebruikers zelf. Door een multifunctioneel ruimtegebruik worden verscheidene mensen uitgenodigd tot ontmoeten. Een gebouw moet daarom stimulerend werken waardoor gebruikers hun identiteit kunnen verwerven en het op een eigen manier interpreteren. Het vormgeven van deze sociale structuren was dan ook een belangrijke doelstelling. De architecten van Team X, waaronder Jaap Bakema en Aldo van Eyck (1918-1999), publiceerden hun visie in de late jaren 50 in het architectuurtijdschrift 'Forum'. Door deze communicatie kon het structuralisme ook zijn invloeden overbrengen op internationaal niveau<sup>17</sup>.



004- Habitat Montreal in Canada, Moshe Safdie

---

16 CIAM: Congrès Internationaux d'Architecture Moderne

17 Er is bewijs dat de verbindingen zouden reiken tot de Metabolisten in Japan, de high-tech scene in Engeland, de situationisten en tot Moshe Safdie's Habitat in Montreal in Canada. Ook het bureau van Le Corbusier was verbonden met het tijdschrift Forum.

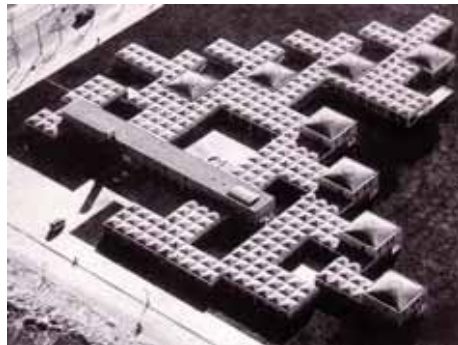
## 2.1 DE PROTAGONISTEN

Aldo van Eyck was ongetwijfeld de centrale figuur in de beginjaren. Hij gaf het Nederlandse Structuralisme een “etnologisch” standpunt en een antropologische oriëntatie door zijn onderzoeksreizen en zijn menselijke basisattitude. Bovendien realiseerde hij het eerste referentieobject van de structuralistische architectuur, namelijk het Burgerweeshuis in Amsterdam in 1960. Piet Blom, een student van Aldo, realiseerde ‘De Kasbah’ in Hengelo (1969-1973) en de kubuswoningen in Helmond en Rotterdam (1972). Hiernaast was er ook Jacob Berend Bakema die zijn groot kantoor gebruikte om de structuralistische benadering in de architectuurpraktijk te verkennen en hij werkte ook nauw samen met Team 10 en ‘Forum’.

Herman Hertzberger die vandaag nog steeds het gezicht is van het Nederlandse structuralisme, creëerde met het administratief gebouw Centraal Beheer in Apeldoorn (1970-72) het ultieme basisvoorbeeld van de stroming. Dit kantoorcomplex, bestaande uit 56 kubusvormige elementen en gescheiden door vides, belichaamt het Structuralisme. Een beetje gescheiden van de harde kern van de Nederlandse structuralisten, maar niet minder invloedrijk was John Habraken. Hij legde de theoretische fundamenten van het participerende structuralisme met zijn werk “De dragers en de mensen.”<sup>18</sup>. Daarnaast herkende hij al gauw het potentieel, maar ook



005 - Aldo van Eyck



006 - Aldo van Eyck, Burgerweeshuis, Amsterdam



007 - Herman Hertzberger, Centraal Beheer, Apeldoorn

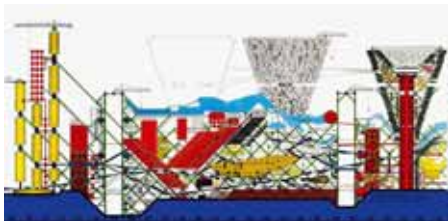
<sup>18</sup> Habraken, N. John, De dragers en de mensen. Het einde van de massawoningbouw, Haarlem, 1961



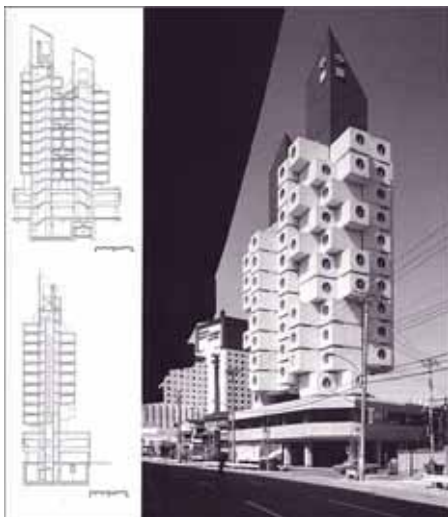
008-009 - Le Corbusier Dominohuis & Immeuble Villas



010-011 - Le Corbusier, Plan Obus, Algiers.



012 - Archigram Plug-in City



013 - Nagakin Capsule Building, Kisho Kurokawa

de gevaren van industriële fabricatie in massawoningbouw en bracht zo de eerste beginselen bij in het democratische principe van de participatie van de gebruiker door het introduceren van een gebruiksneutrale, flexibele primaire structuur die individueel ingevuld kon worden door de gebruiker. De idee van de primaire en secundaire structuur is ook aanwezig in het werk van Le Corbusier. Dit is onder andere terug te vinden in het constructieprincipe van het modulaire dominohuis en in de secundaire elementen van de Immeuble Villa die geordend zijn volgens de verschillende primaire structuren. Het Plan Obus voor Algiers in 1932 en zijn laatste project voor 'Venice Hospital' in 1964 zijn eveneens structuralistisch opgevat.

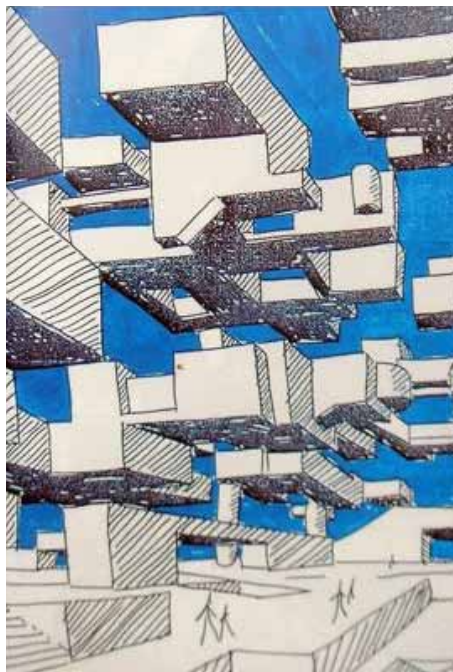
In 1960 en 70, het tweede utopische hoogtepunt van de 20<sup>ste</sup> eeuw, waren er slechts weinig utopische ontwikkelingen die niet geraakt waren door het structuralisme. De 'Plug-in city' (1962-64), bedacht door Peter Cook van Archigram, verkreeg een bijna iconisch karakter voor het structuralisme. Hierbij maakte de toekomstgerichte hightech-architectuur gebruik van het structuralistische principe om duurzame dragende betonnen structuren (primaire) te combineren met industriële geprefabriceerde wegwerp-wooncellen (secundaire). Het Japanse metabolisme dat gebaseerd was op veel verschillende filosofische veronderstellingen kwam ook uit op enigszins vergelijkbare resultaten op structureel vlak. Dit is zichtbaar bijvoorbeeld in de Nagakin Capsule Building van Kisho Kurokawa (1970-72).

Het structuralistische principe van het primaire raamwerk met secundaire flexibele cellen is misschien wel het puurst vertaald in de poëtische tekeningen van het 'Ville Spatiale' door Yona Friedman. Dit utopische beeld werd vooral ook in Duitsland nagestreefd en had een grote invloed op de utopische idealen. In Italië volgden de architecten van Archizoom en Superstudio vrij duidelijk andere doelstellingen, maar ook zij organiseerden ironisch genoeg hun eindeloze artificiële landschappen op basis van structuralistische conventies.

## 2.2 STRUCTURALISTISCH ONDERZOEK

Het is opvallend hoe de pioniers van de stroming zelf graag verwezen naar de structuralistische voorlopers in de historische architectuur. Aldo van Eyck onderzocht de Dogon nederzettingen in Noord-West Afrika en de Pueblos in New Mexico en introduceerde deze in publicaties in het Forum als anonieme incunabelen van het structuralisme. Deze impulsen met een 'Architecture without Architects'<sup>19</sup>, waren waarschijnlijk geïnspireerd door de structuralistische etnologie en antropologie.

De opkomst van het typologische discours, de discussies over archetypes in architectuur, de theorie van de duurzaamheid in urbanisatie en de interesse in Maurice Halbwachs's thesis over het 'collectieve geheugen', blijken allemaal onderzoeken te zijn

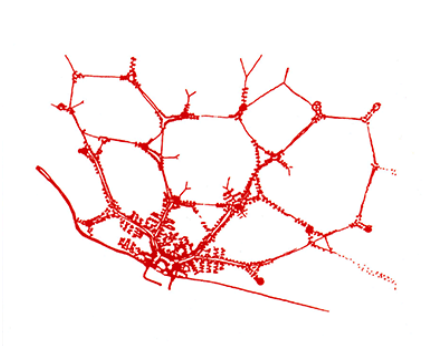


014 - Ville Spatiale, Yona Friedman

---

<sup>19</sup> Bernard Rudofsky, *Architecture without Architects*, New York, 1964

naar diepere structuren zoals het al voorgedaan was bij de vaders van het structuralisme in de taalkunde en de antropologie. Vanuit het perspectief van de structuralistische aanpak is "A Pattern Language"<sup>20</sup> van Christopher Alexander wereldwijd gekend onderzoek. Het is een gedifferentieerd systeem van interactieve verbanden in een complexe primaire structuur, dat de 253 modellen (of patterns) in relatie brengt met elkaar. Complexe ontwerptaken worden hierbij omgezet in eenvoudige subproblemen, met als doel deze te hervormen tot 'the fittest design'. Het werk van Saverio Muratori introduceert de morfologische en typologische manier van het kijken naar de stad en kan opgevat worden als een methode voor het onthullen van de 'genetische code', namelijk de originele primaire structuur van een grondgebied door het onderzoeken van de mutaties van de types.



015 - Menselijke nederzettingstructuur, Frei Otto

Het Structuralisme was het grote tijdperk van normatieve systemen en van serieuze pogingen naar de (numerieke) objectivering van het ontwerpproces. Het onderzoek naar zelf-genererende structuren door Frei Otto<sup>21</sup> in 1968 en anderen binnen het Special Research Field 230 van de Universiteit in Stuttgart, wordt vandaag beschouwd als een voorloper van de parametrische techniek.

---

20 Christopher Alexander, A Pattern Language, New York, 1977

21 Frei Otto, Occupying and Connecting – Thoughts on Territories and Spheres of Influence with Particular Reference to Human Settlement, Edition Axel Menges, Stuttgart/London 2009, p.45

### **2.3 DE NEERGANG VAN HET STRUCTURALISME**

Hoewel het Structuralisme de meest nagevolgde ideologieën bevatte, verloor het zijn aantrekkingskracht door de negatieve connotatie van het 'antihumanistische' en het ontbreken van individualiteit. Ondanks de humanistische visie om meer menselijke structuren te creëren voor de massamaatschappij, was het structuralisme niet capabel om zich te bevrijden van het negatief imago van zijn monotone tint en seriële gebouwen. Deze structuren werden gestigmatiseerd als onmenselijk en faalden in het praktisch gebruik ervan. Structuralisme was radicaal weggeveegd met de opkomst van de nieuwe 'oude' waarden van het postmodernisme met de terugkeer van de individualiteit en het gevoel van plaats, context en geschiedenis.



### **3. EEN HEROPLEIVING VAN IDEALEN**

Vanaf de jaren 90 is er een herleving begonnen van deze structuralistische tendensen in de architectuur. Hoewel de traditie waarschijnlijk nooit volledig afgebroken was in Nederland, was ze in de rest van Europa opnieuw opgenomen. Ondanks alle verschillen was het duidelijk dat jonge architecten hun interesses toonden in regelgevende ontwerpmethododes. De architecten van de jaren 90 maakten het verschil bij de ongeschikte structuralistische methododes door een gevoel van identiteit te creëren in contrast met de vormloze snelgroeiende structuren van de jaren 60. Parallel hieraan werden ook de interesses in de utopische aspecten van de jaren 60 opnieuw vergroot. Een ononderbroken golf van publicaties, tentoonstellingen en symposia thematiseerde de zoektocht naar inspiratie die gericht was op de unieke mengeling, vaak speels en soms zelfs explosief, van het geloof in technologie en de toekomst. Aangezien het structuralisme van de jaren 70 stootte op begrenzingen in complexiteit die toen onoverwinnelijk waren, lijkt het of we vandaag kunnen veronderstellen dat deze heropleving voor een groot stuk te wijten is aan de informatietechnologie die vele nieuwe mogelijkheden heeft geopend om met deze complexiteit om te gaan. De verdere ontwikkeling en de huidige interesse in nieuwe digitale ontwerpmethododes maakt het structuralisme vandaag één van de meest productieve en allesomvattende benadering voor de organisatie en het ontwerpen van de gebouwde omgeving.

#### **3.1 EEN DIGITAAL NEO-STRUCTURALISME**

Het digitale Neo-Structuralisme van de vroege 21<sup>ste</sup> eeuw verschilt in vele punten van zijn voorlopers. De nieuwe CAD-tools leiden tot een nieuwe benadering en verschillende resultaten. We worden geconfronteerd met een enorme toename van complexiteit in primaire structuren en een evolutie van eenvoudige raster naar ingewikkelde en onregelmatige structuren door algoritmische ontwerpmethododes die de horizon van het oude structuralisme ver overschrijdt. Het is duidelijk dat het Neo-Structuralisme vandaag operatief is vanuit een denkrichting die gelijkend is op die van het klassieke Structuralisme. Het vertoont een vergelijkbare bereidheid om zich over te geven aan de 'regel' en een gelijkend geloof in vooruitgang en uitvoerbaarheid.

### 3.2 EEN REGEL-GEBASEERDE ARCHITECTUUR

Als de term structuralisme in architectuur meer zou zijn dan enkel een label voor de voorbije historische periode, dan zou het moeten beschrijven wat de specifieke principes zijn van het denken. Volgens een architecturale benadering in de ruimste zin, zijn de ontwerpen en ontwikkelingen in het Structuralisme gebaseerd op regels. Het ontwerpen volgens een regel, een vooraf opgevat basisidee, doet ons in vraag stellen of het structuralisme al dan niet handelt over de meest elementaire archetypische activiteiten van het ontwerpproces. Volgens Roland Barthes<sup>22</sup> is het denken en plannen in structuren en het samenbrengen van componenten tot gebouwen<sup>23</sup>, een poëtische 'structuralistische toepassing' par excellence. Structuur zou de eerste en veruit 'de' categorie van de fysieke ruimte moeten zijn, waaruit alle abstracte termen worden ontwikkeld en dus ook het intrinsieke domein in architectuur, namelijk het creëren van ruimte. Emmanuel Kant gebruikt in het boek "Kritik der reinen Vernunft" ook een ruimtelijk en zelfs architecturaal beeld wanneer hij 'the art of systems' beschrijft als architectonisch.

In dit opzicht zou het structuralisme in architectuur niet alleen voorlopers hebben maar ook een eigen indrukwekkende traditie die op zijn minst zo oud zou zijn als het bewuste plannen zelf. Het Structuralisme verschijnt bijgevolg als een intrinsieke ontwerp- en planmethode die altijd al verborgen aanwezig was. Denken en plannen in rasters maakte reeds deel uit van de algemene kennis van het architectenberoep, al vanaf de introductie van het stedenbouwkundige systeem van het Oude Griekenland. Designtools als rasters en typologieën werden bewust gebruikt in de klassieke architectuur van de Oudheid en bereikte een hoogtepunt met het typologische dogma dat geïntroduceerd werd door Jean-Nicolas-Louis Durand<sup>24</sup>.

Natuurlijk wordt er vandaag niet langer gesproken over een primaire en secundaire structuur, maar eerder over een algoritmische, parametrische, interactieve en evolutionaire, zelfs genomische structuur. Deze kunnen allemaal gecombineerd worden onder de term 'regel-gebaseerd', waar uiteraard de structuralistische benaderingen en oudere regel-gebaseerde ontwerpmethodes ook ondergebracht kunnen worden. Algoritmes kunnen vergeleken worden met een pakket instructies, zoals een kookrecept die de ingrediënten in relatie brengt met elkaar door meerdere sequentiële stappen, zodat men steeds hetzelfde resultaat bekomt op het einde. Hoewel dit veel complexer kan zijn dan de primaire structuur van een simpele orthogonale grid, blijft het algoritme essentieel een systeem van regels. Als de

22 Roland Barthes, *Die strukturalistische Tätigkeit*, Kursbuch 5, 1966, pp. 190-196

23 Het latijnse 'Structura' staat voor het samenbrengen van constructieve elementen en een 'Structor' is een bouwer die (bak)stenen samenbrengt volgens een regel.

24 Jean-Nicolas-Louis Durand, *Précis des leçons d'architecture données à l'école polytechnique*, 1802-1805. Hierin verklaart hij de methode om een gebouw samen te stellen en de methode om een gebouw te analyseren, respectievelijk van detail tot complexiteit en van complexiteit tot detail.



individuele elementen – de individuele parameters – kunnen variëren in grootte, aantal en schikking en het algemene resultaat hierbij wijzigt, dan kunnen we spreken over een “parametrisch algoritme”. Als we verder gaan en het mogelijk maken voor de individuele elementen om te reageren volgens bepaalde gedragsregels, tot veranderingen in de andere elementen of in het algemeen systeem (de omgeving), dan kunnen we spreken over een “interactief parametrisch systeem”. Hoewel de complexiteit bijna grenzeloos verhoogd kan worden, kan het generatieve algoritme gekarakteriseerd worden als een dynamische en evolutionaire regel (een evolutie-matrix). Uiteindelijk volgt alles dat geprogrammeerd kan worden een regel, hoe complex het ook mag zijn, het is erop gebaseerd, en in de structuralistische terminologie was deze regel de “taal”.

*“The duality of langue and parole has become the basis of state-of-the-art modeling technique”<sup>25</sup>*

Complexiteit verhoogt exponentieel door de introductie van algoritmes en de applicatie van interactieve parametrische modellen in het ontwerpproces. De digitale beschrijfbaarheid, manipulatie en productie van de realiteit zou de droom van een geschikte oplossing binnen het bereik leggen, namelijk een massamaatschappij die de menselijke individualiteit zal behouden en zal samensmelten met zijn natuurlijke omgeving. Bij deze mogelijkheden en ‘beloftes’ moeten we vragen wat deze digitale benadering in architectuur en stedenbouw kan, en niet kan bereiken in de toekomst. Architecten moeten hierbij de verantwoordelijkheid op zich nemen en beslissen hoeveel regel-gebaseerde afbakening en hoeveel vrijheid van deze regels er moet zijn, om menswaardige ruimtes en woonomgevingen te realiseren.

*“Als iemand analytisch zoekt naar de ‘regel’ tussen de bestaande structuren in wereld, wat de basis is van dit fenomeen, of iemand werkt “poetisch”, dan wil dit zeggen dat iets nieuw ontwerpen en bouwen volgens een regel, in welk opzicht dan ook, een regel-gebaseerde praktijk is, en de ontwerper is in de woorden van Roland Barthes, een structurele activiteit aan het verrichten.”<sup>26</sup>*

---

25 Fabian Schreurer, 2009

26 Thomás Valena, Structuralism in Architecture & Urbanism Reloaded, München 2009



# **DEEL 3/** WAT IS PARAMETRISATIE?



## INLEIDING

Na het structuralisme en de algemene planningsmanie van architectuur zijn architecten opnieuw toegewijd aan code. Van de planningsmanie verschuift onze interesse naar een codemanie, overal blijkt tegenwoordig wel een regel achter te zitten. De fascinatie van het regel-gebaseerde is waarschijnlijk het resultaat van de vele mogelijkheden dat het te bieden heeft. De droom van een begrijpbare standaardisatie en representatie van de wereld ligt binnen handbereik door middel van de digitale technologie, objectivering en de beheersing van de realiteit. Heel de wereld zou codeerbaar zijn, van de 'fractal geometry' van landschappen tot het menselijk DNA.

Los van het structuralisme heeft het gebruik van 'code' reeds een lange traditie. Het woord code komt van het Latijnse codex en betekent letterlijk 'boomstam, boek'. Het refereert naar de handgeschreven boeken die werden gemaakt in houten tabletten. De Romeinen gebruikten deze manier van schrijven om de regels en principes over hun imperium te communiceren. Codex, in de Romeinse context, betekent het 'wetboek' waarin alle regels staan. Net zoals toen, wordt onze huidige maatschappij nog steeds gedomineerd door wetten en regels. Ook in de beoefening van architectuur zijn systemen en regels altijd aanwezig geweest en deze domineren nu nog steeds alle fases van de architecturale productie, zij het in de vorm van tekeningen, ontwerpconventies, ordeningsprincipes of als stedenbouwkundige regelgeving, contractuele wetgeving enzovoorts. Architectuur en zijn media – van schetsen, maquettes tot en met digitale computermodellen – zullen altijd begrensd of gevormd worden door code.

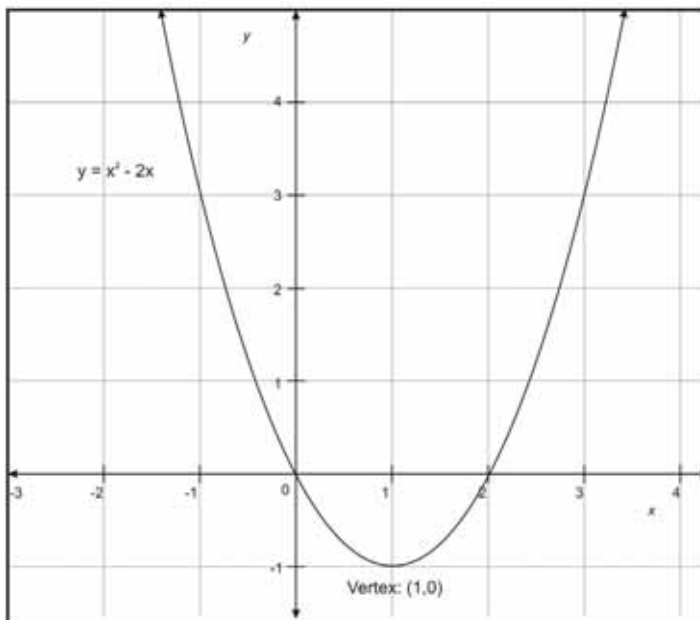
Code bestaat uit een samenstelling van parameters, en parameters zijn net zoals regels altijd al aanwezig geweest in de architectuur, alsook in de natuur. Het ontwerpproces draait echter volledig rond het nemen van beslissingen en het bepalen en vastzetten van variabele parameters. Het is duidelijk dat er vandaag een grote hoeveelheid informatie verwerkt wordt in een bouwproject. Deze immense hoeveelheid aan data kan vandaag beheerd en gecontroleerd worden in een digitaal medium en dit gebeurt aan de hand van parametrisatie.

Parametrisatie is vandaag een zeer trendy begrip, er wordt dan ook veel gesproken over parametrisch ontwerpen en modelleren, maar er zijn slechts weinigen die effectief weten wat de volledige betekenis ervan inhoudt in de architectuur. Parametrisatie is een nieuw paradigma dat reeds verschillende nieuwe ontwikkelingen met zich meebracht, hierdoor is het onder andere van groot belang in de CAD- en CAM-technologie en in de nieuwe generatieve ontwerpmethododes.

## DE VARIABELE PARAMETER

In onze huidige maatschappij zijn we weliswaar omringd door oneindig veel parameters die zowel zichtbaar als onzichtbaar aanwezig zijn. Een parameter is een variabele die bepaalde toestanden van mechanismen bepaalt. Het meest alledaagse voorbeeld is de temperatuur die de aggregatietoestand bepaalt van bijvoorbeeld water. Zo kan de vloeistof bij een lagere temperatuur ( $0^\circ$ ) overgaan in ijs of bij een hogere ( $100^\circ$ ) in waterdamp.

Parameters vinden hun zuivere oorsprong in de exacte wetenschappen. Het zijn variabelen of onbekenden in een wiskundige functie<sup>27</sup> die de uiteindelijke waarde van een uitdrukking bepalen wanneer ze een waarde toegekend krijgen. Bepaalde wetmatigheden en relaties kunnen op deze manier geformuleerd worden om de uiteindelijke toestand van een bepaald systeem te beschrijven. De stand van de lichtknop is bijvoorbeeld een parameter van het lichtstelsel in de kamer. In de wiskunde wordt de parameter in een uitdrukking vaak beschreven als de variabele  $x$ . Op die manier kan men verschillende variaties genereren binnen eenzelfde functie. Wanneer een functie ingegeven wordt in een grafisch rekenmachine bijvoorbeeld, dan is  $x$  de variabele en kan men een grafiek opvragen die deze beschrijft. De parabool wordt bijvoorbeeld geformuleerd door  $y=x^2$  en kan geparametriseerd worden door een parameter  $x=t$  in de vergelijking in te vullen waardoor  $y=t^2$ . In de meeste functies is  $x$  de exogene variabele (de invoer) en  $f(x)$  of  $y$  de endogene variabele (de uitkomst).



016 - Een grafiek van de parabool met vergelijking  $y=x^2 - 2x$

27 Adams R.A.; Calculus, a complete course, Pearson Addison Wesley, Toronto, 2006, p.444

# 1. GEOMETRIE

De intrinsieke beoefening van architectuur handelt over het scheppen van ruimte. Om dit effectief te kunnen verwezenlijken moet men beroep doen op een bepaalde meetkunde die deze ruimte zou kunnen beschrijven en creëren. Wat de parametrisatie van geometrie zo interessant maakt is de mogelijkheid om hieruit nieuwe concepten van ruimte te extraheren. Zowel in 2D als in 3D is het mogelijk om parameters te laten interfereren met geometrie. Complexe vormen kunnen op deze manier tot stand komen en ook ontwikkelingen uit de natuur komen zo dichterbij binnen handbereik waardoor biomimetica<sup>28</sup> een steeds grotere invloed zal krijgen in de materiaaltechnologie en de architectuurpraktijk. Wanneer we echter nog verder zouden gaan, kunnen we bij de parametrisatie van architecturale concepten in drie dimensies nog een vierde toevoegen die een interactie teweegbrengt tussen tijd en ruimte. De deuren staan alvast open voor een aantal nieuwe intrigerende potentiëlen die plaats kunnen maken voor een nieuw architecturaal denken.

## 1.1 EUCLIDISCHE GEOMETRIE

De geometrie die we het beste kennen en op de middelbare scholen reeds aanleren is de Euclidische. Deze geometrie opereert in 'metrische ruimte' en is gebaseerd op concepten zoals lengte, oppervlakte en volume. Wanneer in softwarepakketten getekend wordt, dan gebeurt dit in een Cartesiaans assenstelsel met metrische eigenschappen van deze Euclidische meetkunde. Wiskundigen hebben echter verschillende manieren geïntroduceerd om geometrische aspecten te beschrijven die niet gelimiteerd zijn door metrische concepten. Voorbeelden hiervan zijn de differentiaal geometrie van Gauss, de projectieve meetkunde, affiene meetkunde en topologie. Hoewel deze niet-metrische concepten niet kunnen bestaan zonder Euclidische geometrie, staan ze uiteraard in relatie met elkaar op een specifieke manier.

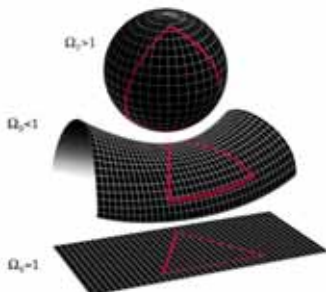
---

<sup>28</sup> Zie DEEL 5/ 4.

## 1.2 NIET-EUCLIDISCHE GEOMETRIE

Niet-euclidische geometrie bepaalt in drie dimensies drie mogelijkheden van een constante kromming. Ze zijn allemaal gebaseerd op de eerste vier postulaten (axioma's) van Euclides maar elk gebruikt een eigen versie van het vijfde postulaat, ook wel het parallel postulaat genoemd. Hiervan is de bekendste vorm van het axioma: "Gegeven een rechte  $l$  en een punt  $P$  dat niet op  $l$  ligt, dan is er in het vlak door  $l$  en  $P$  maar één rechte door  $P$  die  $l$  niet snijdt".<sup>29</sup> Hieruit ontsproten drie visies waarvan de geometrie bepaald wordt door een densiteit parameter  $\Omega_0$ . De bekendste is de vlakke oneindige geometrie die gekend is onder de noemer 'Euclidische geometrie' ( $\Omega_0=1$ ). Hiernaast zijn er twee niet-Euclidische ontstaan waarvan de elliptische geometrie<sup>30</sup> ( $\Omega_0>1$ ) door Bernhard Riemann tot stand is gebracht en de hyperbolische geometrie<sup>31</sup> ( $\Omega_0<1$ ) door de wiskundigen Labachevsky, Bolyai en Gauss.

Hoewel het onmogelijk leek om van hyperbolische geometrie een goede representatie te maken werd in 1997 door de wiskundige Daina Taimina aan de Cornell University een model uitgewerkt. Ze was opgegroeid in Letland waar ze als kind verdiept werd in het handwerk. Daina ontdekte dus meteen dat deze representatiemodellen het best gemodelleerd konden worden aan de hand van het alledaagse 'haken'<sup>32</sup>. Dit laat ons toe om op een eenvoudige manier de tactiele principes waar te nemen van deze geometrie. Dit kan vervolgens in verschillende facetten ook getransponeerd worden in architectuur waardoor nieuwe vormen geconstrueerd kunnen worden. Biologe Margaret Wertheim startte met haar tweelingzus een project waarbij ze hele koraalriffen haken. Het is een interessante combinatie van wiskunde, mariene biologie, kunst en handwerk.



017 - Euclidische, elliptische & hyperbolische geometrie



018-019 - Gehaakte hyperbolische geometrie

<sup>29</sup> <http://mathworld.wolfram.com/Non-EuclideanGeometry.html>, geraadpleegd op februari 2010

<sup>30</sup> Een bekende praktische toepassing van de elliptische geometrie van Riemann is deze van de aarde en zijn geodetische benaderingen.

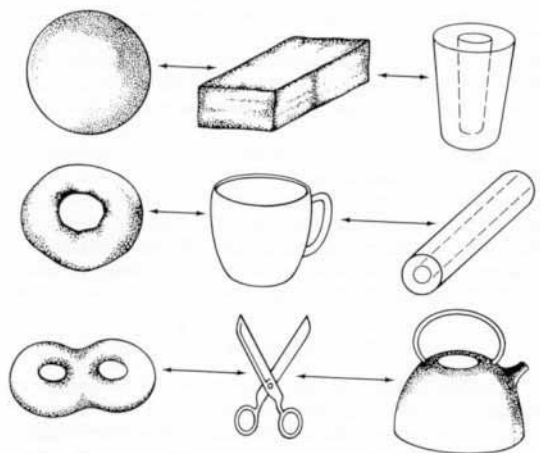
<sup>31</sup> De hyperbolische geometrie is de simpelste om te definiëren maar moeilijker te begrijpen. Een bekend voorbeeld van deze geometrie zijn de natuurlijke structuren zoals boerenkool of koralen. [http://scienceblogs.com/goodmath/2008/04/understanding\\_noneuclidean\\_hyp.php](http://scienceblogs.com/goodmath/2008/04/understanding_noneuclidean_hyp.php) <http://www.theiff.org/oexhibits/oe1e.html>

<sup>32</sup> Een bepaald soort weefsel maken met lussen, meestal met garen.



### 1.3 TOPOLOGIE

Er bestaan echter ook andere geometrische ruimtes waar een afstand als lengte de nabijheid niet kan karakteriseren omdat de lengte niet gefixeerd blijft. Een voorbeeld hiervan is de topologische<sup>33</sup> ruimte die uitgerekt of verschaald kan worden zonder karakteristieken van de gedefinieerde punten te veranderen. In de topologie zijn geometrische figuren gelijk als ze dezelfde karakteristieken behouden wanneer ze gebogen, uitgetrokken of op een andere manier getransformeerd worden, zodat er geen nieuwe punten worden toegevoegd of wegvallen. Ze worden bijgevolg 'homeomorfismen' genoemd.



By stretching and deforming, it is possible to turn a beach ball into a cube or a beaker, but not into a doughnut. Sphere, ball, cube, and beaker are all topologically equivalent. Figures having a single hole are all topologically equivalent to the doughnut-shaped torus. Another class contains two holes, and so on.

020 - Topologische principes

<sup>33</sup> Topologie (Grieks: topos, plaats, en logos studie) is de tak van de wiskunde die zich bezighoudt met eigenschappen van de ruimte, die bewaard blijven bij continue vervorming (objecten mogen niet gescheurd of geplakt worden). De topologie is een uitgroei van de meetkunde, maar anders dan in de meetkunde, houdt de topologie zich niet bezig met metrische eigenschappen, zoals de afstand tussen punten, maar wel met eigenschappen die beschrijven hoe een ruimte wordt samengesteld, zoals samenhang en oriëntatie.

## 2. PARAMETRISATIE

In een parametrische aanpak wordt een digitaal model gedefinieerd met een reeks van geometrische relaties of verbanden die bepaalde expressies en restricties opleggen.

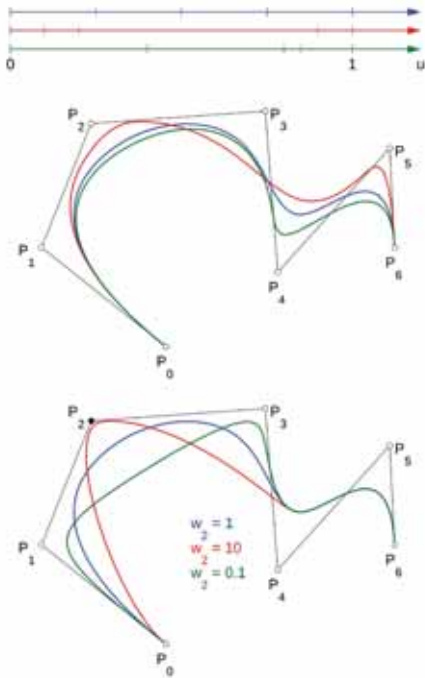
Het verschil tussen een expliciet geometrisch model en een parametrisch model kan makkelijk voorgesteld worden door twee cirkels met een lijn die de middelpunten ervan verbindt. In een expliciet geometrisch model zal elke translatie van een cirkel vereisen om de verbindende lijn te verwijderen en opnieuw te tekenen omdat het eindpunt niet mee verschuift met het middelpunt. In een parametrisch model daarentegen wordt de relatie tussen de middelpunten beschreven zodat de lijn automatisch zal volgen bij een translatie van de cirkel. Hierop kan ook verder gewerkt worden door bijvoorbeeld de relatie te beschrijven tussen de lengte van de lijn en de radius van de cirkels, zodat men kan voorkomen dat de twee cirkels zouden overlappen. Alle voorgedefinieerde geometrische relaties toegepast door parametrische uitdrukkingen en restricties blijven consistent wanneer het model gemanipuleerd wordt.

Door het gebruik van variabelen kunnen architecten op een hoger niveau omgaan met het ontwerp. Het gaat over geometrische afmetingen en relaties die in een vooropgesteld schema gegoten worden. Bij het parametrisch ontwerpen is het niet de vorm die moet vastgelegd worden met parameters maar wel het ontwerp. Berekeningen kunnen gebruikt worden om relaties tussen de verschillende objecten te beschrijven en men spreekt dan van een 'associatieve geometrie'. Parameters kunnen hierbij een basis vormen voor krachtige concepten van architecturale vormen.

### 2.1 NURBS: EEN PARAMETRISCHE GEOMETRIE

De Non-Uniform Rational Bézier Spline (NURBS) is in de wiskunde een type parametrische kromme die bepaald is door twee of meer punten in een vlak of ruimte. De parametrische voorstelling van de curve wordt beschreven door het algoritme van Casteljau. Ze zijn een "verfijning" van B-splines en hebben een paar extra eigenschappen waardoor ze zeer geschikt zijn voor gebruik in computer graphics. Het werd oorspronkelijk geïntroduceerd in de jaren 50 door twee ingenieurs; Bézier en Casteljau, die deze curve ontwikkelde voor de auto-industrie omdat het de toepassing van free-form surfaces toeliet. Door NURBS samen te stellen in de drie dimensies is het mogelijk om Bézier-oppervlakken te creëren met overeenkomstige eigenschappen, ook NURBS surfaces genoemd.

Tegenwoordig zijn ze echter terug te vinden in elk CAD-pakket. Het werkt met een zeer efficiënt datagebruik waardoor veel verschillende geometrische vormen tekenbaar zijn. Ze zijn bijvoorbeeld niet alleen invariant onder rotatie, schaalverandering en translatie, maar ook onder projectie-transformaties van de controlepunten en ze kunnen geometrische segmenten exact weergeven.



021 - 022 NURBS

```

#define NUMCTRLPOINTS 6 /* aantal controlepunten */
#define ORDER 3 /* orde */
#define LENKNOTVEC (NUMCTRLPOINTS + ORDER)
/* lengte knoopvector */
#define STRIDE 3 /* aantal waarden per controlepunt: X, Y, gewicht */

/* Knoopvector: 5 knopen, dus 4 segmenten. */
GLfloat knots[LENKNOTVEC] = {0.00, 0.00, 0.00, /* knoop 1, 3-voudig */
                             0.25, /* knoop 2 */
                             0.50, /* knoop 3 */
                             0.75, /* knoop 4 */
                             1.00, 1.00, 1.00}; /* knoop 5, 3-voudig */

/* Controlepunten, per punt: X, Y, gewicht. */
GLfloat ctrlPoints[NUMCTRLPOINTS*STRIDE] = { 1.0, 0.0, 1.0,
                                              1.0, 1.0, 0.5,
                                              -1.0, 1.0, 0.5,
                                              -1.0, -1.0, 0.5,
                                              1.0, -1.0, 0.5,
                                              1.0, 0.0, 1.0};

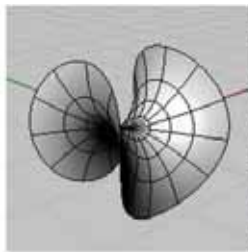
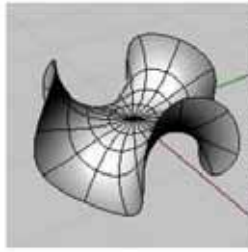
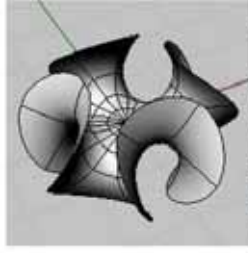
```

OpenGL voor NURBS-curve

Het voordeel van deze geometrie is dat ze gedefinieerd is binnen een eigen parametrische werkruimte die ons toelaat om NURBS gemakkelijk te controleren. De curve bestaat namelijk uit parametrische control-points, te beschouwen als gewichten die met een bepaalde kracht aan de lijn trekken. Deze punten bevatten ook knopen met knoopvectoren en verdelen de kromme in verschillende segmenten waarvan het aantal en de plaats vrij te bepalen is. Daarnaast wordt er een gewicht toegekend aan de verschillende controlepunten om de kromme al dan niet dichters langs het punt te laten lopen. De laatste parameter die de curve kan veranderen is de graad van de lijn, hoe lager deze is, hoe dichters de curve in het algemeen bij de punten ligt.

Gekromde curven en oppervlakken produceerden reeds een groot potentieel voor architecturale ontwerpen. Dit potentieel is zowel geometrisch als topologisch, met de nodige terugslag op het ontwerp, productie, gedrag en effect van materiaal en vorm. De kromming is interessant omdat het een eerste stap zet naar een synthese tussen geometrie en parametrisatie met de nodige logica van materiaalsystemen en form-finding in het achterhoofd. De ontwikkelingen in digitale software maakt het vervolgens mogelijk om complexe oppervlakken te construeren uit deze gekromde primitieven. De digitale modellering laat het toe om gekromde geometrie prestatiegericht en parametrisch te ontwerpen.

Hoewel de meeste modelleerapplicaties gebaseerd zijn op de definitie van geometrie door gefixeerde coördinaten, moeten architecten openstaan voor alternatieve modelleertechnieken die gebaseerd zijn op geometrische en topologische relaties. Niet-metrische eigenschappen kunnen gebruikt worden, met associatieve geometrie en parametrisch modelleren als een specifieke interessante invalshoek. De hyperbolische geometrie die fysiek gemodelleerd werd door Daina, kan bijgevolg ook parametrisch beschreven worden aan de hand van wiskundige vergelijkingen en algoritmes.

|   |  |   |
|---|--|---|
|    | <p><b>Enneper 2</b></p> <p>Minimum u<br/>Maximum u<br/>Minimum v<br/>Maximum v<br/>PointCount u<br/>PointCount v<br/>Function X(u,v)<br/>Function Y(u,v)<br/>Function Z(u,v)<br/>Variables</p> | <p>0<br/>1<br/>-Pi<br/>Pi<br/>7<br/>25<br/> <math>u^2 \cos(v) - u^2 (2 \text{ Sym} - 1) (2 \text{ Sym} - 1) \cos(2 \text{ Sym} - 1) v</math><br/> <math>-u^2 \sin(v) - u^2 (2 \text{ Sym} - 1) (2 \text{ Sym} - 1) \sin(2 \text{ Sym} - 1) v</math><br/> <math>2 / \text{Sym}^2 u^2 \text{Sym} \cos(\text{Sym} v)</math><br/>           Sym=2</p>   |
|   | <p><b>Enneper 3</b></p> <p>Minimum u<br/>Maximum u<br/>Minimum v<br/>Maximum v<br/>PointCount u<br/>PointCount v<br/>Function X(u,v)<br/>Function Y(u,v)<br/>Function Z(u,v)<br/>Variables</p> | <p>0<br/>1<br/>-Pi<br/>Pi<br/>7<br/>25<br/> <math>u^2 \cos(v) - u^2 (2 \text{ Sym} - 1) (2 \text{ Sym} - 1) \cos(2 \text{ Sym} - 1) v</math><br/> <math>-u^2 \sin(v) - u^2 (2 \text{ Sym} - 1) (2 \text{ Sym} - 1) \sin(2 \text{ Sym} - 1) v</math><br/> <math>2 / \text{Sym}^2 u^2 \text{Sym} \cos(\text{Sym} v)</math><br/>           Sym=3</p>   |
|  | <p><b>Enneper 4</b></p> <p>Minimum u<br/>Maximum u<br/>Minimum v<br/>Maximum v<br/>PointCount u<br/>PointCount v<br/>Function X(u,v)<br/>Function Y(u,v)<br/>Function Z(u,v)<br/>Variables</p> | <p>0<br/>1 2<br/>-Pi<br/>Pi<br/>7<br/>25<br/> <math>u^2 \cos(v) - u^2 (2 \text{ Sym} - 1) (2 \text{ Sym} - 1) \cos(2 \text{ Sym} - 1) v</math><br/> <math>-u^2 \sin(v) - u^2 (2 \text{ Sym} - 1) (2 \text{ Sym} - 1) \sin(2 \text{ Sym} - 1) v</math><br/> <math>2 / \text{Sym}^2 u^2 \text{Sym} \cos(\text{Sym} v)</math><br/>           Sym=4</p> |

023 - Parametrische hyperbolische geometrie, 'Enneper'

## 2.2 DATASTRUCTUREN

Het modelleren op de computer is volledig gebaseerd op datastructuren, allemaal grafische representaties van transformaties. De meest gebruikte CAD systemen kunnen de transformatie van geometrische data op een efficiënte manier verwerken. Het gebruikt daarvoor datastructuren die het ingeven en veranderen van data vergemakkelijken en waarbij de hoeveelheid aan informatie het niveau beïnvloedt van de complexiteit van het modelleren en simuleren. Een datastructuur is bijvoorbeeld een matrix van driedimensionale coördinaten en de transformatie ervan is eenvoudig te bereiken door deze matrix te vermenigvuldigen met de transformatie ervan, bestaande uit één of meerdere parameters. Bovendien kunnen verschillende transformaties gelijktijdig toegepast worden om meer complexere bewerkingen te bekomen.

Datastructuren bevatten ook metadata, een vorm van informatie over de reeds bestaande data die we in elke software terugvinden. Wanneer we bijvoorbeeld een kubus modelleren ontstaat er gelijktijdig metadata over de kubus zoals de oppervlakte, kleur, de huidige layer, zijn entity-name, render-instellingen en nog vele anderen, afhankelijk van hoe dit geprogrammeerd of geparametriseerd is. Het spreekt voor zich dat metadata niet nieuw zijn, zelfs buiten de CAD-ontwikkelingen kunnen deze data teruggevonden worden op papier, in computerontwikkelingen, tot zelfs in de natuur en in ons eigen geheugen. We kennen het reeds vanaf het beginpunt van ons conceptueel denkvermogen.

*“When the human mind orders a series of thoughts it almost always uses spatial images.”<sup>34</sup>*

Wat metadata zo belangrijk maakt vandaag is dat engineering zich verplaatst van het fysieke naar het digitale model. Dit lijkt het ontbrekende stuk van de puzzel te zijn waarmee een volledig bruikbaar digitaal model kan geleverd worden. De ontwikkelingen die we de komende jaren zullen zien gaan het parametrische totaalconcept van ontwerp tot productie integreren en technische analyses mogelijk maken. Deze parametrisatie legt relaties tussen verschillende onderdelen, met andere woorden het communiceert informatie. Deze vorm van interactie vraagt van deze modellen natuurlijk meer dan enkel geometrie met de bijhorende visualisaties. Meer informatie zal vereist zijn waardoor metadata een cruciale rol zal spelen als drager. Data-management zal bij deze essentieel zijn om een overzicht te kunnen behouden over alle gegevens.

---

34 Rudolf Arnheim

De meeste software die men op een PC terug kan vinden werken met ingebouwde parametrische relaties van datastructuren. Ze zijn misschien niet direct zichtbaar, maar wanneer men tekstverwerkingssoftware gebruikt bijvoorbeeld, dan kan men het lettertype en de opmaak van titels en ondertitels aanpassen. Hieruit kan vervolgens een inhoudstabel gegenereerd worden die parametrisch afhankelijk is en dus up to date blijft.

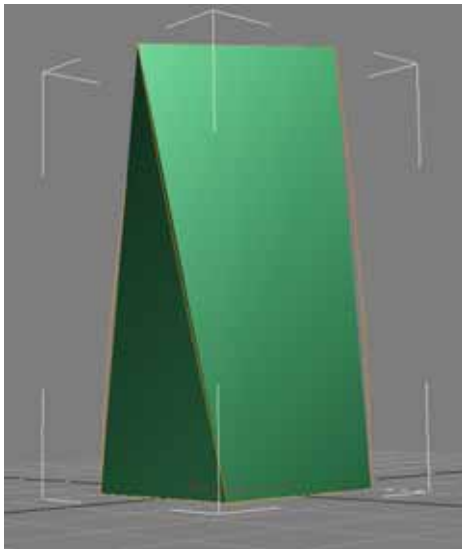
Het meest bekende parametrische programma die de gebruiker ook zelf expliciet toelaat relaties te beschrijven is Microsoft Office Excel. Door zijn parametrisch vermogen, wordt dit programma in elk bedrijf dagelijks toegepast, het is een van de betere programma's om efficiënt met data om te gaan.

Het gebruik van parametrische modellen en metadata in het veld van architectuur weerspiegelt echter dat de architecturale software eigenlijk afkomstig is uit de luchtvaart, scheepvaart, auto en product-design industrieën. In deze disciplines werken ze voornamelijk in teams en een efficiënte uitwisseling van data is dan ook van cruciaal belang.

Een interessant aspect van datastructuren is dat men kan werken met de implementatie van de factor tijd. Dit proces noemt men keyframing en dat houdt in dat op de eerste key een vorm met data beschreven wordt, en op de tweede deze vervormd kan worden. Door het invoeren van een parameter die de een tijd of afstand voorstelt, kan de software op een parametrische wijze automatisch de vormen die hiertussen aanwezig zijn berekenen. Niet alleen vormen en gebouwen kunnen getransformeerd worden, ook camera posities kunnen verplaatst worden waardoor we een met de camera rond een statisch of dynamisch object. Dit proces uit de game- en filmindustrie heet animeren, maar het kan ook op een dynamische manier voor conceptuele architectuuroeinden toegepast worden.

Veel architecturale softwarepakketten geven bovendien een uitgebreide instrumentenset om transformaties toe te passen op basis van een algoritme dat afhankelijk is van bepaalde parameters. Dit vertrekt vanuit de simpele transformaties zoals rotatie, spiegeling, verscaling, etc. tot de meer complexere zoals buiging, torsie, verdraaiing, etc. Dit resulteert soms in projecten die letterlijk af te leiden zijn van sommige softwarepakketten. Zo heeft Gehry bijvoorbeeld een rechthoekige balk getransformeerd met een verdraaiing. Deze vorm is rechtstreeks overgenomen in zijn gebouw in Hannover dat nu de 'Gehry Tower' wordt genoemd. Door deze praktijken is er een variant op de bekende uitspraak van Louis Sullivan opgedoken die het huidige pragmatisme van parametrisatie beschrijft als 'form follows software'.

Architecten zijn echter altijd gebonden geweest aan hun tools, onze orthogonale grondplannen zijn dan ook een rechtstreeks gevolg van de tekentafel met de vaak gebruikte tekendriehoek en de T-lat. De huidige software vergroot alleen maar de mogelijkheden om bepaalde concepten uit te werken. Dit gebeurt op een snellere en efficiëntere manier met een directe feedback en een parametrische flexibiliteit.



024 - 3DS MAX Design 2010, twisted box



025 - 'Gehry Tower', Frank Gehry

### 2.3 CAAD

CAAD systemen hebben een evolutie doorgemaakt ten opzichte van de omgang met het digitale model en het ontwerpproces. De eerste *modelleersystemen* creëerden geometrie door de user-interface en was slechts een digitaal vervangmiddel van de traditionele tekentafel. Hierop volgde het *database systeem* met de mogelijkheid om een set van voorgedefinieerde objecten te gebruiken. Vervolgens konden deze elementen uit de database samengevoegd worden en was er sprake van het *combinatorisch systeem*. Het systeem wat nu echter de overhand heeft is het *parametrische*, waarbij de maateenheden van objecten variabel zijn. Dit laatste systeem brengt echter ook het *parametrisch generatief systeem* met zich mee, dat specifiek toegepast kan worden om nieuwe ontwerpmethodes en strategieën te onderzoeken.

*“The presence and uptake of the computer, so omni-influential in approaches to design and architectural representation over the last decade, has begun to have an effect on built form and design quality. The computer has a reciprocal involvement in a revolution in thinking about space and time that has created a shift from the stable and metric (Euclidian) concepts inherited from the Classical through Renaissance and Modernist world to a more dynamic, unstable and unpredictable model, more closely aligned with our understanding of natural systems of growth, form and evolution.”<sup>35</sup>*

CAD staat voor Computer Aided Design en wordt toegepast in verschillende vakgebieden. Alle CAD systemen gebruiken een database met geometrische en andere eigenschappen van objecten en ze doen allemaal beroep op een grafische user interface. Dit laat de gebruiker toe om de visuele representatie rechtstreeks te manipuleren, in plaats van de database. Het is namelijk een parametrische opstelling die gelinkt is aan de achterliggende database met informatie en metadata. Specifiek in de architectuur wordt deze benaming CAAD<sup>36</sup> genoemd (Computer Aided Architectural Design). De oorzaak van deze onderscheiding ligt in het domein van de architectuur die een specifiekere en uitgebreidere toolset gebruikt. In CAAD systemen wordt er een expliciete database gebruikt van bouwelementen en constructiekennis en het ondersteunt de creatie van architecturale objecten. Vandaag beschikken deze systemen echter over een parametrische interface die de relaties tussen deze objecten vastlegt. Dit resulteert in de mogelijkheid voor architecten om parametrisch te modelleren of zelfs te ontwerpen.

Professionele CAD-softwarepakketten bieden veel mogelijkheden en gaan verder dan enkel het tekenen en visualiseren. De creativiteit van de ontwerper is essentieel om het maximum uit deze tools te kunnen halen. Men doorloopt echter vaak een trial & error proces voordat men een degelijke beheersing heeft verworven, maar uit fouten moet men leren. De voordelen die de ontwerper er achteraf uit haalt hebben een grote impact op de efficiëntie en kwaliteit van het ontwerp- en constructieproces.

De ontwerpinstrumenten van de softwarepakketten bevinden zich in een digitale werkomgeving die men volledig naar eigen hand kan aanpassen. Het is essentieel om de nodige kennis van het gebruikte softwarepakket te hebben, wanneer men niet goed met de ontwerptools overweg kan gaat de software domineren over de kunde van de architect. Te weinig beheersing kan dus negatieve gevolgen hebben op het succesvol tot stand brengen van architectuur. De ‘tools’ blijven onbenut en de computer kan zich op deze manier niet als veelzijdig ontwerpinstrument manifesteren en blijft zo nog steeds een zuiver tekeninstrument.

---

35 Burry Marc, Gaudí and CAD, ITcon Vol. 11, 2006

36 In 1974 werd CAAD reeds het gebruikte acroniem in de commerciële modernisatie



*“When you don’t know how to use a tool, you give the authorship over to the tool.”<sup>37</sup>*

Animatie- en modellersoftware worden gebruikt om schetsontwerpen in het prille stadium van ontwerp te visualiseren. Bekende voorbeelden hiervan zijn o.a. 3DS Max (Autodesk), Maya (Autodesk), Cinema 4D (Maxon), Rhinoceros (McNeel), Generative Components (Bentley) etc. Hiernaast bestaat ook nog het bekende programma SketchUp (Google) dat ontworpen is voor de uitwerking van “conceptual stages of design”. Ondanks dit advies gebruiken vele architecten dit als een volwaardig ontwerpinstrument dat zowel de eerste ontwerpschetsen als de definitieve uitvoeringsplannen dekt. Hoewel SketchUp veel geëvolueerd is de voorbije jaren moeten we beseffen dat het slechts een goed uitgewerkte digitalisering is van potlood en papier in 3D. Dit is voor discussie vatbaar omdat er reeds plug-ins bestaan die het softwarepakket professionelere technieken kunnen laten uitvoeren.

Technische software wordt vaak gebruikt bij een verdere fase in het ontwerp, deze werd eerst ter vervanging van de tekentafel gebruikt maar tegenwoordig reiken de mogelijkheden veel verder dan dat. Technische softwarepakketten zijn o.a. AutoCAD (Autodesk), Digital Project (Bentley), Revit Architecture (Autodesk), ArchiCAD (Graphisoft), Vectorworks (Design Express), etc. Bij deze categorie vinden we tegenwoordig ook Rhinoceros en Generative Components terug. De software is sterk betrokken met het parametrische en algoritmisch ontwerpen en modelleren. Ze worden eveneens gebruikt om te ontwerpen als te visualiseren en om het ontwerp technisch uit te werken. Steeds meer softwarefabrikanten doen nu beroep op de parametrische technieken en proberen die ook in hun pakket te verwerken.

Een laatste soort programma’s heeft zijn oorsprong gevonden in de lucht- en scheepvaartindustrie. Door een detaillering die op een parametrische wijze gebeurt, zijn de ontwerpen ook leesbaar voor CNC technologie: CATIA, Pro/Engineer en Tekla Structures staan hiervoor bekend. Tekla Structures wordt in de architectuur vooral gebruikt bij industriebouw, meestal door aannemersbedrijven in de staalbouw.

---

<sup>37</sup> Citaat: Greg Lynn uit Michael J. Ostwald, Evaluating Digital Architecture: Ethics and the Auto-Generative Design Process,

## 2.4 CAM

Het gebruik van parameters leidt tot een concept dat het ontwerp tot en met de detaillering van het gebouw dekt. Deze verschuiving vereist een verandering van mentaliteit van alle partijen die in de bouwwereld betrokken zijn. De voor- en nadelen van non-euclidische geometrie, nurbs, parameters, enz. zijn te vergelijken met potloden, passers, gradenbogen en maquettemateriaal. Maar de parametrisatie hiervan zorgt voor een grote expansie van de mogelijkheden. De architectuurpraktijk bestaat hierdoor uit metadata en centrale dataopslag en dit maakt het ontwerp heel toegankelijk en leesbaar. Deze metadata zorgen ervoor dat men gemakkelijk kan terugkoppelen met tastbare modellen die aan de hand van Rapid Prototyping snel tot stand kunnen komen. Op deze wijze wordt het ontwerp getest en geëvalueerd en bekomt men door een iteratief proces al snel een goede oplossing.

Het eerste bevorderende gebruik van CAM technologie wordt duidelijk wanneer het beschouwd wordt in de context van zijn historische ontwikkeling. In 1950 werd de eerste 'numerical control' (NC) machine geïntroduceerd door het Amerikaanse leger. Zij ondersteunden computergecontroleerde automatisering en gebruikten deze machines voor metaalverwerkende toepassingen om de beperkingen van de massaproductie te overstijgen. De volgende decennia werden afgeleide 'computer numerical control' (CNC) systemen geïntroduceerd met een enorm breed gamma aan materialen en een toepasbaarheid op verschillende schaalniveaus. Maar CAM werd pas rond 1980 effectief verspreid door de introductie van de PC en het stijgende gebruik van CAD applicaties.

Tegelijkertijd waren de vooraf bepaalde hiërarchische fases in het ontwerpproces en de bijhorende opgevatte productieprotocollen reeds diep geïntegreerd in de architecturale praktijk. De link tussen het proces van ontwerpen en produceren was dus direct en lineair, waardoor CAM slechts gebruikt werd om het totale proces te vergemakkelijken, de keuze en ontwikkelingen van nieuwe materialensamenstellingen bleef hierdoor beperkt. Er is echter stilaan het besef gekomen dat we met deze techniek veel meer kunnen bereiken. Het potentieel van CNC fabricatie reikt zeer ver en blijkt nu tot architecten door te dringen. Het is de sleutel van de synthese tussen materialisatie en vormgenererende processen. De gedefinieerde beperkingen en mogelijkheden van hardware en software van fabricatie worden generatieve motoren in de ontwikkeling van nieuwe materiaalsystemen en concepten.

*“Integrating computer-aided design with computer-aided fabrication and construction [...] fundamentally redefines the relationship between designing and producing. It eliminates many geometric constraints imposed by traditional drawing and production processes – making complex curved shapes much easier to handle, for example, and reducing dependence on standard, mass-produced components. [...] It bridges the gap between designing and producing that opened up when designers began to make drawings.”<sup>38</sup>*

In de architectuur spelen CAM processen een kritieke rol in de verschuiving van massaproductie. Er ontstaat een inherente standaardisatie tot de conceptie en productie van gedifferentieerde bouwelementen. De materiaalpraktijk verschuift hierbij verbazingwekkend snel door de introductie van concepten van variatie en differentiatie die de mogelijkheden benutten van geometrische uniciteit van elk digitaal geproduceerd deel. Door deze ontwikkeling ontstaat er een grote beweging naar gevarieerde bouwelementen en systemen waarbij de CAM technologie het mogelijk maakt om verschillen te produceren.

We stuiten hier op het begrip ‘mass customization’, een symptoom van de huidige ontwerpbenaderingen die voornamelijk de ontwikkeling van variatie en differentiatie opnieuw nastreven. Wat opvalt is dat de CAM techniek voornamelijk gebruikt werd om de snelheid en precisie op te drijven en niet zozeer toegepast werd om te experimenteren met nieuwe ontwikkelingen. Hier is echter verandering ingekomen door de positieve invloeden van parametrische technieken.

*“Physical prototypes are costly. Optimizing designs and eliminating errors before manufacturing helps increase efficiency, productivity, and innovation for competitive advantage.”<sup>39</sup>*

Autodesk kwam recent met het softwarepakket Algor Simulation 2010 op de markt. Het testen van prototypes kan nu eenvoudiger met parametrische software gebeuren dat analytische berekeningstechnieken toepast, gebaseerd op de finite-element methode (FEM). Het model wordt opgedeeld in kleine mesh-elements die met elkaar verbonden zijn. Deze worden vervolgens gebruikt om nauwkeurige structurele, energetische en vloeistofdynamische analyses (CFD) op uit te voeren voor gebouwen van om het even welke vormelijke complexiteit. De resultaten worden meestal grafisch gepresenteerd. Het zijn technieken die traditioneel eerst toebehoorden aan de ingenieurswetenschappen, maar deze komen vandaag centraal te staan in het prestatiegericht ontwerpproces. Door de introductie van het parametrisch ontwerpen ontstaat de mogelijkheid van multi-objective form-finding.

---

38 Mitchell W. en McCullough M., *Digital Design Media*, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1995, p. 440.

39 Autodesk Algor Simulation 2010,

[http://images.autodesk.com/adsk/files/algor\\_simulation\\_2010\\_detailed\\_brochure\\_us0.pdf](http://images.autodesk.com/adsk/files/algor_simulation_2010_detailed_brochure_us0.pdf)

Het verschuiven van de focus van een puur metrisch concept van geometrische relaties naar een integratie van non-metrische en topologische aspecten, kan hierbij de potentiële basis vormen voor computergestuurde morfogenese van materiaalsystemen. Ze blijven op deze manier coherent met de logica van materialisatie en fabricatie.

### 3. SCRIPTING: EEN INTERFACE VOOR PARAMETERS

Een script is geschreven in een specifieke programmeertaal en wordt gebruikt om een softwarepakket te laten functioneren, zowel Windows, Office, Photoshop, AutoCAD, Maya, 3DS Max, Revit, Sketchup, games en vele andere programma's, ook websites, kunnen hun functie uitvoeren omdat er een script achter zit. Het zorgt ervoor dat de software kan geprogrammeerd worden, met andere woorden; het geeft een gehele lijst van instructies – opeenvolgende opdrachten – die doorlopen moeten worden wanneer de gebruiker al dan niet op een interface functie klikt. Ze zijn dan ook enkel leesbaar door de programma's waarvoor ze bestemd zijn, mits deze hun eigen programmeertaal hanteren. Zeer bekend is JavaScript, een programmeertaal met objectgeoriënteerde mogelijkheden die vooral gericht is op het gebruik van webpagina's zoals bijvoorbeeld HTML.

Elk architecturaal softwarepakket heeft meestal ook een eigen ingebouwde scriptinterface waar de gebruiker zelf aan de slag kan. Hierdoor kunnen de tools die het programma voorhanden heeft geautomatiseerd worden met behulp van een script – een klein programma. In Rhinoceros kan men Rhinoscript (=VB script) gebruiken, in AutoCAD het AutoLISP script, in Maya het MEL script, in 3ds Max het MAX script, in Photoshop het VB script, etc. Door de hoge abstractiegraad van deze programmeertalen kunnen gebruikers met een minimum van kennis toegang krijgen tot de infrastructuur van de hosting software en de interface werking aanpassen. De gebruiker kan dus zijn eigen werkomgeving gebruiksvriendelijker maken en acties automatiseren (batch-processing). Het effectieve gebruik van script wordt vaak toegepast om informatie snel te organiseren en toegankelijker te maken. Het is gebaseerd op het geschikt maken van informatie voor specifieke noden onder specifieke parameters.

#### 3.1 (TRANS-)FORMERENDE ALGORITMES

Een algoritme is een eindige reeks instructies die meestal voor berekeningen en dataverwerking worden gebruikt om vanuit een gegeven begintoestand een opgegeven doel te bereiken<sup>40</sup>. Algoritmes in formele systemen zijn essentieel voor de manier waarop computers informatie verwerken. Een computerprogramma is een formeel algoritme dat de computer vertelt welke specifieke stappen in een specifieke volgorde uitgevoerd moeten worden om een bepaald eindresultaat te bereiken. Waar een algoritme de beschrijving is van een oplossing van een probleem, is een computerprogramma (in een programmeertaal of script) de implementatie van dat algoritme.

---

<sup>40</sup> Bijvoorbeeld het algoritme van Euclides, een rekenwijze voor het bepalen van de grootste gemene deler

In de architectuur worden algoritmes voortdurend toegepast wanneer CAD-software gebruikt wordt. Bij het tekenen van een lijn geeft de gebruiker twee verschillende coördinaten in (input) en vervolgens geeft het algoritme (medium) de geautomatiseerde instructie om tussen deze coördinaten een lijn te tekenen (output). Wanneer deze twee coördinaten echter als variabele parameters fungeren dan spreekt men van een parametrisch algoritme. Als deze coördinaten op hun beurt nog eens afhankelijk zijn van een andere variabele, bijvoorbeeld een extern punt waartussen een afstand behouden moet blijven, dan gaat het om een interactief parametrisch algoritme. In de huidige CAD-software kan er met behulp van de specifieke 'script engine' van het pakket een specifiek algoritme opgebouwd worden. Hierbij kunnen de gebruikers de tools die de software ondersteunt automatiseren door de instructies (algoritmes) te beschrijven.

```
function ggd(a,b)
  if a = b
    return a
  else if a < b
    return ggd(a, b-a)
  else
    return ggd(a-b, b)
end
```

Het algoritme van Euclides

## WISKUNDIGE MODELLEN EN NATUURLIJKE INTELLEGENTIE

In de esthetica van het classicisme werd schoonheid beschouwd als een vooraf vastgezette reeks van harmonieuze vormen, een statisch geheel.<sup>41</sup> Sinds 1740, het tijdperk van de verlichting, kreeg het denken een volledige ommekeer die begon bij de opkomst van chemie en biologie. De wereld van schoonheid werd een wereld van krachten die in esthetica werden beschreven als het sublieme. Stormen, bergen, rivieren en andere natuurlijke fenomenen werden ondergebracht in een enorm universum van krachten. Ilya Prigogine<sup>42</sup> ontdekte nieuwe eigenschappen van materies die zich in een zeer onevenwichtige conditie bevinden. Het bracht de invloed aan het licht van instabiliteit, fenomenen van kleine veranderingen in initiële condities die leiden tot grote amplificatie van een specifiek effect.

---

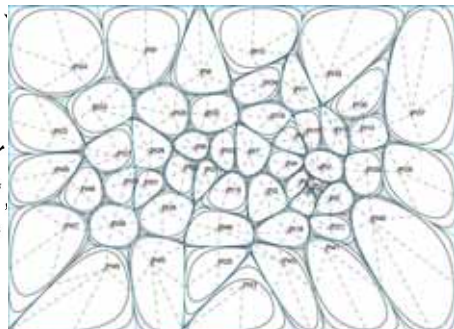
41 Dit vinden we ook terug in het modernisme, een wereld van het universele, abstractie, productie en minimalisme. Wanneer men uit het raam kijkt ziet men orde en harmonie, men wordt er gewoon mee geconfronteerd.

42 G. Nicolis and I. Prigogine, Exploring Complexity, Freeman, 1993

Een zwerm spreeuwen bijvoorbeeld is een subliem fenomeen uit de natuur dat een visueel dynamisch spektakel oplevert. De verschijningsvorm werd volledig geanalyseerd in de jaren 80 waarbij men tot de vaststelling kwam dat de bewegingen van deze levende wezens gebaseerd waren op een code. Vogels zijn op zich niet enorm intelligent, maar in een zwerm ontstaat er een systeem van gedistribueerde intelligentie. Het systeem op zichzelf wordt dus intelligent en werkt slechts aan de hand van vier simpele algoritmes; volg de vogel voor u, ga niet te ver weg van de vogel langs u, kom niet te dicht bij de vogel langs u en vlieg rond objecten. Men kon dit systeem simuleren aan de hand van deze regels in een computermodel. Deze code resulteert bijgevolg in een vorm van sublieme schoonheid, het geheel verschijnt als een elegante vorm die constant opnieuw geconfigureerd wordt.<sup>43</sup>



026 - Zelf-organisatie in een zwerm spreeuwen



027 - Parametrische Voronoi-cellen.

Sommige wetenschappers en wiskundigen doen onderzoek naar biologische en historische architecturale structuren en proberen deze te verklaren aan de hand van algoritmes die het proces zouden kunnen beschrijven. Maar ook steeds meer architecten schrijven vandaag algoritmes om bepaalde taken te automatiseren.

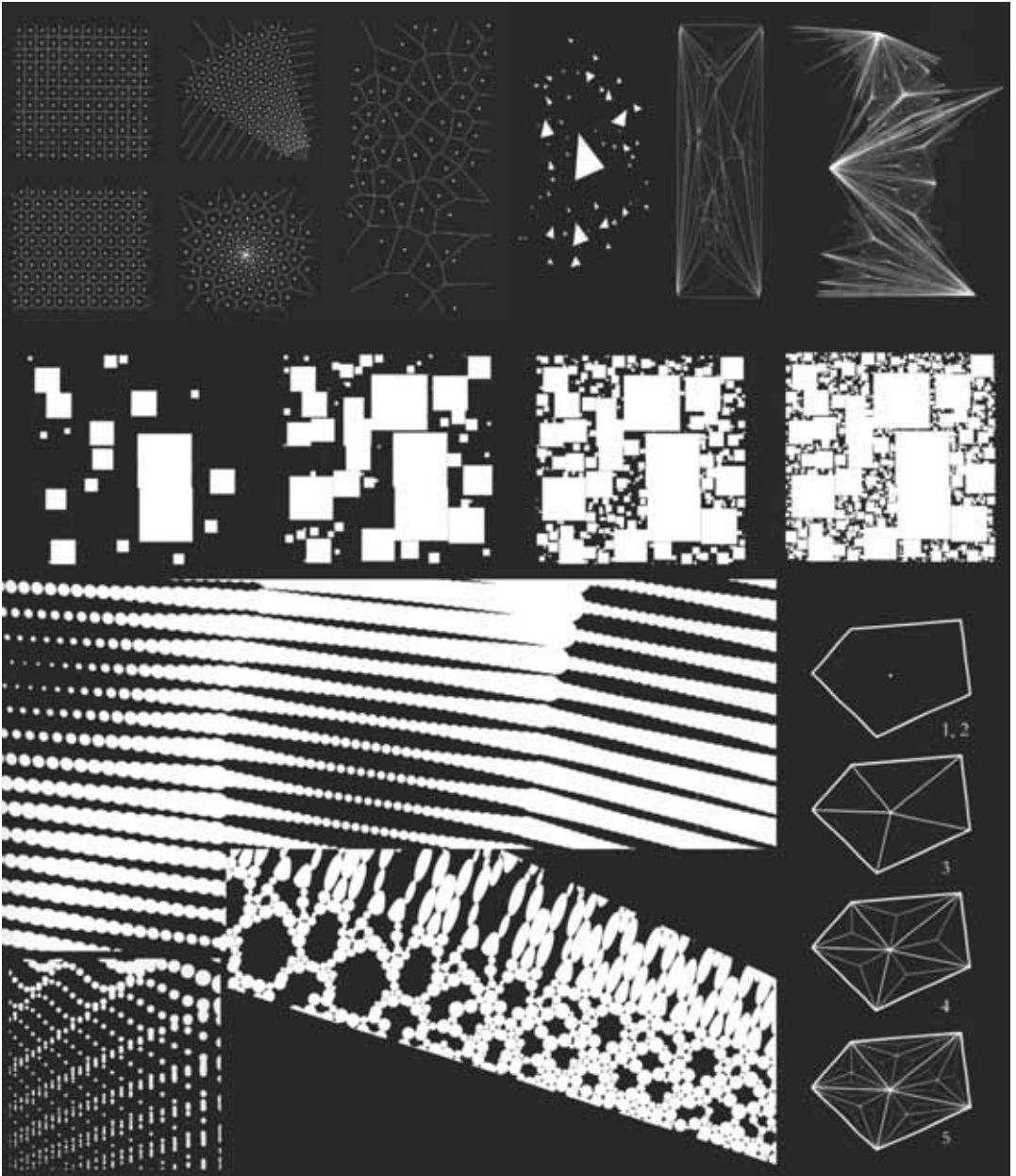
Enkele (trans-) formerende algoritmes en technieken die hun intrede in architecturale praktijken hebben verwezenlijkt zijn symmetry and tiling, L-systemen, fractals, morphing, mapping, voronoi diagram, fibonacci, fermat's spiral, genetische systemen, cellular automata, shape grammars, en nog vele anderen.<sup>44</sup> Het zijn allemaal voorbeelden van wiskundige geometrische modellen die de interesse wekken van jonge architecten die met nieuwe parametrische en algoritmische ontwerpstechnieken experimenteren.

*"From algorithmic design to algorithm design"*<sup>45</sup>

43 The architecture of continuity, Lars Spuybroek

44 Voor een beschrijving van deze algoritmes en technieken in functie van architectuur is de thesis van Koen Froyen 'Gen. Arch, architecture made by computers?' misschien interessant.

45 Fabian Schreurer, internationaal symposium München, 2009



028 - Verschillende algoritmische (trans)-formaties



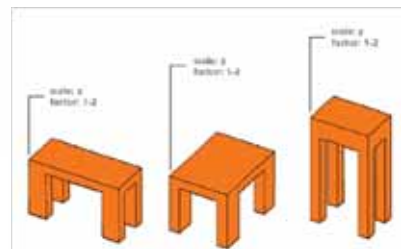
### 3.2 GENERATIEVE PROCESSEN

Een generatief proces is een procedure die in staat is om te (trans-) formeren met als resultaat een reeks van variabele gegeneerde oplossingen. Er wordt hier verwezen naar een 'generator' met als voornaamste elementen een startconditie, een algoritme, gedefinieerde parameters, relaties en beperkingen, een soort inputbron en ten slotte een stopconditie.

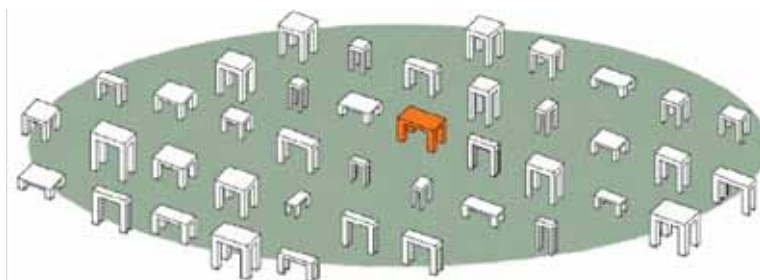
Een tafel bijvoorbeeld kan verschaald worden op verschillende manieren, de startconditie is de gegeven geometrie, het transformerende algoritme is het verscalen en de gedefinieerde parameters zijn lengte, breedte en hoogte. Er kunnen vervolgens ook relaties (bepaalde proporties) en beperkingen (minimum en maximum factor) gedefinieerd worden. De input bron kan een reeks willekeurige nummers zijn en de stopconditie een hoeveelheid aan getransformeerde tafels.



029 - De werking van een generatief proces



030 - Een variabele tafel

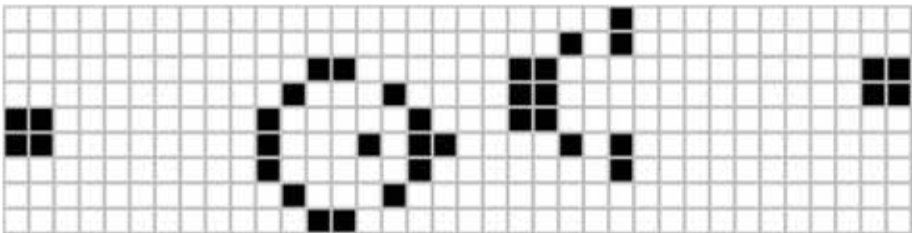


031 - Gegeneerde fenotypes van de tafel

## CELLULAR AUTOMATA

De Engelsman Stephen Wolfram toonde aan dat complexiteit het gevolg kan zijn van simpele rekenregels en structuren. Cellular automata zijn gebaseerd op een paar wiskundigeregels die beschrijven of een cel dood of leven kan zijn. Het is een afzonderlijk model dat bestudeerd werd in computer theorieën, wiskunde, theoretische biologie en microstructuur modelleringen. Het bestaat uit een regelmatige grid van cellen waarbij elke cel vol of leeg (0 of 1) kan zijn. Elke cel wordt aan dezelfde regels onderworpen, gebaseerd op de waarden in zijn omgeving. Elke keer dat de regel toegepast wordt verkrijgt men een nieuwe generatie.

Een afgeleid algoritme van het cellular automata is het zogenaamde 'Conway's Game of life'. Dit algoritme is een klassieke toepassing van een artificial life applicatie (A-life). Het bestaat uit een set van simpele regels die toegepast worden op een raster van cellen. Een cel kan niet leven als er meer dan drie of minder dan twee aangrenzende cellen zijn, een nieuwe cel zal tot leven komen wanneer een lege cel omringd is door 3 levende. Deze simpele regels genereren een complex gedrag waarbij het systeem enerzijds kan uitkomen op een stabiele status of een totale uitsterving van alle cellen.<sup>46</sup>



032 - John Conway's game of life



033 - Cellular Automata in een Textile Cone



034 - Architecturale C.A.

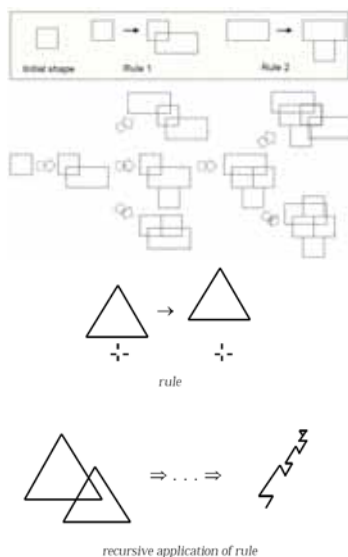
<sup>46</sup> Patronen van sommige zeeschelpen, zoals de Conus en Cymbiola genus, zijn gegeneerd door Cellular Automata. Elke cell scheidt pigmenten af die naargelang de activerende en belemmerende activiteiten van zijn naburige pigmentcellen, onderworpen aan een natuurlijke versie van de wiskundige regel. <http://one-to-many.blogspot.com/2008/10/cellular-automaton.html>

## SHAPE GRAMMAR

Een essentieel deel van dit model is een soort vorm van de generatieve techniek. De geschiedenis van deze generatieve systemen is samengevat door William Mitchell<sup>47</sup> die de lijn verklaart van Aristoteles tot Lull aan de hand van de parodieën van Swift en Borges. Hij traceert het gebruik van generatieve systemen in architecturale ontwerpen – zoals de studie van Leonardo Da Vinci van centraal geplande kerken en de principes van Durand uit *Précis des Leçons d'Architecture* – en introduceert het concept van 'Shape Grammar', of elementaire combinatiesystemen.

Shape grammars zijn voornamelijk bestudeerd in CAAD als nieuwe vormgenerators voor nieuwe ontwerpen. Een shape grammar bestaat uit 'shape rules' die definiëren hoe een bestaande vorm getransformeerd kan worden en een 'generation engine' die ze effectief uitvoert.

Shape grammars bestaan minimaal uit drie shape-regels: een startregel die het generatieproces laat starten, minstens één transformatieregel en een terminatiereg die het proces doet stoppen. Shape grammars worden regelmatig gebruikt bij zowel het historisch architectuuronderzoek – Palladiaanse Villa's en Victoriaanse ramen – als bij het creëren van nieuwe ontwerpen zoals voor Alvaro Siza's Malagueira woningbouwproject door José Pinto Duarte.<sup>48</sup>



035 - Shape Grammar regels

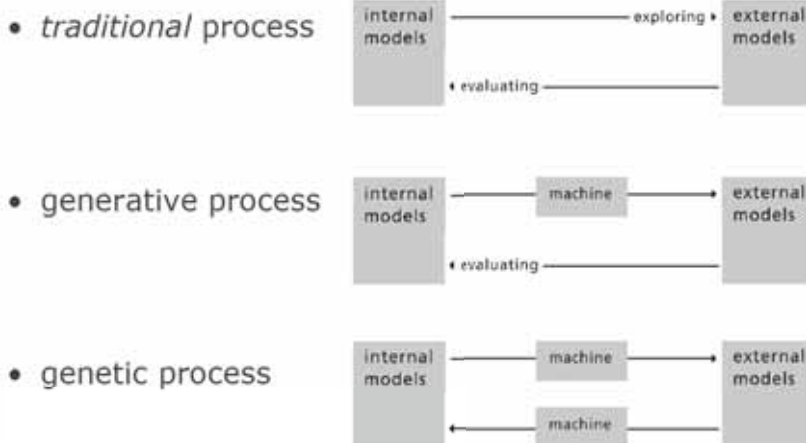


47 W.J. Mitchell, *The Logic of Architecture – Design, Computation, and Cognition*, MIT Press 1990

48 Duarte J P, "Towards the mass customization of housing: the grammar of Siza's houses at Malagueira", MIT, 2005

### 3.3 GENETISCHE PROCESSEN

Parallel aan de wetten die het ontstaan van levende wezens coördineren, het DNA, bestaat er een conceptuele ontwerpmethodede die we genetica noemen. De leer van Darwin toont aan hoe gencross-over en mutaties variaties ontwikkelen op een bepaalde soort en hoe de natuurlijke selectie zijn overlevingskansen bepaald. Dit biologisch concept kan volgens John Frazer in architecturale concepten vertaald worden die tot uiting komen als een reeks van generatieve regels. Hun evolutie en ontwikkeling kan bijgevolg ook digitaal gecodeerd worden net zoals het menselijk genoom gecodeerd wordt door A, C, T en G combinaties. Er ontstaan op deze wijze een groot aantal variaties die elk getest en geëvalueerd kunnen worden in een gesimuleerde omgeving.



037 - Het verschil tussen het traditionele, generatieve en genetische proces

## EEN EVOLUTIONAIRE ARCHITECTUUR

De fundamentele thesis van 'Evolutionary Architecture' van John Frazer is dat het architectuur als een levend, ontwikkelend voorwerp beschouwt. Het is een onderzoek naar een natuurlijk model voor architectuur dat samengaat met een bredere wetenschappelijke zoektocht naar morfogenese in de natuur door fundamentele vormgenererende processen. Het doet een voorstel voor een natuurlijk model als generende kracht voor architecturale vorm als samenhangend geheel. Een samenhangend geheel betekent niet dat er gelijkheid moet zijn, maar eerder samenhang en diversiteit gemengd in elkaar. De rol van de architect is niet zozeer om een gebouw of stad te ontwerpen of te katalyseren, maar eerder om te beschouwen dat ze zichzelf kunnen ontwikkelen.



038 - Een kiemende plant

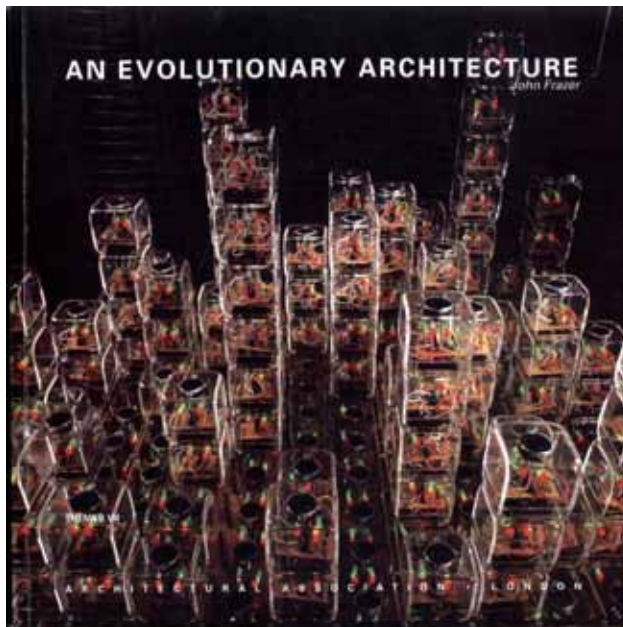
Charles Jencks<sup>49</sup> voorspelde in 1969 reeds dat biologie de grootste metafoer en bron zou worden voor de architecturale bewegingen in de jaren 1990. Vele architecten gebruikten reeds biologische analogieën en het concept van organische architectuur staat dan ook centraal in de twintigste eeuw. Architectuur heeft frequent inspiratie gehaald uit de natuur, voornamelijk van de vormen en structuren en meest recent nu ook van de innerlijke logica van zijn morfologische processen. Architectuur wordt in deze visie letterlijk beschouwd als een deel van de natuur. De blauwdruk van de architect is een specifieke en eenmalige reeks van plannen terwijl in de natuur de 'blauwdruk' een reeks instructies is die afhangen van een zekere contextuele omgeving. Architectuur kan bijgevolg een soort genetische taal verwerven die instructies geeft over hoe het zich moet gedragen in een omgeving. Natuurlijke selectie en andere aspecten van evolutie zoals de tendens van zelforganisatie is even invloedrijk. Natuurlijke processen zoals metabolisme en de wetten van thermodynamica staan centraal in het onderzoek in de algemene principes van morfologie, morfogenese en asymmetrie.

---

49 C. Jencks, *Architecture 2000: Predictions and Methods*, Studio Vista, 1971

Alan Turing, een sleutelfiguur in de ontwikkeling van het concept van de computer (the Turing Machine), was ook geïnteresseerd in de morfologie en de simulatie van morfologische processen door middel van computergebaseerde wiskundige modellen die ook functies uit de natuur konden voortbrengen. Von Neumann creëerde een theorie die zowel de natuurlijke als artificiële biologie zou kunnen omvatten door te starten met de veronderstelling dat informatie de basis is van het leven. Een voorbeeld van deze aanpak van een genetisch model vinden we in het werk van John Holland<sup>50</sup>; 'Adaptation in Natural and Artificial Systems'. Hij zoekt naar gelijkheden tussen problemen van optimalisatie in een complexiteit en onzekerheid en stelt zich de vraag hoe evolutie steeds meer fitte organismen kan produceren in een extreem onstabiele omgeving.

Om een evolutionaire architectuur te bereiken ontwikkelde Frazer 'genetische algoritmes' die de criteria gebaseerd op natuurlijke selectie beschrijven. Met andere woorden hoe de morfologische en metabolische processen zich aanpassen voor interactie van de gebouwde vorm met zijn omgeving. Hierbij wordt de computer niet gebruikt als een hulpmiddel om te ontwerpen, maar wel als een evolutionaire katalysator met een generatieve kracht. Het is natuurlijk een radicale visie, maar als men aanvaardt dat deze vorm van informatie omgeving in de toekomst stijgt in relevantie, dan is het werk van John Frazer zeker een aanrader.



039 - Cover 'An Evolutionary Architecture', John Frazer.

---

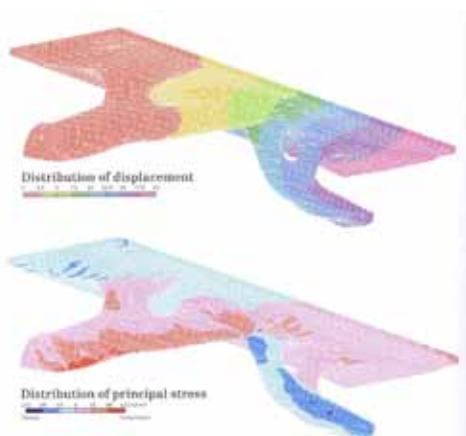
50 J. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, 1975

## GENETISCH ALGORITME

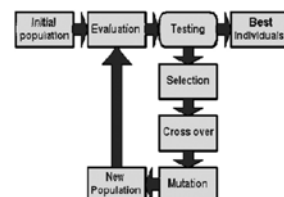
Een genetisch algoritme heeft een selectief retentiemechanisme waardoor vormen die gegenereerd worden door middel van een 'fitness' functie geselecteerd worden om te 'overleven'. Door het versnelde evolutionaire selectieproces kan de computer de optimale oplossingen laten evolueren en evalueren. Deze techniek is zeer bruikbaar voor optimalisatie van constructies die aan een bepaald prestatievermogen moeten voldoen.

Arata Isozaki en Mutsuro Sasaki gebruikte een Extended ESO methode (Extended Evolutionary Structure Optimization method) om het Qatar Education City (QEC) te ontwerpen<sup>51</sup>. Het ontwerp is geïnspireerd op de subtropische Banyan boom die zijn wortels vanuit de lucht naar de grond laat komen om zich te verankeren. Het is gebaseerd op het principe van uniforme druk/trek, een proces dat gecoördineerd wordt door de zelforganiserende capaciteit van levende wezens of planten. De techniek van de Extended ESO maakt gebruik van 'von Mises' spanning<sup>52</sup> als referentiewaarde. In de mechanische optimalisatie van deze structuur evolueert de vorm digitaal zodat een minimum aan materiaal bereikt wordt voor een optimale mechanische vorm die gebaseerd is op de gedefinieerde ontwerpparameters. Deze parameters bevatten zowel beperkingen die door de functie van het gebouw opgelegd worden als ondersteuningspunten en belastingen die kwantitatief beschrijfbaar zijn.

De vraag bij deze evolutionaire architectuur is echter of deze 'fitness' functie mag primeren andere kwaliteiten, welk aandeel heeft de architect nog als alles op deze manier gegenereerd wordt. Een schaakspel kan ook algoritmisch beschreven worden maar dan verliest het echter al zijn intrinsieke waarde, zulke technieken verwijderen de uitdagingen uit het ontwerpproces.



040 - Extended ESO krachtenwerking



041 - Het evolutionair proces

<sup>51</sup> Michael Meredith, From Control to Design, 2007

<sup>52</sup> Geeft aan wanneer een monster plastisch vervormt onder een meerdimensionale aangebrachte spanning.



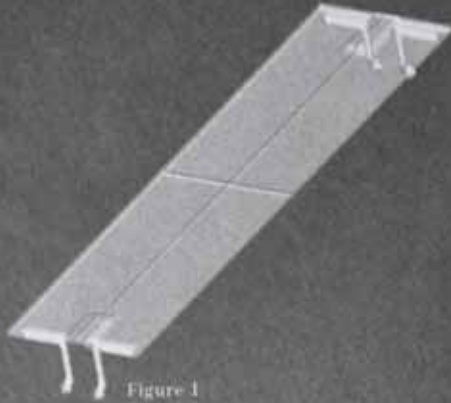


Figure 1

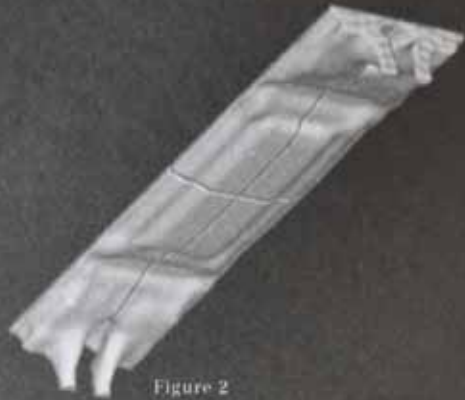


Figure 2

The constraints: the roof must be consistently flat, the lower surface of the central part must be within 12 m of the roof. The roof plate becomes thicker as stress increases.

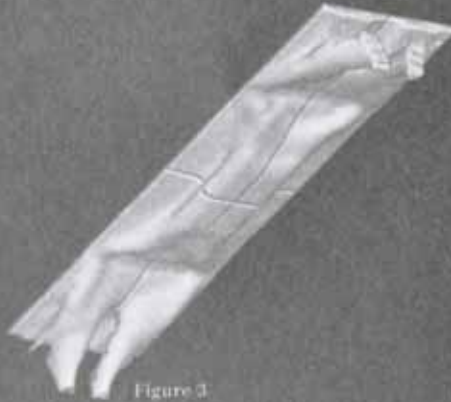


Figure 3

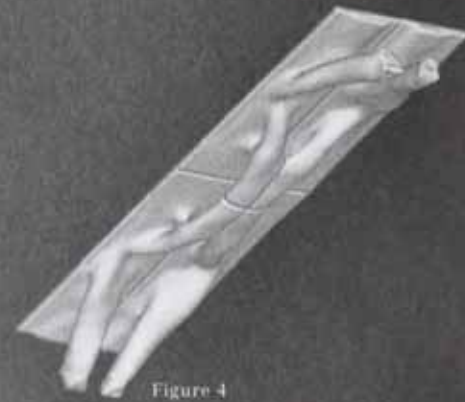


Figure 4

The columns evolve to make an arch-like shape, then mutating into a catenary structure in the centre.

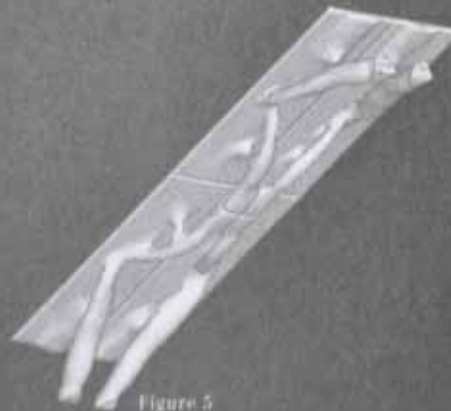


Figure 5

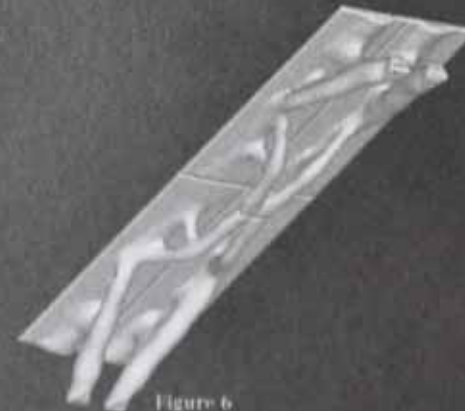


Figure 6

The arch and catenary evolve and fork to support the roof on thinner tubes.



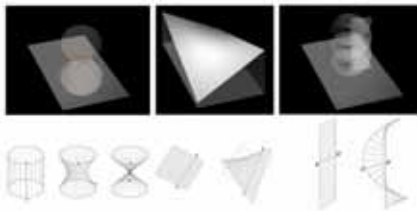
## 4. VOORLOPERS

### 4.1 ANTONIO GAUDI

Een van de meest bekende figuren in de geschiedenis van architectuur is Antonio Gaudi. Het welgekende Sagrada Familia de beroemdste architecturale constructies in Barcelona, wordt elk jaar bezocht door miljoenen mensen. De bouw startte reeds in 1882 waar Gaudi tot in 1926 aan werkte. Het project is volledig gebouwd met geld afkomstig van donaties en het is nog steeds in opbouw.

*“Conceived long before the possibility of electronic computation and still beyond the powers of conventional architectural software, the implementation of this systemic approach to design is a rich source in the quest for meaningful use of computation in design and construction today and tomorrow. It promotes experimental uses of computing in both reverse engineering the design from the original architect’s gypsum plaster models and scant surviving images, and streamlining the communication and construction.”<sup>53</sup>*

In dit werk vinden we enkele parametrische eigenschappen terug die beschreven zijn in een interessante studie door Professor Mark Burry van RMIT, University in Melbourne, Australië<sup>54</sup>. Het werk van Burry is gebaseerd op de verdere constructie van het fameuze project en vergt bijgevolg een doorgronde interpretatie en een ‘reverse engineering’ van Gaudi’s modellen om zijn bedoelingen volledig te kunnen begrijpen. In tegenstelling tot wat men verwachtte van de beroemde free-form stijl van Gaudi, stellen we vast dat zijn geometrie echter zeer regel-gebaseerd is, zeker in zijn latere projecten. Hij claimde dat ‘originaliteit het terugkeren is naar de bron’<sup>55</sup>, en dat is het terugkeren naar natuur. De grote innovatie is wellicht zijn grondige observatie en kennis over natuurlijke groei en vorm. Voor de Sagrada Familia combineerde hij verschillende geometrische vormen zoals hyperboloiden, paraboloiden, kegels en ellipsen, die hij gebruikte voor hun vormelijke, structurele, lichtrijke, akoestische en constructieve kwaliteiten. Hij was ervan overtuigd dat deze vormen het meest perfect waren. Al deze vlakken zijn opgebouwd uit rechte lijnen – ruled surfaces -, wat de constructie een stuk gemakkelijker maakt.



043 - Gaudi's geometrische vormen



044 - Logisch op te bouwen geometrie

53 Burry Marc, Gaudi and CAD, ITcon Vol. 11, 2006

54 <http://www.designexplorer.net/newscreens/cadenarytool/KilianOchsendorfIASS.pdf> <http://www.aecbytes.com/feature/2009/SmartGeometry2009.html>

55 I. Puig-Boada, el pensament de Gaudi (Hoofdartikel La Gaya Ciència, 1981), 98.

Deze structuren zijn allemaal terug te vinden in de natuur zoals bijvoorbeeld de hyperbolische vorm van beenderen, de hyperbolische paraboloiden in het web tussen de takken van bomen, de helix in het DNA molecuul en de celgroei in bomen. Bovendien leidt de combinatie van individuele parameters van elk van deze vormen en de combinatie van deze vlakken tot een rijk vormelijk en structureel palet met veel kwaliteiten. Gaudi ontwikkelde een codex voor rijke organische vormgeneratie, gebaseerd op bepaalde regels, waardoor de vormen gemakkelijk herhaald en gevarieerd konden worden. Op die manier konden zijn ontwerpen de helderheid en nauwkeurigheid garanderen. Hij ontwikkelde daarbovenop nog een systeem van verhoudingen om toe te passen op alle dimensies van elk element van het gebouw. Zijn hangende model dat hij maakte voor het ontwerp van de kerk van Colònia Güell is bekend als een interactieve design tool die de statica als generator van de vorm gebruikt. De structurele efficiëntie die hij hierbij in zijn ontwerpen bracht is ook zichtbaar in de vertakkende kolommen van de Sagrada Família. Buiten het feit dat ze geïnspireerd zijn door de natuur, zijn ze tevens ook parametrisch opgebouwd uit verschillende groeisequenties.

*“As hangs the flexible line, so but inverted will stand the rigid arch.”<sup>56</sup>*



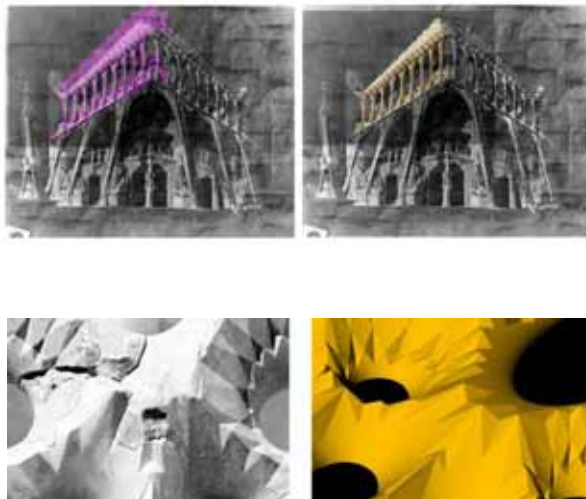
045 - Omgekeerd krachtenmodel van Sagrada Família, Antonio Gaudí

---

56 Heyman 1998, vertaalde Robert Hooke's theorie uit het Latijn, 1675

Het team van Burry gebruikt parametrische ontwerp en modelleertechnieken om al deze onderliggende geometrische principes en regels terug te vinden. Parametrische tools zijn ook van groot belang in het constructieproces. Steen is bijvoorbeeld het belangrijkste materiaal in het project waarbij de 'steenhouwer' vandaag gebruik maakt van parametrische CAM technologieën om de vormen optimaal uit de stenen blokken te kunnen snijden.

Burry bracht het belang van de samenwerking van alle partijen aan het licht. Zowel architecten als ingenieurs vormen een integraal deel van het design team. Het analyserend werk betreft ook informatici en wiskundigen en het constructieproces doet beroep op de samenwerking tussen de aannemers vanaf het begin. De beschikbaarheid van 3D printen en andere rapid-prototyping technologieën laten het toe om meer tastbare modellen te creëren en te onderzoeken. Alle details, inclusief de wapeningen, worden gemodelleerd op de computer. Maar er is echter een aspect van deze technologie die nog steeds problematisch is, het is namelijk nog niet evident om 3D modellen te delen over het gehele team. Aangezien het project zo complex is werd dit wel een noodzaak, maar het is nog niet toegepast omdat er een gebrek was aan oplossingen over hoe deze modellen gedeeld kunnen worden.

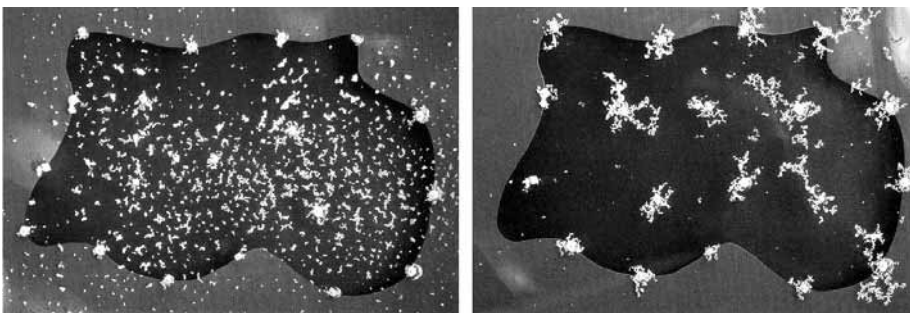


046 - Parametrische reconstructies van Sagrada Familia

## 4.2 FREI OTTO

Een andere grote voorloper is Frei Otto met zijn onderzoek naar 'form finding' systemen die vooral gericht zijn op structurele prestaties<sup>57</sup>. Frei Otto onderzocht natuurlijke structuren zoals nederzettingspatronen die vandaag perfect te beschrijven zijn met generatieve algoritmes. Hij begon hierbij met het onderscheiden van het bezetten en verbinden<sup>58</sup>, twee fundamentele processen die zich voordoen in urbanisatie.

Zijn analyse van bestaande patronen verliep simultaan met de analoge experimenten waarin hij cruciale kenmerken van het nederzettingsproces modelleerde. Hij maakte onder andere een onderscheid tussen het 'scheiden' en het 'aantrekken'. Voor het scheiden gebruikte hij magnetische naalden drijvend op water en voor aantrekking gebruikte hij polystyreen schijfjes. In een meer complex model combineerde hij deze twee waardoor de schijfjes clusterden rond de drijvende magnetische naalden die de afstand ertussen behouden. Dit resulteerde in een sterk gelijkende typisch nederzettingspatroon zoals we ze vinden in onze echte stedelijke landschappen. De theorie over complexiteit in het algemeen en voornamelijk het onderzoek van Frei Otto heeft ons geleerd om complexe patronen die opduiken in processen van zelf-organisatie te herkennen, te meten en te simuleren. De stedelijke patronen die resulteren uit het ongeplande proces van nederzettingsproces kan nu geanalyseerd worden in functie van de verborgen regelmatigheid en het gerelateerde performatieve potentieel. Waar Frei Otto deze modellen analoog modelleerde met fysieke modellen kan dit vandaag gesimuleerd worden door het proces te beschrijven met algoritmes.



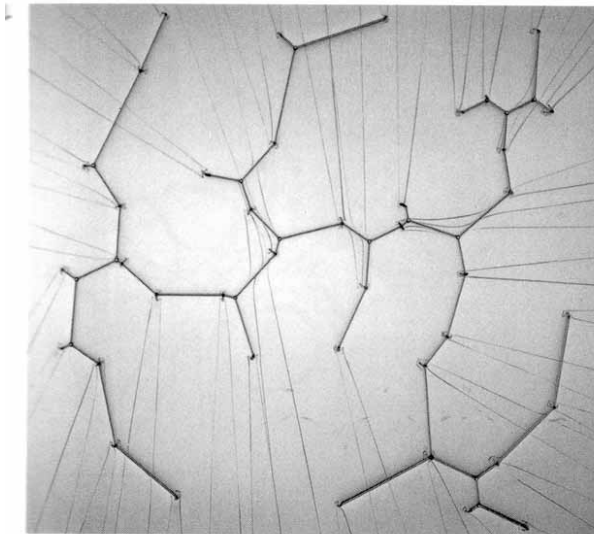
047 - Simulatie van een zelforganisatie, Frei Otto

57 Finding Form. Towards an Architecture of the Minimal. Frei Otto, Bodo Rasch. 3rd ed. 2001.

58 Frei Otto, Occupying and Connecting – Thoughts on Territories and Spheres of Influence with Particular Reference to Human Settlement, Edition Axel Menges, Stuttgart/London 2009, p.45

Een analoog model tracht het systeem te achterhalen van de kortste weg als verbinding tussen een reeks gegeven punten, waardoor de afstand geminimaliseerd wordt. Elk punt is bereikbaar maar er is een aanzienlijke omweg tussen enkele eindpunten omdat het een vertakkingsstelsel is zonder enige overbodige connectie. Met de implementatie van de computer kunnen we het 'Prim's algoritme' definiëren om de 'minimaal opspannende boom' tussen punten te berekenen.

De modellen van Frei Otto brengen een groot aantal verschillende componenten in een gelijktijdig organiserend krachtenveld. Als zulke associatieve gevoeligheid het systeem kan beïnvloeden, dan kunnen we spreken over relationele velden. Deze bestaan uit interactieve sub-lagen, bijvoorbeeld de correlatie tussen patronen van bezetting met de patronen van verbinding. Het groeiproces van de ongeplande nederzettingen oscilleert continu tussen twee momenten omdat punten van bezetting paden produceren, en paden op hun beurt bezetting aantrekken.



048 - Optimaal vertakkingsstelsel, Frei Otto

## 5. HET TWEELUIK VAN PARAMETERS IN ARCHITECTUUR

Het hele parametrische paradigma heeft echter twee verschillende facetten. Er kan een duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen het parametrisch ontwerpen als proces en het parametrisch modelleren in functie van databeheer en analyse. Parametrisch 'ontwerpen' is dus helemaal niet hetzelfde als parametrisch 'modelleren' maar kan op bepaalde vlakken echter wel overlappen.

Terwijl het parametrisch ontwerpen nog voor een groot stuk ingeburgerd moet worden vinden we het gebruik van parametrisch modelleren in bijna elke dagelijkse architectuurpraktijk al veelvuldig terug. In grote projecten bijvoorbeeld worden ingewikkelde vakwerken en spanten geprogrammeerd zodat zij automatisch veranderen als de variabele parameters wijzigen. Deze manier van modelleren houdt in dat men een goed omschreven parameterbeschrijving nodig heeft die vanaf het begin reeds rekening houdt met de toepassing van deze technieken in de latere fase. Het ontwerp moet 'geprogrammeerd' worden zodat het volstaat bij een wijziging om slechts enkele parameters te veranderen.

### 5.1 PARAMETRISCH MODELLEREN

Het parametrisch 'modelleren' daarentegen begint al op het moment dat de eerste lijn getekend wordt in een softwarepakket. Hiervoor dienen 2 parameters (coördinaten) ingegeven te worden in het cartesiaans assenstelsel waarbij een algoritme (script) een lijn tekent tussen deze twee punten. Algoritmes zitten standaard ingebouwd in softwarepakketten en beschrijven hoe cirkels, rechthoeken, driehoeken, veelhoeken en andere geometrische figuren moeten getekend worden aan de hand van door de gebruiker ingegeven parameters.. Building Information Modelling (BIM) – een 'top-down' techniek – brengt dit principe tot een zeer complex en overzichtelijk niveau, en zorgt ervoor dat een vooraf bepaald ontwerp gemodelleerd en vooral gecontroleerd kan worden in een parametrische werkomgeving. Dit betekent dat het 3D model wordt geconstrueerd met de nodige parametrische relaties zodoende dat achteraf aanpassingen op een zeer eenvoudige manier kunnen doorgevoerd worden met een weerslag op heel het ontwerp. Daar waar men vroeger plan per plan opnieuw handmatig moest tekenen kan men nu in een mum van tijd dergelijke problemen omzeilen en meer controle bemachtigen over het ontwerp.

Dit model kan gebruikt worden door alle partijen, de architect maakt het ontwerp, de ingenieur de draagconstructie, de aannemer kostprijsanalyses, en de klant krijgt het een gevisualiseerde vorm. Een nauwkeurige samenwerking tussen de architect en de verschillende partijen creëert bijgevolg een andere kijk op aansprakelijkheid, waardoor de ideeën die vroeger onmogelijk leken te zijn vanuit hun gescheidenheid, nu werkelijkheid kunnen worden. Rechtstreekse fabricatie van bouwelementen, RFID

tags op alle bouwelementen, een gekoppelde raming en meetstaat, simulatie van specifieke constructiewijzen, logistiek op de werf, bouwfysische analyses, integratie van technische installaties, enz. zijn allemaal voordelen die hieruit voortkomen. Deze vorm van samenwerking biedt een rijk aanbod aan services, analyses, berekeningen en simulaties die onafhankelijk zijn van een enkele softwareoplossing. Wanneer de communicatie in de toekomst op een digitale manier gebeurt, in de vorm van een parametrisch BIM-model bijvoorbeeld, dan betekent dit dat onze papierenrompslomp voor een groot stuk geminimaliseerd wordt en een rechtstreeks gevolg hiervan is een stijgende efficiëntie van het bouwproces met tal van voordelen zowel op het vlak van ontwerpen als het verwerken.

## **5.2 PARAMETRISCH ONTWERPEN ALS METHODE**

Het parametrische ontwerpen vergt een totaal andere werkwijze om een model tot stand te brengen – ‘bottom-up’ techniek – en het impliceert op voorhand een goed doordachte kijk op het ontwerp en zijn variabele parameters. Met wiskundige modellen en software kunnen specifieke vormen beschreven en geconstrueerd worden, we spreken dan over generatieve procedures die beperkt worden door verschillende parameters. Door het gebruik van een parametrisch algoritme wordt een (deel)ontwerp beschreven met een aantal regels in de vorm van scripts. Er ontstaat op deze wijze een interactief parametrisch systeem waarmee men een ontwerpproces of concept uitwerkt. Een goede kennis in het programmeren was tot voor kort noodzakelijk voor deze techniek toe te passen, maar dit is stilaan aan het veranderen. Zo is het softwarepakket Rhinoceros (McNeel) komen opdagen met de plug-in genaamd Grasshopper. Deze plug-in biedt een overzichtelijke werkomgeving waarbij een minimale kennis van script vereist is om een generatief algoritme op te bouwen. Zo kunnen architecten op een overzichtelijke manier nieuwe ontwerpmethodes, strategieën en ‘programma’s ontwikkelen. Een andere bekende speler is Generative Components van Bentley, zij zijn al zover dat het BIM-model in grote mate gekoppeld kan worden aan het generatief ontwerpproces. Wanneer deze techniek consequent zal toegepast worden van conceptuele fase tot de uitvoering zal dit grote veranderingen met zich meebrengen in de bouwindustrie. Hierbij zal ook de rol van de architect opnieuw wijzigen en voor het eerst in de geschiedenis gaan architecten niet enkel een specifieke vorm ontwerpen, maar wel een reeks principes vastleggen in sequentiële regels waarbij het ontwerp of een onderdeel ervan gegenereerd of gewijzigd kan worden naargelang de gewenste prestaties van het gebouw. Het parametrisch ontwerpen wordt nu grondig verkend en neigt naar een oneindig aantal nieuwe mogelijkheden en een nieuwe relatie met biologische concepten.





**DEEL 4/**  
PARAMETRISCH  
MODELLEREN;  
ARCHITECTURALE ANALYSE &  
INFORMATIE



## 1. VAN ANALOOG NAAR DIGITAAL

*“I started making shapes that were hard to draw. That led us to the computer and to Catia software which made me realize the possibilities and the level and degree of accuracy you could create in your documents and your relationships because of the software.”<sup>59</sup>*

Een digitale manier van werken werd voor het eerst grootschalig toegepast door de architect Frank Gehry. Na het Philipspaviljoen van Le Corbusier op de expo 58' in Brussel was hij de opvolger die deze complexe architectuur opnieuw inleidde. Zijn bureau nam op een radicale manier afstand van de praktijk zoals ze gekend was. Gehry stond bekend met zijn extravagante ideeën, maar het was moeilijk om deze op een elegante en efficiënte manier te realiseren. Hij bedacht een techniek waarbij hij ontwerpideeën vertaalde in de vorm van fysieke modellen in klei, papier, karton of een ander materiaal en deze vervolgens liet digitaliseren. De methode van Gehry was uniek en bijgevolg is zijn architectuur zeer herkenbaar.

Op het kantoor van Gehry bedacht men de integratie van een CAD/CAM technologie die door middel van een 3D scanner de maquette in een 3D point-cloud<sup>60</sup> overzet naar de computer. Vervolgens wordt het model digitaal verder gedetailleerd in CATIA<sup>61</sup>. Het model – weliswaar voor aanpassing vatbaar – wordt beschouwd als het digitale replica van het project en vormt de basis voor een verdere structurele uitwerking door ingenieurs. Het ontwerpen gebeurt echter nog steeds analoog, dit betekent dat men tastbare modellen gebruikt waarbij men achteraf pas beroep doet op de parametrische technieken om het project te scannen, te analyseren en bij te sturen in CATIA. Bekende projecten die hij zo geconcipeerd heeft zijn onder andere het Experience Music Project in Seattle en de Walt Disney Concert Hall in Los Angeles.

---

59 Frank Gehry

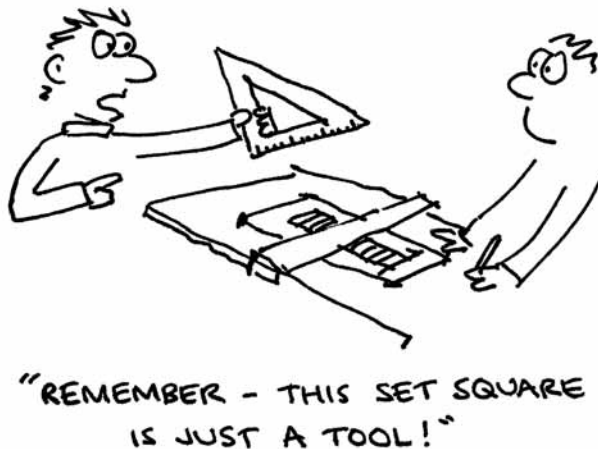
60 Thom Yorke van Radiohead maakte een point-cloud musicvideo van het nummer House of Cards met een driedimensionale scenes

61 CATIA staat voor Computer Aided Three-dimensional Interactive Application. Het is ontstaan in vroege jaren 80' voor de Dassault's Mirage fighter jets te maken en is dan overgenomen in de ruimtevaart, automobiel, scheepvaart en andere industrieën.

## 1.1 PARAMETRISCH MODELLEREN (PARAMETRIC ENABLED)

Parametrische software was oorspronkelijk ontwikkeld in de automobiel- en luchtvaartsector. Het eerste architectuurgericht pakket dat op de markt kwam was Digital Project (DP) in 2002, ontwikkeld door Gehry Technologies, het softwarebedrijf dat Gehry oprichte in 1992. Autodesk en Bentley volgde al snel en konden hun eigen parametrische producten zoals Revit Architecture (2002) en Generative Components (GC) succesvol marketen. Alle fabrikanten en leveranciers van deze drie softwarepakketten vertelden dat deze parametrische middelen de architecturale praktijk zou transformeren en bijgevolg ontwerpen zouden revolutioneren.

De computer is in dit geval meer dan alleen maar een tool. De mogelijkheid om een grote hoeveelheid complexe data snel te verwerken en de manier waarop de software informatie voorstelt aan de gebruikers kan subtiele invloeden hebben op belangrijke ontwerpbeslissingen. De interactie tussen de gebruiker en software verbetert continu waarbij de interface een medium is dat het ontwerpconcept kan beïnvloeden wanneer het de software passeert.

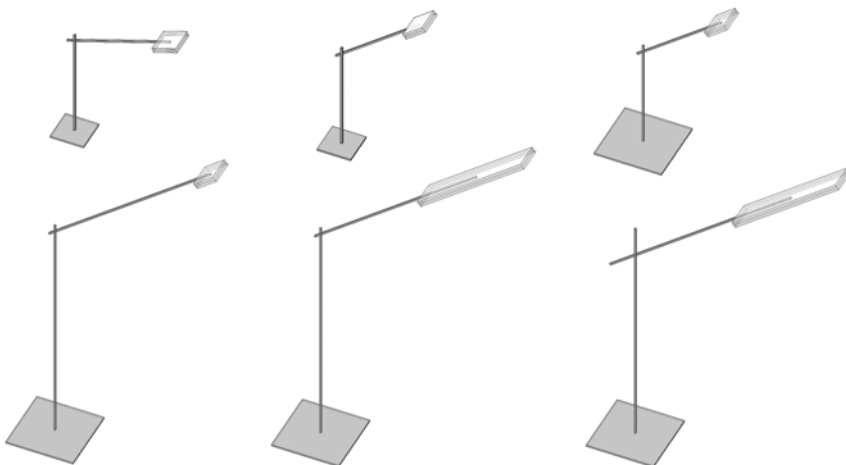
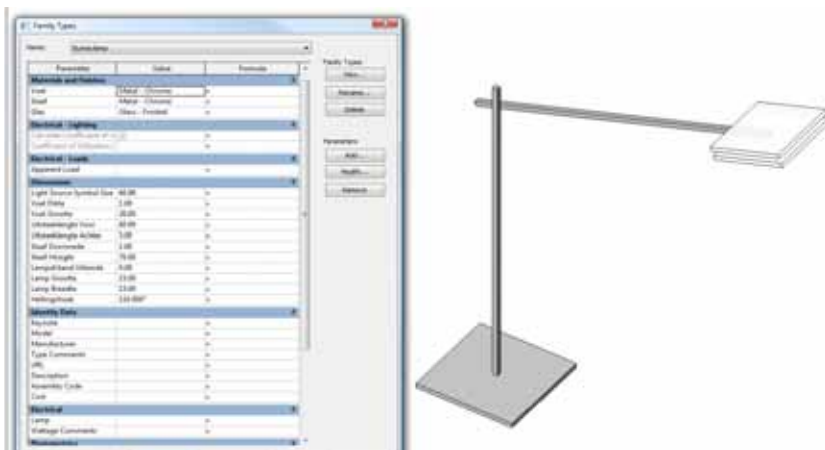
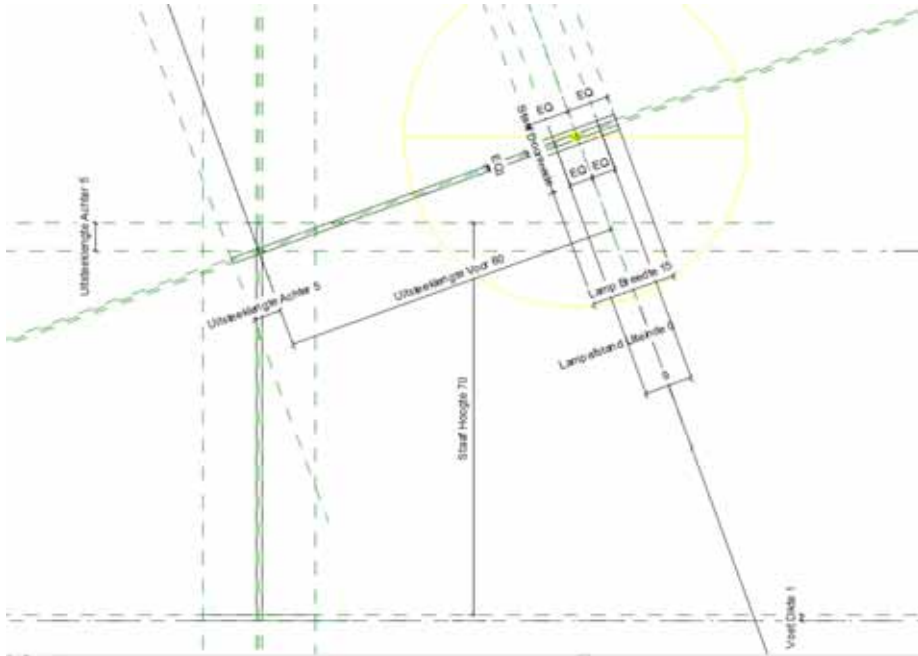


049

## 1.2 VAN EXPLICIETE NAAR IMPLICIETE GEOMETRIE

Architecten zijn experts in het modelleren van gebouwen, ze moeten dit tenslotte gebruiken om hun ideeën en concepten te kunnen communiceren. Het gewone building model bestaat meestal uit grondplannen, gevels, doorsneden, renderings, fysieke schaalmodellen tot virtuele representaties op de computer. Deze documenten worden bekomen aan de hand van het gewone building model dat expliciet is. Dit wil zeggen dat elk onderdeel van het model goed gedefinieerd en beschreven is, zonder enige relatie met andere componenten van het model. Het laat ons expliciet toe om informatie op te vragen over eender welk punt en deze data kan gebruikt worden om verschillende plannen, maquettes tot het uiteindelijke gebouw te creëren. Het ontwerpproces loopt ongeveer gelijk met het maken van het building-model, het wordt geanalyseerd, getest en gewijzigd.

Parametrisch modelleren is hierin echter radicaal verschillend, vele aspecten zijn afhankelijk van verschillende relaties tussen elementen van het model. Het is gedefinieerd door regels en beperkingen waarvan het wijzigen ervan altijd een weerslag heeft op het totale model. Hier kunnen we dus spreken over een impliciete geometrie met expliciete regels. De geometrie is met andere woorden afhankelijk van de regels en parameters die deze beschrijven. CAD software kan op deze manier tijd besparen, snelle ontwerpupdates en analyses toelaten en mooie visualisaties produceren. Maar op het begin van het ontwerpproces, voordat de ontwerpbeslissingen vast staan, kan CAD een grote invloed hebben op de ontwerp kwaliteit, zowel in positieve als negatieve zin.



050 - Parametrische opstelling van een lamp in Revit Architecture

### 1.3 EEN PARAMETRISCHE LAMP (REVIT FAMILY)

Het modelleren van een parametrische lamp in Revit Architecture is een goed voorbeeld om werking van parametrische geometrie te verduidelijken. In het volgende voorbeeld wordt er een lamp gemodelleerd als een Revit family-type.

Revit geeft ons de mogelijkheid om verschillende type- of instance-parameters aan te maken. Een type-parameter verandert alle lampen die in het model aanwezig zijn, terwijl een instance-parameter dit niet doet en enkel lokaal werkt.

Vooraleer parameters gemaakt worden moeten er eerst 5 solids vormgegeven worden die een lamp beschrijven; namelijk een voet, een verticale as, een uitstekende as en twee glazen platen waartussen een lichtbron geplaatst wordt. Om dit parametrisch op te bouwen worden er vervolgens 'reference planes' gemaakt waar de solids aan gelinkt zullen worden.

Tussen twee reference planes wordt een dimensie toegekend die vervolgens samen met een solid vastgezet wordt aan de referentievlakken. Daarna wordt van die dimensie een instance-parameter gemaakt en voegen we die toe in de parameter-tabel. Wanneer deze parameter nu verandert zullen de referentielijnen alsook de solids meekomen en zal de vorm er anders uitzien.

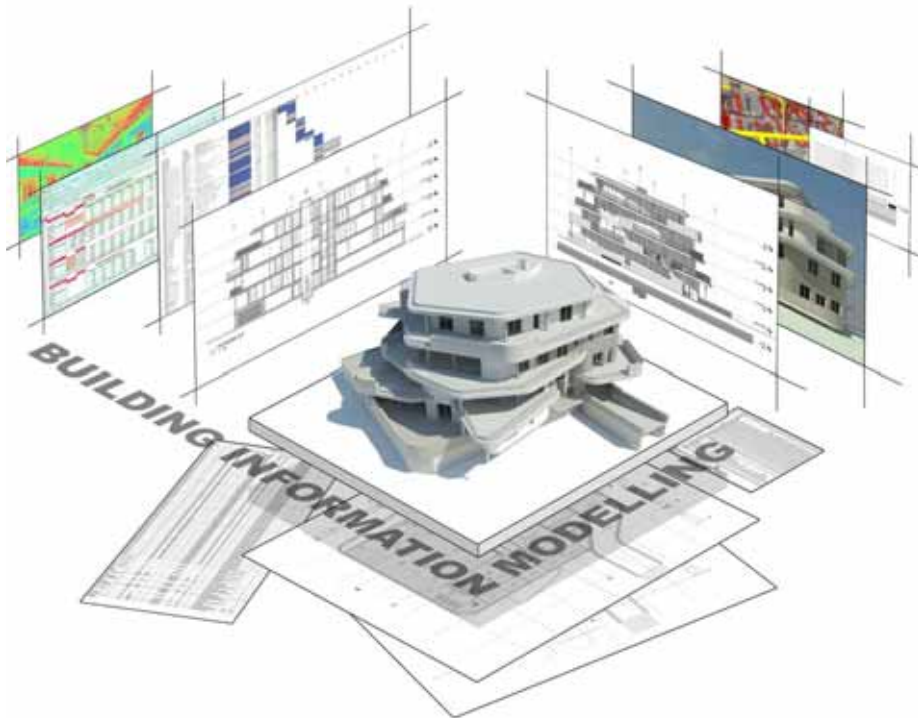
Op deze manier kan heel het model opgebouwd worden, er is in dit voorbeeld ook een hoekparameter gegeven om de lamp hoger of lager te draaien. Sommige parameters zijn echter ook hiërarchisch opgebouwd, zo moet de voet bijvoorbeeld altijd op de grond blijven staan en de geometrie van de 2 glazen platen altijd op het uiteinde van de staaf.

De lamp bestaat ook uit materialen die toegekend moeten worden. De voet en de twee staven zijn van aluminium bijvoorbeeld en de lamp zelf wordt omgeven door twee glazen vlakken. We definiëren deze parameters en geven de eigenschappen aan van het glas en aluminium.

Wanneer het model klaar is kunnen er verschillende basistypes gemaakt worden onder bijvoorbeeld 'staanlamp', 'leeslamp' en 'bureaulamp'. Het zijn variaties van een parametrische familie, fenotypes gebaseerd op een genotype.

## 2. BIM (BUILDING INFORMATION MODELLING)

Zoals reeds beschreven in deel 1 werd de manier waarop informatie over een gebouw ontstaat een documentgebaseerd proces. Tekeningen en teksten waren de enige middelen die de informatieoverdracht van een gebouw bewerkstelligden. Ontwikkelingen in de informatietechnologie hebben deze werkwijze echter grondig veranderd.



051 - Building Information Modelling (BIM) met alle mogelijke facetten

### 2.1 VAN DOCUMENTGEBASEERD NAAR MODELGEBASEERD

CAD pakketten worden overal onmiskenbaar gebruikt in de huidige architectuurpraktijk. Ze zijn in staat om 2D tekeningen en plannen nauwkeurig te produceren maar er is echter een grote kans op een foute inschatting bij de herinterpretatie ervan. Alle partijen zullen erover moeten waken dat alle documenten dezelfde realiteit blijven beschrijven doorheen het ontwerp- en bouwproces. De consistentie die behouden moet blijven tussen de verschillende plannen is een handmatig en tijdrovende bezigheid die zeer moeilijk te automatiseren valt. Heel wat potentieel blijft echter onbenut binnen de gebruikelijke informatiesystemen en architecten(bureaus) zijn niet altijd bereid om te investeren in een drastische wijziging van hun traditionele werkwijze. Dit vergt tijd en inspanning wat niet altijd evident is in het drukke architectuurberoep.



Een deur is een simpel object dat snel getekend is in een lijntekening en ook goed gevisualiseerd kan worden naar de bouwheer toe. Maar er zit echter meer achter de functie van een deur. Een gebouw is vandaag namelijk onderworpen aan heel wat regelgevingen. Een deur moet daarom de stabiliteit behouden van de muur waar hij een gat in maakt, hij verleent toegang tot bewoners, publiek, brandweer, andersvaliden, hij is onderworpen aan akoestische, brandveilige en ventilatie normen en ten slotte heeft deze deur zekere afmetingen en een economische waarde. Al deze parameters kunnen gekoppeld worden aan het object 'deur'.

Het Building Information Modeling biedt de oplossing voor een parametrisatie van deze gegevens. De relevante informatie gedurende het hele bouwproces wordt opgeslagen, gebruikt en beheerd in een digitaal 3D model. Het is de bedoeling dat elke partij die betrokken is in het bouwproces kan werken met dezelfde informatie in hetzelfde project. Oorspronkelijk werd er gesproken over PEN, (Parametric ENabled), een soort voorloper van het huidige BIM model. Maar het acroniem volstond niet om het hele proces te beschrijven en is dus intussen vervaagd. Het 'National Building Information Model Standard Project Committee' beschrijft de huidige definitie van BIM als volgt:

*"Building Information Modeling is digital representation of physical and functional characteristics of a facility creating a shared knowledge resource for information about it forming a reliable basis for decisions during its life cycle, from earliest conception to demolition."*<sup>62</sup>

In het BIM model streeft men naar een centraal en uniek driedimensionaal model waar alle gegevens over het bouwproject worden verzameld. Alle componenten worden voorgesteld als zelfstandige objecten met hun driedimensionale basisgeometrie waarbij een metadata hoort die alle mogelijke informatie beschrijft die aan dat object toebehoort. Deze elementen zijn echter gekoppeld en onderling gerelateerd aan andere aangrenzende componenten. Het BIM model is volledig parametrisch opgebouwd waardoor de uitwisseling van data een nieuwe praktijk wordt.

---

62 <http://www.debimspecialist.nl>

## 2.2 PARAMETRISCH MODEL

In dit objectgeoriënteerd en parametrisch model wordt een deur beschouwd als een element dat alle generieke eigenschappen verzamelt en in verband brengt met elkaar. Parameters zoals hoogte, breedte en draaizin zijn dynamisch en kunnen op elk moment aangepast worden. Bovendien kan het object informatief verrijkt worden door allerlei gegevens en andere attributen. Zo kunnen kleuren, texturen, brandweerstand, transparantie, luchtdichtheid en ook kostprijs bepaald worden. Wanneer hierbij de isolatie dikker ingesteld wordt, dan worden alle instanties van het object over heel het model aangepast.

Het model wordt hiërarchisch opgebouwd aan de hand van een boomstructuur. Zo kan een deur enkel in een muur geplaatst worden en een klink enkel in een deur, deze kunnen niet op zich bestaan waardoor ze automatisch en gedwongen verbanden moeten leggen met de bestaande geometrie.

Uit al deze informatie die in het BIM model aanwezig is kunnen bijgevolg materiaalhoeveelheden gemakkelijk bijgehouden worden in real-time tabellen. Zelfs als een parameter toegevoegd wordt die de kostprijs per object beschrijft kan men zo een eerste snelle raming doen.

Een centraal en driedimensionaal BIM model biedt vele voordelen. Naast driedimensionale visualisaties uit alle mogelijke standpunten en schaduwstudies, kan het model ook dienen voor het automatisch genereren van plandocumenten, plattegronden, doorsneden en gevelaanzichten, en dit in een mum van tijd met een volledige consistentie tussen de plannen. Wordt er een muur verplaatst, dan zal deze ook op elk plan verschoven zijn. Meestal wordt er gemakshalve in 2D gemodelleerd omdat dit automatisch de 3D weergave correct implementeert.

Tegenwoordig wordt van een gebouw verwacht dat het beter presteert op vlak van toegankelijkheid (Universal Design), brandveiligheid, energie, akoestiek, ... Door het gebruik van Building Information modeling kan men reeds in een vroege fase bepaalde ingrepen doen. Daar waar het meestal duur is om experts achteraf nog studies en aanbevelingen te laten doen kan het BIM model in dit proces ook complexere berekeningen maken omdat er meer informatie beschikbaar is in het model. Het model kan zelfs gecontroleerd worden op het vlak van constructieve mogelijkheid en conflicten tussen de draagstructuur en technische uitrusting kunnen direct getraceerd worden. Oppervlaktes en volumes zijn parametrisch af te leiden en meetstaten zijn automatiseerbaar. Het flexibele karakter maakt dat aanpassingen doorheen het ontwerpproces overal consistent doorgevoerd worden. Omdat alle informatie op één plaats samenkomt wordt het uitwisselen tussen de betrokkenen ook een stuk gemakkelijker.

### **2.3 INTEROPERABILITEIT**

De vraag is hoe we deze informatie nu kunnen delen met andere partijen en software. Hiervoor maakt men gebruik van open standaarden. De interoperabiliteit tussen verschillende systemen wordt verkregen door de bekende standaard 'Industry Foundation Classes' (IFC). Deze is specifiek voor de bouwsector ontwikkeld door de International Alliance for Interoperability. Een IFC bestand bevat alle geometrische eigenschappen en onderlinge relaties in een boomstructuur van de verscheidene componenten. Zowel Autodesk, Bentley, GraphiSoft, ... ondersteunen het importeren en exporteren van IFC bestanden. Er worden dan ook veel inspanningen gedaan om dit bestandsformaat als standaard gebruikelijk te maken.

Het IFC bestand is ook van essentieel belang in het ontwerpproces waarbij het project voortdurend rondgaat in het architectenbureau. Verschillende softwarepakketten worden namelijk losgelaten op een project om verschillende taken te vervullen. Er bestaan uiteraard ook andere bestandsformaten zoals .3DS, .DXF, .SAT die door de meeste software wel ingeladen kan worden. Een bijkomende moeilijkheid is het feit dat architecten deze informatie niet zomaar willen vrijgeven. Alle gegevens met andere partijen delen is en blijft daarom nog steeds een moeilijk hekelpunt.

### **2.4 ONDERZOEK**

De Universiteit Gent voert onderzoek naar een automatische E-peil berekening met behulp van het BIM model onder promoterschap van Ronald Demeyer en Jan Van Campenhout. Het doel is om de ontwerper een feedback te laten krijgen over hoe zijn project presteert op vlak van EPB regelgeving. De vereiste dimensies van energiesectoren, aangrenzende constructies en eventuele openingen worden beschreven door algoritmes. Als men de gebruikte materialen vervolgens toekent kunnen warmteverliezen berekend worden. Bovendien moeten ook de gebruikte verwarmingsinstallatie, ventilatiesysteem en warmwater productie ingegeven worden om uiteindelijk tot het E-peil te komen. Deze feature zal het tijdsverlies van EPB berekeningen minimaliseren en het toelaten om meer alternatieven uit te testen op een snelle en efficiënte manier.

### 3. PERFORMATIEVE ARCHITECTUUR

Het belang van codes en parameters als digitaal middel vergroot de mogelijkheid van modellersystemen en de mogelijkheid om structuren te creëren. De computer wordt hierdoor een krachtig potentieel instrument om innovatieve architecturale omgevingen te produceren. Deze digitale technieken kunnen een oplossing bieden voor het toenemend belang voor duurzaamheid, ecologie, efficiëntie en de optimalisering van context, structuur en de economische aspecten van het bouwen. Er worden efficiëntere gebouwen ontworpen die beschreven worden door een performatieve logica, in de vorm van een script. De logica van het script legt de nadruk meer op het proces dan op de representatie. Met andere woorden, performance is belangrijker geworden dan appearance. Dit wil zeggen dat de 'prestaties' van een gebouw de uitgangspunten worden voor het ontwerp. Nieuwe parametrische informatietechnologieën worden gebruikt om prestatiegerichte simulaties af te leveren die een nieuwe benadering vormen naar het ontwerp toe.

Het nieuwe paradigma van prestatiegericht onderzoek gaat van financiële, ruimtelijke, sociale en culturele tot puur technische aspecten. Zo wordt bijvoorbeeld de kostprijs voor de bouwheer geminimaliseerd, de structuur zo licht mogelijk gemaakt, de thermische isolatie, EPB en akoestiek zo efficiënt mogelijk, etc.

### **3.1 PROBLEM-SOLVING FOSTER & PARTNERS**

In hedendaagse constructie industrieën wordt parametrische software vaak gebruikt in rationalisatie of post-rationalisatie processen waarbij het project moet beantwoorden aan specifieke problemen om de gewenste vorm te verwezenlijken. In dit geval wordt het potentieel van digitale tools gebruikt voor de hoge nauwkeurigheidsgraad en de snelheid om eenvoudige oplossingen te genereren. Parametrisch modelleren is gedreven door de noodzaak aan rationele ingenieursoplossingen om structurele, geometrische en fabricatie problemen op te lossen. In dit geval is het ontwerpproces echter gescheiden geworden door het voordeel van een reeks pragmatische strategieën. De paradigmatische innovatie van parametrisatie vindt zijn oorsprong van zijn modus operandi: het intrinsieke herstellingsvermogen.

### **3.2 SPECIALIST MODELLING GROUP (SMG)**

Xavier De Kestelier is lid van de Specialist Modelling Group, een interne adviesdienst van Foster and Partners waar hij de mogelijkheden van CAD-software onderzoekt. Hij analyseert voornamelijk parametrische software voor het verwerken van complexe geometrie. Scripting, analytische software en customisation zijn volgens hem cruciaal voor een architecturaal modelleerprogramma.

CAD-software kan volgens hem beschouwd worden als een systeem met een geheugen kleiner als een goudvis, zodra men iets doet vergeet het ogenblikkelijk wat er gedaan is. De echte kracht ligt volgens hem in scripting, voornamelijk bij repetitie. Het uitwerken van een spaceframe-model van een dak van een luchthaven met 106.000 stangen en 32.000 knooppunten gebeurt best met behulp van een parametrisch modelleerprogramma. Er wordt eerst een model gemaakt van het raster en van de boven- en ondervlakken van het dak. Vervolgens werd er een script gebruikt om de 32.000 knooppunten van het raster op deze oppervlakken te projecteren. Deze punten definiëren de knooppunten van het spaceframe die vervolgens verbonden worden door het script. De lijnen werden uiteindelijk omgezet naar effectieve stangen met correcte profielen en afmetingen.

Scripting in een CAD-omgeving is één van de krachtigste tools op de markt. Het enige probleem is dat de gebruiker de kennis moet hebben om een script te kunnen schrijven. Het kan echter veeleisend zijn, zeker voor architecten die normaliter visueel en grafisch denken. Bij het maken van een script moet men nadenken over de basisbeginselen van een ontwerp waardoor het ontwerp uiteindelijk geanalyseerd wordt tot op de kleinste details. Op deze manier kan scripting een wezenlijk en essentieel onderdeel worden van het ontwerpproces.

*“Ik vind het van doorslaggevend belang dat de tools tijdens de architectuuropleiding worden aangeleerd. We leren ontwerpen via schetsen en tekeningen. Het gebruik van een CAD-programma wordt nog altijd als een technische vaardigheid beschouwd. Studenten leren enkel hoe ze hun ontwerp kunnen voorstellen door lijntekeningen en afbeeldingen, veel minder leren ze hoe ze digitale media als ontwerpinstrument kunnen gebruiken.”<sup>63</sup>*

De problem-solving benadering om complexe geometrie te verwerken laat computers elk aspect van het gebouw modelleren, van de fysica tot zijn esthetica. Men kan ook de wind simuleren rondom het gebouw en het gedrag van geluidsgolven in het interieur. Grafische programma's kunnen verschillende wiskundige vlakken genereren en met panelen van verschillende texturen bekladden.

Parametrische modellen laten het toe om met functies van een gebouw te spelen, zonder dat ze allemaal opnieuw berekend moeten worden door de veranderingen die gemaakt worden. Een voorbeeld van Foster & Partners is de Swiss Tower in Londen.

### **3.3 THE SWISS RE TOWER & LONDON CITY HALL**

Het gebouw is gemaakt met digitale tools ontwikkeld door de SMG<sup>64</sup> van het bureau. Hierdoor kan het gebouw aangepast worden waardoor de software het model her genereert, de beschreven relaties blijven behouden en alle input wordt opnieuw berekend.

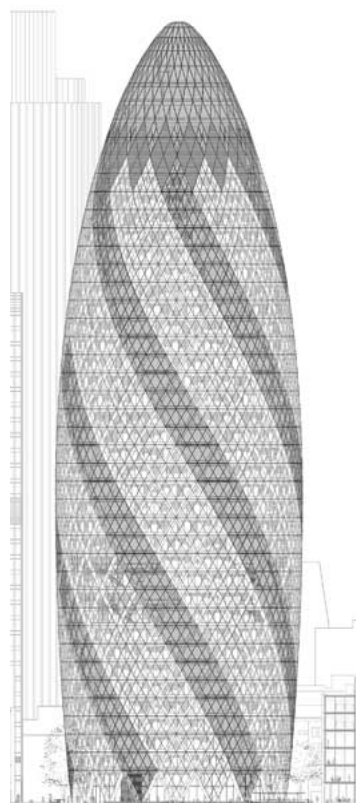
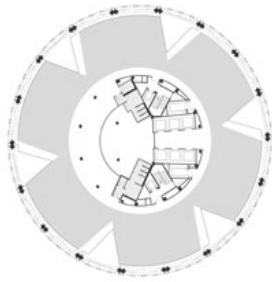
De geometrie van het Swiss-Re gebouw was gekozen om aan bepaalde beperkingen te voldoen. Het gebouw is 180 meter hoog en zijn opmerkelijk karakter waarmee het zich kan onderscheiden van andere wolkenkrabbers is dat hij rond is in plaats van vierkant. Het verdikt in het midden en wordt smaller naar de top toe, gebaseerd op een spiraalvormig ontwerp. Hoewel het op het eerste zicht voornamelijk esthetisch lijkt zit er toch een zekere logica achter.

Een vaak voorkomend probleem met gebouwen van deze grootte is dat er veel turbulentie ontstaat aan de basis van het gebouw, waardoor het oncomfortabel is om er te vertoeven. Om dit probleem op te lossen gebruikte het SMG team computermodellen die op basis van de wiskundige eigenschappen van turbulentie de aerodynamische eigenschappen van het gebouw simuleren. Het model wijst uit dat een cilindrische vorm beter presteert dan een vierkante en het feit dat de toren verdikt in het midden minimaliseert mede de wind bij de smallere basis.

---

<sup>63</sup> Xavier de Kestelier, A+193

<sup>64</sup> <http://plus.maths.org/issue42/features/foster/>



052 - Swiss Re, Foster & Partners, Londen



053 - London City Hall, Foster & Partners

Een andere eis was dat het gebouw zo duurzaam mogelijk moest zijn, met een maximale natuurlijke luchtventilatie en een optimale natuurlijke lichtinval. Zes driehoekige stukken werden uit elk cirkelvormig grondplan gesneden, waardoor er een gigantische vide ontstaat in het interieur van het gebouw. Zowel licht als luchtcirculatie worden hierdoor bevorderd. Aerodynamische modellen wezen uit dat de ventilatie echter maximaal is als het plan van elk niveau geroteerd werd, hierdoor volgen de vides de spiraalvorm van de gevel. Raamopeningen openen automatisch om verse lucht in het gebouw te laten. Het resultaat van deze geometrie is dat het gebouw 50% minder energie zou gebruiken dan andere van vergelijkbare grootte.

De London City Hall staat op een topplaats langs de Thames vlak bij de Londen Tower Bridge. De vorm werd gekozen voor het maximaliseren van energieprestaties. De oppervlakte van de schil van het gebouw werd geminimaliseerd zodat ongewenste warmteverliezen vermeden worden. Om dit te bereiken is het gebouw bolvormig gemaakt, wetende dat deze de minste oppervlakte nodig heeft voor een bepaald volume. De vorm presteert echter ook in functie van natuurlijk licht. De overhangende gedeeltes aan de zuidzijde zorgen voor een schaduw op de onderliggende ramen waardoor het gebouw geen enkele koeling nodig heeft. De helixtrap is een logisch gevolg van de akoestische analyse, waarbij de geluidsgolven tegengehouden worden achter de trappenpartij en de nagalmtijd geoptimaliseerd wordt.

### 3.4 GEOMETRISCHE RATIONALITEIT

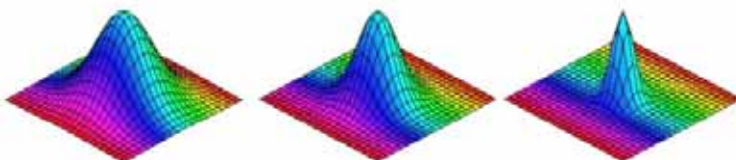
De geometrie van de gebouwen van Foster & Partners lijken dan misschien allemaal wel gebogen, maar in de realiteit zijn het allemaal vlakke platen die samen een vloeiend oppervlak vormen. Om het materiaalverlies bij fabricatie te beperken maken ze gebruik van ruitvormige panelen. Het enige gebogen vlak in het Gherkin gebouw is gelegen op de top van het gebouw.

Vlakken kunnen beschreven worden door wiskundige vergelijkingen en liggen vaak aan de basis bij de SMG. Dit heeft zijn voordelen bij het creëren van virtuele modellen omdat wiskundig gegenereerde vlakken gemakkelijk weergegeven kunnen worden op een computer. In plaats van een hele structuur te modelleren met behulp van een grote hoeveelheid aan individueel ingegeven coördinaten gebruikt men slechts een wiskundige vergelijking die de vorm beschrijft. De exacte vorm kan bijgevolg gecontroleerd worden door de parameters in die vergelijking aan te passen. Vlakke panelen kunnen makkelijk geïmplementeerd worden omdat de software daarvoor slechts rechte lijnen moet trekken tussen de verzameling van punten op het oppervlak. Het bedenken van een complexe structuur in de vorm van wiskundig gedefinieerde componenten is niet alleen nuttig in de virtuele wereld maar heeft ook zijn efficiëntie in het vertalen van het digital model naar realiteit. Dit proces van rationalisatie is echter niet altijd optimaal. Wat ideaal is voor de wiskundige is niet altijd ideaal voor de architect.

*“Het belangrijke aspect is dat we architecten zijn die programmeren en niet programmeurs die in architectuur werken.”<sup>65</sup>*



054 - Wiskundige vlakken die bedekt zijn met panelen. Afbeelding door Brady Peters



055 - Vlakken met als functie  $z=e^{-a(x^2-y^2)}$  Het nummer dat de vorm bepaald is bij het eerste vlak  $a=1$  het tweede  $a=5$  en het derde  $a=7$ .



## 4. CASE TOYO ITO/ SENSITIVITY ANALYSIS METHOD

### 4.1 METHODE GENETISCH ALGORITME

Het doel van deze analyse is om theoretisch rationele free-form vlakken te creëren door een numerieke analyse waardoor het mechanische karakter begrepen en geïnspecteerd kan worden. Een reeds bestaande techniek die free-form vlakken definieert zijn de fysieke experimentele modellen van Gaudí, Heinz Isler en Frei Otto.



056 - Gespannen structuur gebaseerd op trek, Frei Otto, Olympische spelen 72' München



057 - Betonnen schaalstructuur gebaseerd op druk, Hans Isler

Sensitivity Analysis is een methode van vormanalyse die de generatie van free-form schaalstructuren optimaliseert. Deze techniek gebruikt de computer als correctiemiddel om vrije, complexe, amorfe en fluctuerende organische vormen structureel realiseerbaar te maken. Vormbestendige schaalstructuren bevinden zich in een ideale staat van minimale druk en vervorming. Het komt er op neer dat een minimale spanning in de structuur een mechanische optimale conditie verwezenlijkt. Omgekeerd worden mechanische optimale schaalstructuren verworpen door de free-form oppervlakken te zoeken die een minimum druk genereren in de structuur. De fundamentele vergelijking is gegeven door het differentiëren van de referentievariabele, namelijk de drukspanning met behulp van een parameter  $Z$ . Wanneer een specifieke knoop lichtjes wijzigt dan kunnen de effecten van de drukbelasting op de gehele structuur onderzocht worden. De coëfficiënt van de differentiaal die de graad van verandering uitdrukt is mechanisch gesproken de gevoeligheidscoëfficiënt. Door deze coëfficiënt te onderzoeken in alle knopen, kan de structuur geoptimaliseerd worden door elk punt te verschuiven en de  $Z$  waarde te herdefiniëren in de richting die de minste drukbelasting oplevert. Wanneer het vlak samenvalt met de optimale vorm is er geen verandering meer zichtbaar in de drukbelasting na een evolutionaire stap.

FORMULERING:

Ontwerpparameter: Vorm (z Coördinaten)

Evaluatie Functie: Energetische spanning C (druk)

GEVOELIGHEIDSCOËFFICIËNT :

De focus ligt op de overgang van de drukspanning gedurende de transformatie dz op het knooppunt 'i' in een structuur samengesteld door 'n' aantal elementen.

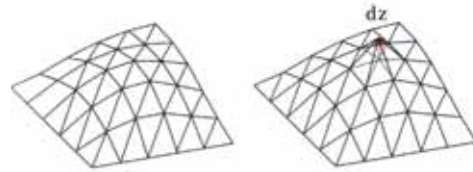
AANPASSING VAN DE VORM:

$A_i > 0$

In het geval de drukspanning stijgt door de transformatie op het punt 'i' wordt de Z coördinaat naar beneden getrokken

$A_i < 0$

In het geval de drukspanning daalt door de transformatie op het punt 'i' wordt de Z coördinaat naar boven geduwd.



$$C = \frac{1}{2} \{f\}^T \{u\}$$

$$[K] \{u\} = \{f\}$$

$$\rightarrow \alpha_i = \frac{dC}{dz_i} = \frac{1}{2} \{u\}^T \frac{d(\sum_e [K_e^{(i)}])}{dz_i} \{u\}^T$$

- $\{f\}$  Nodal load vector
- $\{u\}$  Nodal displacement vector
- $[K]$  Element stiffness matrix
- $\sum_e [K_e^{(i)}]$  Sum of element stiffness matrix related to node No. i

$$= z_i - \alpha_i \Delta z$$

- $z_i$  z coordinate after modification
- $z$  z coordinate before modification
- $\alpha_i \Delta z$  Parameter for adjusting modification amount



058 - Grin Grin Park in Fufuoka, Toyo Ito

De vliedertuin van het Grin Grin park in Fukuoka (2003-2005) is een ontwerp van Toyo Ito die de meerwaarde van 'de vijfde gevel' in zijn architecturaal concept vormgeeft. Hij gebruikt free-form surfaces in drie doorlopende gewapende betonnen schillen met een algemene lengte van 190 meter, een maximum breedte van 50 meter en een dikte van 40 cm. Een golvende helix waarbij het buitenste vlak en het binnenste vlak op twee plaatsen geïnverteerd zijn, zorgt voor een complexe structurele geometrie met een topologische continuïteit van binnen naar buiten toe. Toyo Ito had een sterke voorkeur voor dit concept waardoor Sasaki Structural Consultants de initiële vorm van de architect moest onderwerpen aan een vormanalyse met behulp van de sensitivity analysis method.

De vorm van het groene dak laat het gebouw met het landschap samensmelten en laat mensen toe om erover te lopen. Op het dak zou nog een laag aarde komen voor de vegetatie en wandelpaden waardoor de structuur werd berekend op basis van een uitzonderlijk zware nuttige belasting van  $1,5 \text{ t/m}^2$  die overall verticaal gelijk verdeeld is over het dak. Samen met de dikte van 40 cm gewapend beton en enkele vaste punten waar het dak de grond raakt werd het model geanalyseerd.

De geometrie van de hoofdstructuur van het dak wordt evolutionair onderzocht en getransformeerd tot de optimale structurele vorm gevonden wordt. Het originele model van de architect bleek een insufficiënte rationele vorm te zijn in mechanische termen, de oplossing gaf maar liefst een afwijking in de buurt van 2 m. De transformatie van de initiële vorm werd in de eerste stap met een maximum van 14 cm verschoven en wanneer men dichterbij de oplossing kwam werd dit gereduceerd tot slechts 2 cm. In het evolutionaire proces valt de optimale vorm uiteindelijk samen met de vorige stappen en verandert er zo goed als niets meer. De bekomen oplossing werd vervolgens zowel mechanisch als architecturaal geschikt verklaard.

Een interessante bijkomende studie werd gedaan om te onderzoeken hoe de vorm zou reageren als de schaalstructuur maar een dikte van 15 cm zou hebben in plaats van 40 cm. Het resultaat wijst uit dat de vorm uiteindelijk eindigt als een stuk gebakken spek. De vorm wijkt maar liefst 9 meter uit met een maximale verplaatsing van 70 cm in de eerste stap. Dit verklaart dat een dikte van 15 cm slechts mogelijk wordt als de belastingen weerstaan worden door het principe van membraandruk, volgens de optimale kettinglijn. Hoewel de uiteindelijk bekomen vorm mechanisch ook realiseerbaar zou zijn was het te ver afgeweken van de originele architecturale vorm en bijgevolg niet meer bruikbaar.

De structurele veiligheid van de geschikte vorm werd achteraf nogmaals onderzocht met een FEM analyse in het programma NASTRAN en de uiteindelijke wapeningen werden gedefinieerd met behulp van deze analyse. De basiswapeningen in het dak bevatten staven met een dikte van 16 mm en het raster is gedimensioneerd op 150 mm, en op sommige plaatsen echter 75 mm. De richting van de wapening volgt de as van een gemeenschappelijke coördinaat. Sommige staven zijn echter geplaatst in de richting van de straal van de cirkelomtrek, voornamelijk in de delen waar de geometrie van het gekromde oppervlak gecompliceerd is.

Er zijn ook dwarsbalken (rood gekleurd in de afbeelding) nauwkeurig geplaatst in de onderstructuur om de krachten op te vangen van de bovenste schaalstructuur. PC (prestressed concrete) kabels met een diameter van 21.8 mm (8 draden, maximum) zijn geplaatst in de dwarsbalken en zorgen voor de nodige voorspanning. Omdat er ook op het grondniveau een trekkracht gegenereerd wordt in de gewapende betonnen plaat (dikte= 400 mm) zijn er stalen staven van 19mm tot 25 mm geplaatst in het midden.

De maquette van de optimale oplossing werd opnieuw gemaakt door het bureau van Toyo Ito met behulp van laser-forming technologie. De free-form vlakken kunnen zo gemakkelijk heel vloeiend gemaakt worden maar de realiteit op de werf was echter geen sinecure.

Het grootste probleem op de werf was de enorme complexe taak om de gewapende betonnen constructie vorm te geven. Er werd een combinatie van ordinaire multiplexplaten en een stalen net gebruikt voor de bekisting om een glad oppervlak te bekomen. Het raamwerk van de houden platen werden op 1 x 2m uitgesneden (sommige delen 1 x 4m of 1 x 1m) en naar de site getransporteerd. De panelen werden vervolgens nauwkeurig aan elkaar bevestigd om een gladde curve te bekomen. Zo'n 2000 kubieke meter beton werd gestort door maar liefst 400 mensen. De operatie verliep moeilijk omdat er geen vlakke platen aanwezig waren en de dichtheid van de wapening zeer hoog was.

#### Process of evolution (section)



The first shape drawn by the architect



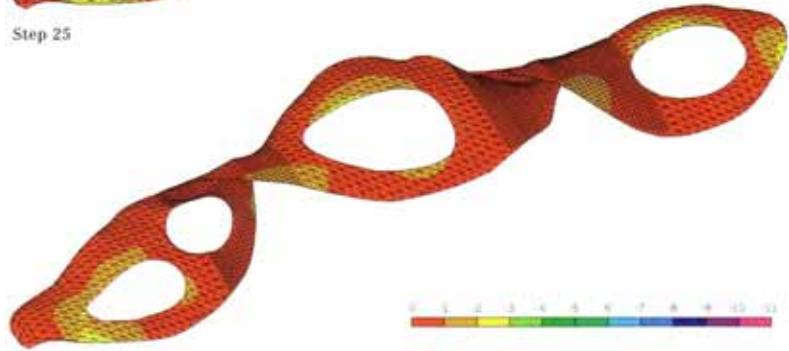
059 - Evolutionaire optimalisatie maakt de structuur boller en hoger.



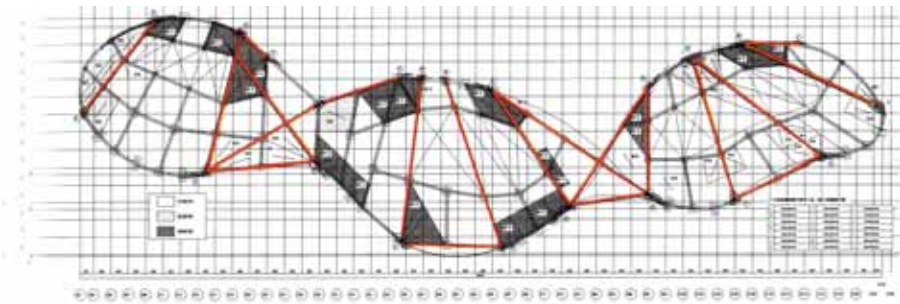
Step 1  
(initial shape)



Step 25



Step 46



060- Constructive vormanalysen





061- Het Grin Grin complex in opbouw, een arbeidsintensief bouwproces

**DEEL 5/**  
PARAMETRISCH ONTWERPEN  
ALS METHODE





## 1. PARAMETRISCH/GENERATIEF ONTWERPEN

Parametrisch ontwerpen is een nieuwe methode waarbij het ontwerpproces verschuift van het tekenen van geometrie naar het opstellen van onderlinge afhankelijkheid (genotype) die kan leiden tot potentiële differentiatie (fenotypes). Het komt er dus op neer dat we hier ook te maken hebben met een generatief proces. Hierdoor spreken we van parametrisch of generatief ontwerpen. Het vertrekt van een punt in de ruimte en laat het toe om architecturale condities te onderzoeken in een driedimensionale omgeving.

Deze techniek kent vandaag een snelle implementatie in de software en er is duidelijk een stijgende interesse en nieuwsgierigheid naar nieuwe mogelijkheden. Parametrisatie verhoogt wel de complexiteit van de ontwerptaak, men moet zowel het model opbouwen als de conceptuele structuur vastleggen die mogelijke parametrische variaties kan ontwikkelen. Daarom moet men bij dit ontwerpproces eerst nadenken over de systeemlogica voordat men een lijn begint te tekenen. Hierdoor krijgt de ontwerper een beter zicht op de mogelijkheid van structurele systemen als een multi-performatief ontwerp. De nieuwe geometrische aspecten, ruimtelijke effecten, structurele prestaties en organisatorische logica dragen bij tot de vorming van het systeem en zijn prestatiegerichte logica. Parametrische ontwerptechnieken genereren controleerbare en aanpasbare oplossingen. Waar men eerst een goede kennis van scripting en programmeren nodig had om parametrische te ontwerpen, kan men nu met behulp van programma's als Grasshopper (McNeel) interactief algoritmes opbouwen.



062- Kabelbaan station, Innsbruck, Zaha Hadid Architects

## 1.1 VAN TOP-DOWN NAAR BOTTOM-UP

Er treedt een verschuiving op van de manier waarop een ontwerp aangepakt wordt. De traditionele ontwerpaanpak is gebaseerd op concepten van stabiliteit, orde, uniformiteit en evenwicht, met gesloten systemen en lineaire relaties. Dit houdt in dat de oplossingen gebruik maken van top-down strategieën. De hedendaagse parametrische ontwerpaanpak is echter gebaseerd op tegengestelde concepten, die van een instabiliteit, wanorde, diversiteit en onevenwicht, met een focus op open systemen en niet-lineaire relaties. De oplossingen worden gevoed door een bottom-up strategie waardoor CAD-technologie nieuwe ideeën tot leven brengt.

*“Traditional design tools prohibited us from thinking bottom-up, while parametric or generative tools are broadening our design perspective.”<sup>66</sup>*

Pieter Breughel schilderde in de 16<sup>de</sup> eeuw een representatie van de Toren van Babel als een gebouw dat voortdurend zijn noden herdefinieert wanneer het groter en complexer wordt. Het schilderij is de voorstelling van een toren die tot in de wolken doordringt. Het weerspiegelt de problemen met de steden van toen, waar gebouwen en het leven constant veranderden en reageerde op nieuwe situaties gedurende het bouwproces.



063 - Pieter Breughel - Toren van Babel

---

<sup>66</sup> <http://wojsung.com/>

Een herkenbaar fenomeen van de bottom-up ontwerpprocessen is dat ze dichter bij de natuurlijke organische groei aanleunen, biologische complexiteit is helemaal bottom-up, van moleculen tot cellen, cellen tot weefsels en weefsels tot organismen. Door parametrisch te ontwerpen is er meer controle over het totale proces van ontwerp tot fabricatie, maar op de werf heersen echter nog steeds de rechte bekistingen en standaard stalen profielen waardoor architecten in het raster blijven denken. Om parametrisch aangedreven modellen effectief te bouwen is er een mass-customization proces nodig dat het constructieparadigma kan verschuiven naar gedifferentieerde materialen. In velden buiten de architectuur zien we dit verschijnen, maar architectuur staat op dat vlak een stuk achter.

*“Considering that architecture has fallen behind other fields in adopting new ideas or methods, sooner or later, the new paradigm will be more actively applied to architecture, and so will the application of generative modeling.”<sup>67</sup>*

Vanaf het begin worden gebouwen reeds gedomineerd door enerzijds de keuze van het bouwsysteem en anderzijds de ontwikkeling van het ontwerp van het gebouw. In de 21<sup>ste</sup> eeuw hebben we echter een punt bereikt in de architecturale productie die dit dogma opnieuw laat herdenken. Ongeveer 98% van het ontwikkelingsproces van planning, berekeningen, optimalisatie en marketing zijn ‘in’-formatie gebaseerd. De kloof tussen het plannen en de effectieve uitvoering, tussen het virtuele en het fysieke, is gesloten.

*“Whenever architectural production technologies change, architecture will change.”<sup>68</sup>*

Het principe van mass customization bereikt het resultaat dat specifiek gepast is voor een individuele ontwerptaak. Het concept is gebaseerd op een combinatie van kleine gedifferentieerde elementen die tegen een lage prijs kunnen gefabriceerd worden. Geoptimaliseerde bouwprincipes maken nu deel uit van de architecturale productie en creëren een directe link tussen de computerinformatie en de machines voor fabricatie. De nieuwe productietechnologieën kunnen gedifferentieerd worden in generatieve, subtractieve of formatieve typologieën. Een digitaal continuüm wordt bereikt van ontwerp tot productie, dit houdt de ontwikkeling in van een geparametriseerde beschrijving, de 3D modellering van het object in parametrische CAD software en het exporteren van data voor digitale productie.

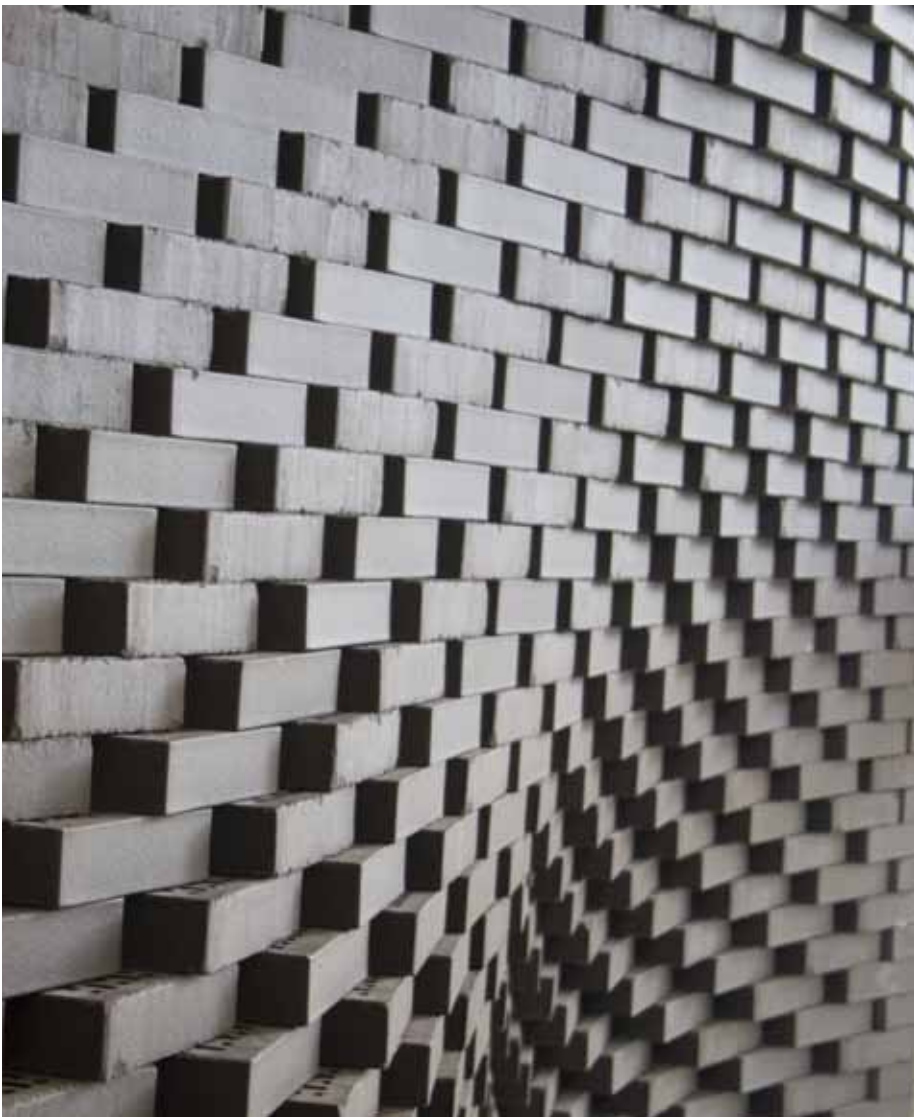
---

67 <http://woosung.com/>

68 Konrad Wachsmann, 1959

## 2. PARAMETRISCHE TENDENSEN

Er wordt overall geëxperimenteerd met nieuwe parametrische technieken waaruit nieuwe tendensen ontstaan. Door het concipiëren van verschillende parametrische strategieën bekomt men tot nieuwe concepten en methodes waarvan sommige een trend zijn geworden. Deze fenomenen doen zich zowel op kleine als op grotere schaal voor in alle ruimtescheppende praktijken, van kunst, graphic design en product design tot architecturaal design. In de volgende punten worden er een paar kort geschetst in functie van architectuur.



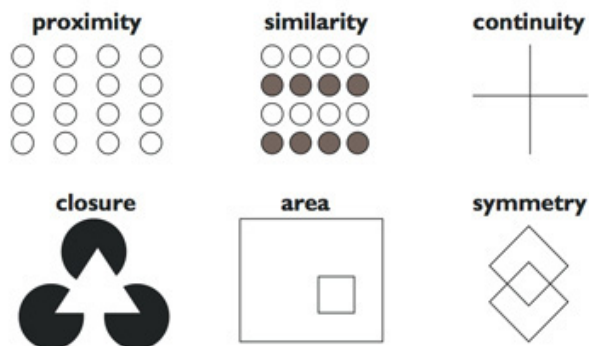
064 - Gramazio & Kohler, Architecture & Digital Fabrication, ETH Zürich

## 2.1 PARAMETRISCHE FIGURATIE

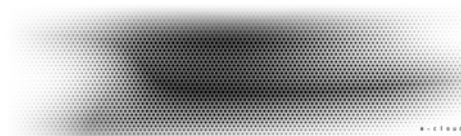
Parametrische figuratie is een nieuwe feature van het parametrisch ontwerpen om te spelen met verschijningsvormen van bepaalde elementaire deeltjes. Wanneer een hoek verandert waarop het object of gebouw bekeken wordt, dan verandert de perceptie, de aard en compositie. Men kan op deze manier gaan spelen met de wijze waarop men een figuur ziet of leest en bepaalde patronen gaan maken. Op deze manier is het mogelijk te experimenteren met verschillende schaduwpatronen en andere visuele patronen.

De expansie van parameters, niet alleen objectparameters, maar ook omgevingsparameters kunnen de perceptie van een figuratieve geometrie beïnvloeden. Zo kan een continuïteit doorgesneden worden, waarbij onze hersenen het beeld automatisch aanvullen. Het is ambigu omdat het ofwel geïnterpreteerd kan worden als één vorm die in twee gedeeld is, of twee vormen die samengevoegd zijn. Parametrische variatie veroorzaakt bijgevolg 'Gestalt'<sup>69</sup> catastrofes in Gestalt-gevoelige parametrische modellen.

Gestalt theorie gaat in tegen de structuralistische theorie omdat het complexe fenomenen beschouwt als de som van elementaire gedragingen. Waar de structuralisten zich probeerden bezig te houden met de elementaire bouwblokken van de geest, probeert de gestalt theorie het geheel in acht te houden.



065 - Visuele gestalt-fenomenen

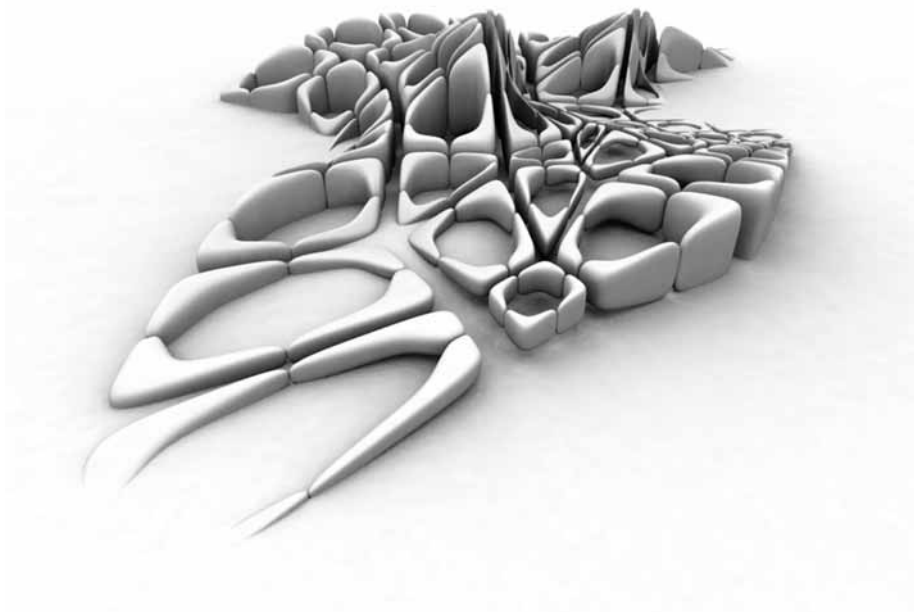


066 - E-cloud

<sup>69</sup> 'Gestalt' is een psychologische term en betekent 'een totaalbeeld' waarbij het geheel meer is dan de som van de samenstellende delen. Het refereert naar de theorieën van visuele perceptie die ontwikkeld werden door Duitse psychologen rond 1920. <http://graphicdesign.spokanefalls.edu/tutorials/process/gestaltprinciples/gestaltprinc.htm>, geraadpleegd op november 2009

## 2.2 PARAMETRISCHE URBANISATIE

Een parametrische benadering in stedenbouw laat de ontwerper toe om complexe hiërarchieën van ontwerpdata in oplossingen te gieten die gedifferentieerde stedenbouwkundige patronen genereren. Stedenbouwkundige technieken maken gebruik van volume-, programma- en densiteitparameters in een gezamenlijk associatief model dat gemakkelijk en accuraat getest kan worden op verschillende scenario's. De stedenbouwkundige implementatie van parametrische technieken staat echter nog steeds in zijn kinderschoenen maar wordt reeds toegepast in onderzoek door Zaha Hadid Architects. Ze experimenteert met stedenbouwkundige weefsels en heeft al enkele masterplannen op zulke wijze proberen te bestuderen. Een voorbeeld hiervan is het Kartal-Pendik Masterplan, Istanbul, Turkije 2006 (urban fabric). Hoewel het moeilijk te vatten is hoe een totaal stedenbouwkundig plan gescript kan worden zit er toch wel een zekere natuurlijke logica achter. Het is een interessante strategie voor onderzoekgerichte doeleinden maar het blijft echter provocerend en radicaal om op zo'n grote schaal deze technieken toe te passen.



067 - Parametrisch systeem voor het Kartal-Pendik Masterplan, Istanbul 2006, Zaha Hadid Architects



### 2.3 PARAMETRISCHE RESPONSIVITEIT

De belangrijkste eigenschap van de parametrische techniek is de interactie met de gebruiker die gemakkelijk de structuur kan laten reageren op verschillende elementen. Het gaat niet zozeer om variaties te creëren maar om een iteratief proces op gang te zetten om ontwerpend te onderzoeken.

In morpho-ecologies beschrijft Achim Menges hoe parametrische variabelen worden gebruikt om te achterhalen hoe een systeem zich kan gedragen en hoe hiermee een strategie bereikt kan worden om dit systeem te laten reageren op de condities en externe krachten van zijn omgeving. Het doel is om deze processen die morfologische complexiteit en performatieve capaciteit onthullen te leren begrijpen door simpele componenten te gebruiken zonder het differentiëren tussen vorm en materiaal. Dit is waar concepten uit de biologie een rol kunnen spelen en toegepast kunnen worden. Celdifferentiatie, het bekende proces waarbij cellen zich specialiseren om specifieke functies te vervullen, werkt op het principe van meerdere krachten, waarbij cellen zich morfologisch kunnen aanpassen en toch hun genetische en onderliggende relaties behouden. Dit concept kan enkel uitgewerkt worden door parametrische systemen.



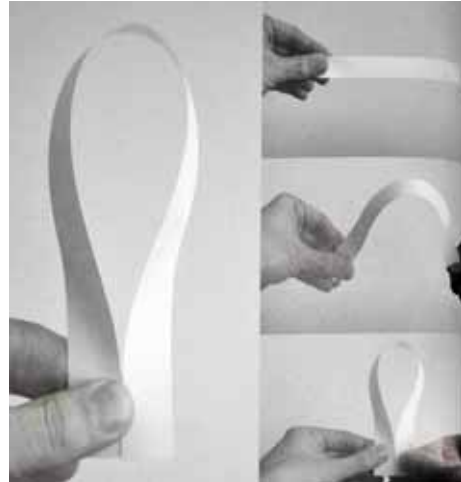
068 - Een interactief parametrisch systeem dat reageert op externe invloeden

### 3. CASE PAPIERSTROOK

De basis van parametrisch ontwerpen kan kort geschetst worden aan de hand van een simpele component als een papierstrook. Door deze eenvoudig te manipuleren door een verplaatsing en rotatie, bekomt men een specifieke morfologie. Dit is de configuratie die ontstaat uit de interne weerstand van het materiaal gecombineerd met externe krachten. Als de verhouding van lengte over breedte van de strip een bepaalde waarde overschrijdt, of het papier is te dik, dan zal de strip kreuken of scheuren.

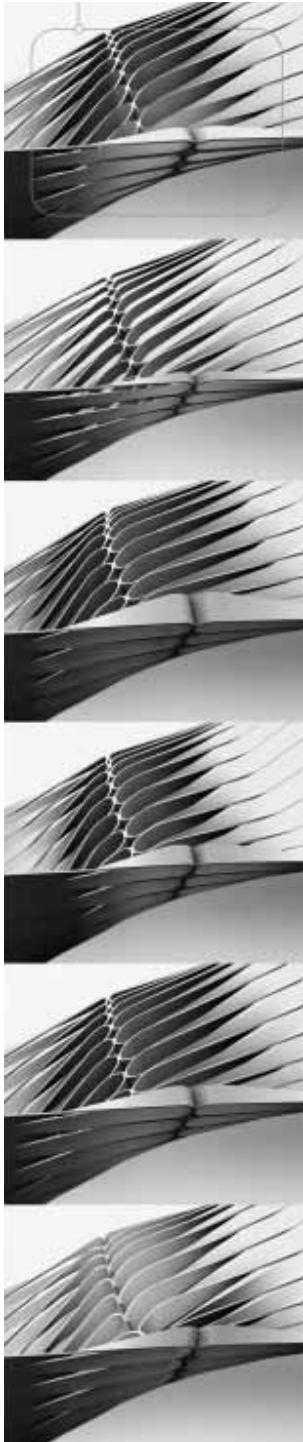
Met deze basis is het mogelijk om een generisch digitaal model op te bouwen dat de algemene karakteristieken van de papierstrook vastlegt. Het parametrische model definieert de gemanipuleerde strook met een vlak dat gegenereerd wordt tussen 2 twee randcurven die de karakteristieken bevatten van het formatieproces, zoals de krommingpunten en de raaklijnen. Elke component kan dus uitgerold worden op een plat vlak, waarbij het de logica van het fabricatieproces respecteert; namelijk 'laser cutting'. De beperkingen van het materiaal op zich worden ook gedefinieerd door een minimum lengte/breedte verhouding en de dikte van de strip.

Bovendien moet de relatie met de aangrenzende componenten ook nog beschreven worden in functie van de assemblage en de adaptatie naar variabele naburige componenten. De focus ligt hier op verbindingzones, gedefinieerd als raakgebieden met andere componenten.



069 - Papierstrook als basiselement





070 - Variaties

Deze parametrische component biedt de mogelijkheid om een groter systeem op te bouwen. Het is van fundamenteel belang om het systeem van componenten te zien als een populatie van individuele componenten. Om de verspreiding van de componenten vervolgens te initiëren moet er een 'proliferatie<sup>70</sup> omgeving' gemaakt worden. In het geval van de papierstrook kunnen we deze omgeving definiëren door een parametrisch controleerbaar dubbel gekromd oppervlak dat gepopuleerd wordt met 'instances' van de parametrische component, verdeeld over het virtuele oppervlak, volgens een specifieke regel opgezet door de ontwerper. De geometrie van het 'host surface' kan gemanipuleerd worden door de parametrische opstelling waardoor geobserveerd kan worden hoe de individuele componenten zich aanpassen. Uiteindelijk zou de parametrische component capabel moeten zijn om te reageren op een externe omgeving. Bijvoorbeeld het gat dat ontstaat door de lus in het papier zorgt voor een visuele permeabiliteit en de mogelijkheid om licht door te laten. Om deze mogelijkheid in het model te verwerken moeten externe referentiepunten aangebracht worden die de oriëntatie en uitlijning van de papierstroken regelen.

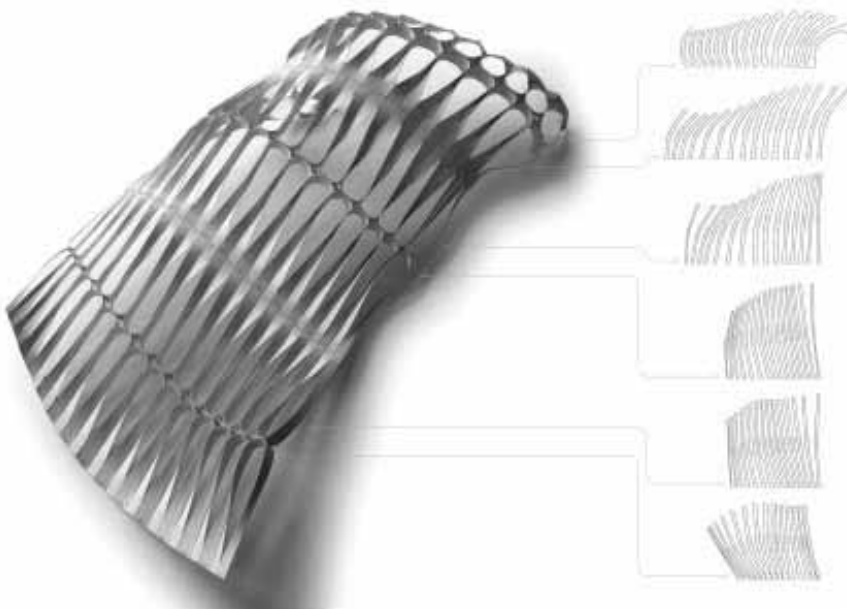
---

70 Snelle groei door celdeling / productie van nieuwe delen

Wanneer veranderingen doorgevoerd worden identificeert men resultaten van de lokale manipulatie van individuele componenten, de 'regionale' manipulatie van de verzameling van componenten, en de 'globale' manipulatie van het totale

systeem. Het doel van deze manipulatie is niet om variaties te genereren, maar om te onderzoeken hoe de verschillende structuren reageren wanneer ze onderhevig worden gesteld aan externe krachten. Zo worden de prestaties zichtbaar in de gesimuleerde omgeving en kan de optimale oplossing gezocht worden door de ontwerper.

Het belangrijke punt is dat het parametrisch ontwerpen het mogelijk maakt om het geometrisch gedrag te onderzoeken van bepaalde patronen en de bijhorende gerelateerde prestaties. In een continue feedback met de externe omgeving informeren de resultaten de ontwikkeling van een specifiek systeem door parametrische differentiatie van zijn onderdelen. Deze processen blijven consistent met de parameters die ervoor zorgen data het systeem logisch en fabriceerbaar blijft. De ontwerper kan met deze strategie de capaciteit van het systeem voorzien met een heterogene kwaliteitsvolle habitat voor menselijke activiteiten binnen de gebouwde omgeving.



071 - Tastbaar model, met digitaal gefabriceerde elementen

## 4. BIOMIMETICA: PARAMETRISCHE STRATEGIEËN

In het kader van het optioneel vak dat ik volg bij de bio-ingenieurswetenschappen aan de KU Leuven is het interessant om de parametrische strategieën in functie van deze discipline onder de loop te nemen. De case van de papierstrook is een goed voorbeeld van een parametrische strategie. Maar het potentieel van deze manier van ontwerpen brengt architecten vandaag een stuk dichterbij complexere biologische processen uit de natuur. Hierdoor wordt de architect capabel om mee te denken in het wetenschappelijk vak genaamd biomimetica. Vaste begrenzingsen tussen 'pure' disciplines zijn vandaag reeds vervaagd in een interdisciplinaire werking die in de wetenschappen reeds voltrokken is en waarschijnlijk ook in de architectuur zijn weerslag zal hebben.

Biomimetica of bio-imitatie is een nieuwe wetenschap die haar inspiratie haalt uit de natuur en waarbij de vorm, het metabolisme of de interacties die levende organismen hebben ontwikkeld worden nagebootst. Het is een huidige trend die Janine Benyus reeds beschreef in 2002, nog voor dat de hype rondom duurzaamheid en milieu een grote expansie kende. De natuur wordt als uitgangspunt genomen bij de introductie en bouw van nieuwe materialen, producten en gebouwen. Ze dient als inspiratiebron en maatstaf voor innovatie, waarbij biomimetica de vraag stelt wat we van de natuur kunnen leren. De natuur heeft reeds 3,8 miljard jaar ervaring met 'intelligent design' en heeft naar schatting 10 tot 30 miljoen succesvolle dieren en plantsoorten op haar naam staan. Waar de gebouwde omgeving een kritieke rol speelt in onze ontwikkeling, worden architecten geconfronteerd met een grote uitdaging die hen oplegt zich te bevragen over de manier waarop we denken, uitvoeren en bouwen. Terwijl de architecturale fascinatie met de kennis van morfogenese onaangetast verder gaat, lijkt het dat de ecologische component van onze aanpak steeds meer relevant wordt.

In het huidige tijdperk dat bepaald wordt door de alsmaar stijgende vraag naar informatie-uitwisseling en communicatie, opereren de architecturale disciplines meer en meer als levende, vitale kennis-economieën (of ecologieën). Dit leidt tot interactieve structuren die dezelfde soort aandacht vragen als het inventieve denken, ontwerpen en testen van alle andere soorten structuren.

*"Living systems are units of interaction; they exist in ambience."<sup>71</sup>*

De materialenpraktijk van de architectuur bevindt zich op het begin van een substantiële reconfiguratie, waarbij verschillende kennisvelden van biologie, structuur, engineering en computatie een evolutionair proces in gang hebben gestoken dat open is en niet geheel reduceerbaar is tot een vaste verzameling van vooraf beschreven vormen en ruimtes.

---

<sup>71</sup> Humberto Maturana, *Biology of Cognition*, 1970

#### 4.1 MORFOLOGIE & MORFOGENESE

In de biologische wetenschappen was de morfologie de eerste instrumentale verzameling van de zoölogie. De recentere morfologie heeft zijn historische grenzen echter voorbijgestreefd en wordt tegenwoordig 'morfogenese' genoemd. Het legt een nadruk op de krachten die de levende vormen genereren en de omgeving waarin ze tot stand gebracht worden.

De ingewikkelde relaties van morfologie met de omgeving werden in biomimetisch onderzoek centraal gesteld en met de ontwikkeling van 'form-finding' materiaalsystemen gekoppeld aan omgevingsprestaties. Materiaalstrategieën werden dan ook meer complex, waardoor de gedifferentieerde materiaal en constructiesystemen verschenen in ontwerpexperimenten om de meer complexe programmatische relaties te vergemakkelijken.

Prestatiegerichte materiaalsystemen vormen de basis voor morfogenetische ontwerpstrategieën. Natuurlijke systemen voorzien een nieuw conceptueel model voor deze ontwerpexperimenten, ze zijn efficiënt op een heel aparte wijze in vergelijking met de traditionele efficiëntie in de architecturale en ingenieurswetenschappen.

Bijvoorbeeld in het weefsel van een plant vormt de materiaalorganisatie van de tuben die vloeistoffen en voedingsstoffen omhoog en omlaag transporteren ook de basis voor de structuur. Het heeft tegelijkertijd de rol voor het managen van de veranderingen in druk- of trekkrachten van rondomgelegen weefsels die op hun beurt de veranderingen produceren van de kromming en oriëntatie van de stam.



072 - Plantweefsel bestaande uit vaten, Xyleem en Floëem

## 4.2 MORFO-ECOLOGIE

*“Nothing happens in living Nature that does not bear some relation to the whole. The empirical evidence may seem quite isolated, we may view our experiments as mere isolated facts, but this is not to say that they are, in fact, isolated. The question is: how can we find the connection between these phenomena, these events”<sup>72</sup>*

Biologie is de wetenschap van het leven, omwille van deze reden moet architectuur verder gaan dan enkel de metaforische of vormelijke toepassingen van de biologie. Ecologie is hierbij de studie van de relatie tussen organismen en hun omgeving en deze definitie geldt ook voor de architecturale discipline. De hoofdzakelijke taak is om leefbare ruimte te scheppen door specifiek materiaal en energetische interventies in de fysieke omgeving.

Doorheen de geschiedenis zijn veel verschillende ruimtelijke strategieën ontstaan. Vandaag is de gebouwde omgeving gedomineerd door slechts twee types van ruimtelijke organisatie: het open plan-principe en een organisatie van kamers langs wandelgangen. Beide zijn gedefinieerd door een specifieke attitude naar begrenzings toe, het afbakenen van ruimte. Het open plan principe beperkt de grenzen tot de omtrekvoorwaarden die in het meest extreme geval samenvallen met de schil van het gebouw, terwijl het gang- en kamerprincipe de interne grenzen vermenigvuldigt om circulatie en privacy te bereiken.

In het essay ‘Figures, Doors and Passages’<sup>73</sup> beschrijft Robin Evans hoe de sociale ontmoetingen onder controle staan, nabijheid veranderde in sociale scheiding door een dominant kamer/gangmodel. We kunnen onze ruimtelijke organisaties echter herdenken via de ordening van materiaalbegrenzings en de mogelijke implicaties voor sociale formatie. Het modernistische verhaal eiste universele ruimtes als het belangrijkste paradigma voor democratische ruimte. Het open plan, ideaal uitrekbaar op een oneindig grid, werd bereikt door de volledige modulering en standaardisatie van bouwelementen, waarvan elk element voorzien was om slechts 1 functie optimaal te vervullen (primaire structuur, secundaire structuur, zonnewering, regenoverdekking of klimaatschil).

---

<sup>72</sup> Johann Wolfgang von Goethe, 1792 ‘Towards a Theory of Weather’ (Versuch einer Witterungslehre, 1825); in Goethes Werke, Hamburger Ausgabe vol. 13, 307-8; Ed. Erich Trunz, et al, Wegner; Hamburg, 1948-60

<sup>73</sup> Evans, Robin; ‘Figures, Doors and Passages’; in *Translation from drawings to Buildings and other Essays*; AA Documents , Architectural Association, London, 1997

De enkelvoudige doelstelling voor optimalisatie was gebaseerd op het verstaan van efficiëntie die een minimum hoeveelheid van materiaal en energie vraagt om de gevraagde structurele capaciteit en prestatie te bekomen. Overbodigheid was, en is nog steeds, algemeen begrepen als een ongelukkige noodzaak. Een kritische revisie stelt de vraag of een alternatief interpreteren van optimalisatie, efficiëntie en overtolligheid in relatie met multi-prestatiegerichte materiaalsystemen een verschillende aanpak kan openen voor ruimtelijke organisatie, modulering van de omgeving, en ten slotte sociale vorming. In tegenstelling tot het informeren van het ontwerpproces in een heel vroeg stadium, wordt omgevingsgericht ontwerpen en engineering nog steeds veronderstelt een kwestie te zijn van post-optimalisatie. Onze ruimtelijke organisatie en manier van bouwen en afwerken mag dan misschien wel gevarieerd zijn, maar materiaal- en bouwsystemen worden niet kritisch beoordeeld, ze zijn nog steeds bedoeld voor de ontwikkeling van mono-functionele types, terwijl uniformiteit de overhand krijgt in het binnenklimaat en het conditioneren.

*'Architectuur blijft 'Neufertised' – alsook onze sociale omgeving.'*<sup>74</sup>

Een eerste alternatieve benadering vinden we in 'The Architecture of the Well-tempered Environment'<sup>75</sup> van Reyner Banham. Hij maakt een onderscheid tussen twee tradities, enerzijds de articulatie van de drempel van grenzen als een materiaaleigenschap en anderzijds door het opportunistisch gebruik van een afbakening door een omgevingsgradiënt. Een kampvuur bijvoorbeeld zorgt voor een dynamische differentiatie tussen ruimtes door een blootstelling aan een spectrum van omgevingsvoorwaarden naargelang een gradiënt. In het contrast met de scheiding tussen binnen en buiten, privaat en publiek, warm en koud, kunnen deze gradiënten dynamische grenscondities genereren waarvan differentiatie en individuele keuze gebaseerd is op subjectieve noden en ervaringen. Deze heterogene omgeving zou niet enkel een duurzame omgeving ontwikkelen maar ook een sociale duurzaamheid.

*'When something has acquired a form it metamorphoses immediately into a new one.'*<sup>76</sup>

---

74 Achim Menges, 2006

75 Banham Reyner; The Architecture of the Well-tempered Environment, University of Chicago Press, 1973

76 Uit 'The Purpose is Set Forth' (Die Absicht ist eingeleit, geschreven in 1807, gepubliceerd in 1817); Goethes Werke, Hamburger Ausgabe vol. 13, 54-6; Ed. Erich Trunz, et al, Wegner; Hamburg, 1948-60

Materiaalsystemen kunnen in de architectuur worden beschouwd als generatieve motors in het ontwerpproces. De materiaal karakteristieken, geometrische eigenschappen, beperkingen van fabricatie en assemblage moeten worden opgenomen in het ontwerp. Dit promoot het volledig begrijpen van vorm, materiaal en structuur, niet als gescheiden elementen, maar met complexe interactieve relaties tussen de systemen met een gevarieerde input en feedback. Als architecten deze relationele gedragingen en karakteristieken willen gebruiken om ruimtes en omgevingen te moduleren, dan moet men generatieve methodes en technieken combineren met nieuwe methoden en tools. Zo kan de prestatiecapaciteit van het gehele systeem geanalyseerd worden.

*'Architects can learn from connections and transitions between systems and sub-systems of biological entities (such as the way tendons and bones connect, deploying the same fiber material across a smooth transition of mineralization.'*

### 4.3 PARAMETRISCHE MULTI-SYSTEEM VERBANDEN

Zoals we weten zit ons menselijk lichaam vol met verschillende systemen en subsystemen die allemaal hun invloed uitoefenen op het organisme mens in zijn geheel. De beenderen, bloedvaten, spieren, luchtwegen, het zenuwstelsel, het darmstelsel, enzovoorts, zijn allemaal systemen die gecombineerd zijn en in relatie staan met elkaar.

In de architectuur zijn er ook verschillende factoren en systemen die door elkaar functioneren maar meestal staan deze (nog) niet in relatie met elkaar. Het is makkelijk om één systeem afzonderlijk elegant te krijgen, zoals een gevelsysteem bijvoorbeeld. Maar nu parameters de onderlinge relaties kunnen beschrijven tussen verschillende systemen moeten we proberen om efficiëntere multi-systeem oplossingen te bieden. In elke vorm van ruimtecreatie kan het ene script op het andere gebouwd worden, waardoor architecten verplicht worden om de verschijningsvorm van het ontwerp volledig te begrijpen, waar te nemen, te lezen, en de verschillende relaties tussen systemen te definiëren.

De collaboratie tussen bio-ingenieurs zorgt voor de onthulling van de interactieve relaties op verschillende schalen, van macro tot micro. Hiernaast bestudeert de biochemie molecules en chemische reacties die verscheidene processen vergemakkelijken en levende systemen mogelijk maken. Als het biologische paradigma voor architectuur, zoals hierboven beschreven, uit zal breiden, dan resulteert dit misschien wel in het ontwerpen van synthetisch levende producten die ingebed zijn in generatieve ecologische relaties. Het zou architectuur beter kunnen laten presteren en duurzamer laten omgaan met de huidige grootheidswaanzin. Begrippen zoals metabolisme, fotosynthese en homeostase worden vandaag reeds onderzocht in architecturale toepassingen.

### 4.4 OPEN SYSTEMEN

Biologische systemen zijn open systemen, ze zijn echter zo complex dat het te moeilijk is om de optimalisatie criteria en beperkingen af te leiden. Slimme materialen zullen ook hun intrede maken in de architectuur, er wordt reeds onderzoek gedaan om deze objecten de omgevingsgebeurtenissen (parameters) te laten registreren, deze informatie te laten verwerken om vervolgens te reageren op deze omgeving.

*'Life and its evolution depend on the exchange between organisms and a dynamic environment'.*



## 4.5 ZELF ORGANISATIE

Zelforganisatie is een dynamisch en aanpasbaar proces waardoor systemen een structuur bekomen en behouden zonder externe controle. Form-finding als een ontwerpmethode doet beroep op deze zelforganisatie van systemen onder de invloed van externe krachten. In architectuur en ingenieurswetenschappen wordt deze form-finding vaak gebruikt om optimale structurele vormen te ontwikkelen. Frei Otto is ongetwijfeld de pionier in het vinden van deze structurele logische vormen, gebaseerd op natuurlijke principes. De gridshell bijvoorbeeld kan tot stand komen in een op trek gebaseerd model dat vervolgens omgekeerd wordt om een op druk gebaseerde vorm te creëren. Dit vinden we terug in het model van de Multihalle in Mannheim van Frei Otto dat gemaakt is van vaste schoorbalken met losse verbindingsknopen. De houten constructie wordt eerst vlak uitgelegd op de grond en vervolgens omhoog gestut, de losse knopen nemen zo hun optimale positie in waardoor de structuur de optimale buiging bekomt en stevig wordt. Het constructieproces is op deze manier interactief omdat er zo een iteratieve mogelijkheid bestaat om verschillende posities te verkennen.

De meeste huidige form-finding methodes resulteren in systemen die gedefinieerd worden door een gebogen geometrie, zoals minimal surfaces, pneumatische structuren, trekgebaseerde opgehangen structuren (lineaire elementen – kettinglijnen; vlakke elementen – opgehangen netten), geïnverteerde drukgebaseerde vormen (lineaire elementen – staande kettinglijn; vlakke elementen – drukoppervlakken, gridshells). Deze structuren vinden we ook terug in de natuur zoals trekgebaseerde membraangevormde materialen en drukgebaseerde opeenhopingen zoals afvoer trechters, grotten, vormingen door erosie, maar ook structuren die zowel in de ruimte als in de tijd plaatsvinden zoals golven, vibratiesystemen, vortexen en turbulentie zijn vormgegeven door gebogen lijnen. Dit fenomeen is te wijten aan zowel de structurele capaciteit als de oriëntatie en blootstelling aan externe input die deze geometrie met zich meebrengt.

Een paar van deze geschetste strategieën zijn al welgekend onder architecten, maar de nieuwe worden alvast onderzocht en bieden vele innovatieve concepten en potentiële wanneer architecten grensoverschrijdende en interdisciplinaire ontwerpen concipiëren. De rol van de architect zal een verschuiving ondervinden die volledig naar het parametrische neigt waarbij de samenwerking tussen de partijen hervormd zal worden.



**DEEL 6/**  
CASE STUDIES



# CASE 1: AUTOCAD VISUAL LISP VERSUS RHINOCEROS GRASSHOPPER

## 1.1 INLEIDING AUTOCAD VISUAL LISP

LISP<sup>77</sup> is een programmeertaal dat hoort bij AutoCAD van Autodesk en maakt het mogelijk om extra functionaliteit toe te voegen aan het softwarepakket. AutoLISP – een dialect van LISP – werd oorspronkelijk geïntroduceerd in AutoCAD 2.18 in 1986 waarna er vrij snel uitbreidingen verschenen met commando's voor het bewerken van de grafische data. Deze data-eigenschappen worden door AutoLISP bewerkt als lijsten van DXF-data waarbij informatie over punten, stralen, hoeken, kleuren, lijnsoorten, etc. gekoppeld is aan variabele parameters met een waarde.

Visual LISP is een uitbreiding van AutoLISP met een IDE<sup>78</sup>; een editor<sup>79</sup>, debugger<sup>80</sup> en een compiler<sup>81</sup>. Het werd een definitief onderdeel van AutoCAD dat toegankelijk is met VBA<sup>82</sup>. VBA wordt vooral gebruikt als de interactie met de gebruiker belangrijk is. Het programmeren van dialoogmenu's in Visual LISP kan, maar het is zeer omslachtig.

Met Visual LISP kan men een 'intelligente' tekening opstellen waarbij een lijn niet als los element wordt gezien, maar als onderdeel van een groter geheel met een functie. Zo bestond een leidingenschema vroeger uit simpele lijnen, terwijl men nu met LISP elke lijn een eigenschap toekent met een eigen diameter en materiaalsoort. Hierdoor kan men snel een overzicht maken van gebruikte materialen en kosten.

Voor het toepassen van Visual LISP is het belangrijk om een zeer goed inzicht te verwerven in de manier waarop tekeningen tot stand komen en wat er met de tekeninformatie gebeurt. De informatie zou achteraf opnieuw gebruikt kunnen worden om in een andere vorm te worden omgezet, bijvoorbeeld om lasercutting-informatie, begrotingen, presentatietekeningen, enz. uit te destilleren. Er moet dus rekening gehouden worden met welke data beschikbaar is en hoe deze verwerkt wordt in tekeningen. Meetgegevens, tabellen, normen, standaarden en rekenresultaten worden bijvoorbeeld vaak gebruikt bij het tot stand komen van tekeningen en ze zijn meestal al in digitale vorm opgeslagen.

Een degelijke kennis van de mogelijkheden van AutoCAD laat de gebruiker toe om functionele informatie in de tekening te verwerken. Een groot aantal zaken zijn zonder Visual LISP zelfs nauwelijks op te lossen, zoals het automatisch genereren van vormen uit reken- of meetgegevens of het automatiseren van conditionele routinehandelingen.<sup>83</sup>

---

77 LISP: List Processing ontworpen in 1958 aan het MIT door John McCarthy

78 Een integrated development environment of IDE is computersoftware die een softwareontwikkelaar ondersteunt bij het ontwikkelen van computersoftware.

79 Letterlijk: bewerker, namelijk een interface om bewerkingen in uit te voeren

80 een ander computerprogramma dat problemen 'bugs' probeert te verwijderen uit een programma

81 een programma dat dingen kan samenstellen of opbouwen

82 Visual Basic for Applications

83 <http://www.ideoma.nl/autolisp.htm>



073 - Parametrisch gegenereerde en gerenderde geometrie, AutoCAD Visual LISP

## 1.2 VISUAL LISP SCRIPT

Dit deel van de case-study maakt deel uit van een 'Programming & Fabrication' cursus gedoceerd door Prof. José Pinto Duarte. Het doel was om in AutoCAD Visual LISP een programma te maken dat een vorm genereert en waar achteraf makkelijk een prototype van gemaakt kon worden. Het is een experiment om met ingewikkelde parametrische geometrie een link te leggen tussen het programmeren en fabriceren.

### EIGENSCHAPPEN & PROCEDURE VAN HET LISP SCRIPT

#### INTERFACE

Om het script te laden en gebruiksvriendelijk te maken wordt er met Visual LISP eerst een dialoogmenu tot stand gebracht. Wanneer de gebruiker het commando 'tower' ingeeft krijgt hij een menu langs zijn cursor dat vraagt wat hij wil doen. Hierbij zijn er 4 mogelijkheden namelijk: create, transform, exit of demo.

Open het script in de Visual LISP interface, breng het in AutoCAD (load active edit window) en start vervolgens het script:

*command 'tower'*



#### Drie basisfuncties

##### 1: **Create** a tower

- Enter all parameters
- Define a point to place the tower

##### 2: **Transform** a tower

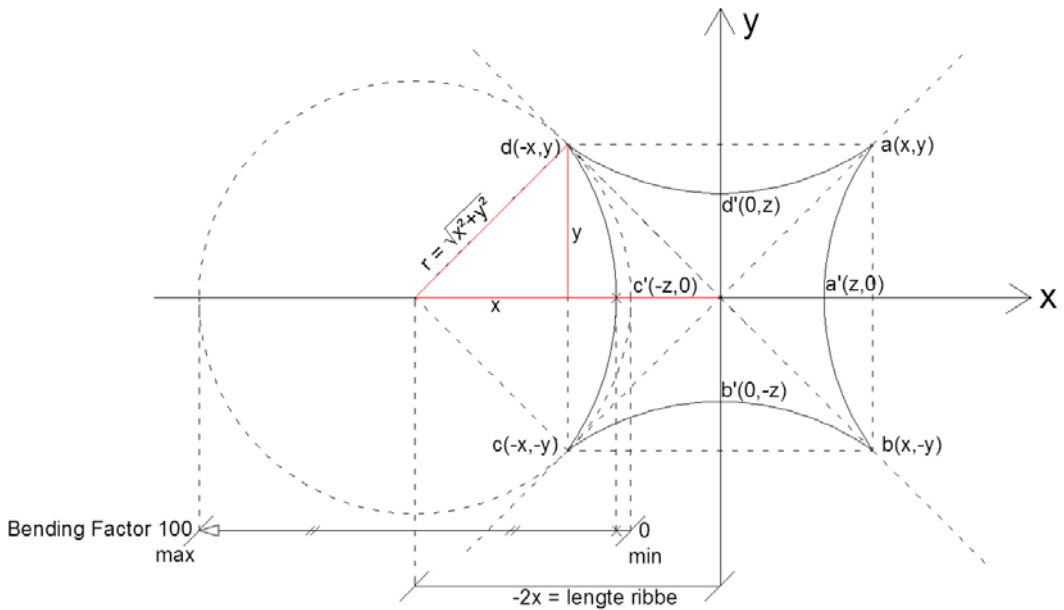
- Easy modification of parameters:

NAME, HEIGHT, LEVELS, BASE SIZE (SQUARE RIB SIZE), BASE REDUCTION (SUBTRACTED SIZE), TORSION, INITIAL BENDINGFACTOR, LAST BENDINGFACTOR, X & Y SWIRL VALUE, SURFACE DETAIL, INSERTION POINT.

- Updating every single modification before it will be applied
- **Fabricate**

##### 3: **Demo**

(click on points to see the program generating pre-defined towers)



074 - Associatieve geometrie voor de opbouw van het script

```
.....
::: FUNCTION 2D FORM
.....
```

```
(defun 2Dform (half1 bfactor / bpoint)
  ;; function 2D form that is used above
  (setq bpoint (+ (- rib (sqrt (* 2.0 (expt half1 2.0))))
                  (* (* 2.0 (sqrt (* 2.0 (expt half1 2.0))))
                     (/ bfactor 100.00)
                  )
  )
  (command "pline" (list (- half1) (- half1))
            "arc" (list (- bpoint) 0) (list (- half1) half1)
            "arc" (list 0 bpoint) (list half1 half1)
            "arc" (list bpoint 0) (list half1 (- half1))
            "arc" (list 0 (- bpoint)) (list (- half1) (- half1))
            "cl"
            "")
  (entlast) ;; returns entity name
)
```

```
.....
::: MAIN PROGRAM FUNCTION
.....
```

```
(defun main_program (/ answer)
  (setq answer (getstring "What would you like to do? Create / Transform / Exit / Demo "))
  (if (or (equal answer "Create") (equal answer "create") (equal answer "c") (equal answer "C"))
      (create_tower)
      (if (or (equal answer "Demo") (equal answer "demo") (equal answer "d") (equal answer "D"))
          (demo)
          (if (or (equal answer "transform") (equal answer "transform") (equal answer "t") (equal answer "T"))
              ;; call the transformation functions
              (transform)
              (if (or (equal answer "Exit") (equal answer "exit") (equal answer "e") (equal answer "E"))
                  (prompt "you have exit the program")
                  ""
                  (progn
                    (prompt "you have typed the wrong answer")
                    (main_program)
                  )
                  )))
  )
  ;; close main_program
)
```

```
.....
::: TOWER
.....
```

```
(defun c:tower ()
  (main_program)
)
```

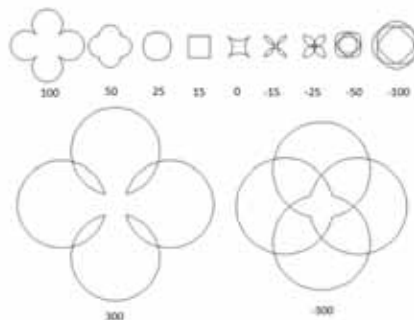


## 2D GEOMETRIE

Om te beginnen wordt geanalyseerd hoe bij een normale handeling in AutoCAD een 'polyline' getekend kan worden met vier 'arc'-componenten. De cirkelboog zorgt ervoor dat we de straal van de cirkel als parameter kunnen instellen en dus de boog naar binnen of naar buiten kunnen laten gaan. Alle stappen uitgevoerd moeten worden binnen AutoCAD, worden vervolgens in een parametrisch LISP script gegoten.

Er zijn vier hoekpunten vereist rond de oorsprong van een gedefinieerd assenstelsel zijnde:  $a(x,y)$ ,  $b(x,-y)$ ,  $c(-x,-y)$ ,  $d(-x,y)$ . Mits het gaat om een vierkant is  $x=y$  en zijn de hoekpunten weer te geven als  $a(x,x)$ ,  $b(x,-x)$ ,  $c(-x,-x)$ ,  $d(-x,x)$ . Er wordt met een 'arc' gewerkt dus moet er een derde punt zijn dat bijgevolg op de x- of y-as ligt en de buiging bepaald. Deze waarde definieert een gebied op de x- of y-as beschreven door de diameter van de cirkel die aan 2 hoekpunten van de diagonalen van het vierkant raakt. De straal van deze cirkel is gelijk aan  $\sqrt{x^2 + y^2}$  of ook  $\sqrt{x^2 + x^2}$ . Uit de tekening wordt afgeleid dat het middelpunt van de cirkel op  $-2x$  (of  $2x$ ) ligt, gelijk aan de lengte van een ribbe. Het domein dat nu bepaald moet worden is  $[2x+r, 2x-r]$ . Stel dat  $z$  een waarde is binnen dit domein dan zijn de vier buigpunten te beschrijven als  $a'(z,0)$ ,  $b'(0,-z)$ ,  $c'(-z,0)$ ,  $d'(0,z)$  Met deze gedefinieerde 8 punten kan vervolgens de polyline getekend worden door  $a$ ,  $a'$ ,  $b$ ,  $b'$ ,  $c$ ,  $c'$ ,  $d$ ,  $d'$ ,  $a$ .

Wanneer dit in Visual LISP gezet wordt tracht men eerst met absolute waarden te controleren of het script inderdaad de gevraagde polyline tekent. Als dit werkt worden de waarden vervangen door lokale variabelen in deze functie.  $X$  is gelijk aan 'half', de halve lengte van de ribbe ('rib') van het vierkant. Het buiging point ('bpoint') bepaalt de buiging van de cirkel. Het domein  $[-2x+r, -2x-r]$  wordt recht evenredig omgezet naar een interval van 0 tot 100 om het overzichtelijk te houden. Deze waarde wordt 'bfactor' genoemd. Wanneer de waarde van deze factor echter buiten het domein  $[0, 100]$  ligt dan zullen de lijnen elkaar kruisen (zie afbeelding). Deze stap is te vinden in het script onder de hoofding 'Function 2D Form'.



075 - Begrenzing voor de buiging van 0 tot 100

```

.....
::: FUNCTION TOWER .....
.....

(defun xtower (x y height levels rib ribsns torsion bfactor bfactor surfdet name pt
 / half xpos ypos zpos levelfactor ribdef rot set1)

(command "osnap" "off")::: object_snap off incase it was turned on for defining this point

::: 0) define local variables

(setq half (/ rib 2.00))
(setq zpos (/ height (* levels 1.00))) ::: defining distance between floors
(setq xpos (/ x (* levels 1.00)))
(setq ypos (/ y (* levels 1.00)))
(setq levelfactor (/ (abs (- bfactor bfactor)) (* levels 1.00))) ::: Defining bendingfactor: change per level !!!!!!!getreal!
(setq ribdef (/ ribsns (* levels 1.00))) ::: Set Rib change / level
(setq rot (/ torsion (* levels 1.00)))
(command "setvar" "surftab1" surfdet) ::: set rulesurface detail

(2Dform half bfactor)
(setq ent0 (entlast)) ::: define starting object for the first surface reference
::: try to call the set with the selected name!
(setq set1 (ssadd ent0)) ::: creating selection set SET

::: 1) local coordinate system
::: saving current UCS
(repeat levels
 (command "ucs" "delete" "temp_2Dform") ; deletes the previous definition if any
 (command "ucs" "save" "temp_2Dform") ; saves the current UCS
 (command "ucs" "origin" (list xpos ypos zpos))
 ; moves the UCS origin to xpos, ypos
 ; relative to the current UCS
 (command "ucs" "z" rot) ; enable rotation of the 2D form)

::: 2) repeating function for making the form with the surface and with parameters & factors

(2Dform half bfactor) ; recall function 2Dform
(setq ent1 (entlast)) ; entlast previous (second created 2D form)

(ssadd ent1 set1) ::: add object to selection set

(command "rulesurf" ent0 ent1) ; make surface
(setq surf (entlast)) ; Entlast surface

(ssadd surf set1) ::: add surface to selection set

(setq ent0 ent1) ; set ent0 to be the last created for next surface
(setq bfactor (- bfactor levelfactor)) ; set factor change / level
(setq rib (- rib ribdef)) ; Rib change / level
(setq half (- half (/ ribdef 2.0))) ; setting half to half of rib change/level
)

(command "block" name pt set1 "")
(command "insert" name pt 1 1 0)

::: save block entity name
(setq entity_n (entlast))

::: (sslength set1)::: return lenght of set

(command "ucs" "world")
(command "zoom" "e")
(command "regen")
) ::: end of defun and repeatfunction

.....
::: MAIN FUNCTION CREATING TOWER (interactive).....
.....

(defun create_tower (/ name pt x y height levels rib ribsns torsion bfactor bfactor surfdet record)

::: extract all the values

(setq name (getstring "Enter a name for the tower: "))
(setq height (getreal "Enter the height of the tower: "))
(setq levels (getint "Enter the number of different levels to create: "))
(setq rib (getreal "Enter the basic base diameter of the tower (= length of one square rib): "))
(setq ribsns (getreal "Enter the base reduction value that will be subtracted from the base diameter
 to set size of the highest level: "))
(setq torsion (getreal "Enter the torsion value, (example: 360 for one complete turn, 0 for none): "))
(setq bfactor (getreal "Set the first bendingfactor defining the deformation of the basic square
 (-100 = the maximum internal (reversed), 0 is normal internal, 100 = the maximum external: "))
(setq bfactor (getreal "Set the last bendingfactor to evolve to: "))
(setq x (getreal "Enter the value of the X movement for a swirl (the further it deviates from 0 the more imbalanced): "))
(setq y (getreal "Enter the value of the Y movement for a swirl (the further it deviates from 0 the more imbalanced): "))
::: maybe lateron linking this value with the torsion to prevent the tower being not in balance visually
(setq surfdet (getint "Set the detail of the surface lines (recommended = 20 lines): "))

(command "ucs" "world")
::: Set up layers
(command "layer" "new" name "color" "red" name "")
(command "layer" "set" name "")

(setq pt (getpoint "Click on a point in the 2D space to place your tower: "))
(command "ucs" "origin" pt)

::: extract the x y z coordinates from that point maybe for later use
::: (setq x (car pt))
::: (setq y (cadr pt))
::: (setq z (caddr pt))

::: draw tower
(xtower x y height levels rib ribsns torsion bfactor bfactor surfdet name pt)

::: create a record of block
(setq record (list entity_n pt name height levels rib ribsns torsion bfactor bfactor x y surfdet "tower"))
::: add object data to the list of objects
(setq list_of_objects (cons record list_of_objects))
) ::: close function generate tower

```

## 3D GEOMETRIE

Na het definiëren van de basisgeometrie in 2D wordt de stap gezet om over te gaan naar een 3D vorm. Eerst en vooral moeten de lokale variabelen gedefinieerd worden (zie 0. in script) die in deze functie zullen verschijnen. Deze zijn afgeleid uit andere parameters, zoals bijvoorbeeld *'half'* de halve lengte is van een ribbe (*'rib'*) en *'zpos'* de verdiepingshoogte van de vloeren, afgeleid uit de hoogte van de toren gedeeld door het aantal niveaus.

Om de geometrie in 3D te zetten wordt het UCS assenstelsel verplaatst in de ruimte (zie 1. in script). Deze verschuiving wordt bepaald door *'zpos'*, *'xpos'* en *'ypos'* en kan vervolgens gedraaid worden door de parameter *'rot'* die afgeleid is uit de parameter *'torsion'*. Als bijvoorbeeld de totale torsie ingesteld is op 90 graden en er zijn 9 verdiepingen, dan wordt de rotatie per verdiepingniveau 10°.

Bij elke verplaatsing van het assenstelsel wordt een nieuwe 2D vorm getekend (zie 3. in script). Dit kan voorgesteld worden als de contourlijn van de volgende vloerplaat. Tussen de laatst gegenereerde vloerplaat en een nieuwe wordt een oppervlak gecreëerd met het commando *'rulesurf'*, de basisgeometrie voor de gevel. Elk nieuw element wordt in een selection-set (*'set1'*) geplaatst om alles wat gegenereerd is samen te houden en te kunnen groeperen.

## PARAMETERS

Om alle gegevens door de gebruiker te laten invullen moet er een soort dialoogvenster ontstaan dat duidelijk maakt welke waarde gevraagd wordt. Na het starten van het script vraagt het programma stap voor stap de waarde, waarbij er telkens een zin verschijnt om het te verduidelijken. De waarden die gevraagd worden zijn de naam, hoogte, verdiepingen, lengte van een ribbe op niveau 0, lengte van een ribbe op het hoogste niveau, torsie, bendingfactor op niveau 0, bendingfactor op hoogste niveau, x werveling, y werveling en de detaillering van het geveloppervlak. Vervolgens moet de gebruiker het centrale punt definiëren van het assenstelsel waarop de toren zichzelf zal genereren.

Wanneer de toren er staat maakt het script automatisch een *'record'* aan voor het geheel. Hierin worden alle parameters achtereenvolgens opgeslagen en wordt er een type *'tower'* op het einde toegevoegd als label. De toren met zijn gegevens en geometrie wordt finaal in een *'list of objects'* geplaatst om achteraf terug toegang te krijgen tot de gegevens.

```

.....
::: TRANSFORMATION FUNCTION .....
.....

(defun transform (/ ent_name)
  ;; select the object to transform
  (setq ent_name (entsel "Select the object you would like to transform: "))
  (object_exists? ent_name)
)

.....
::: FUNCTION CHECK IF OBJECT EXISTS .....
.....

(defun object_exists? (ent_name / lo object entname adaptrecord entn typ)

  (setq entname (car ent_name))
  ;; extract the entity name out of the selected object
  (setq lo list_of_objects)
  (length lo)
  (while (/= (length lo) 0)

    ;; get the entityname of the first object
    (progn
      (setq object (car lo))
      (setq adaptrecord object)
      (setq entn (car object))
      (if (equal entn entname)
          ;; if equal check the type
          (progn
            (setq typ (nth 12 object))
            (setq ar adaptrecord)
            (if (equal typ "tower")
                (extracting)
            )
          )
      )
    )

    ;; continue
    (progn
      (setq lo (cdr lo))
    )
  )
  (wrongtyp)
)

.....
::: APPLY TRANSFORMATION .....
.....

(defun applytransform (/ answer)

  (setq transformrecord ar)

  (setq answer (getstring "type apply to transform (Apply / Back / Exit)"))
  (if (or (equal answer "Apply") (equal answer "apply") (equal answer "a") (equal answer "A"))
      (rename entname)
      (if (or (equal answer "Back") (equal answer "back") (equal answer "b") (equal answer "B"))
          (main_program)
          (if (or (equal answer "Exit") (equal answer "exit") (equal answer "e") (equal answer "E"))
              (prompt "you have exit the program")
          )
      )
  )
  (progn
    (prompt "you have typed the wrong answer")
  )
  (main_program)
)

.....
::: REMAKE TOWER .....
.....

(defun remake (entname / pt name height levels rib ribsxn torsion bfactor bfactor x y surfdet)

  (setq name (nth 2 transformrecord))
  (setq height (nth 3 transformrecord))
  (setq levels (nth 4 transformrecord))
  (setq rib (nth 5 transformrecord))
  (setq ribsxn (nth 6 transformrecord))
  (setq torsion (nth 7 transformrecord))
  (setq bfactor (nth 8 transformrecord))
  (setq bfactor (nth 9 transformrecord))
  (setq x (nth 10 transformrecord))
  (setq y (nth 11 transformrecord))
  (setq surfdet (nth 12 transformrecord))
  (setq pt (nth 1 transformrecord))

  (entdel entname)
  (command "purge" "blocks" name "y" "y")

  (command "ucs" "world")
  ;; Set up layers
  (command "layer" "new" name "color" "red" name "")
  (command "layer" "set" name "")
  (command "ucs" "origin" pt)

  ;; draw tower
  (xtower x y height levels rib ribsxn torsion bfactor bfactor surfdet name pt)

  (setq entt entity_n)
  (setq rec (list entt pt name height levels rib ribsxn torsion bfactor bfactor x y surfdet "tower"))
  (setq list_of_objects (cons rec list_of_objects))

  ;;(writetransformdata)
  (main_program)
)

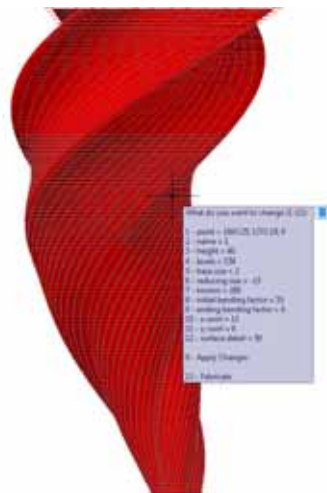
```

## TRANSFORMATIE VAN BESTAANDE GEOMETRIE

Als de toren gegenereerd is kan het voorkomen dat het gewenste resultaat niet bekomen werd. Het zou dus interessant zijn om een transformatiefunctie in het script in te bouwen zodat de gebruiker zijn oorspronkelijke parameters terug kan aanpassen op een interactieve manier.

Het complexe hieraan is om eerst te controleren of de geselecteerde toren voor transformatie vatbaar is. Dit wil zeggen dat het een *'entity name'* binnen AutoCAD moet hebben die gegenereerd is door het LISP script en benoemd werd met het type *'tower'*. Indien dit niet het geval is kunnen de parameters niet opgevraagd worden omdat ze er niet zijn. Deze controle is een loop-functie die alle mogelijke entity names moet gaan vergelijken en analyseren. Indien het label *'tower'* niet gevonden wordt krijgt de gebruiker de melding "The selected object is not a *'tower'* type" en wordt hij doorverwezen naar de andere mogelijkheden. Als het echter wel het juiste object is worden alle parameters eruit gehaald en in een dialoogvenster gegoten. De gebruiker krijgt direct het dialoogvenster met alle initiële parameters en kan deze stuk voor stuk aanpassen (zie adaptation function).

De uiteindelijke transformatie gebeurt wanneer alle aanpassingen voltooid zijn en de gebruiker de optie *'apply changes'* geselecteerd heeft. Het script gebruikt nu de nieuwe parameters om de toren helemaal opnieuw te genereren met dezelfde functie.



076 - Dialoogvenster voor transformatie





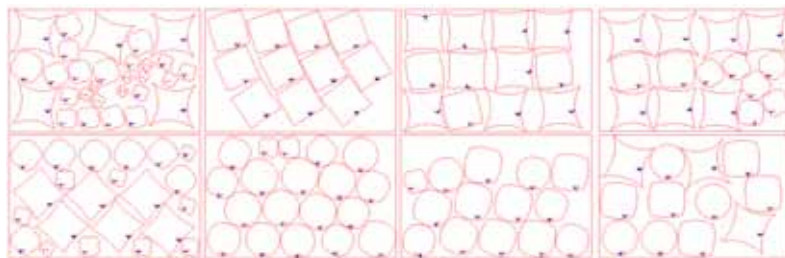
## FABRICATIE PROTOTYPE

In het fabricatieproces wordt dezelfde methode van het script gebruikt, maar in plaats van een verticale opeenvolging worden de 2D contouren nu horizontaal en lineair in slechts één vlak uitgezet. In het script is een toepassing voor fabricatie ingebouwd onder de transformatie functie.

Om hieraan te beginnen moet de dikte van het gebruikte materiaal (grijze karton) gekend zijn. Hieruit kan dan het aantal lagen berekend worden in functie van de hoogte van het geheel. Stel dat de materiaaldikte bijvoorbeeld 3 mm is en het prototype 30 cm hoog is, dan zijn er 100 lagen nodig.

De contouren zullen vervolgens gebruikt kunnen worden voor laser-cutting. Een gekozen constructievorm om alles samen te houden wordt samen met een volgnummer toegevoegd aan elke 2D contourlijn en in drie verschillende lagen geplaatst. De lagen geven meteen de juiste eigenschappen voor de gebruikte laser cutter, rood is voor het snijden en blauw voor het graveren.

1: Kruis      2: Staaf      3: Twee Staven      4: Drie Staven      5: Aangepast



078 - De acht panelen voor in de laser-cutter

## DEMO

De demo genereert met een paar voorgedefinieerde parameters enkele torens waarbij de gebruiker alleen maar de punten van de oorsprong moet aanduiden. Het gebruikt hetzelfde script maar de geometrie uit de demo is niet transformeerbaar.





### 1.3 INLEIDING RHINOCEROS & GRASSHOPPER

*“Parametricism can only exist via sophisticated parametric techniques. Finally, computationally advanced design techniques like scripting (in Mel-script or Rhino-script) and parametric modeling are becoming a pervasive reality. Today it is impossible to compete within the contemporary avant-garde scene without mastering these techniques.”<sup>84</sup>*

Generatieve modelleerwijzen zijn ongetwijfeld aan het evolueren tot één van de meest interessante CAD ontwikkelingen toegepast door de industrie. Terwijl in architecturale praktijken ongeveer 20 jaar lang de mechanische ontwerpers achterbleven om 3D te ontwikkelen, is er nu een scherpe toename ontstaan in het gebruik van 3D en geavanceerde form-finding tools waarvan Rhinoceros van McNeel een van de meest populaire oplossingen is.

Het softwarepakket biedt een interessante tool waarmee script op een gemakkelijke en gebruiksvriendelijke manier gebruikt kan worden. Grasshopper is een interface voor Rhino om zeer efficiënt en intuïtief parametrisch te modelleren. Hierbij is de kennis van script in principe geen noodzaak wat het dan ook zeer populair maakt bij studenten en professionelen in de architecturale ontwerpwereld. McNeel heeft een nog een aantal andere Rhino add-ons en plug-ins ontwikkeld die hoofdzakelijk een brede optionele functionaliteit bieden voor het renderen en animeren zoals ‘Penguin’ en ‘Flamingo’ alsook ‘Bongo’ en ‘Brazil’. De laatste ontwikkeling noemt Grasshopper en is volledig gratis omdat het nog steeds in ontwikkeling is. Het focust op het opkomende generatieve vormgeven en integreert zich vlot in Rhino waardoor de gebruiker interactief via een ‘plug and play’ interface de geometrie kan besturen zonder de noodzaak om de RhinoScript programmeertaal te leren.

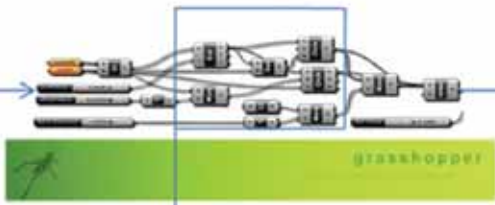
*“Writing code is not something designers really want to get their head into. It seemed like most bigger firms have a few ‘scripting geeks’ that could not keep up with the designers’ demands. So more and more designers were asking for scripting training... but then they hated it once they figured out how tedious coding was.”<sup>85</sup>*

Grasshopper werkt binnen het Rhino platform en gebruikt standaard Rhino geometrie maar heeft een eigen interface. Algoritmes en manipulators worden geplaatst en verbonden zoals effectenpedalen. Het is gemakkelijk, maar het vergt steeds een specifieke methodologie en men moet de geometrie en mogelijkheden goed begrijpen om het gewenste resultaat te bekomen.

---

84 Patrik Schumacher

85 Bob McNeel



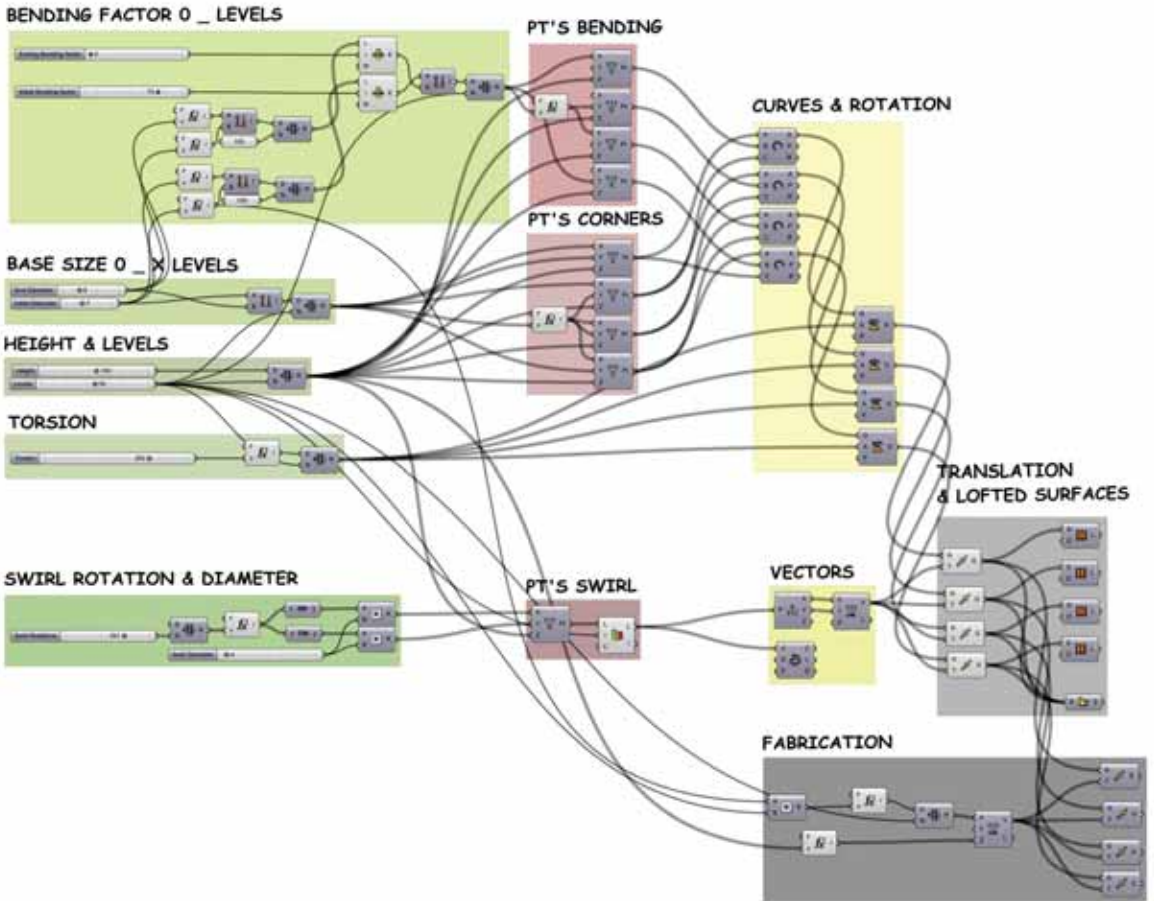
**SCRIPT**

```

// Grasshopper Script
// This script generates a cylindrical mesh structure.
// It uses various Grasshopper components like Curve, Rotate, and Mesh.
// The script is written in a simplified syntax for visualization.

```

079 - Een schematische voorstelling van de werking van Grasshopper



080 - Grasshopper opstelling, overzichtelijk met kleurgebruik

*“Our goal is for the generative process to be completely interactive. If you make any change to the Grasshopper definition or an input, you see the change instantly. Of course, as the definition gets more complex and the model larger, it slows down. There are options to not regenerate every time you make a change. Also, it is easy to ‘disconnect’ part of a definition while you are working on others. Since Grasshopper is very flexible, users can set up most any kind of relationship they like, so I guess you could say some of those relationships are parametric. But if the user wants to organize their generative model more like a script, it is more script-like. We are trying not to limit anyone’s shape generation process by forcing them to think about it in a certain way. In most cases, Grasshopper is instantly interactive when you change an input (geometry or parameter) or when you change the definition. Grasshopper is a way for designers to look at design problems as a set of sophisticated relationships and to map those relationships graphically and programmatically into a system that allows them to interactively play with alternatives. At first Grasshopper was very simple but, based on user feedback, it now allows for very complete systems, including the ability for expert users to extend the system with C# and Visual Basic components.”<sup>86</sup>*

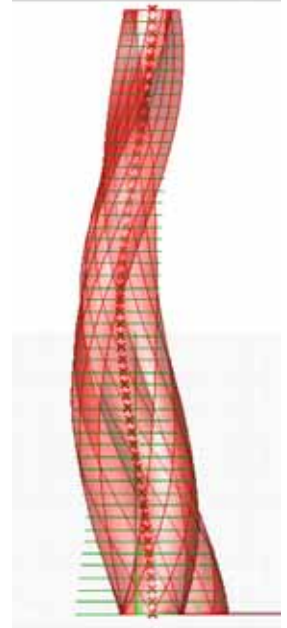
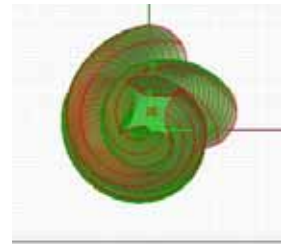
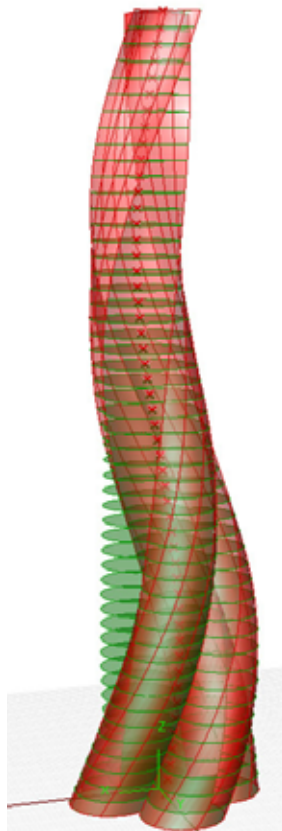
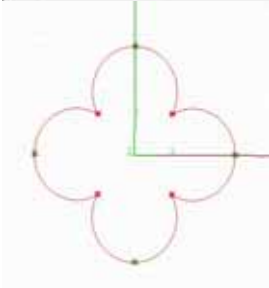
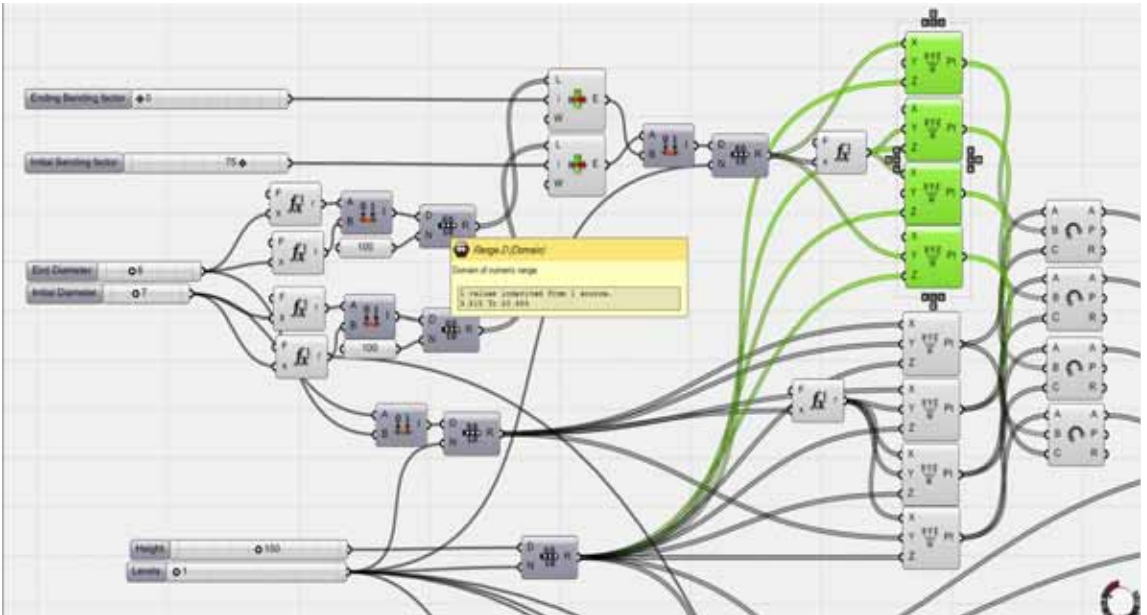
In vergelijking met het script-gebaseerde Generative Compontens (GC) van Bentley Systems is Grasshopper veel gemakkelijker aan te leren en interactiever. Voor GC is er een degelijke training vereist, het is namelijk gebaseerd op MicroStation dat parametrisch kan modelleren. Grasshopper daarentegen gebruikt een visuele interface om het scripten te automatiseren, gebaseerd op Rhino, een niet-parametrische ‘surface modeller’.

Globaal gezien zijn 90% van alle Grasshopper gebruikers architecten en telde het aantal in juni 2009 ongeveer 12 000 met nog een groot aantal die niet geregistreerd zijn. Het business model van McNeel is zeer klantgericht met een vrije attitude wat leidt tot een zeer actieve gebruikersgemeenschap. Het bedrijf probeert met deze plug-in een link te leggen tussen het modelleren en fabriceren terwijl andere CAD pakketten zich slechts lijken te focussen op het modelleren van 3D vormen. Rhino focust zich op het ontwerpen voor digitale fabricatie, het creëren van free-form geometrie die accuraat genoeg is om te produceren. In dit domein is architectuur de enige markt waarbij er nog steeds 2D-documentatie gebruikt wordt. In de andere markten werkt men reeds met driedimensionale modellen in Rhino, doorheen alle fases van het ontwerpproces tot fabricatie en in veel gevallen zelfs zonder 2D-documentatie. In dit opzicht is het interessant om de vergelijking te maken tussen het Visual LISP script en de mogelijkheden van Grasshopper.<sup>87</sup>

---

<sup>86</sup> McNeel, AEC Magazine

<sup>87</sup> Update: McNeel heeft vrij recent (mei 2010) RhinoParameters 1.0 uitgebracht; een krachtige plug-in die parametrische en associatieve geometrie in Rhino mogelijk maakt.



## 1.4 GRASSHOPPER

De Grasshopper plug-in had oorspronkelijk de titel 'Explicit History' vanwege het feit dat alle parameters gelinkt zijn aan elkaar en elke nieuwe wijziging zijn doorslag heeft op elke individuele component. De plug-in 'onthoudt' als het ware alle acties die de finale uitkomst van de geometrie bepalen. Elke handeling is gekoppeld aan de andere en dit principe noemt men het associatief modelleren.

In dit tweede deel van de casestudy wordt een onderzoek in Grasshopper gedaan om op een overeenstemmende manier als het Visual LISP script dezelfde vorm, parameters en fabricatieprincipes te bereiken. Het script wordt vertaald in een associatief componentenschema dat complex met elkaar verbonden is.

### 2D GEOMETRIE

Om te beginnen wordt er gekeken hoe de 2D geometrie gemodelleerd kan worden. In tegenstelling met het LISP script waarbij een polyline met 4 'arc'-componenten getekend wordt, worden er nu 4 afzonderlijke bogen getekend wat later gemakkelijker zal zijn om de curven te verbinden met een vlak.

Er worden eerst vier basisparameters opgesteld door 'number sliders': de initiële en laatste bending factor en de initiële en laatste diameter (of riblengte). Met de twee parameters die de riblengte boven en onder beschrijven worden twee domeinen gezocht die de maximum en minimum afstand afbakenen voor het derde punt dat de kromming van de curve zal bepalen, het 'bending point' in LISP (groen in de afbeelding). Dit punt moet binnen de gegeven cirkel blijven die getekend werd (zie afbeelding LISP). . Aan de hand van een wiskundige formule in de 'Fx1' componenten worden de waarden afgeleid uit de twee parameters en omgezet in een interval van bijvoorbeeld 3.515 tot 20.485 in dit geval. Vervolgens wordt dit interval onderverdeeld in 100 waarden. Deze 100 waarden, zowel boven als onder, worden naar een lijst-component gestuurd waar één item uit geselecteerd kan worden, namelijk één punt op de middellijn van de gegeven cirkel. De twee items die hieruit genomen worden zijn bepaald door de twee bending factoren die tussen 0 en 100 liggen.

Nu zijn er slechts x- en y-waarden gecreëerd voor de benodigde buigpunten in 2D. Deze waarden gaan naar vier punt-componenten waar de drie parameters x, y en z kunnen ingegeven worden. De coördinaten van de buigpunten, met z=0, zijn  $a'(x,0,0)$ ,  $b'(0,-y,0)$ ,  $c'(-x,0,0)$ ,  $d'(0,y,0)$ . Naast de buigpunten moeten we ook de hoekpunten van het vierkant definiëren, deze worden rechtstreeks gehaald uit de riblengtes en aangesloten op vier andere puntcomponenten. Alle benodigde punten zijn nu aanwezig om de vier curven te maken door  $a,a',b - b,b',c - c', d - d',a$ .

### 3D GEOMETRIE

De volgende stap verzorgt de verplaatsing van de geometrie in de hoogte (z). Er worden twee nieuwe 'number sliders' op het canvas geplaatst die de 'hoogte' en het aantal 'niveaus' beschrijven. Deze twee parameters gaan eerst naar een 'range' component waarbij de hoogte wordt onderverdeeld in het aantal verdiepingen. In dit geval is de hoogte 150m en het aantal verdiepingen 50 dus wordt er een lijst  $L(0,3,6,9,12,\dots,150)$  gecreëerd voor de z-waarden. Deze range componenten zijn ook terug te vinden bij het maken van de x- en y-waarden, ze zorgen ervoor dat de punten gecreëerd worden tussen het bovenste en onderste deel van de toren. Een goed data management is hier van cruciaal belang, alle bewerkingen gebeuren met een lijst van data. Deze lijsten moeten dezelfde lengte hebben en evenredig opgesteld zijn. Zo zal in dit geval elke bewerking een lijstlengte hebben die gelijk is aan het aantal niveaus.

Het eerste resultaat kan nu beoordeeld worden in Rhino, de toren evolueert correct naar boven toe maar is nog niet gedraaid. Hiervoor wordt een nieuwe parameter 'torsion' gemaakt die ook aan een 'range'-component wordt gekoppeld. Stel dat de torsie  $150^\circ$  is dan ontstaat de lijst  $L(0^\circ,3^\circ,6^\circ,9^\circ,12^\circ,\dots,150^\circ)$  die voor elk niveau de verdraaiing bepaald t.o.v. van de oorspronkelijke plaats van de vier bogen. De as van de rotatie staat loodrecht op het middelpunt van het vierkant.

De laatste parameter die toegevoegd moet worden in de Grasshopper opstelling is de werveling van de toren. Dit wil zeggen dat de centrale punten van elk niveau niet op een loodrechte as liggen, maar echter wel er rond wervelen. In het LISP script werd elk niveau opnieuw gedefinieerd met het assenstelsel dat gedraaid en verplaatst werd met een x en/of y waarde en een z waarde. Omdat er in Grasshopper niet gewerkt wordt met een verplaatsbaar assenstelsel kan geprobeerd worden een puntenreeks rond een as te laten wervelen waar de niveaus achteraf aan gekoppeld worden. Om deze puntenreeks te maken worden er punten op een eenheidscirkel uitgezet in het x-y vlak met de oorsprong (0,0), een straal met waarde 1 en met  $x=\cos(t)$  en  $y=\sin(t)$ . Alle waarden van x en y kunnen achteraf vermenigvuldigd worden met een getal om de diameter van de cirkel te vergroten. Ook het aantal punten op de cirkel is variabel gemaakt. De z waarden worden echter opnieuw gehaald uit de hoogte gedeeld door het aantal niveaus waardoor alle punten van de cirkel omhoog geplaatst worden volgens de reeds bestaande geometrie. Om de oorspronkelijke geometrie nu naar deze nieuwe punten te verplaatsen gebruiken we de vectoren tussen de oorsprong en de wervelende punten. Deze vector gaat naar vier 'move' componenten die de vier cirkelbogen verplaatsen naar hun nieuwe locatie. De bekomen uitkomst is nu vergelijkbaar met het LISP script met dezelfde parameters en geometrie.

Naar fabricatie toe worden de contourlijnen terug in één vlak gebracht door een tegengestelde z vector in te brengen en vervolgens alle elementen te verschuiven in de x richting. Nummering en constructie elementen kunnen op gelijkaardige wijze gemakkelijk aangebracht worden maar moeten wel handmatig in de juiste laag gezet worden met de juiste eigenschappen. Het zou ook interessant zijn voor verdere ontwikkeling om een algoritme op te stellen die alle elementen zo efficiënt mogelijk op een plaat sorteert om ze vervolgens uit te snijden (laser cutter) met zo weinig mogelijk materiaalverlies.



## 1.5 VISUAL LISP VS GRASSHOPPER

Het is vrij vanzelfsprekend dat het visual LISP script veel meer tijd en inspanning vergde om op te stellen dan het Grasshopper schema. Bij beide methoden was het echter een eerste kennismaking, dit zowel voor het programma (AutoCAD en Rhinoceros) als het programmeren (Visual LISP en Grasshopper). Er kan dus goed vergeleken worden welke wijze het meest economisch rendabel is en tegelijkertijd de meeste mogelijkheden biedt.

In Visual LISP treden er vaak problemen op van incorrectheid bij het schrijven van een script. Wanneer men bijvoorbeeld een haakje vergeet of een woord verkeerd heeft gespeld werkt het script dikwijls niet meer. Het is achteraf dan ook een hele klus om de speld in de hooiberg terug te vinden, met veel tijdverlies tot gevolg. De LISP programmeertaal is echter vrij logisch maar vergt toch de nodige tijd om te bestuderen en te begrijpen. Daarnaast is er veel kennis vereist van de werking van Autocad zelf en het opstellen van lokale en globale variabelen in het script. In tijdspanne omgezet zijn er zeker twee maanden verstreken vooraleer de taal gekend was en het script helemaal op punt stond. Een bijkomend nadeel is dat er geen interactie is tussen de wijziging van de parameters en de geometrie zelf. Parameters moeten in een zelf opgestelde en sobere 'interface' handmatig worden ingegeven zonder enig besef van hoe het nieuwe resultaat eruit zal zien. De geometrie moet bij elke wijziging ook helemaal opnieuw gegeneerd worden wat toch wel redelijk beperkend is.

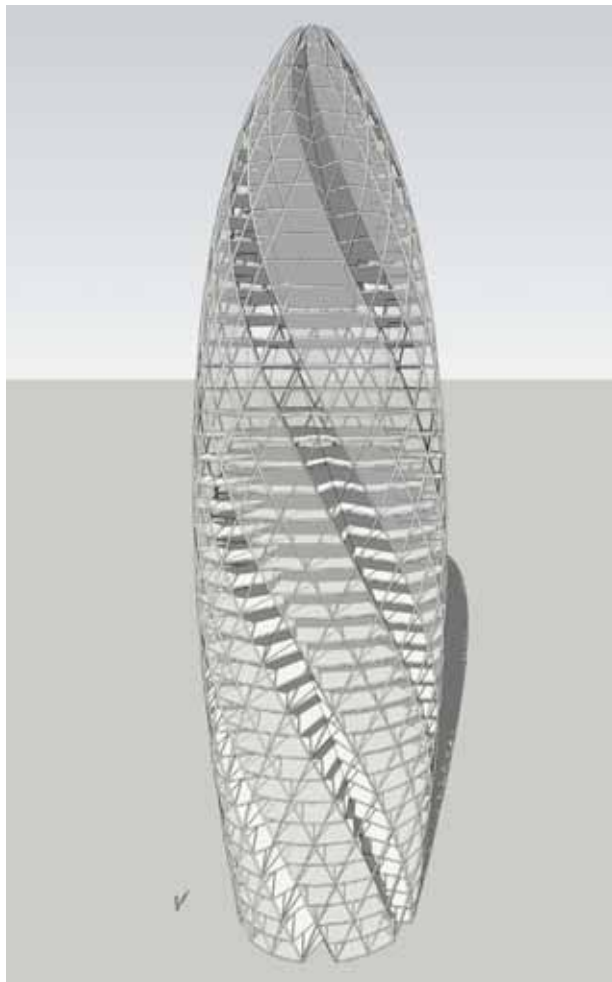
In Grasshopper daarentegen is alles vrij eenvoudig op te stellen. Na het doornemen van verscheidene handleidingen en tutorials werden al gauw de mogelijkheden en krachtpunten van deze plug-in zichtbaar. Het schema dat overeenstemt met het LISP script werd in slechts twee dagen opgesteld, wel met de nodige trial & error scenario's tijdens het leerproces. Achteraf gezien zou het mogelijk zijn om dit opnieuw te creëren in slechts één à twee uur. De beheersing van de Grasshopper methodologie biedt een zeer grote verruiming bij het creëren en parametriseren van geometrie. Het is interactief en de geometrie verandert zichtbaar bij elke wijziging. Het is eenvoudig, economisch en vooral heel praktijkgericht in eender welke industrietak. Eindeloze variaties kunnen onderzocht en geëvalueerd worden en concepten kunnen op een volledig andere manier vertaald en gemodelleerd worden.



## CASE 2: SWISS RE TOWER - NORMAN FOSTER

Het is tegenwoordig heel gebruikelijk dat concepten van hoogbouw met een associatieve modelleertechniek worden uitgewerkt. Het laat de ontwerpers toe om gemakkelijk en snel verschillende gedifferentieerde modellen te genereren.

Om verder in te gaan op Grasshopper was het een interessante uitdaging om het onderzoek van mijn voorganger Davy Franssens verder te zetten. In zijn thesis 'File-to-Factory' trachtte hij de Swiss Re Tower in London van Foster & Partners te modelleren met Maxscript. De geometrie werd benaderd door puntenreeksen in een spiraalvorm omhoog te laten evolueren en vervolgens curven en een mesh hierop te genereren, maar de exacte vorm van de toren werd helaas niet bereikt. In Grasshopper zou de Swiss Re Tower echter gemakkelijker geëvenaard kunnen worden en parametrisch kunnen functioneren.



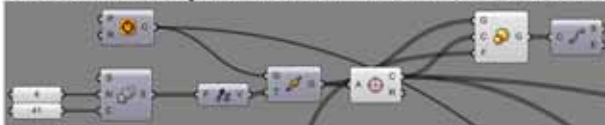
086 - Het Swiss Re gebouw gegenereerd in grasshopper en geïmporteerd in SketchUp 7.

## 2.1 WERKWIJZE

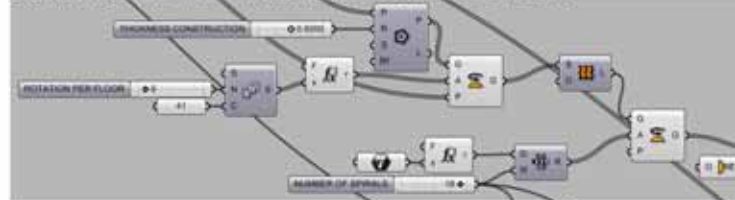
Het concept vertrekt vanuit een verticale array van 41 cirkels die verdiepingen voorstellen met elk een hoogte vier meter. Deze cirkels worden vervolgens individueel verschaald tot de vorm van de originele toren ongeveer bekomen wordt. Deze verscaling gebeurt met behulp van een Bezier-curve die aangepast kan worden naar wens.

Uit de verschaalde cirkels worden de startpunten (of dezelfde eindpunten) geëxtraheerd. Hierop worden vervolgens driehoekige polygonen rond getekend waardoor een rechte lijn op de cirkels naar boven ontstaat. Deze polygonen moeten echter rond het volume heen draaien in de vorm van een spiraal. De volgende stap is een serie te genereren van rotatiewaarden op de cirkel om de polygonen per verdieping de verplaatsen. De rotatie per verdieping bedraagt nu vijf graden, dit wil zeggen  $200^\circ$  in totaal t.o.v. het beginpunt. Vervolgens worden de polygonen met de 'loft' component verbonden door een vlak. Nu is er slechts één spiraalvormig gevelelement aanwezig en worden er meerdere gemaakt door een domein van 360 graden te bepalen waarbinnen in dit geval achttien spiralen zitten. Deze zijn echter allemaal geroteerd in wijzerzin en worden bijgevolg gespiegeld om de structuur te vervolledigen.

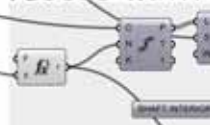
### BASIC FORM (41 SCALED CIRCLES, LEVEL HEIGHT: 4 M )



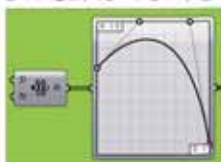
### SURFACE ACTIVE FACADE CONSTRUCTION



### FLOORS WITH



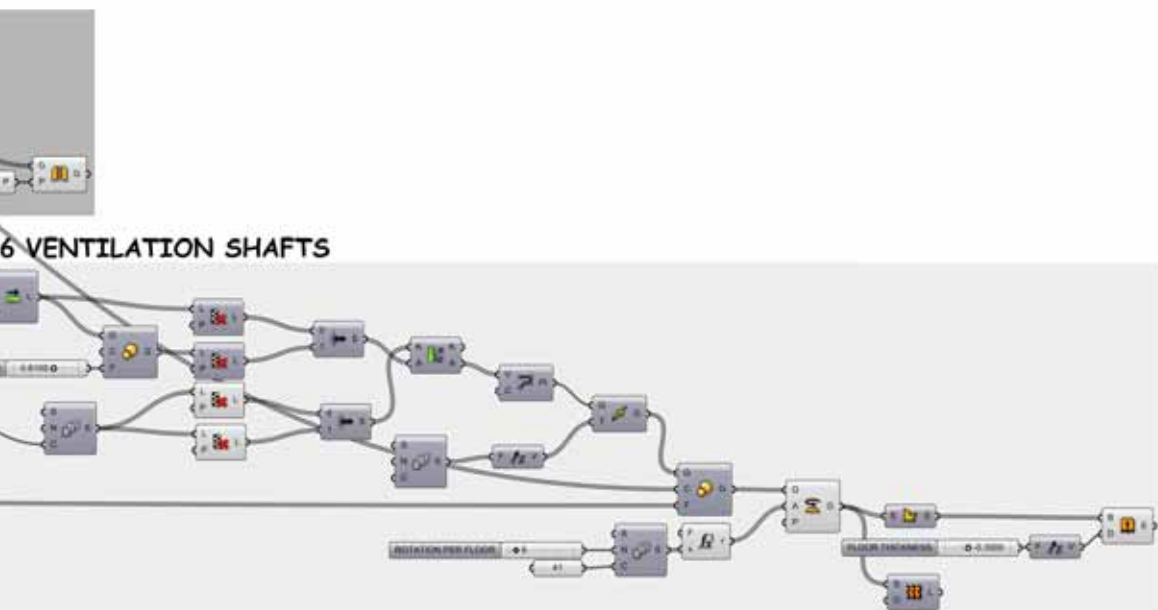
### SCALING CURVE

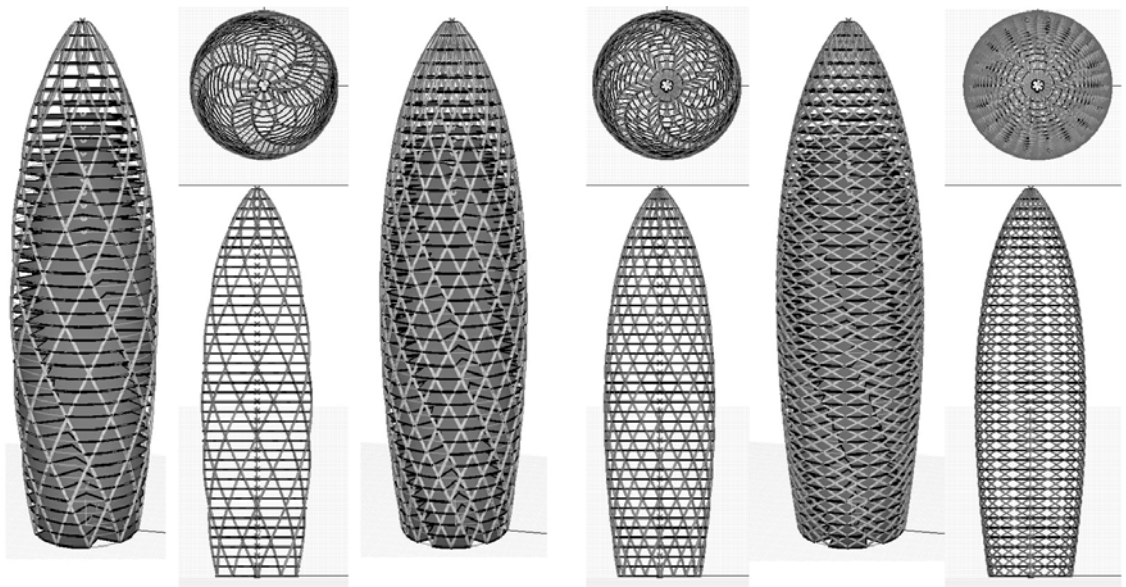
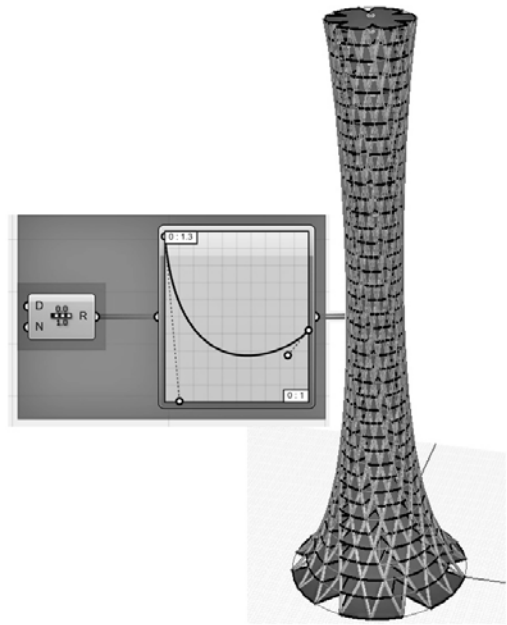
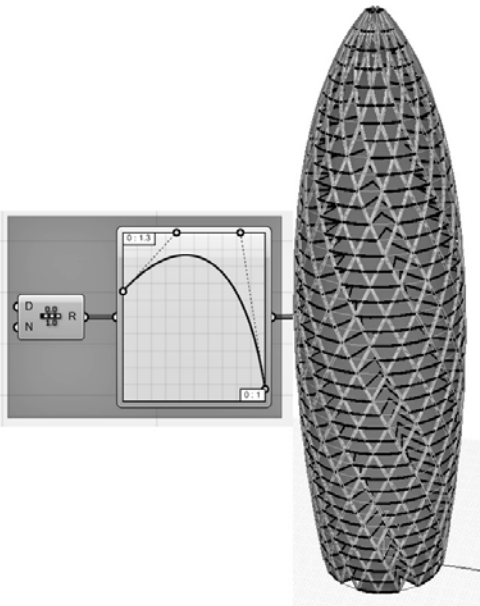


087 - De Grasshopper opstelling voor de volledige Swiss Re geometrie

Nu de basisstructuur vervolledigd is kan er zelfs nog een stap verder gegaan worden waarbij de vloeren met de zes driehoekige openingen gevormd worden en meedraaien volgens de spiraal. Eerst en vooral moet er een tweede puntenlijst gemaakt worden gebaseerd op een cirkel die kleiner is dan de omtrekcirkel. Deze cirkel wordt gemaakt door de oorspronkelijke te verscalen volgens een factor kleiner dan 1. Aan de hand van de twee puntenlijsten (binnenste en buitenste cirkel) wordt één lijst gecreëerd die om de drie punten verspringt naar een punt op de middelste cirkel. Met deze lijst wordt een gesloten polyline gemaakt die een plat vlak beschrijft. Dit platte vlak wordt gegenereerd en geëxtrudeerd om een vloerdikte te bekomen.

Alle vloeren en gevelementen zijn nu gegenereerd en leunen vrij goed aan bij het echte Swiss Re gebouw. Belangrijk en misschien een beetje op de achtergrond verzeild geraakt, is het feit dat de opstelling parametrisch is. Het model is nu volledig opgebouwd en gebaseerd op het echte Swiss Re gebouw. Een niet te vergeten sterktepunt van het systeem is dat er verschillende variaties gemaakt kunnen worden. Hierbij is kan men gemakkelijk de beste vorm verkrijgen of het geheel aanpassen op vraag van de klant. Alles wat in Grasshopper gemodelleerd wordt is te zien in de Rhino-interface maar staat er niet rechtstreeks in, daarom is het rood (of groen) gekleurd. Als het model goedgekeurd wordt door de gebruiker, dan kunnen onderdelen van de geometrie met de 'bake'-functie in Rhino gezet worden. Op deze manier is het handig om verschillende resultaten te genereren, over te zetten en naast elkaar te vergelijken.





089 - Mogelijke variaties in de gevelstructuur

## 2.2 CONCLUSIE

Deze studie behoorde voor mij tot het leerproces van Grasshopper en nam ongeveer twee dagen met problem-solving in beslag. Bij de opstelling van het schema werd relatief veel tijd besteed aan het zoeken naar een efficiënte oplossing met een doeltreffend data-management. Achteraf bekeken, met wat meer kennis van nuttige tips en gebruikte methodes, was dit zeker af te handelen in een halve dag. Indien men wil kan er op dit model ook nog verder gewerkt worden waarbij raampartijen, secundaire raamprofielen, een interne liftschacht en verdere detailleringen mee gegenereerd kunnen worden.

Het principe, de functionaliteit en het economische aspect zijn met deze case zeker aangetoond. File-to-Factory is in dit proces ook van essentieel belang. Automatisering, parametrisatie en fabricatie zullen een grote invloed hebben op de snelheid en de wijze waarop architectuur wordt gemaakt.

Grasshopper biedt een zeer interessante werkomgeving waarin verscheidene dynamische en parametrische systemen gemodelleerd kunnen worden. Zelfs afbeeldingen en teksten kunnen gebruikt worden als informatie-invoer en ook lijstgegevens kunnen gelinkt worden met Excel-tabellen als output of input. De meeste beperkingen bevinden zich echter bij de gebruiker zelf die ofwel nog vrij traditioneel denkt qua ontwerpmethode of te weinig kennis heeft van de mogelijkheden. Creativiteit is een bepalende factor om vernieuwende concepten te kunnen uitwerken met deze Plug-in. Generatieve en algoritmische ontwerpmethodes hebben ongetwijfeld een doorbraak in de architectuurwereld bekrachtigd waarbij grensoverschrijdende principes realiteit kunnen worden.



## CASE 3: NORDPARK KABELBAAN, EEN GLOBAAL PARAMETRISCH SYSTEEM

### 3.1 INLEIDING

Zaha Hadid won de competitie in 2005 om samen met Strabag een kabelspoorweg te bouwen in Innsbruck. Dit is reeds het tweede project van Zaha Hadid op deze locatie. De Ski Jump van 2002 was het eerste en won de 'Gold Medal for Design' door het 'International Olympic Committee' in 2005.

De Nordpark kabelbaan bestaat uit vier nieuwe stations en een tuibrug over de rivier Inn en werd geopend aan het Löwenhaus Station in Innsbruck op 1 december 2007. Het vertrekpunt is het station bij het Congress in het centrum van de stad. Het traject reist vervolgens naar het Löwenhaus station voor het de rivier oversteekt en de Nordkette berg opgaat richting het Alpenzoo station. De uiteindelijk eindhalte ligt in het dorp Hungerburg, 288 meter boven Innsbruck.

Opmerkelijk past elk station zich aan naargelang de specifieke omstandigheden op elke verschillende hoogte terwijl het de algemene coherente organische en vloeibare tint behoudt. Deze benadering was essentieel voor het ontwerp en toont de naadloze morfologie van Hadid's meest recente architectuur. Nieuwe productiemethodes zoals CNC milling en thermoforming zorgden voor een zeer nauwkeurige en een volledig automatische translatie van het gegenereerde computermodel naar een gebouwde structuur. De architecten gebruikten state-of-the-art ontwerp- en productietechnologieën, ontwikkeld voor de auto-industrie, om de gestroomlijnde esthetiek te bekomen van elk station.

*"Each station has its own unique context, topography, altitude, and circulation. We studied natural phenomena such as glacial moraines and ice movements - as we wanted each station to use the fluid language of natural ice formations, like a frozen stream on the mountainside." "A high degree of flexibility within this language enables the shell structures to adjust to these various parameters whilst maintaining a coherent formal logic. Two contrasting elements 'Shell & Shadow' generate each station's spatial quality, with lightweight organic roof structures of double-curvature glass 'floating' on top of concrete plinths, creating an artificial landscape that describes the movement and circulation within."<sup>88</sup>*

### 3.2 FUNCTIE

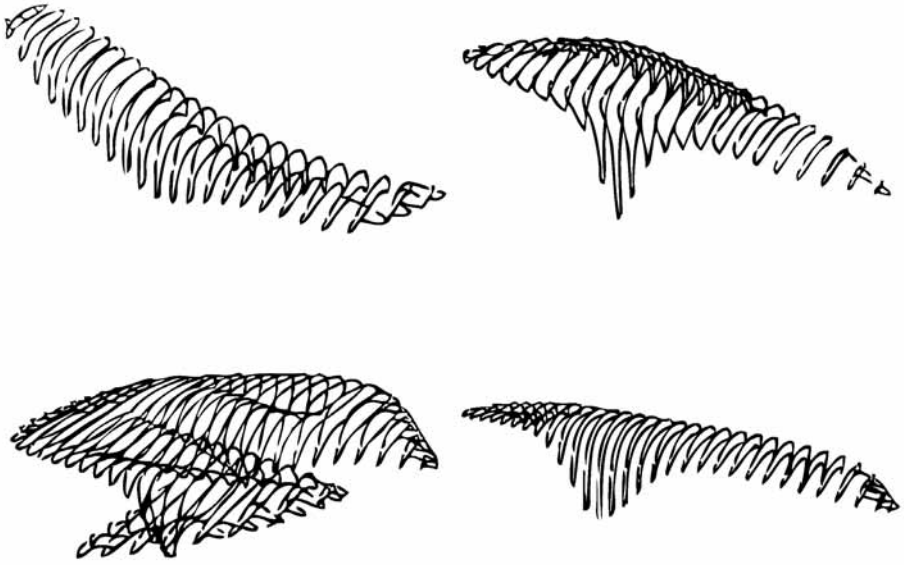
Het hoofddoel van de constructie is om de verbinding te maken tussen vier locaties en hiervoor een overdekte publieke ruimte te voorzien met de nodige in- en uitgangen, infrastructuur en bijkomende ruimtes. Elk station heeft zijn eigen vorm die afhankelijk is van de plek en altitude, zo is het Löwenhaus station bijvoorbeeld geïnspireerd door de beweging van de nabijgelegen rivier Inn. Naast infrastructuur heeft het project enkel een paar functies zoals toiletten, personeelsruimte, ticketverkoop en enkele platformen met panoramisch zicht. Het freeform design geeft het ontwerp een aantrekkelijk karakter en de materialisatie zorgt ervoor dat de structuur zeer vloeiend overkomt.

### 3.3 STRUCTURELE KARAKTERISTIEKEN

De constructie bestaat uit een gridshell-systeem. Het is een schaalstructuur gebaseerd op een (rechthoekig) grid of rasterwerk dat vervormd wordt tot een organische vorm met een dubbele kromming, waardoor de constructie stabiel wordt. Het originele concept is gebaseerd op een plat raster van houten balken op de grond die naar elkaar toe worden geduwd vanuit de hoeken, op deze manier komt het vlak naar boven en krijgt men een oppervlakte met een dubbele kromming. Helaas is deze methode alleen toepasbaar met hout. De beroemde Russische ingenieur/wetenschapper/architect Vladimir Shukhov was echter de pionier van de eerste gridshellstructuur uit staal met vaste knooppunten in Vyksa in 1896. Dit innovatieve ontwerp veranderde de manier van denken over deze systemen en verschillende materialen zoals staal en plastics werden later hiervoor gebruikt. De modificatie van het raster werd echter nog veel complexer met de digitale technologie waardoor moeilijkere transformaties gegenereerd kunnen worden.

De moeilijkheid van schaalstructuren zijn de verbindingen op de knopen die samen met de verankering de meest kritische elementen van de structuur vormen. Elke gridshell-structuur heeft een eigen verbindingssysteem nodig afhankelijk van de verschillende balken en het gebruikte materiaal. De voorwaarde van elke vorm is dat de totale structuur op minstens drie punten moet steunen om stabiel te zijn en toch lijkt het of de structuur zweeft. Op deze steunpunten wordt het systeem verankerd in de betonnen plinten. Eens de hoofdstructuur gebouwd is kunnen de openingen bedekt worden met glas, hout, zink, aluminium, plastics of laminaat, zowel binnen, buiten of zelfs tussen de structurele balken. Het produceren van dezelfde elementen in een symmetrisch ontwerp zal een optimaal ecologisch en economisch voordeel zijn, hoewel dit niet altijd het doel is van de architect. Zaha Hadid vertaalt de vorm bijvoorbeeld naar een zeer conceptueel ontwerp met geen enkel structureel element dat hetzelfde is. In dit geval wordt er gebruik gemaakt van file-to-factory.





090 - De vier skeletvormen van het Innsbruck kabelbaanproject

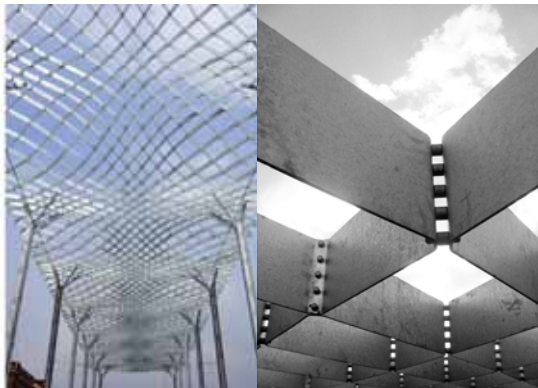


091 - Digitaal model in rhinoceros met de zichtbare afwateringsvoeg

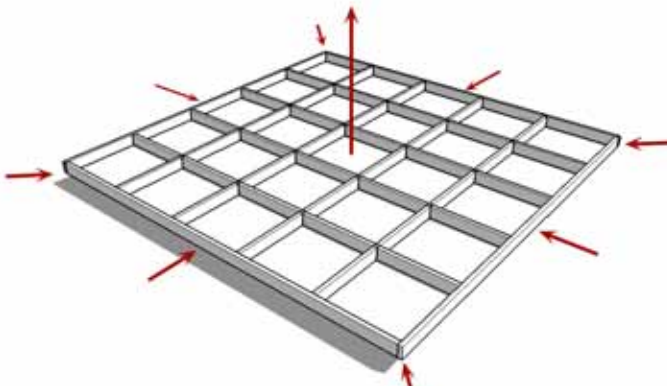
## EERSTE METHODE: HERPOSITIONERING VAN DE KNOPEN VAN HET GRID

Het idee van dit parametrisch systeem begint bij een balkenrooster. Om de dubbele kromming te bereiken moeten er knopen naar boven (of onder) bewegen om uiteindelijk een koepel of een andere organische vorm te krijgen. Door te spelen met de locatie van verschillende knopen kan het grid gemanipuleerd worden en kunnen nieuwe innoverende structuren ontstaan. Een perfect voorbeeld hiervan is de structuur die gemaakt is door de ingenieur Laurent Ney. De grid is gebaseerd op de interne krachtwerking van de totale structuur. Hij berekende de optimale positie van elk punt in het grid om de maximale sterkte te bekomen.

Een gridshell is een lichte en dunne structuur die dienst doet als schil en niet bedoeld is om grote belastingen op te vangen. Als het gaat om een systeem met een dubbele kromming, een koepel bijvoorbeeld, dan kan er een enorme overspanning gemaakt worden zonder interne ondersteuning of kolommen. Dit principe wordt vaak toegepast voor dakconstructies. Het is mogelijk om de constructie te bedekken met verschillende materialen zoals hout, plastics of zelfs glas om de open ruimtes tussen de gridstructuur op te vullen. Bij gebruik van glas wordt het lichte karakter van het systeem duidelijk herkenbaar.



092 - Geoptimaliseerde Luifel in Kiel (Antwerpen), Ney & Partners



093 - Een eerste methode mogelijk voor parametrisatie

## TWEEDE METHODE, TRANSFORMATIE EN DEFORMATIE VAN DE STRUCTURELE ELEMENTEN VAN HET GRID

De idee van deze methode vertrekt ook van een vlak grid, maar in plaats van knopen te verplaatsen worden de balken zelf vervormd tot we een gewenst resultaat bekomen. Het doel van deze methode is om specifieke, al dan niet organische vormen te bekomen voor enerzijds technische doeleinden of anderzijds een conceptuele uitwerking. Boten bijvoorbeeld zijn ontworpen om op het water te varen met zo weinig mogelijk wrijvingsweerstand, de oplossing bestaat daarom uit een vloeiende vorm die men kan bekomen door dit gridshell systeem toe te passen. Een conceptueel voorbeeld is het AA DRL Pavillion in London.

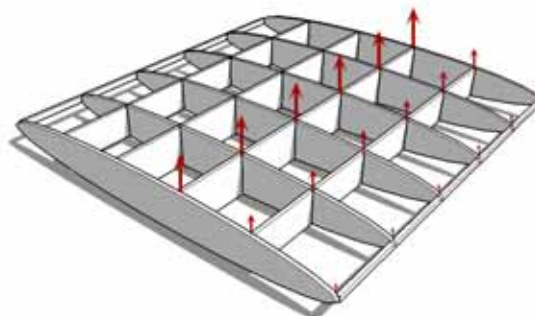
De uitdaging bij deze structuren is het productieproces. Omdat elk element licht verschilt van het andere is de fabricatie zeer moeilijk. Niet alleen de profielen maar ook de verbindingen ertussen zijn belangrijke technische uitdagingen. Dit soort vormen worden hierdoor niet vaak toegepast, maar de jonge generatie architecten zal in staat zijn om hier verandering in te brengen.



094 - DRL Pavillion, London



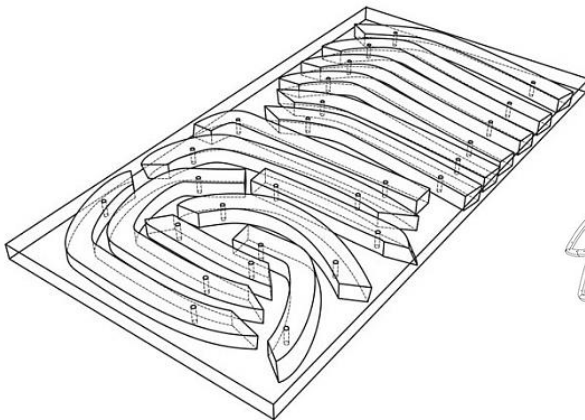
095 - De gevel van het kabelbaanproject



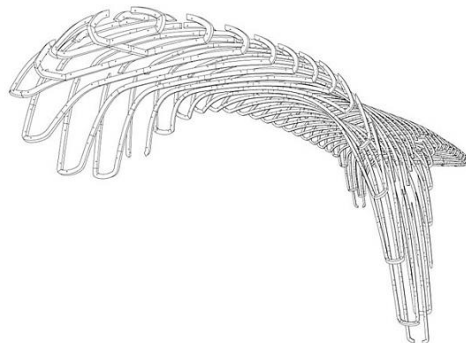
096 - Het gebruikte geparametriseerde systeem.

### 3.3 FABRICATIE

Het project gebruikt productietechnieken die oorspronkelijk ontwikkeld zijn voor 'Inventioneering Architecture'<sup>89</sup>. Ze tonen de mogelijkheid aan van het overbrengen van ervaring van het ene project naar het andere. Deze keer moest het werk van Designtoproduction<sup>90</sup> geïntegreerd worden in een grootschalig constructie- en fabricatieproject. Het project van Zaha Hadid in Innsbruck had maar liefst 2000 meter op maat gesneden polyethyleen (PE) profielen nodig om de glazen gevelbekleding te verbinden aan de stalen hoofdstructuur van de constructie. Omdat het dak bestaat uit een dubbel gebogen free-form veranderen de lijnen van de profielen voortdurend. Hier werd de 5-assige CNC techniek toegepast die reeds getest was op het project van Inventioneering Architecture. De geometrie van de profielen bestond uit NURBS in het CAD-model. Designtoproduction automatiseerde de segmentering van profielen, de plaatsing van de boorgaten, de aansluiting van de stukken en het genereren van de G-Code voor de 5-assige CNC router die elk onderdeel maakte. Ook alle documentatie over de productie, inclusief een lijst van alle onderdelen en stickers met het unieke ID-tag per deel, werden gegenereerd met informatie voor de verdere productiestappen. Met meer dan 2500 verschillende gefabriceerde delen bevat het Hungerburg/Innsbrück project het grootste aantal CNC-gefabriceerde onderdelen tot nu toe.



097 - Op maat gesneden Polyethyleen-profielen



098 - File-to-Factory model

<sup>89</sup> Inventioneering Architecture is een reizend tentoonstellingsplatform van 40 x 3,5 meter voor vier Zwitserse architectuurfaculteiten. Het stelt een doorsnede van een abstract Zwitsers landschap voor. <http://www.designtoproduction.ch/content/view/10/40/>, geraadpleegd op oktober 2009

<sup>90</sup> Designtoproduction ontwikkelde een innovatieve en kostefficiënte oplossing voor het produceren van dubbel gebogen vlakken voor het Inventioneering Architecture project, gebaseerd op de specifieke mogelijkheden van een 5-assige CNC-router. 1000 individuele dakspanten werden gesneden uit houten borden. Een automatische workflow voegde de detaillering, de geoptimaliseerde aansluitingen en de generatie van machine-code toe.





099 - 100 Fabricage op de werf



## CASE 4: EIGEN PROJECT/ CHARGE & SERVICE STATION

### 4.1 LOCATIE & CONTEXT

#### SITUERING

De site ligt ten oosten van Maasmechelen waar een kleine verlaten douanepost nog overeind staat en waar de E314 door het landschap gaat en de grens passeert naar Nederland. Het terrein is een gigantisch open landschap met protagonisten zoals de Maas, een dijk, de E314 en een zeilschooltje aan een grote plas. In de verdere omgeving vinden we ook een fietsroute, enkele kleine wegen en een open landschap terug. De site ligt nagenoeg perfect in het midden tussen Maasmechelen, Boorseem en Kotem en in het algemeen wordt het terrein rondom hoofdzakelijk gebruikt voor landbouw of als buffer voor overstromingen.

De E314 is een sterk element in dit landschap en verbeeldt op deze plek de mobiliteit van de mens en de impact ervan op een zeer mooie manier. Druk verkeer raast over het gebied terwijl het landschap nauwelijks ervaren wordt, we kunnen hier bijna spreken van een 'non-place'. Subjectief gezien is hier voor de gemiddelde mens weinig te beleven en gaat men enkel hier terechtkomen als men op de snelweg rijdt of op de fiets zit, eventueel nog als men komt om te zeilen of te windsurfen. Dit heeft concreet tot gevolg dat de functie die aan het gebouw gegeven wordt op zichzelf in staat moet zijn mensen aan te trekken.



101 - Maasvallei in Maasmechelen met de E314 die door het landschap gaat

## OPEN LANDSCHAP

De algemene perceptie van het open landschap wordt op de E314 visueel ervaren tegen een snelheid van 120 km/h. Wanneer we echter op wandelsnelheid dit gebied ervaren kunnen er andere aspecten aan bod komen. Een grote doelstelling van mijn project is om mensen kennis te laten maken met deze unieke omgeving. Hoogte, groen, water en een spel van passerende auto's leveren een aangename en inspirerende omgeving om te vertoeven op. Het landschap zelf kan voldoende belangstelling wekken om mensen tot het gebouw te brengen. Het project kan bijgevolg gezien worden als een eiland waar men kan aanmeren en waarop men ten volste kan genieten van zowel de omgeving, de faciliteiten als het passerende verkeer. Het gebouw zal zich dus volledig enten op de snelweg.

Een groot open landschap brengt met zich mee dat de wind zich kan accumuleren wat positief kan zijn voor het genereren van windenergie. De oksel van de maas waar het landschap op stuit is heel toevallig perfect georiënteerd op de meest voorkomende windrichting in België, namelijk de zuidwestenwind. Ook de lengteas van de E314 staat op die plek juist gelijk met het verloop van de zon en levert een nagenoeg perfecte situatie op om wind- en zonne-energie te koppelen aan het gebouw en de ecologische voetafdruk zo minimaal mogelijk te maken.



102 - Luchtfoto douanepost en omliggend natuurlandschap.



## SNELWEGARCHITECTUUR

De uitdaging die in dit project verscholen zit is om een alternatieve invulling te geven aan snelwegarchitectuur en zijn traditionele opvattingen. Vaak wordt deze vorm van architectuur gestigmatiseerd en het laat ook meestal te wensen over. Maar het kan echter meer betekenen dan een uniforme infrastructuur met eentonige geluidsmuren. Het gebouw zal hier niet verscholen zitten achter geluidsmuren, maar het zal opvallen en mensen aantrekken. Op de snelweg wordt namelijk alles in sequenties ervaren, meestal flitsen objecten voorbij. Om bij deze de aandacht te trekken en een hoge objectwaarde te creëren moet het gebouw in enkelen seconden in staat zijn om passanten aan te spreken. Het vormelijke aspect zal hiervoor verantwoordelijk zijn en krijgt dus een primaire rol toebedeeld.

## ONTSLUITING

De ontsluiting kan op een heel eenvoudige manier opgevat worden door simpele op- en afritten van de E314 zonder enige verbinding met het omliggende landschap, dit om overbelasting van het gebied te vermijden. Het gebouw zelf functioneert als verkeerswisselaar waar automobilisten zowel terug naar België als naar Nederland kunnen rijden. Men kan er ook parkeren, de elektrische auto opladen, winkelen, eten & drinken, vergaderen en zelfs een elektrische auto of fiets huren onder het wegdek om Maasmechelen te verkennen. Het complex zelf staat met zijn functies hoofdzakelijk boven de snelweg, waardoor het als het ware parasitair leeft op een 'non-place' in de ijle lucht erboven. Dit optimaliseert het genereren van windenergie, maar minimaliseert ook de oppervlakte die vereist is langs de snelweg. Het project is zo slank mogelijk geconcipieerd en volgt de bestaande infrastructuur.

## 4.2 OPLAADSTATION & ENERGIEPRODUCTIE

PROBLEEMSTELLING: ANDERS GAAN TANKEN, MAAR WAAR...

De autoconstructeurs zijn er allemaal mee bezig: 'de wagen van de toekomst'. Hij is goed voor het milieu, maakt geen lawaai, is gemakkelijk en goedkoop in het onderhoud en toch zie je er zelden eentje rijden. Waar blijft de elektrische auto? Als je vandaag op internet gaat zoeken kan je opmerken dat de meeste elektrische wagens pas in 2011 of later zullen verschijnen. Hoewel deze technologie bijna even oud is als de benzinemotors bijvoorbeeld is het vreemd dat we vandaag in de eco-crisis met stijgende brandstofprijzen nog steeds niet met elektrische wagens rijden. Een reden hiervoor zou zijn dat ze nog niet voor het grote publiek beschikbaar zijn omwille van de hoge prijs. De overheid zou hier echter een pioniersrol in kunnen spelen door subsidies hiervoor uit te keren en tevens ook de infrastructuur van oplaadpunten te voorzien. Mensen willen op vakantie gaan, maar dat gaat niet met een elektrische auto omdat de actieradius beperkt is van ongeveer 13 tot 250 km. De idealist die voor dit voertuig kiest komt al snel tot de ontvullende vaststelling: ik kan nergens bijtanken. Dit omdat er simpelweg geen infrastructuur is om op te laden. Tegen het einde van 2009 zijn pas de eerste oplaadpalen in België gekomen. In London zijn er al honderden beschikbaar en de stad heeft beslist om dit naar 25 000 te brengen. In Nederland heeft stroomproducent Essent het 'Mobile Smart Grid' ontwikkeld. Dat is een gecombineerd net van snel-laadpunten bij kantoren, in winkelcentra, langs snelwegen en in woningen, maar het is nog niet operationeel want Essent wacht op de doorbraak van de elektrische wagen. In Zweden krijgen alle McDonalds-filialen een McCharge en in Londen komen tegen de Olympische Spelen van 2012 maar liefst 720 oplaadpalen in 60 oplaadstations.

Allemaal goed en wel deze toekomst, maar de vraag waar reeds vele deskundigen mee zitten is waar deze energie vandaan zal komen, het elektriciteitsnet is namelijk (nog) niet voorzien om deze miljoenen auto's te voeden. We spreken op dit moment dus over zero-emission op voertuigniveau, maar elektriciteit zelf komt ook niet uit de lucht gevallen en moet ook worden geproduceerd. Wilt men dan als toekomstbeeld deze bijkomstige energie gaan halen uit nieuwe kerncentrales en/of fossiele brandstoffen? Kunnen we deze energieproductie überhaupt niet op een of andere manier combineren met de plek waar deze geconsumeerd wordt? Architectuur zou met deze verschillende parameters misschien wel een oplossing kunnen bieden voor een ander toekomstbeeld.

## MOBILE SMART GRID

De productie van elektrische wagens betekent de introductie van een nieuw element in de energie bevoorrading; autobatterijen. Het komt erop neer om deze batterijen op een slimme manier te managen door middel van smart grid management. Wanneer een groot aantal auto's opladen op hetzelfde ogenblik krijgt men een piek in de vraag naar elektriciteit, dit kan gemakkelijk voorkomen worden door het Mobile Smart Grid. De vraag en het aanbod van energie, de gridcapaciteit en de mix van verschillende energie kan echter beter gebalanceerd worden dan ooit tevoren. Het Mobile Smart Grid concept is gericht op het optimaliseren van het gebruik van netwerk- en productiecapaciteit, terwijl het optimale flexibiliteit combineert met grootschalige integratie van duurzame energie. Door intelligent beheer van de oplaadpunten zal de auto-accu automatisch opgeladen worden wanneer de vraag naar elektriciteit laag is (vb. tijdens bepaalde kantooruren of 's nachts wanneer de auto niet wordt gebruikt). In de toekomst zal men de accu's ook volledig opladen met duurzame energie zoals windenergie. In het geval van overproductie kan deze worden opgeslagen in startbatterijen. Zonder deze vorm van management zal het alvast onmogelijk zijn om de maximum energiec capaciteit die geleverd wordt te beperken en nuttig te gebruiken.

## OPLAADSTATION

In deze huidige probleemstelling zie ik de kans om in te spelen op de actuele uitdagingen en kritieken waarmee Europa, en vooral België mee geconfronteerd worden. Het gaat hier over de kloof tussen de ontwikkeling van elektrische auto's en de beschikbare oplaadpunten en oplaadstations. Op deze manier pleit ik met dit project voor een goede doordachte aanpak van dit probleem. Door de keuze van de site in Maasmechelen wordt het project ook ondergebracht bij 3 EU-landen, Duitsland, Nederland en België met respectievelijk op één as Aken, Maastricht en Hasselt waarin Maasmechelen steeds meer een belangrijke rol zal spelen. Dit project zal niet alleen een oplossing bieden voor oplaadfaciliteiten maar tevens ook inspelen op het hedendaagse besef van de klimaatsverandering, hernieuwbare energie en de ecologische footprint die de mensheid achterlaat.

## WIND- EN ZONNE-ENERGIE

Complementair aan de probleemstelling en de context is er de mogelijkheid om windenergie op te wekken. Het is op deze plek ideaal omdat de ligging, oriëntatie en windrichting zeer gunstig is. De geproduceerde energie kan rechtstreeks overgebracht worden naar de accu's van de auto's of bewaard worden in reserve-accu's. Het gebouw integreert energieproductie voor het grootste deel in zijn vormgeving en structuur zelf. Op deze manier kan met een organische vorm de windsnelheid gemanipuleerd worden om een optimale energieopwekking te garanderen. Indien het vermogen waarnaar gestreefd wordt hiermee niet haalbaar is, zal moeten gekeken worden naar andere mogelijkheden zoals klassiekere grote windturbines bijvoorbeeld.

## PUBLIEKE FUNCTIES

Bij het programma van het gebouw moet rekening gehouden worden met de ligging ervan. Er zullen geen 'toevallige' bezoekers binnen of buiten wandelen. Vandaar dat de functie, samen met de aantrekkelijke vorm ervoor moet zorgen dat mensen zich naar het gebouw begeven. Stel dat de site een subjectieve 'non-place' is voor de gemiddelde passant, dan zou het uitgangspunt van het project moeten worden dat een 'non-place' op zich interessant genoeg kan zijn en het gebouw daarbovenop aantrekkingskracht moet hebben.

Zoals elk huidig service station langs de snelweg is er een cafetaria, restaurant met keuken en een winkel aanwezig, dit is een must. De hoofdfunctie is het opladen en om het gebouw interessanter te maken wordt het oplaadstation gecombineerd met een interactief infocentrum waar iedereen terecht kan om informatie in te winnen over windenergie, elektrische wagens, oplaadpalen en oplaadstations, ... Zowel cursussen kunnen er gevolgd worden als lezingen en er zullen vergaderruimtes, leslokalen en eventuele onderzoekslokalen beschikbaar zijn. Er zijn ook 20 motels toegevoegd om te overnachten en onder het wegdek worden elektrische fietsen en auto's verhuurd. De grootste uitdaging is om heel het complex te voorzien van energie die geproduceerd is door het gebouw zelf. Deze energie wordt ook verdeeld over de elektrische fietsen en auto's die verhuurd worden onder het wegdek.

Het landschap wordt echter niet alleen overreden door auto's en vrachtwagens, maar ook door fietsers en voetgangers. Zij kunnen ook op dezelfde wijze als de auto's een tussenstop doen en van de faciliteiten gebruik maken met uitzicht op het landschap.

### **4.3 PROJECTONDERSTEUNEND EN ONTWERPEND ONDERZOEK**

In het begin van het ontwerpproces is er lang gewerkt geweest rond de E314-brug die de verbinding maakt met de Nederlandse grens over een subliem landschap. Verschillende pogingen tot ontwerpen werden ondernomen op deze plek, maar het was te moeilijk voor het gebruikte concept te integreren. Het werd echter ook riskant mits het in het open landschap kort aan de Maas (de grens) gelegen was. Het concept evolueerde verder en na een grondig onderzoek in het gebied werd de douanepost uiteindelijk de interessantste locatie. Ik beschouw het volledig proces dat ik doorlopen heb bij dit project als een zoektocht naar een geschikte ontwerpmethode. Aan de hand van trial & error worden vervolgens de nodige conclusies getrokken om de volgende stappen te zetten.

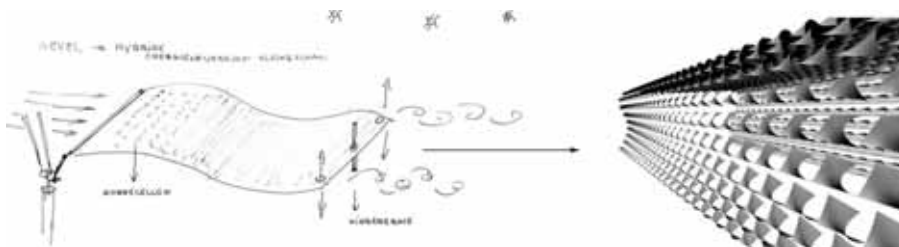
#### **EERSTE VOORONTWERP**

Het eerste voorontwerp was een onderzoek naar een vormelijk interessante constructie dat als een baken in het landschap zou functioneren en tegelijkertijd energie zou kunnen produceren. Er ontstonden drie mogelijkheden om dit te verwezenlijken, namelijk: één totaalstructuur, twee verschillende structuren op dezelfde plek (gebouw en energieopwekking), of het gebouw en energieproductie volledig gescheiden (windmolens).

## OPTIE 1

De totaalstructuur is het moeilijkst en tracht de vorm van het gebouw, de energieproductie en het programma in één geheel te vertalen waardoor een multi-performatieve structuur gecreëerd zou worden. Dit ontwerp is gebaseerd op het concept van twee verschillende polen die inspelen op elkaar. De parkeerplaatsen en oplaadpunten bevinden zich langs de snelweg en de hoofdfuncties zouden zweven in de lengterichting in het midden van de E314. Op deze wijze ontstaat er een relatief lang gebouw met interessante sequentiële belevingen die parametrisch toegekend worden.

Het onderzoek naar de nodige energiec capaciteit voor het opladen wees al gauw uit dat dit een zeer complexe tot bijna onmogelijke taak zou zijn. Deze uitdaging lag meer in het veld van de ingenieur wanneer het realistisch bekeken zou worden. Als architect kwamen er echter wel ideeën naar boven voor een vormgeving met windenergie op macro-, micro- en nano-schaal, maar deze waren dan weer zeer utopisch en praktisch onberekenbaar. Zo zou er bijvoorbeeld in de gevel met een nano vent-skin<sup>91</sup> gewerkt kunnen worden, een toepassing die niet echt bestaat en waarvan ook geen vermogen van gekend is. Een andere mogelijkheid die meer aanleunt tot een parametrische toepassing is een gevel die bedekt is met dynamische elementen bestaande uit fotovoltaïsche cellen. Het materiaal zou dun en flexibel zijn en kan meedraaien met de wind. Door de vortex wervelingen die optreden beginnen de bladen te wapperen als een vlag waardoor deze beweging ook zou kunnen omgezet worden in elektriciteit<sup>92</sup>. Het zou een poëtische vertaling zijn van de wind die langs het gebouw scheert en die samen met de voorbijrazende auto's hun sporen op de gevel achterlaten. Het was de bedoeling om te werken met een sequentiële beleving voor zowel de automobilist als de mensen in het gebouw. Aan de hand van enkele schetsen en digitale 'paneling tools' is dit principe conceptueel uitgewerkt en voorgesteld. Dit idee was echter te gedetailleerd en had weinig tot het effectieve ontwerp bij te dragen.



103 - Concept van een dynamische gevel die zowel wind- als zonne-energie produceert

91 <http://nanoventskin.blogspot.com/>

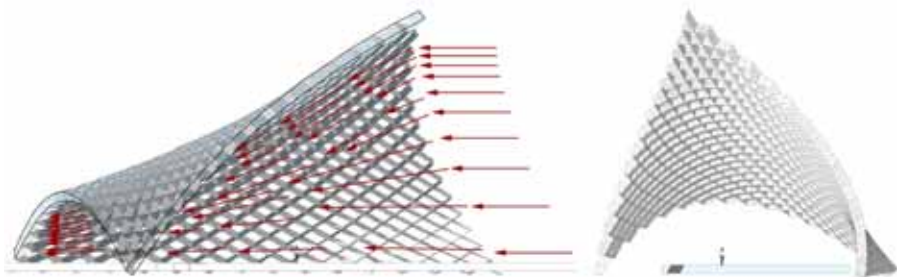
92 'Grow' is een toepassing van deze hybride energie (zon & wind) op huiselijke schaal [http://s-m-i-t.com/#grow\\_target](http://s-m-i-t.com/#grow_target)

## OPTIE 2

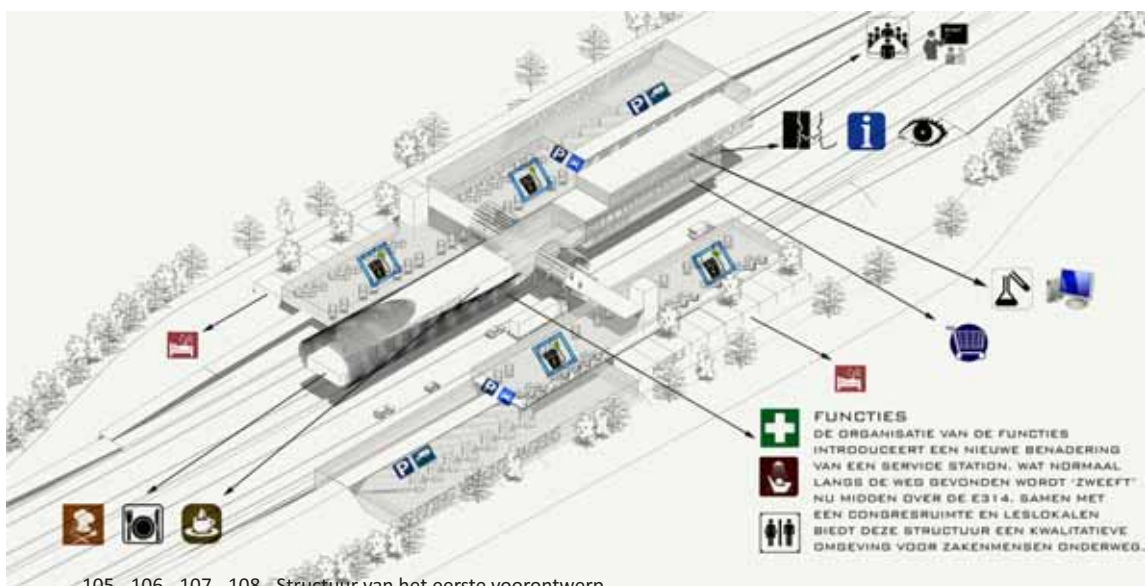
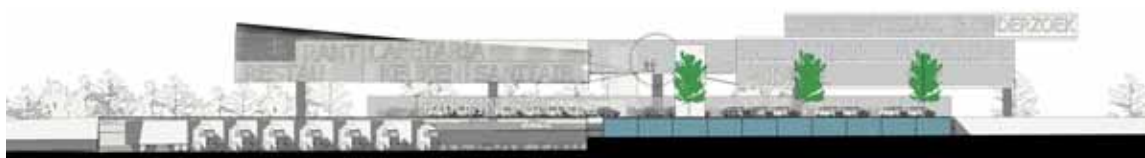
Er werd dan overgegaan op een tweede mogelijkheid die de constructie voor energieproductie loskoppelde van het eigenlijke gebouw. Hierbij ontstond een elegante vorm die de wind vangt op een zekere hoogte en deze vervolgens afleidt naar een doorgang waar 3 windturbines hangen. Deze vorm zou tevens ook het baken worden van het gebouw in het landschap. De geometrie werd parametrisch gemodelleerd met een NURBS-surface in Rhino en achteraf ook onderverdeeld in segmenten.

Op het moment dat deze vorm in de maak was kwam ik toevallig ook uit bij het nieuwe programma van Autodesk genaamd Algor Simulation 2010. Dit is een softwarepakket dat op een algoritmische wijze krachten en vloeistofsimulaties berekent, waaronder Computational Fluid Dynamics (CFD). Met deze CFD kunnen windsimulaties uitgevoerd worden wat zeer interessant zou zijn om te integreren in het ontwerpproces. Verschillende vormen kunnen zo getest en geëvalueerd worden op windefficiëntie of aerodynamica. Hoewel dit vakgebied enorm technisch en ingewikkeld is heb ik mezelf toch in het softwarepakket proberen te verdiepen. Eerst en vooral ben ik begonnen met een 2D simulatie op te stellen van een windstroom in een buis. Dit lukte maar nam heel wat tijd in beslag om te laten berekenen. Vervolgens was het NURBS-surface aan de beurt. Het werd geïmporteerd en omgezet in een driehoekige 'mesh'. Hierna stootte ik echter op een groot probleem en resulteerde de uiteindelijke simulatie in een anticlimax omdat 3D simulaties namelijk ettelijke dagen in beslag nemen om te berekenen.

Dit paste echter niet in het parametrische concept waarbij een gemakkelijke, snelle en interactieve ontwerpmethodete toegepast wordt. Hoewel dit zeer interessante materie is, overschrijdt het misschien de focus van architectuur en leunt het dichterbij de post-optimalisatie van een ontwerp. Hierdoor ben ik van deze methode afgeweken en heb ik mijn focus anders gelegd.



104 - Conceptuele windcatcher



105 - 106 - 107 - 108 - Structuur van het eerste voorontwerp

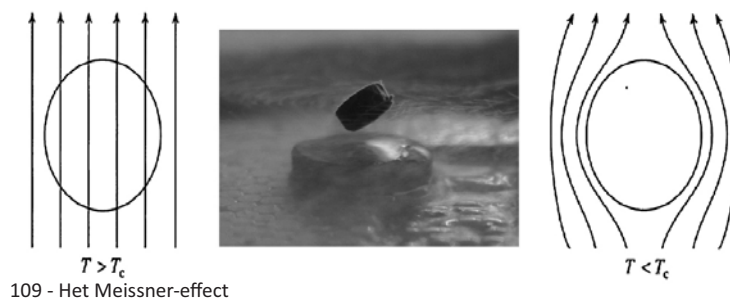


## TWEEDE VOORONTWERP

Door de focus meer te leggen op de energieproductie werd het ontwerpproces minder benadrukt in functie van het programma zelf. Dit moest echter veranderen en er moest een zeer sterk concept zijn waar beslissingen aan konden opgehangen worden.

### CONCEPT

Mits ik veel met elektriciteit bezig was in het project, stuitte ik toevallig op het Meissner-effect<sup>93</sup>. Het is een fenomeen waarbij een magneet zweeft boven een supergeleider. Deze magneet kan vervolgens op een ander welke gewenste zwevende positie geplaatst worden. Architecturaal gezien is dit een zeer interessant verschijnsel om parametrisch op te bouwen. Het is niet alleen boeiend op conceptueel vlak, maar het zorgt namelijk ook voor een logische en leesbare circulatie. De centrale opbouw van het bouwprogramma past zeer goed in dit principe en het gebouw kan tegelijkertijd als verkeerswisselaar dienen waarbij men zowel terug naar Nederland als België kan rijden. De functies van het oplaadstation worden op deze manier vertaald boven een snelweg in combinatie met een gevel die energie kan opwekken. Hierbij wordt er gestreefd naar een parametrisch systeem dat context-afhankelijke variabelen kan opnemen om het gebouw aan te passen aan de specifieke omgeving waar het gelegen is. Het zou heel economisch zijn om op verschillende punten in België oplaadstations te plaatsen met hetzelfde werkende systeem, een soort van standaardisatie waarmee het toch mogelijk is om verschillende gebouwen met een eigen identiteit te creëren die elk specifiek aangepast zijn aan de plek. Het Grasshopper bestand – de code – vormt in dit geval het genotype waaruit vervolgens verschillende fenotypes gehaald kunnen worden. De volledige Grasshopper opstelling in detail uitleggen zou veel te uitgebreid zijn dus wordt het beperkt tot enkel het basisprincipe. De overige procedures zullen echter wel kort aangehaald en toegelicht worden.

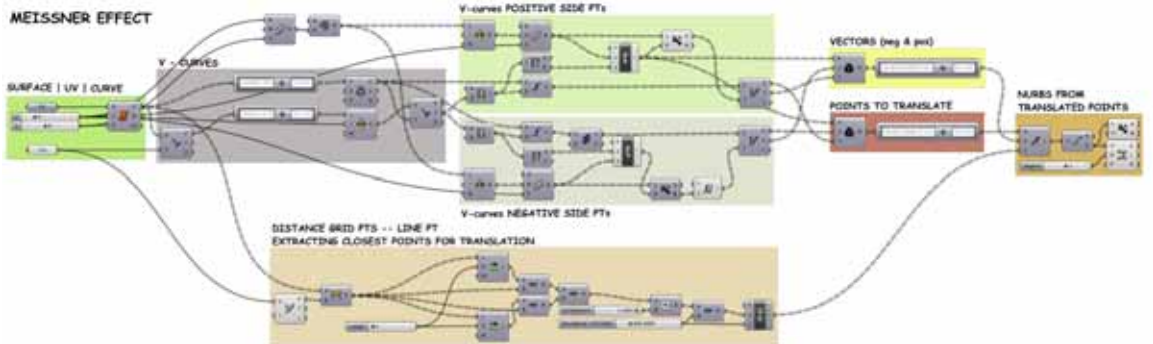


93 Het Meissner-effect is de totale afstoting van een magnetisch veld door een supergeleider onder de kritische temperatuur. De supergeleider heeft dan geen magnetische flux meer en als gevolg hiervan blijft een permanent magneetje zweven boven de supergeleider. In de supergeleider gaat een stroom lopen die een magnetisch veld in spiegelbeeld opwekt. Omdat de magnetische veldlijnen worden vastgepind in de supergeleider zal de magneet niet van het magnetische veld afglijden.

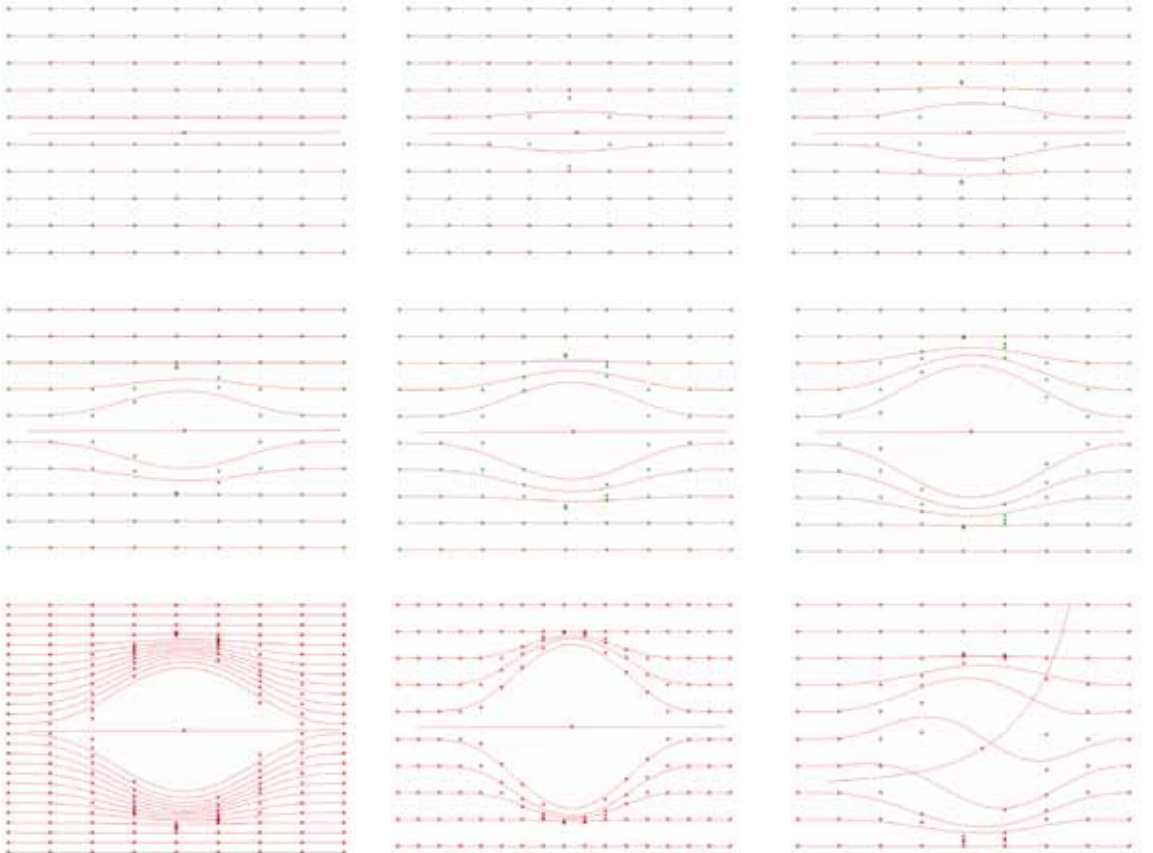
Om te beginnen wordt een basissysteem uitgewerkt – gebaseerd op het Meissner-effect – dat toegepast kan worden om het gebouw te modelleren. De magnetische veldlijnen rond een magneet worden hierbij parametrisch gesimuleerd waardoor een systeem bekomen wordt dat platte en free-form vlakken gebruikt om magnetische fluxlijnen te creëren.

#### MEISSNER-EFFECT IN GRASSHOPPER

Het principe is opgebouwd in 2D met een vlak als basis waarop een variabel puntenraster gegenereerd wordt met behulp van u- en v-coördinaten. Door een lijn (L) te tekenen op dit vlak wordt er een magneet gesimuleerd die zijn invloed zal uitoefenen op het raster. Om dit te bekomen wordt eerst het middelpunt van de lijn (L) gezocht. Tussen dit middelpunt en het raster moeten vervolgens vectoren voor de translatie bepaald worden. Indien er slechts één punt gebruikt wordt om deze te bepalen dan resulteert dit in een redelijk instabiele cirkelvormige uitwaaiing van de punten. Resultaten toonden aan dat dit niet gewenst is dus werd een restrictie opgelegd. De verplaatsing mag namelijk enkel gebeuren in de V-richting, loodrecht op de fluxlijnen (de U-richting). De geschikte vectoren worden gevonden door het snijpunt te bepalen tussen alle V-curven en de handmatig getekende lijn (L). Vervolgens worden de curven gesplitst op dit snijpunt om negatieve en positieve vectoren te genereren. Deze twee lijsten moeten echter na opsplitsing nog steeds overeenkomen met de volgorde van de lijst met uv-punten om het gewenste resultaat te bekomen. Dit was hoe dan ook één van de lastige gedeeltes van de opstelling. Indien het klopt staan de vectoren en punten dus in een overeenstemmende lijst en is er enkel nog maar een afstand nodig voor het verplaatsen. Deze waarden worden afgeleid uit de afstand van het middelpunt tot alle punten van het raster. Hoe dichter de rasterpunten bij het middelpunt, hoe groter de verplaatsing. Vervolgens wordt er ook een minimum waarde opgelegd die voorkomt dat alle punten van het grid gaan verschuiven wanneer dit niet nodig is. Eens de punten uiteindelijk verschoven zijn worden er NURBS-curven gegenereerd waarvan de graad ook een variabele parameter is. Dit zorgt ervoor dat de vorm geoptimaliseerd kan worden. Het uiteindelijke resultaat evenaart het gedrag van het Meissner-effect vrij goed en dit principe kan nu ook op een free-form oppervlak toegepast worden. De sterkte, lengte en vorm van de magnetische invloed zijn parameters die het uiteindelijke resultaat kunnen beïnvloeden.



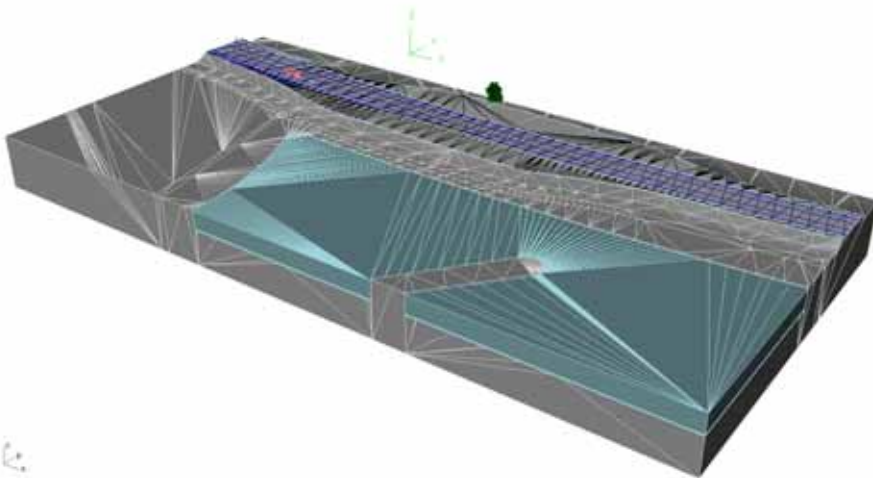
110 - Het Meissner-effect in Grasshopper



111 - Parametrische controleerbaarheid

## **HET PARAMETRISCH ONTWERPPROCES**

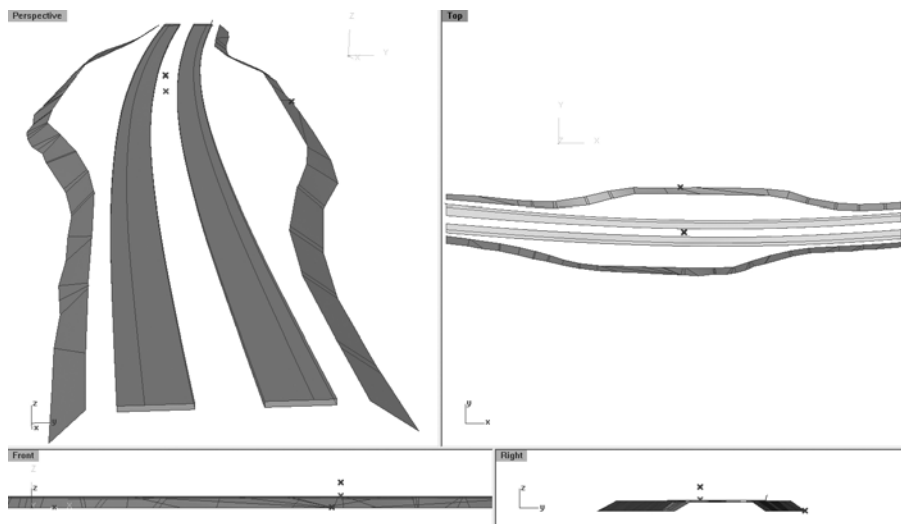
In het totale ontwerpproces is er gebruik gemaakt van verscheidene programma's. Een ontwerper moet goed weten wanneer hij welke tool met welke mogelijkheden gebruikt. Een goede combinatie hiervan kan een zeer efficiënte werkwijze opleveren. Vanaf het begin heb ik me dan ook toegespitst op de computer in combinatie met vluchtige handgemaakte tekeningen en schetsen. De tools die gebruikt werden tijdens het ontwerpproces zijn voornamelijk Autodesk Revit Architecture 2010, AutoCAD 2009, McNeel Rhinoceros 4.0 met de Grasshopper versie 06.0059 en Powerframe voor berekeningen.



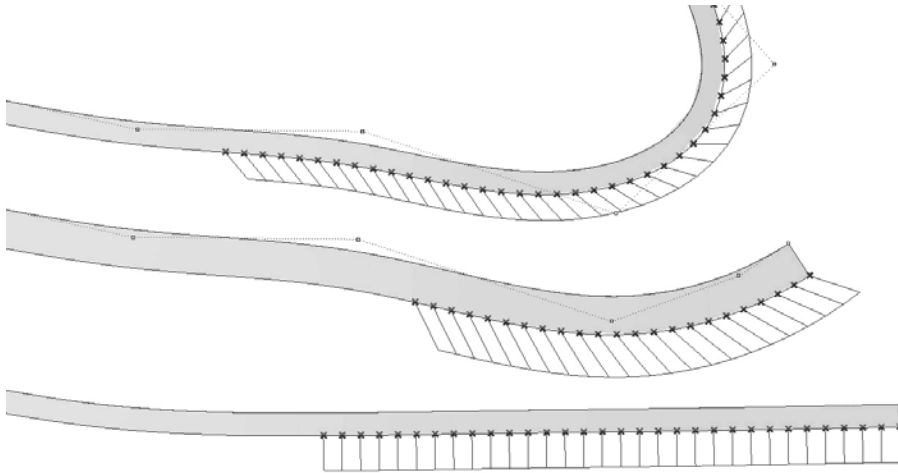
112 - Mesh-site in Rhinoceros 4.0

## SITE

De allereerste stap is om het terrein van de snelweg te modelleren. Dit gebeurt in Revit omdat hierin achteraf alle grondplannen, sneden en renderings op een efficiënte wijze kunnen gemaakt worden. De geometrie van het terrein wordt vervolgens geïmporteerd in Rhino om deze nauwkeurig over te nemen in Grasshopper. Omdat de geometrie uit meshes bestaat kan men geen elementen rechtstreeks inladen in Grasshopper en worden de nodige curven dus overtrokken met NURBS. Eens deze ingebracht zijn kan het parametrisch modelleren beginnen.



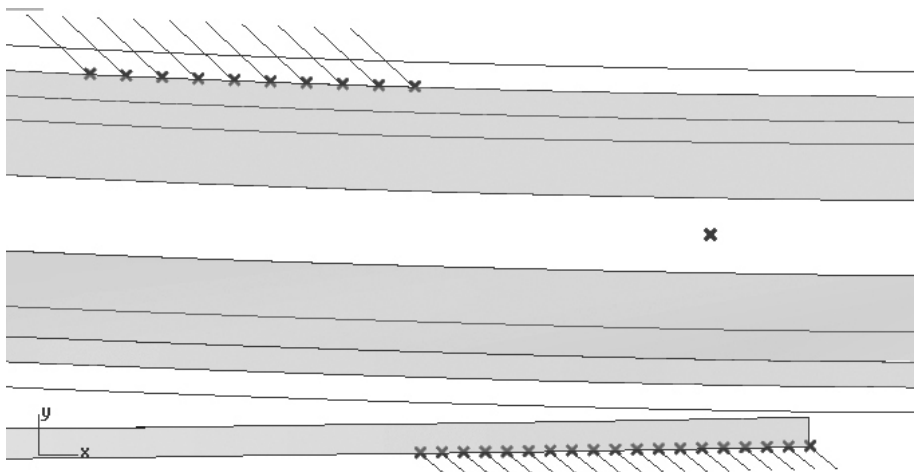
113 - Site in Grasshopper

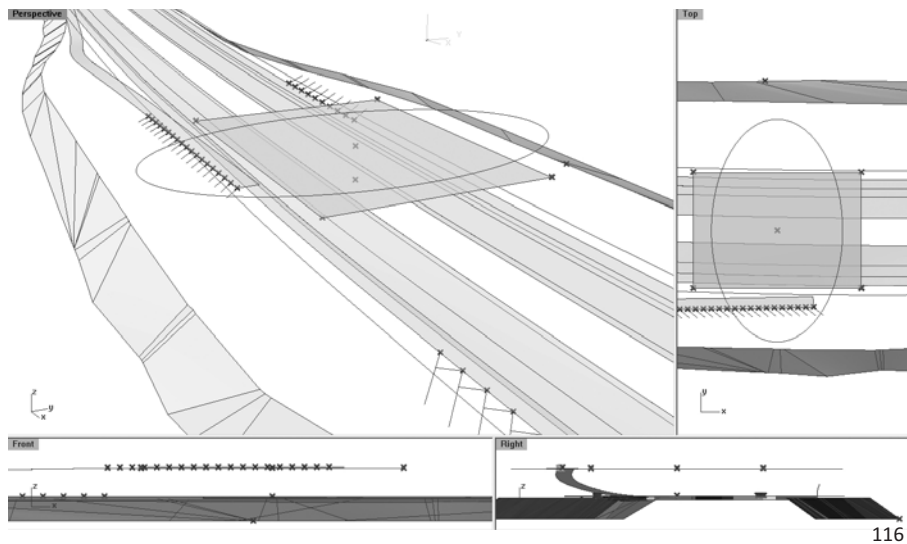


114 - Parametrische modellering van het parkeersysteem

## PARKING

Omdat routing, circulatie en parking van essentieel belang is bij elk service station wordt er een opstelling gemaakt die één enkele lijn een breedte en dikte geeft – het wegdek – en lijnen eraan vastknoopt – het aantal plaatsen. De parameters bestaan uit het aantal parkeerplaatsen, de breedte & lengte ervan, de hoekverdraaiing t.o.v. het wegdek en de breedte van de weg zelf. Heel dit systeem is gebaseerd op één NURBS-curve waarmee een vloeiende driedimensionale route gemakkelijk gemodelleerd kan worden. De parking aan beide zijden van de weg plaatsen is niet nodig om logistieke redenen. Het systeem kan zowel gebruikt worden voor vrachtwagens als voor auto's.

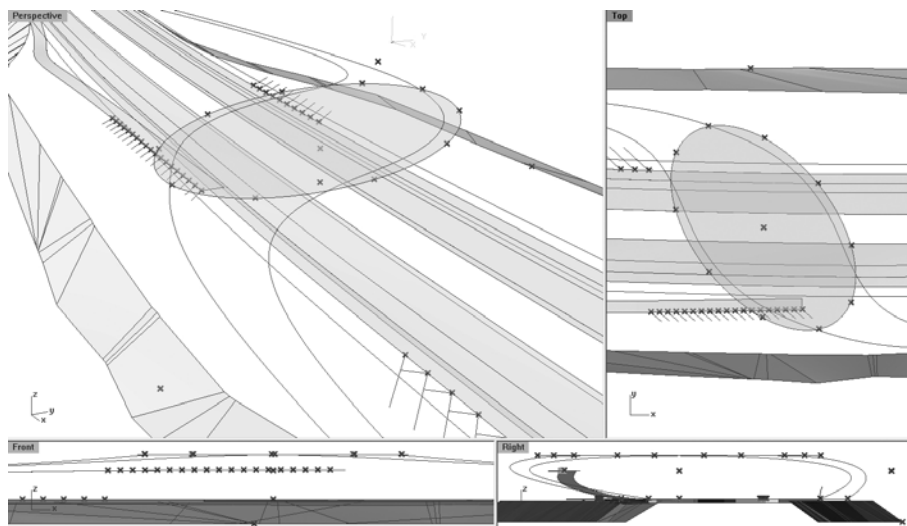




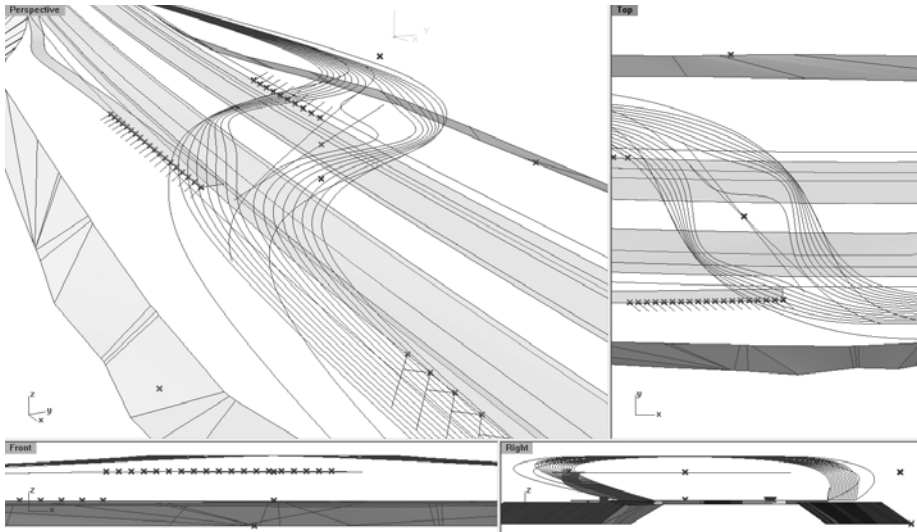
116

## CONCEPT

Als basis van het gebouw wordt er allereerst een middelpunt gecreëerd op het wegdek. Dit punt kan verschoven worden parallel aan de richting van het verkeer, om het gebouw zo optimaal mogelijk te positioneren. Een ellips en een rechthoek boven het wegdek zijn de fundamentele vormen van de vorm. De hoekpunten van de rechthoek zullen samen met de punten op de ellips twee NURBS-curven beschrijven die verbonden zijn met de eindpunten van het wegdek. Door de ellips te laten draaien en de rechthoek te verscalen kan men de vorm van de NURBS controleren en aanpassen. Tussen deze curven wordt vervolgens een vlak gemaakt dat de basisvorm van het gebouw beschrijft.

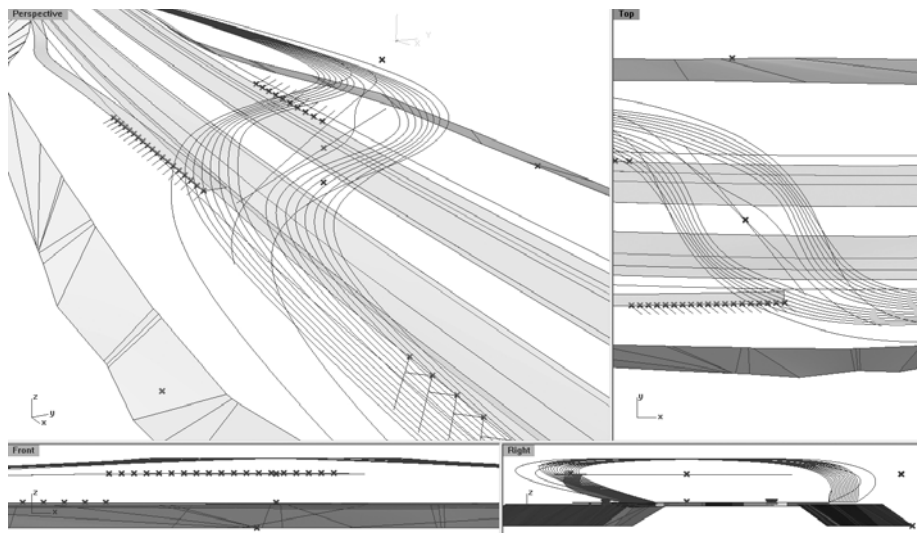


117



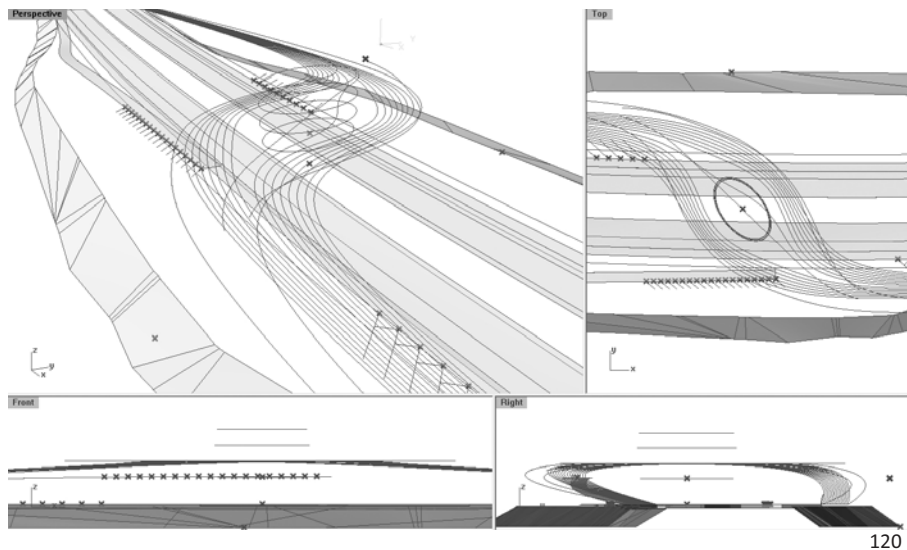
118

Voorts wordt er een lijn getrokken op dit vlak dat de magneet moet voorstellen. Het middelpunt van deze lijn zorgt voor de verplaatsing van de magnetische veldlijnen die gegenereerd worden. De parameters van het Meissner-effect worden aangepast tot de lijnen de gewenste vorm hebben.

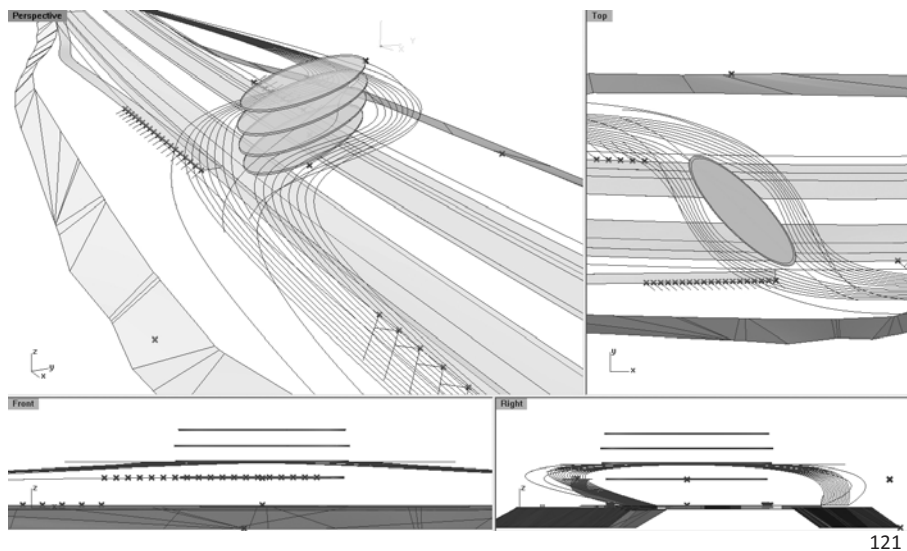


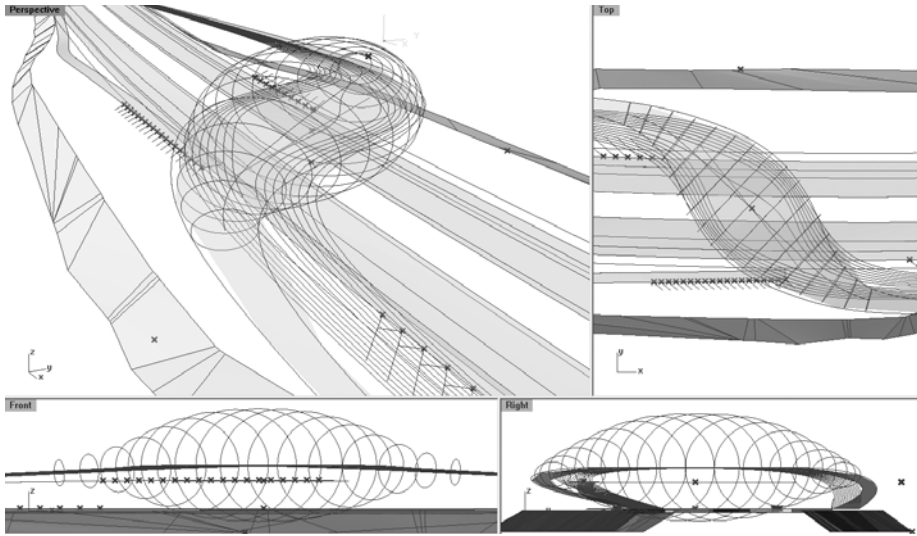
119





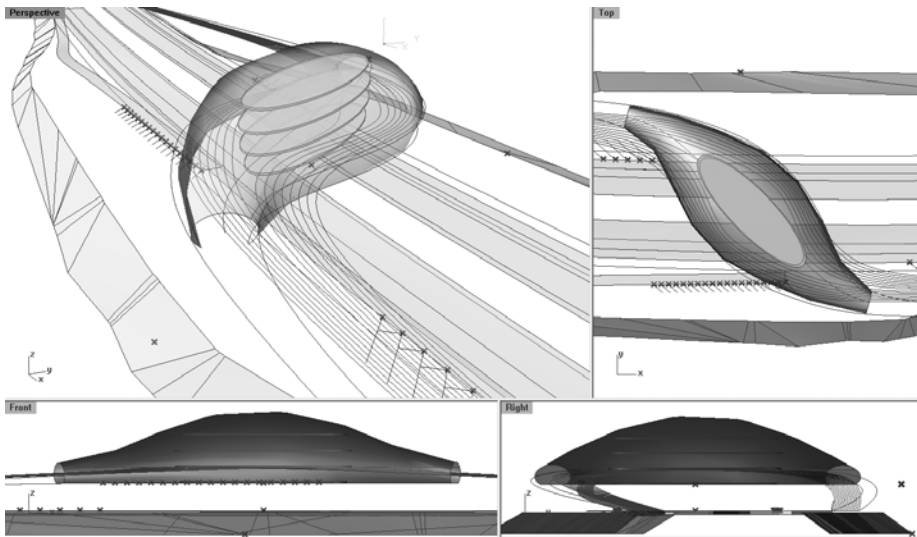
Rond het middelpunt beschrijven vier boven elkaar gestapelde ellipsen de magneet die tussen de veldlijnen zweeft. De algemene breedte en lengte kan aangepast worden en elk niveau is gekoppeld aan een grafiek met een Bezier-curve. Hiermee kan men het verticaal verloop van de gevel aanpassen en deze recht, convex of concaaf maken. Een vloerdikte wordt hierna toegevoegd om een gevoel van schaal te krijgen. In dit interne volume komen de hoofdfuncties zoals winkel, restaurant en cafetaria. Het staat volledig los van de veldlijnen rondom en de gebruiker moet deze vide overbruggen met zicht op de snelweg eronder.



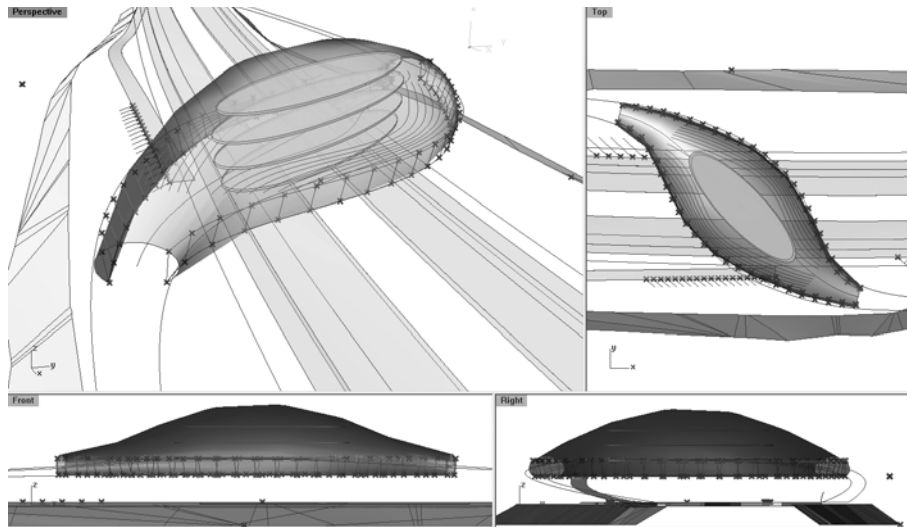


122

De vormgeving van de gevel wordt bepaald door de twee contourlijnen die gebaseerd zijn op de ellips en de rechthoek van in het begin. Hiertussen worden cirkels getekend met een diameter die gelijk is aan de afstand tussen de twee lijnen. Deze cirkels worden hierna verticaal verschaald waardoor ellipsen ontstaan die getrimd worden op het laagste niveau. Het verloop van de verschaling is opnieuw gekoppeld aan een grafiek maar deze keer met een sinus-curve. Dit om lichte veranderingen te kunnen maken in de vorm wanneer deze op bepaalde plaatsen hoger of lager moet komen. De gegenereerde ellipsen worden uiteindelijk gebruikt om een NURBS-surface te creëren voor de buitenste gevel.



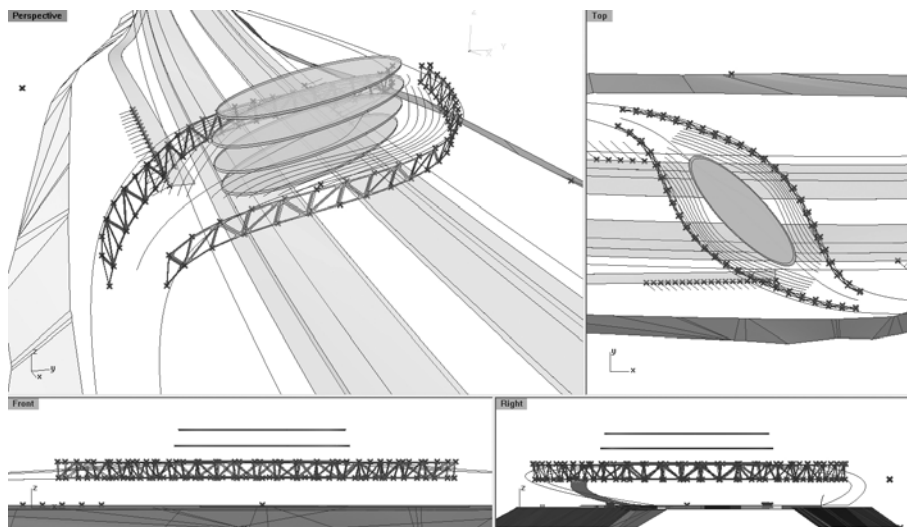
123



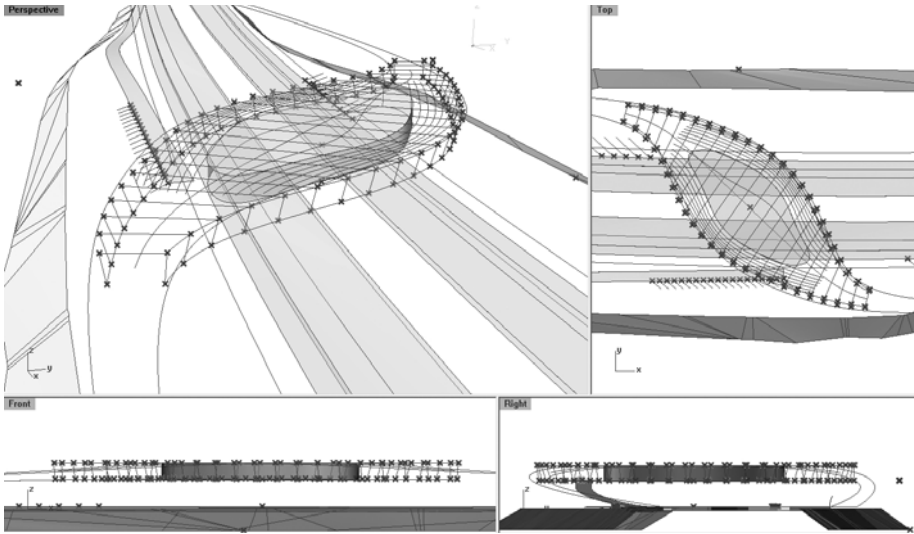
124

## CONSTRUCTIE

Met het gecreëerde gevelvlak kan verder gewerkt worden naar de constructie van de parking die bestaat uit een volledige staalstructuur. Vier snijlijnen worden gevonden door twee horizontale vlakken te laten snijden met het gevelement. Deze lijnen worden verdeeld in een aantal punten die met nieuwe rechte lijnen verbonden worden en waartussen het stalen vakwerk met een diagonaal V-patroon wordt geneerd.

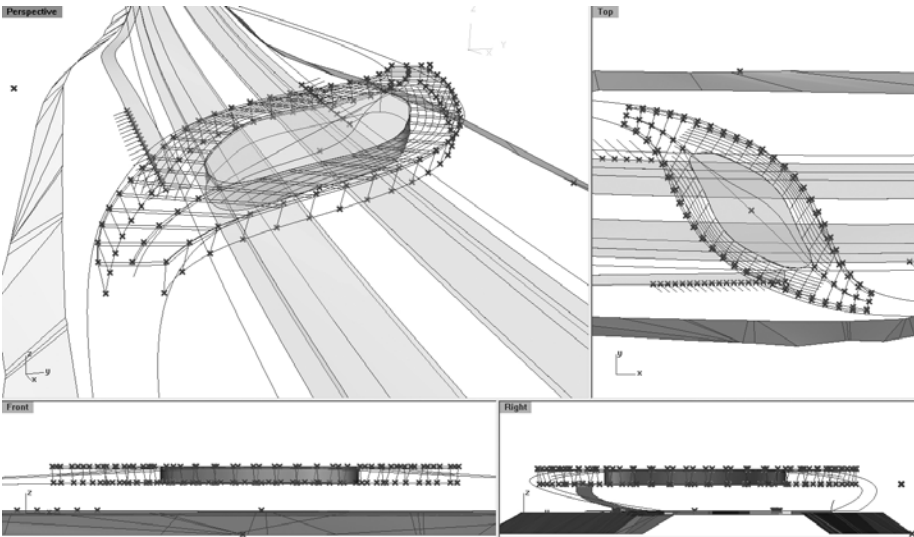


125

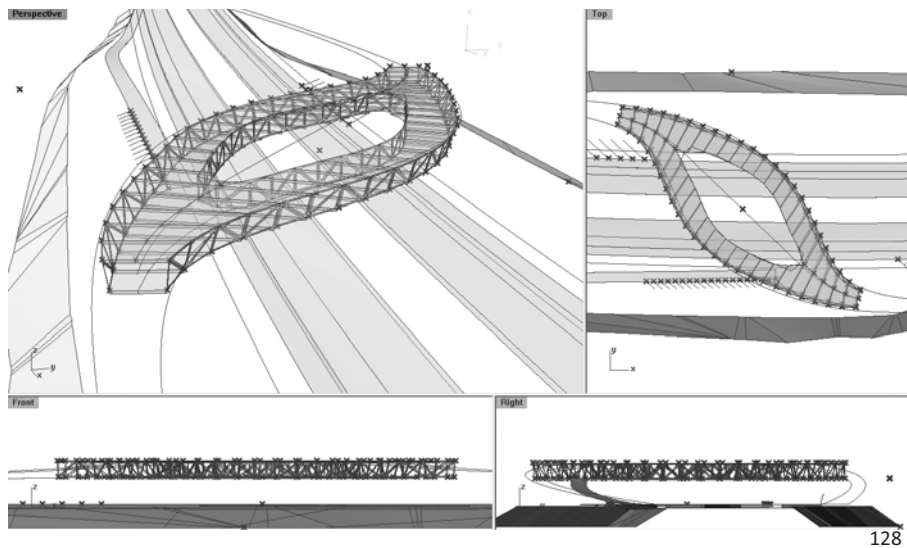


126

De volgende stap is om de binnenste contour te vinden om hetzelfde vakwerk op te genereren. Dezelfde punten worden nu horizontaal verbonden met elkaar en snijden het centrale element dat voorvloeit uit de binnenste magnetische veldlijnen. De curven worden met het centrale vlak getrimd en in twee delen gesplitst zodat het linkse deel en rechtse deel afzonderlijk kan functioneren. Dit wordt vervolgens opnieuw toegepast voor de onderste vloer en hierna kan dan het binnenste vakwerk gemaakt worden.

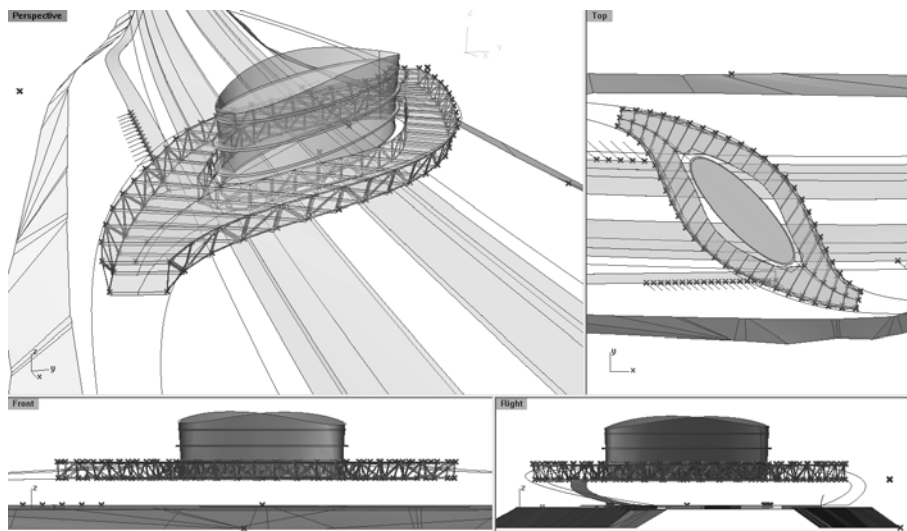


127



128

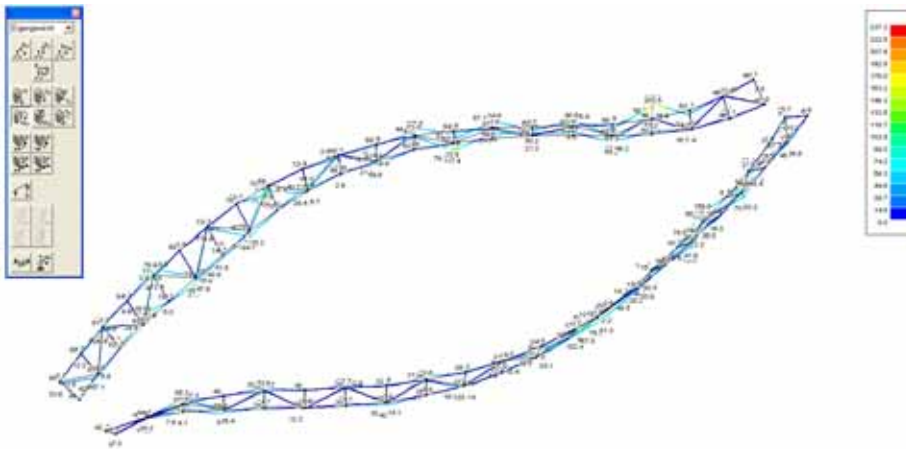
Het centrale volume zal onafhankelijk zijn van de parking en staat los ertussen. Ook hier is dus een staalstructuur nodig die eveneens gekoppeld wordt aan de top van het geveoppervlak. Hierdoor wordt de bovenste ellipsvormige contour geprojecteerd op dat vlak en meegenomen in de constructie. Voorlopig is hier hetzelfde patroon op toegepast als de andere vakwerken, maar dit zal nog veranderen bij de definitieve uitwerking.



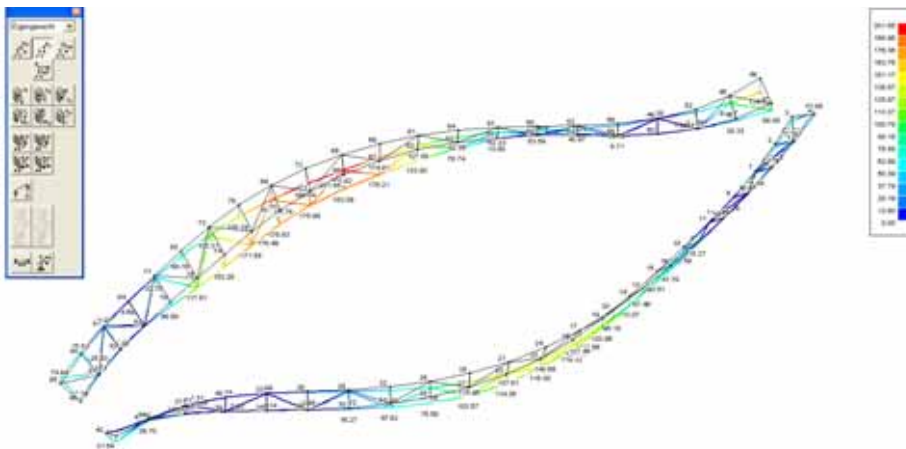
129

## POWERFRAME

Uit de geometrie die ontstaat kan men de aslijnen van de staalconstructie destilleren. Dit kan vervolgens zeer gemakkelijk in het programma Powerframe geïmporteerd worden. Hierin kan er berekend worden hoe de constructie vervormd onder eigen belasting en hoe de momentenlijnen lopen wanneer steunpunten toegekend zijn. Vervolgens kan de staalstructuur gedimensioneerd worden naargelang deze gedragingen en terug geïmporteerd worden in Revit (of Grasshopper) om daarna weer verder te werken. De beste oplossing zou verkregen worden als er een rechtstreekse link was tussen Grasshopper en Powerframe waardoor de constructie algoritmisch geoptimaliseerd zou kunnen worden zoals beschreven in hoofdstuk ?. Het is alvast een interessante materie voor verder onderzoek.



130 - Buigende momenten onder eigen gewicht van de flankerende vakwerken



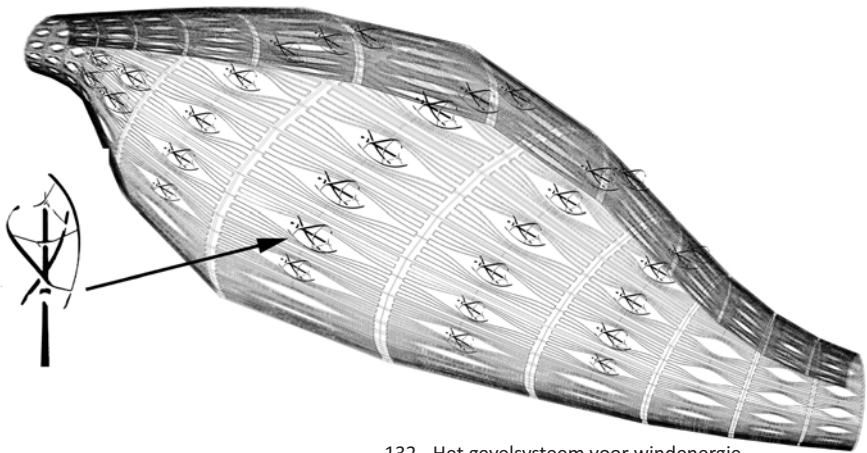
131 - Vervorming onder eigen gewicht



## ENERGIE

De volledige constructie is gedraaid en volledig gericht op de zuidwesten wind die in dat gebied het vaakst voorkomt. De oriëntatie is tegelijkertijd ook gunstig om de verbinding te maken tussen twee verschillende polen, zowel de snelweg richting Nederland en België als de landschappelijke kenmerken zoals het water versus het landschap. Door de ronde vorm van de gevel zal de wind over het geveloppervlak scheren en op deze manier energie opwekken. Er is een voorlopig voorstel gedaan aan de hand van een parametrisch gevelsysteem met liggende windturbines in.

De snelweg is ook perfect georiënteerd naar de zon waardoor er in de lengterichting optimaal gebruik gemaakt kan worden van zonne-energie. Dit nieuw systeem kan bijgevolg geënt worden op het gebouw en parametrisch functioneren. Dit is echter nog in de ontwerpfase waardoor er nog geen beeldmateriaal beschikbaar is.

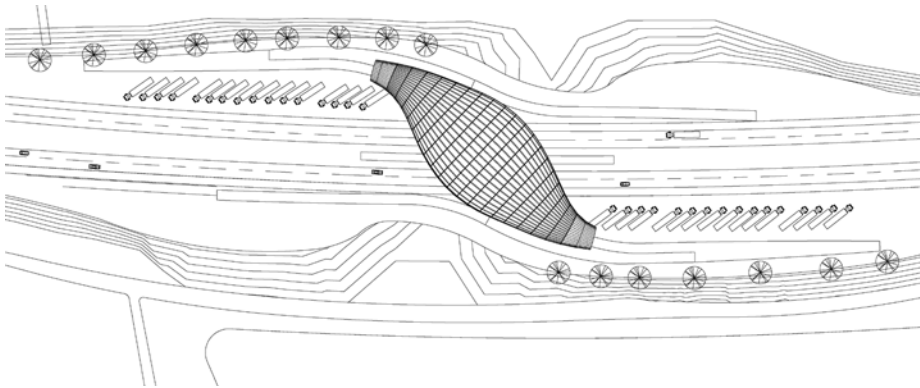


132 - Het gevelsysteem voor windenergie

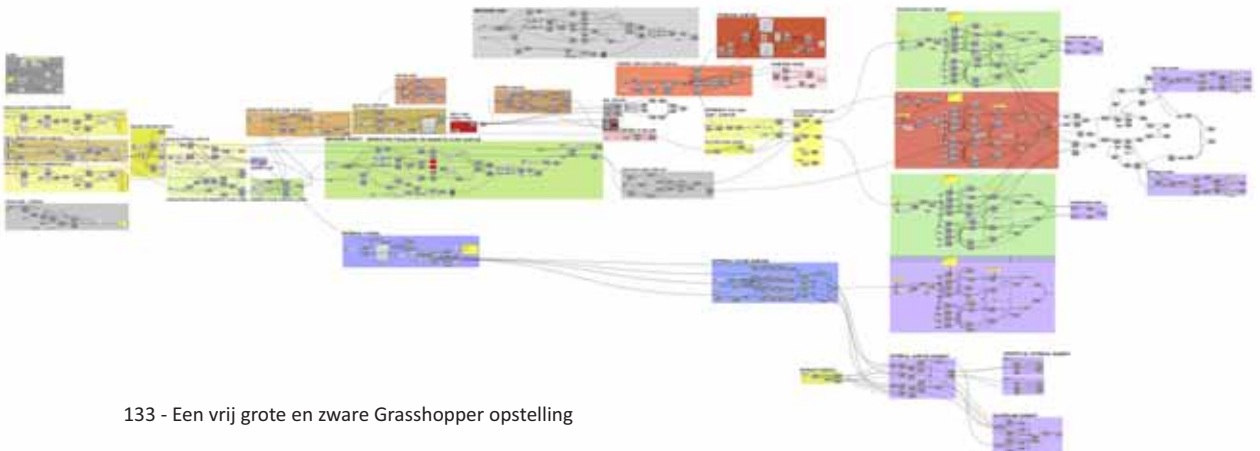
## HET PARAMETRISCH CONCEPT

Het belangrijkste van heel de opstelling is het parametrische concept. Wanneer er nu meer oppervlakte nodig is, een andere hoogte, een andere oriëntatie, een verschillend aantal verdiepingen, enzovoorts, dan kan dit gemakkelijk veranderd worden in het totaalsysteem, het genotype, omdat alle handelingen aan elkaar gekoppeld blijven in de code. De oorspronkelijke naam van Grasshopper namelijk 'Explicit History' is dus begrijpelijk goed gekozen. Dit associatief modelleren biedt alvast vele mogelijkheden. Ter illustratie waar het ontwerp naar toe zou kunnen evolueren bij verder onderzoek kan er gekeken worden naar de vier verschillende 'Cable-Railway'-stations in Innsbruck van Zaha Hadid Architects.

Het ontwerp is momenteel nog in de uitwerkingsfase en het zal eind juni 2010 gepresenteerd worden. Indien er interesse is naar het resultaat dan kan het project gevonden worden onder de titel 'Parametric Charge & Service Station'.

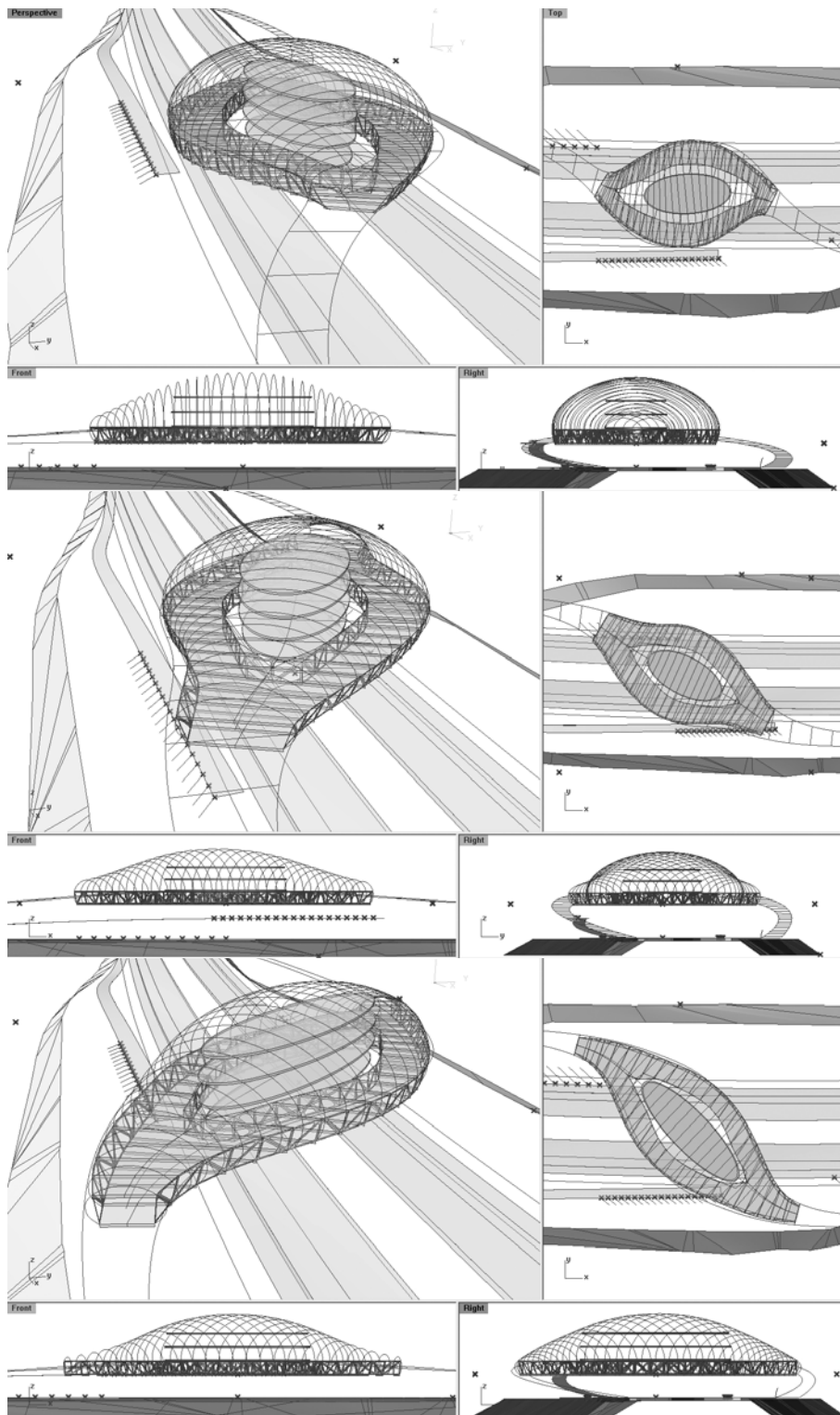


133 - Inplantingsplan

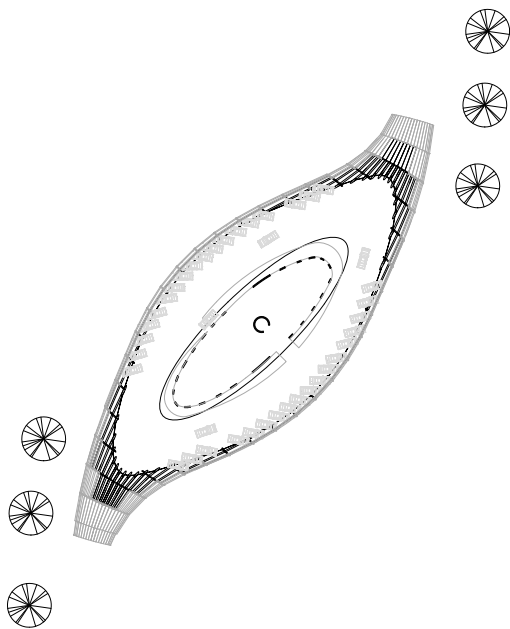
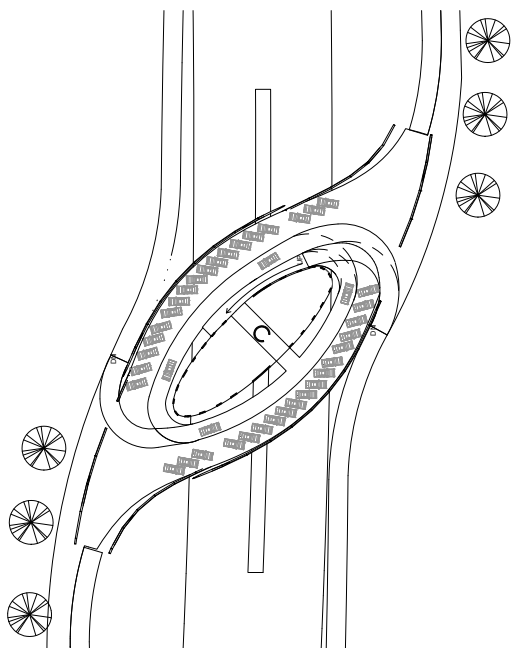
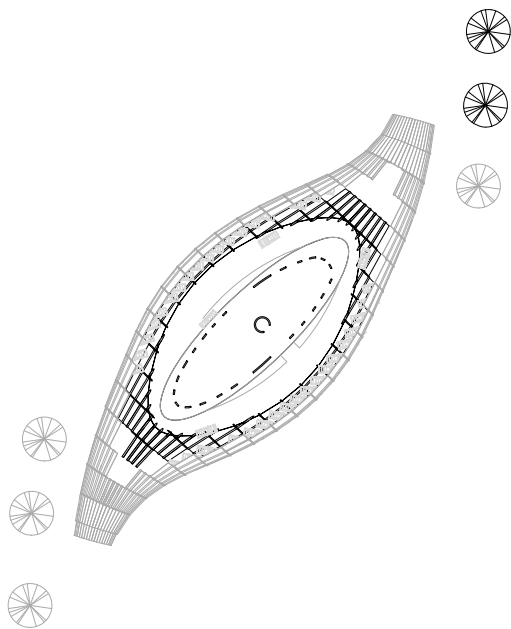
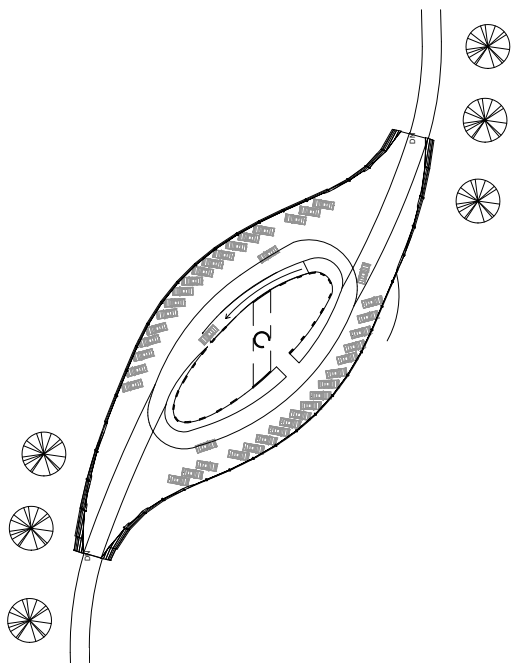


133 - Een vrij grote en zware Grasshopper opstelling

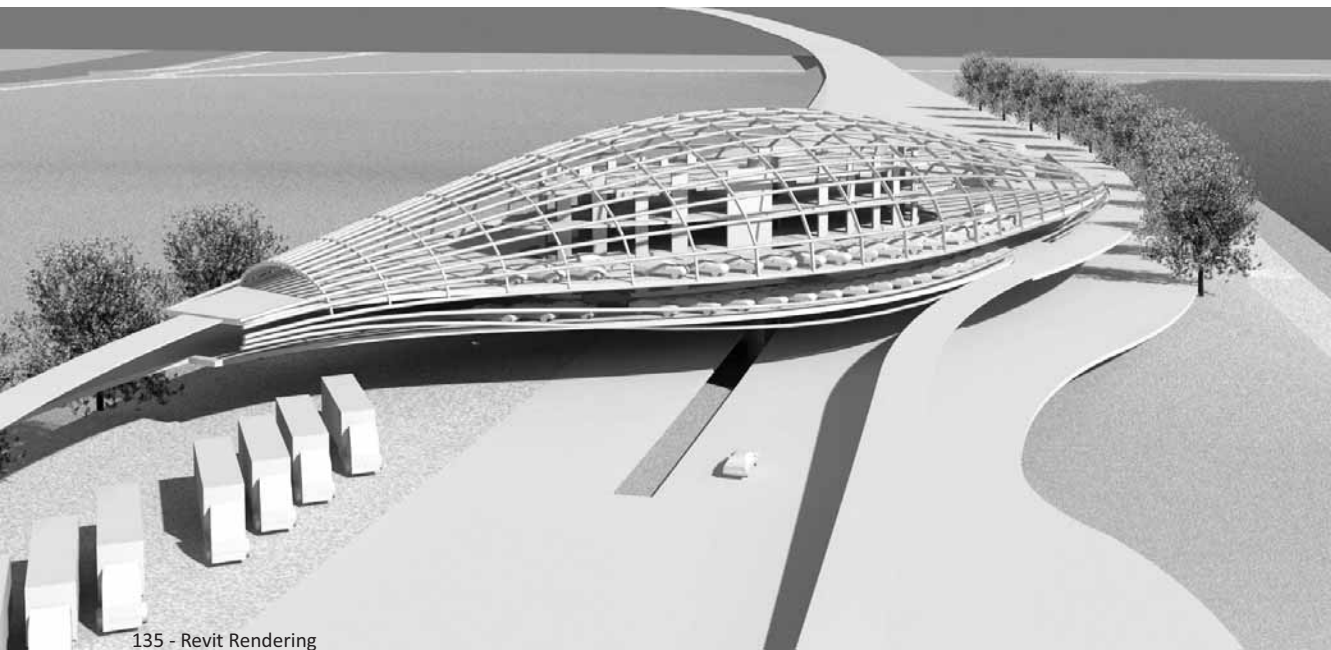




134 - Enkele vervormde, gedraaide, verplaatste en verhoogde varianten.



135 - De voorlopige grondplannen van de vier niveaus



135 - Revit Rendering



**DEEL 7/**  
PARAMETRICISME:  
EEN NIEUWE STIJL?



## 1. PARAMETRICISME/ EEN NIEUWE RAGE

*“De gedeelde concepten, programmatische tendensen, digitale technieken, vormelijke mogelijkheden en architectonische logica karakteriseren en concretiseren een stevig en nieuw architecturaal paradigma, het brengt de ontwikkeling van een nieuwe stijl met zich mee, namelijk ‘Parametricisme’.”<sup>94</sup>*

Dit is alvast het statement waarmee Patrick Schumacher kwam opdagen. Na 10 jaar evolutie is er een duidelijke trend merkbaar in de parametrische activiteiten, ze manifesteren zich stilaan in de architectuur en universiteiten laten studenten volop experimenteren met deze technieken. Vooral bij het DRL (Design Research Lab) van de AA School in Londen en de publicatie ervan ‘DRL TEN’, merken we een sterke consistente drift die zich focust op eenzelfde ‘groove’ met dezelfde doelen en principes. Het wordt stilaan tijd om hier een term op te plakken volgens Patrick Schumacher van Zaha Hadid Architects. Deze manifesten zouden we volgens hem moeten beschrijven als onderzoeksprogramma’s waarin vastberaden geëxperimenteerd wordt met de implementatie van het parametrische. Hij benoemt deze nieuwe opkomende stijl op de Dark Side Club<sup>95</sup> als het ‘Parametricisme’<sup>96</sup>.

*Thesis: “Parametricism is the great new style after modernism. Postmodernism and Deconstructivism have been transitional episodes that ushered in this new, long wave of research and innovation.”<sup>97</sup>*

De essentiële innovatie van deze stijl is dat alle elementen van de architectuur flexibel zijn geworden. Alle vormen geconcipieerd in de architectuur zijn nu inherent aanpasbaar aan elkaar, ze krijgen een interne integratie en interactie. Het aantrekkelijke voordeel is dat deze parametrische flexibiliteit gebruikt kan worden om de interne integratie te koppelen aan een externe adaptatie van architectuur. Dit is mogelijk op verschillende schaalniveaus van stedenbouw tot interieurontwerp. Een architecturale opstelling wordt gecreëerd waarin verschillende subsystemen corresponderen met elkaar. Het parametricisme moet volgens Patrick Schumacher ook parametrisch en artistiek geaccentueerd worden.

---

94 Patrik Schumacher, London 2008, Parametricism as Style - Parametricist Manifesto

95 The Dark Side Club is een kritische geregelde samenkomst, ingewijd en georganiseerd door Robert White die samenvalt met de Architectuur Biënnale van Venetië. Drie curators werden uitgenodigd om te debatteren: Patrik Schumacher, Greg Lynn and Gregor Eichinger. De eerste sessie – gehouden door Patrik Schumacher was ‘Parametricism as New Style’. De volgende acht architectenbureaus presenteerden mee: MAD, f-u-r, UFO, Plasma Studio, Minimaforms, Aranda/Lasch, AltN Research+Design, MOH. Jeff Kipniss was de moderator.

96 Voorgesteld en bediscussieerd aan de Dark Side Club, 11de Architectuur Biënnale, Venetië 2008

97 Patrik Schumacher, London 2008, Parametricism as Style - Parametricist Manifesto

De architectuur van Zaha Hadid Architects (ZHA) vertegenwoordigt dit met een vloeiende geometrie, een verbeterde leesbaarheid, elegantie en belevingswaarde. Ze staan bekend met projecten die deze nieuwe 'stijl' implementeren op verschillende schalen zoals stedenbouw, culturele gebouwen, interne organisaties, mainstream kantoorgebouwen, retail, 'blobs', hoogbouw (differentiatie op verticale as), luchthavens, bruggen, villa's, interieurontwerp, meubels, installaties, enzovoorts.

De stijl slaat niet enkel op architectuur, het heeft namelijk ook zijn weerslag op de industriële activiteiten en is daarbij ook een industrieel ontwerp paradigma. Dezelfde principes komen steeds terug zoals in elke sterke stilistische agenda, Schumacher besluit dan ook dat Parametricisme hierbij universeel is. Deze stilistische bewegingen zijn overal aan de gang, deze technieken van parametrisch modelleren en scripting worden universeel gebruikt en ze veroveren steeds meer terrein in architectuur en vooral ook in de architectuurscholen. Het is geen modeverschijnsel volgens Schumacher, maar wel een cumulatieve opbouw van virtuositeit waarbij nieuwe tools worden gegooid op verschillende ontwerpuitdagingen. Dit bewijst de maturiteit van het Parametricisme vandaag en er wordt daardoor een vormelijk repertoire opgebouwd met een tektonische logica, het biedt met andere woorden een reeks van oplossingen met een hoog prestatievermogen.



## 1.1 HET DRL

Het DRL (Design Research Lab) in London is een experiment dat een onderzoeksinitiatief nastreeft om de gevolgen te begrijpen van nieuwe instrumenten in het ontwerp en de praktijk van architectuur. Het is een opvolging van Nicholas Negroponte's AMG (Architecture Machine Group) aan de MIT in 1967.

*"We shall treat the problem as the intimate association of two dissimilar species - man and machine -, two dissimilar processes - design and computation - and two intelligent systems - the architect and the architecture machine."<sup>98</sup>*

Het is een onderzoek dat begint met architectuur en CAD systemen die nieuwe vormen van communicatie met het architecturaal project tot stand brengen. Architectuur wordt gevat als een machine met een groot aanpassingsvermogen – een functionerend en sensorisch systeem dat stimuleert en dat op zijn beurt gestimuleerd wordt door het menselijk gedrag. Zodoende vereist dit de creatie van interactiemechanismen die zoeken naar een voortdurende terugkoppeling/feedback en het onderhandelen tussen het aanwezige materiaal en het gedrag van de mens.

Interactie is een fundamenteel begrip in de creatie van eender welk model dat gebaseerd is op gedragspatronen die het domein van artificiële systemen uitbreiden. In dit opzicht is het essentieel om het concept van interactie te beschouwen als een onderhandelingsprocedure en te onderscheiden van het algemene gebruik van interactie als een reactief systeem. Het is de basis om te begrijpen wat het potentieel en de actieve integratie van een zulk gedrag-gebaseerd interactiemodel kan bieden in de architectuurpraktijk.

*"The future of interaction leans towards architecture, which is of course the art of behavioral environments par excellence."<sup>99</sup>*

---

<sup>98</sup> Nicholas Negroponte

<sup>99</sup> Roy Ascott, Sonic Arts Festival for Interactive Arts

## 1.2 HET VERSCHIL TUSSEN PARAMETRISATIE EN PARAMETRICISME

Er is een duidelijk onderscheid tussen parametricisme en parametrisatie. Foster bijvoorbeeld gebruikt parametrisatie omdat het de enige manier is om zijn architectuur te kunnen bouwen, hij haalt er de complexiteit uit met een onopvallende neutralisatie van de verschillen in de geometrie van het gebouw. Parametricisme daarentegen doet net het tegenovergestelde en probeert de verschillen net te versterken. Dit is een belangrijk principe dat aantoont dat het een stijl zou kunnen zijn, er is een wil om te 'vormen' en dit is van groot belang in het kader van onderzoek.

|                                  |   |                                     |
|----------------------------------|---|-------------------------------------|
| PARAMETRICISME                   | – | PARAMETRISATIE                      |
| Architectuur                     | – | Engineering                         |
| Parametrisch 'ontwerpen'         | – | Parametrisch 'modelleren'           |
| Complexiteit genereren           | – | Complexiteit beheersen (fabricatie) |
| Tektonisch ontwerp               | – | Geveltechniek                       |
| Explorerend ontwerpend onderzoek | – | Problem-solving                     |

## 1.3 RELATIE: MEDIA/TECHNIEK – STIJL

*“The parametric design tools by themselves cannot account for this drastic stylistic shift from modernism to parametricism. This is evidenced by the fact that late modernist architects like Norman Foster are employing parametric tools in ways which result in the maintenance of a modernist aesthetics. Foster is using parametric modeling to inconspicuously absorb complexity. At ZHA, as well as in the various teaching arenas we are associated with, our parametricist sensibility pushes in the opposite direction and aims for a maximal emphasis on conspicuous differentiation.”*

De plotse grote sprong van het Modernisme naar het Parametricisme is te verklaren door een enorme en snelle uitbreiding van de ontwerpmedia en technieken. Schumacher plaatste enkele stijlen met de belangrijkste ontwerpmedia op een rij:

|                |   |                             |
|----------------|---|-----------------------------|
| STIJL          | – | ONTWERPMEDIA                |
| Renaissance    | – | het perspectief             |
| Barok          | – | de projectieve meetkunde    |
| Modernisme     | – | de orthografische projectie |
| Parametricisme | – | het generatieve             |

#### 1.4 STIJL ALS PROGRAMMA VOOR ONDERZOEK

Avant-garde stijlen kunnen mogelijk geïnterpreteerd en geëvalueerd worden als nieuwe wetenschappelijke paradigma's die een nieuwe conceptuele drager opleveren en nieuwe doelen, methoden en waarden formuleert. Stijlen worden op deze manier beschouwd als het programma voor onderzoek. Innovatie in architectuur blijft dan ook voortduren door de opeenvolging van verschillende stijlen. Dit brengt ook een wisselwerking met zich mee tussen periodes van cumulatieve vorderingen binnen een stijl en revolutionaire periodes van overgangen tussen stijlen. Wetenschappelijke vooruitgang is gestructureerd door een gelijkaardig ritme, vastgelegd in Thomas Kuhn's bekende verschil tussen twee verschillende modellen van wetenschappelijke communicatie: de 'normale wetenschap' die evolueert in een dominant wetenschappelijk paradigma, en de 'revolutionaire wetenschap' die de verschuiving van een paradigma veroorzaakt. Tijdens deze cumulatieve periodes zijn ontwerpers zeer gemotiveerd om probleem na probleem op te lossen welke gevormd worden door de stijl – het onderzoek. Revolutionaire periodes ontplooiën zich wanneer het dominant onderzoeksprogramma zijn productiviteit verliest. De zoektocht naar alternatieve vooruitstrevende routes produceert schisma's en –ismes en filosofen spelen in op ontwerpers tot een nieuw vitaal paradigma ontstaat en een nieuwe stijl wordt gemaakt.

Stijlen representeren periodes van innovatie, die de inspanningen van het ontwerponderzoek verzamelen in een collectief streven. Een stabiele identiteit is zowel een belangrijke voorwaarde voor de evolutie hier als voor het organische leven in het algemeen. Avant-garde ontwerpen zijn het beste te omschrijven als speculatieve hypothesen die geformuleerd worden in een bepaalde stijl. Deze stijl dient als een samenhangend onderzoeksprogramma voor de opbouw van een systematische reeks van ontwerpexperimenten. Op het vlak van moeilijkheden is het cruciaal om zich vast te klampen aan de nieuwe principes – de harde kern – voor de kans op eventueel succes. De eigenzinnige volharding van alles op te lossen met dezelfde methode, met bijvoorbeeld het plooiën van een enkel vlak, project na project, rukt stilaan het plausibele van het niet plausibele, vergelijkbaar met de Newtoniaanse eigenzinnigheid die alles probeert te verklaren van planeten tot atomen met behulp van steeds dezelfde principes. Hetzelfde kan gezegd worden van stijlen, elke stijl heeft zijn eigen harde kern met principes en een karakteristieke manier om ontwerpproblemen en taken op te lossen.

*“Parametricism implies the utilization of a digital design universe to design a world with its own creative laws, logics and associations.”*

Er ontstaan nieuwe soorten problemen, maar men gebruikt ook niet meer de technieken van voordien. Ingenieurs gebruiken elke mogelijke techniek of methode om een probleem op te lossen, maar een stilistisch gedreven onderzoek wordt toegespitst op het verscherpen van de hypothese. Door deze avant-garde stijl maakt architectuur progressie en zet het een cyclus van innovatie in gang waarbij het belangrijk is om zich vast te klampen aan de nieuwe principes en technieken van de stijl zelf. Door het volharden zal men uiteindelijk uitkomen op iets nieuw, zoals Newton verkondigde dat alles verklaarbaar moest zijn met het mechanische model, helemaal tot op de atomen. Het enige verschil is dat Newton het over een exacte wetenschap had, terwijl het nu slechts over het subjectieve van architectuur gaat. Hierdoor zal er ook nooit een bewijsvoering mogelijk zijn die deze visie of stijl wel of niet verifieert.

*“Newton’s theory of gravitation, Einstein’s relativity theory, quantum mechanics, Marxism, Freudianism, are all research programmes, each with a characteristic hard core stubbornly defended, ... each with its elaborate problem solving machinery. Each of them, at any stage of its development, has unsolved problems and undigested anomalies. All theories, in this sense, are born refuted and die refuted.”<sup>100</sup>*

Avant-garde architectuur produceert manifesten, een paradigmatische uiteenzetting van het potentieel van een nieuwe stijl. Het kan niet bevestigd, noch weerlegd worden enkel en alleen op basis van gebouwde resultaten. Het programma – de stijl – bestaat uit methodologische regels. Sommige regels vertellen welke richting van onderzoek te vermijden en andere welke paden gevolgd kunnen worden. De negatieve formuleren beperkingen die een terugval in verklaarbare patronen proberen te voorkomen, terwijl de positieve leidende principes het werk snel laten evolueren in één richting.

Of het gedefinieerde Parametricisme in deze visie werkelijk een stijl is als programma voor onderzoek valt niet te bewijzen. Het is echter wel volop in ontwikkeling en de huidige architectuurpraktijk zal hier zeker door beïnvloed worden.

---

100 Lakatos, Imre, *The Methodology of Scientific Research Programmes*, Cambridge 1978, p.5





## **NAWOORD**





In dit digitale tijdperk worden leefpatronen gewijzigd en moet er opnieuw nagedacht worden over de hedendaagse architectuur en zijn nieuwe eisen. De duidelijk zichtbare tendens naar meer vrijheid en mobiliteit vraagt om een nieuw architectuurconcept. Een parametrische architectuur zal het vakgebied veroveren en er is reeds sprake over het Parametricisme, een nieuwe stijlperiode volgens Patrick Schumacher. Daar waar het Structuralisme zou gefaald hebben zou deze stijl een nieuw era aankondigen met een nieuw parametrisch paradigma.

De hedendaagse parametrische technieken brengen oplossingen aan bepaalde verlangens maar creëren echter ook weer problemen en veranderingen. Hoewel architectuur aan deze ontwikkeling niet zal kunnen ontsnappen is het belangrijk dat de architect mee is. Hij moet in staat blijven ruimtes, sferen, belevingen en programma's te ontwerpen die dienst kunnen doen als stimulerend kader voor nieuwe veranderingen.

De tools die hierbij gebruikt kunnen worden zijn zeer talrijk in vergelijking met de traditionele methoden. Deze toolset kan nog uitgebreid worden met eigen scripts zoals Visual LISP of VBA, waardoor er een grote vrijheid ontstaat en het mogelijk wordt om een ontwerp te verpersoonlijken. Constructieprocessen worden op deze manier geautomatiseerd waarbij er een verschuiving optreedt van 2D documentatie naar 3D. Centraal staat een allesomvattend driedimensionaal model dat al dan niet parametrisch is opgebouwd en alle data, die door de verschillende bouwpartijen aangeleverd worden, bundelt en aan elkaar koppelt. De uitwisseling van informatie wordt grensoverschrijdend waarbij het parametrisch modelleren vele voordelen biedt op het vlak van efficiëntie en nieuwe productiemethodes. Ook post-optimalisatie is een essentiële parametrische toepassing die vaak gebruikt wordt in grootschalige projecten. De grote complexiteit heeft tot gevolg dat mass-customization hierbij een belangrijke rol toebedeeld krijgt. De architect komt namelijk dicht bij de realisatie van het project te staan. Men spreekt van de digitale master builder die reeds vroeg in het ontwerpproces rekening houdt met ingenieurs en aannemers.

Naast het parametrisch modelleren ontstaan ook tal van nieuwe ontwerpmethodes met behulp van parametrische technieken. De traditionele top-down werkwijze verschuift naar een bottom-up methode waarbij generatieve en algoritmische methodes de bovenhand hebben. De parametrische systemen die hierdoor ontstaan bieden veel mogelijkheden op zowel het conceptuele vlak als het functionele vlak. Het parametrisch ontwerpen is grensoverschrijdend en raakt het met vele verschillende vakgebieden. Zo komen er zelfs biomimetische toepassingen aan bod die, in tegenstelling tot post-optimalisatieprocessen, het toelaten om reeds in het begin van het ontwerpproces ingenieuze toepassingen uit de natuur te imiteren. Deze imitaties gaan van een grote schaal (constructieprincipes en organisatie) tot op een nano-schaal (materialen).

De software-industrie biedt een uitgebreid scala aan programma's, gaande van professionele animatiesoftware tot de meest geavanceerde structurele simulatiesoftware. Het beheersen van Visual LISP in AutoCAD is mooi meegenomen en creëert meerdere mogelijkheden. Grasshopper daarentegen is een zeer recente ontwikkeling met een groot potentieel. Elke speler in het bouwproces werkt echter in zijn eigen digitale werkomgeving die afgestemd is op zijn noden. Niet iedereen wil bezig zijn met script en misschien ook niet met componenten met draden aan elkaar te linken. Maar bij het parametrisch ontwerpen ontdekt men vele nieuwe mogelijkheden die concepten tot een nieuw niveau kunnen brengen. Dit maakt het zeker en vast de moeite om als tool beschikbaar te hebben. De beschikbare software is echter nooit volledig waardoor er steeds creatieve oplossingen moeten gezocht worden voor bugs uit de opstelling te halen of op een andere manier te werk te gaan. Een nadeel bij het ontwerpen op de computer is de beperking van het scherm. Architecten kunnen dan wel perfecte beelden simuleren maar de weergave bevindt zich nog steeds in een plat vlak. Hoewel het reeds een verbetering is ten opzichte van de klassieke pentekeningen mist men vaak voeling met het ontwerp. Om ontwerpen toch een tastbaar karakter te geven kan men gebruik maken van Rapid Prototyping technieken. De productietechnologie die hiervoor beschikbaar is, wordt nog volop ontwikkeld, net zoals de materialen die gebruikt kunnen worden. De eisen van architect zet fabrikanten er alleszins toe aan om te investeren in onderzoek.

## ZELFKRITIEK & AMBITIE

Dit schooljaar heb ik een totaal andere wending genomen in de wijze van ontwerpen. Het portfolio zal in mijn geval een heel vreemde combinatie zijn van verschillende stijlen. Als student wordt men verondersteld een stijl te ontwikkelen om jezelf te verkopen. Ik ben hier echter niet volledig mee akkoord en plaats concepten en ideeën voorop, los van de stijl waarin het wordt uitgewerkt. Afgelopen jaar heb ik me radicaal afgezonderd van de traditionele werkwijze en de top-down ontwerpmethodode. Er zijn namelijk meer mogelijkheden beschikbaar en in ontwikkeling. Door mij op dit terrein te begeven heb ik veel bijgeleerd, werk ik intensiever en kom ik tot nieuwe ideeën. Het bottom-up principe van een project vind ik dan ook een heel interessant gegeven. Het ontwerpproces heb ik beschouwd als een onderzoek naar zowel het ontwerp als de ontwerpmethodode. Daar waar mankementen optreden ontstaan dan ook punten waar ik uit kan leren.

Het afstudeerproject (Charge & Service Station) zou in dit opzicht waardig zijn voor verder onderzoek. Het zou een soort economisch parametrisch systeem (genotype) kunnen worden dat voor elke plek een gedifferentieerde constructie (fenotype) kan genereren. Hierbij zou het ultieme streefdoel zijn dat het gebouw de nodige elektriciteit ter plaatse zou kunnen produceren waardoor het elektrisch piekdebiet gebufferd wordt. Tegelijkertijd is ook het rendement zeer hoog omdat er praktisch geen energieverlies is door het te transporteren. Het systeem zou dus functioneel gemaakt kunnen worden met de nodige samenwerking van vakmensen uit verschillende sectoren. Energiebedrijven, autobedrijven, brandstofleveranciers (tankstations), projectontwikkelaars, verkeerskundigen, informatici, bio-ingenieurs, burgerlijk en bouwkundige ingenieurs zouden kunnen samen werken met architecten om een dergelijk systeem op te stellen.

Het lijkt voor sommige lezers misschien nog een utopisch verhaal, maar de tendensen zijn duidelijk. Van de nieuwe generatie architecten wordt dan ook zeer veel verwacht in de toekomst. Ik zou het bijgevolg zeer interessant vinden om hierin een doctoraat te starten en mij vervolgens nog verder te verdiepen in het Charge & Service Station. Niemand weet op dit moment of dit effectief mogelijk zal zijn en het idee is nog vrij utopisch en idealistisch. Maar dat is uiteindelijk wat onderzoek betekent, het is een risico dat genomen wordt waarvan het resultaat zowel positief als negatief kan zijn. Elk architectuurproject is tenslotte ook een onderzoek, een ruimtelijk experiment, waarbij de gebruikers de proefpersonen zijn. Met parametrische architectuur wordt vandaag overal geëxperimenteerd waarbij het zwaartepunt bij de universiteiten terug te vinden is. Deze nieuwe ontwikkeling die benoemd zou kunnen worden als het Parametricisme, wordt realiteit en zet alvast vele deuren open naar nieuwe architectuur en innoverende concepten.



**DANKWOORD**



Een thesis schrijven was voor mij een nieuwe uitdaging, net zoals het leren van nieuwe ontwerpmethodes en het maken van een ontwerp dat vernieuwend tracht te zijn en nog nooit gezien is. Bij deze uitdagingen heb ik de steun van enkele mensen zeer goed kunnen gebruiken.

In het bijzonder dank ik mijn vriendin Tine Mandonx die mij al 3,5 jaar zeer veel morele steun geeft en de moed blijft inpraten bij al mijn projecten, zowel voor school als daarbuiten.

Ook mijn ouders wil ik bedanken voor de kans die zij mij gegeven hebben om verder te studeren. Deze brede steun, zowel financieel als moreel, betekent zeer veel voor mij en daar wil ik hun expliciet voor bedanken. Mijn jonge broer krijgt een eervolle vermelding voor zijn kritische momenten, vooral het feit dat hij met alles lacht wat ik doe, laat mij vaak twee keer nadenken.

Een bijzonder grote dank gaat uit naar mijn promotor Marc Knapen die mij in de opleiding heeft laten kennismaken met de CAD-wereld en mij vervolgens begeleidde in deze thesis. Het aanbod dat ik kreeg om mijn ontwerp in 3D te printen apprecieer ik ten zeerste, hoewel ik toen net niet de tijd beschikbaar had om dit te verwezenlijken.

Vervolgens wordt ook mijn co-promotor Stefan Boeykens bedankt voor alle nuttige tips en informatie en Robrecht Keersmaekers voor de constructieve studie in Powerframe.

Ronald De Meyer die zich opgaf om mijn promotor te zijn voor een eventueel doctoraat en mij steunde in de aanvraag voor een BOF-beurs wil ik ook graag bedanken.

Ook professor José Pinto Duarte die mij doceerde in Lissabon wil ik bedanken voor zijn lovende woorden in mijn aanvraag en zijn inspirerend werk in LISP.

Een speciaal dankwoord geef ik ook aan collega Niels Willems en trouwe vriend Wouter Lathouwers om op te treden als handmatige spellingscorrectie. Daarnaast vermeld ik graag collega Pieter van Stee, de enigste collega op de PHL waarmee ik deftig over Grasshopper kan praten. Hij zal mijn thesisonderwerp ook benaderen volgend jaar en Grasshopper linken aan Powerframe.

En tenslotte ook een woord van vriendschap en genegenheid aan alle studenten van het 5de jaar, voor de hechte en toffe groep die we vormen.





## **BIBLIOGRAFIE**



## Boeken

- Verebes, T., *DRL Ten: A Design Research Compendium*, 2008, London: AA Publications.
- Tomoko, S. & Ferré, R., *From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture*, 2007, Barcelona: Actar-D.
- Hensel, M. & Menges, M., *Morpho-Ecologies*, 2006, London: AA Publications.
- Hardy, S., *Enverionmental Tectonics: Forming Climatic Change*, 2008, London: AA Publications.
- Lee, Christopher C.M. & Jacoby, S., *Typological Formations: Renewable Building Types And The City*, 2007, London: AA Publications.
- Kolarevic, B., *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, 2003, New York: Spon Press
- Valena, T., *Structuralism in Architecture & Urbanism*, 2009, Munchen
- Franssens, D., *File-To-Factory: Maakbaarheid vs. Virtualiteit*, 2008, Diepenbeek
- Froyen, K., *Gen. Architecture*, 2009, Diepenbeek
- Sorgeloos, W., *Digitaal Ontwerpen & File-To-Factory*, 2006, Diepenbeek
- Frazer, J., *An Evolutionary Architecture*, 1995, London: E.G. Bond Ltd
- Ostwald, M.J., *Evaluating Digital Architecture: Ethics and the Auto-Generative Design Process*, 2009, Sydney

## Artikels

- De Kestelier, X., "Parametric Design en Scripting bij Foster And Partners." *A+*, 2005 (193), pp. 80-87.
- Verstraeten, R., "Building Information Modelling." *A+*, 2009 (217), pp. 74-77.
- De Vries, B. & van der Zee, A., "Generatief Ontwerpen." *Chepos 010*, 2007, pp. 46-50.
- Vanucci, M., "What is Parametric City Design?" 2007.
- Gonchar, J., "Generative Components comes of age." *Architectural Record*, 2008 (Vol. 196).
- DS, "Generative Components Software gives 'bending the rules' a whole new meaning." *Architectural Record*, 2003 (Vol. 191).

Duesing, B., "From Top Down to Bottom Up: Generative design tools flip the script of architectural thinking." Obleo Design Media.

Bundy, A., "Computational Thinking is Pervasive." 2007.

Schnabel, M.A., "Parametric Designing in Architecture: A Parametric Design Studio." In Dong, A. & Vande Moere, A. & Gero, J.S. (eds), CAAD Futures, 2007, Utrecht: Springer, pp. 237-250.

Matcha, H. & Karzel, R. & Quasten, G., "Architectural Design with Parametric Modelling and Customized Mass Production: Explorations and Case Studies in Architectural Design and Production Methods." 2008

Jane R. Burry, Marc C. Burry, "Gaudí and CAD", juni 2006

Z. Hadid, "Mediakit Innsbruck Cable Railway", september 2007

## Internet

Schumacher, P. (2008), Parametricism as Style – Parametricist Manifesto. Geraadpleegd op 17 mei 2009 op het World Wide Web: <http://www.patrikschumacher.com/Parametricism.htm>

J.Woo, Grasshopper. Geraadpleegd op 1 maart 2010 op het World Wide Web: <http://woosung.com/>

Grasshopper Forum, <http://www.grasshopper3d.com/>, laatst geraadpleegd op 4 mei 2010.

Tutorials, <http://designreform.net/> laatst geraadpleegd 4 mei 2010.

Grasshopper primers, <http://www.liftarchitects.com/>, laatst geraadpleegd op 24 april 2010.

## Studiereizen & uitstappen

Studiereis 5AR, Stuttgart, Mercedes Benz Museum, UN Studio, 2006

Internationaal Symposium, Structuralism in Architecture Reloaded, München, november 2009

## Opleiding

Biomimetics & Biomachines, Prof. J. de Baerdemaeker, Leuven 2010

Programming and Fabrication, Prof. J.P. Duarte, Lissabon 2008

## Thesisverdediging PHL Diepenbeek 2008-2009

Koen Froyen, "Gen.Arch. Architecture made by computers?", promotor Marc Knapen

## Eigen werk

W. Lathouwers & V. Macris, "Plant Morphology and Engineering", Prof. J. de Baerdemaeker, Leuven 2010

V. Macris, "Programming and Fabrication, Visual LISP", Prof J. P. Duarte, Lissabon, 2008

S. Delchambre, J. Mendinhos, V.Macris, "Sistema de edificação: Lattice Grid Shell, Repsol stations & Cable-Railway Innsbruck", Lissabon 2008

## Afbeeldingen

|                              |   |
|------------------------------|---|
| 001 – 015                    | Valena, T. Structuralism in Architecture & Urbanism   |
| 016                          | <a href="http://www.ck12.org/ck12/images?id=125199">http://www.ck12.org/ck12/images?id=125199</a>             |
| 017-019                      | <a href="http://scienceblogs.com/">http://scienceblogs.com/</a>   |
| 020 - 022                    | <a href="http://library.wolfram.com">http://library.wolfram.com</a>   |
| 025                          | Frank Gehry   |
| 026                          | flight404.com   |
| 027                          | Fede__g@flickr.com  |
| 028                          | Koen Froyen   |
| 029-031, 037, 041            | TU Eindhoven  |
| 032-034                      | Cellular Automata Blog  |
| 035 – 036                    | J. P. Duarte  |
| 038                          | AD magazine,  |
| 039                          | John Frazer, An evolutionary Architecture   |
| 040, 042, 058 – 061          | Arup  |
| 043 – 46                     | Marc Burry,   |
| 047-048, 067                 | P.atrik. Schumacher, Frei Otto  |
| 049                          | <a href="http://www.rudi.net">www.rudi.net</a>  |
| 051                          | <a href="http://www.kuiper.nl/content/news/bim_kc2_4.jpg">http://www.kuiper.nl/content/news/bim_kc2_4.jpg</a> |
| 052-055                      | <a href="http://plus.maths.org/issue42/features/foster/">http://plus.maths.org/issue42/features/foster/</a>   |
| 056-057                      | <a href="http://www.skyscrapercity.com">http://www.skyscrapercity.com</a>                                     |
| 062, 090-091, 095 - 099      | Zaha Hadid  |
| 063                          | Pieter Breughel   |
| 064                          | Gramazio & Kohler   |
| 065                          | Wikipedia   |
| 066                          | e-cloud.com   |
| 068-072                      | Achim Menges  |
| 092                          | Ney & Partners  |
| 094                          | AA-school   |
| 101 – 102                    | Bing Maps   |
| 130 – 131                    | Robrecht Keersmaekers Powerframe  |
|                              | Vincent Macris  |
| 023                          | Rhinoceros Math Plug-in   |
| 024                          | 3DS MAX screenshot  |
| 050                          | Revit Architecture  |
| 093 - 096                    | Lattice Gridshell   |
| 073- 089, 103-129, 132 - 134 | LISP & Grasshopper  |
| 134 – 135                    | Revit Architecture  |











## ABSTRACT

In het huidige digitale tijdperk worden onze leefpatronen gewijzigd en zal er opnieuw nagedacht worden over de hedendaagse architectuur en zijn nieuwe eisen. De duidelijk zichtbare tendens naar meer vrijheid en mobiliteit vraagt om een nieuw architectuurconcept. Dit concept uit zich in een parametrische architectuur en zou het vakgebied helemaal kunnen veroveren, zowel op het vlak van modelleren als ontwerpen. Er is reeds sprake over het 'Parametricisme', een nieuwe stijlperiode volgens Patrik Schumacher. Daar waar het Structuralisme zou gefaald hebben zou deze stijl een nieuw era aankondigen met een nieuw parametrisch paradigma. Deze thesis tracht zowel theoretisch als praktijkgericht te achterhalen wat een parametrische architectuur inhoudt en welke mogelijkheden het biedt om onze ruimtelijke wereld op te bouwen.

2009-2010