







# FREE FORM

ARCHITECTURE  
HANNE WELTENS

Provinciale Hogeschool Limburg  
Departement Architectuur en Beeldende Kunst  
Universitaire Campus gebouw E  
3590 Diepenbeek  
Academiejaar 2008-2009  
Seminarie Bouwtechnisch Concept

**FREE FORM ARCHITECTURE**

Hanne Weltens  
Promotor: Ronald De Meyer

# FREE FORM

ARCHITECTURE  
HANNE WELTENS



# INHOUD

# INHOUD

## INLEIDING

## TIJDLIJN

### 18 GEOMETRISCH

- 20 Hippodroom (Spanje), Eduardo Torroja
- 24 Vliegtuighangar (België), Alfred Hardy
- 30 Restaurant Los Manantiales (Mexico), Felix Candela
- 34 Sportpaleis (Italië), Pier Luigi Nervi
- 38 Opera house (Australië), Jorn Utzon
- 42 Proefopstelling betonballon (Nederland), Rob Van Hove

### 48 ORGANISCH

- 50 Einstein Toren (Duitsland), Erich Mendelsohn
- 54 Endless House, Erich Kiesler
- 60 Kapel (Frankrijk), Le Corbusier
- 64 TWA Terminal JFK Airport (Amerika), Eero Saarinen
- 68 Auditorium (Spanje), Santiago Calatrava

### 74 FREE FORM en CASE STUDIES

- Philipspaviljoen (België), Le Corbusier
- Sculpturale woning (België), Jacques Gillet
- 76 MARTa Herford Museum (Duitsland), Frank O'Gehry
- 82 Space Paviljoen (Verenigd Koninkrijk), Alan Dempsey
- Mercedes Benz Museum (Duitsland), UN Studio
- Muziekform Blurring Krook (België), Toyo Ito

### 86 **BESLUIT** TIJDLIJN



## CASE STUDIES

- 94 Philipspaviljoen (België), Le Corbusier
- 110 Sculpturale woning (België), Jacques Gillet
- 126 Mercedes Benz Museum (Duitsland), UN Studio
- 150 Muziekform Blurring Krook (België), Toyo Ito

- 162 **BESLUIT** CASE STUDIES

## DIGITAAL vs MANUEEL

- 180 **BESLUIT** DIGITAAL vs MANUEEL

- 184 **DANKWOORD**

- 188 **BIBLIOGRAFIE**



**INLEIDING**

# INLEIDING

In het derde jaar werd ons gevraagd een seminarie te kiezen voor de masterjaren. In de hoop meer technisch onderricht te worden over het materiaal beton, koos ik voor het seminarie bouwtechnisch concept. In het vierde jaar kregen we een industrieel betonnen gebouw toegewezen dat constructief en bouwtechnisch onderzocht diende te worden. Eén groepje studenten behandelde de vliegtuighangars te Grimbergen van de architect Alfred Hardy, die gerealiseerd werden in 1947. Hun presentatie wekte mijn interesse op voor betonnen schaalconstructies. Al snel maakte interesse plaats voor grote bewondering. Hoe slaagde Hardy er in om met de toen gekende technieken dergelijke betonnen constructie te realiseren? Vele architecten volgden het voorbeeld van Hardy en telkens verlegde men zijn grenzen. Dit uitte zich in een innovatieve en complexe vormgeving, waarbij vaak nieuwe technieken of constructieprincipes ontstonden om de gewenste vorm te verwezelijken. Ook free form architecture wordt onder deze noemer geplaatst. De zoektocht naar het logisch en efficiënt realiseren van deze architectuur vormt de basis van deze scriptie. Deze recente ontwikkeling wordt eveneens gekenmerkt door de tussenkomst van de computer, een instrument dat meer en meer onmisbaar wordt.

Bij de behandeling van dit onderwerp rijzen er steeds enkele vragen. Waar ligt de oorsprong van deze vrije vorm architectuur en wat is de filosofie erachter? Hoe komt de architect tot een bepaalde vorm? Welke middelen hanteert de architect om zijn ontwerpproces te ondersteunen? Welke betontechniek en bekistingstechniek worden toegepast om het ontwerp te realiseren? Waarom worden voor deze technieken gekozen? Deze scriptie probeert een antwoord te bieden op deze vragen. Deze vragen bieden slechts een antwoord op het gebruik van het materiaal beton. Het is voor vele architecten het materiaal bij uitstek om vrije vormen te realiseren.

In de zoektocht naar vrije vorm architectuur is het noodzakelijk de aanverwante architectuurtakken te behandelen: geometrische architectuur en organische architectuur. Deze zoektocht wordt gevisualeerd aan de hand van een tijdlijn, met de bijhorende definities. Het is echter onbegonnen werk alle bouwwerken uit het verleden te bespreken die door deze definities gekenmerkt worden. Hierdoor is een selecte keuze gemaakt van projecten die uit het oog springen door hun unieke vorm of omwille van hun merkwaardige constructiemethode. De tijdlijn zal bovendien alleen projecten van na 1900 behandelen.

Op het einde van het eerste hoofdstuk wordt een korte introductie gegeven op free form architecture. Het tweede hoofdstuk is geheel gewijd aan deze architectuur. Aan de hand van een viertal case studies wordt nagegaan hoe

de verschillende betontechnieken (sputbeton, geprefabriceerd en ter plaatse gestort beton) aangewend worden om tot de gewenste vrije vorm te komen. Het Philipspaviljoen en de sculpturale woning van Jacques Gillet zijn twee case studies, die dateren van voor de jaren '70. Er wordt dan onderzocht hoe deze gebouwen met de huidige technieken kunnen verwezenlijkt worden. Respect voor het oorspronkelijke uitzicht staat hierbij centraal.

In de jaren '80 beleeft de architectuur een ongekende creatieve opleving. Dit resulteert in een zoektocht naar nieuwe vormen binnen de architectuur. De opkomst van de computer en steeds geavanceerdere CAD en uitgebreide rekenmethoden van softwarefabrikanten hebben hier toe bijgedragen. Hierdoor kan een architect nieuwe en complexere vormen tekenen en berekenen die anders manueel onmogelijk verwezenlijkt konden worden. Het laatste hoofdstuk zal de rol van de computer op vrije vorm architectuur bespreken. Hierin wordt onderzocht welke voornaamste programma's door architecten gebruikt worden en wat de basisprincipes zijn van die software.

De wereld van de bekisting- en betontechnologie is enorm uitgebreid en erg gevarieerd. Deze thesis vormt slechts de basis. De nadruk hier ligt op een eerste kennismaking met de free form architectuur en de relatie met de geometrische en organische architectuur.

Het scriptie onderzoek bestaat voornamelijk uit literatuuronderzoek. De voornaamste bronnen zijn dan ook krantenartikels, tijdschriften en bibliotheekboeken. Het internet was ook een bron van informatie, maar moet steeds kritisch benaderd worden. Het mailverkeer met deskundigen zorgde ervoor dat onduidelijkheden opgehelderd werden.





# 01 TJDLJN

# TIJDLIJN VAN BETON

De keuze voor een tijdlijn van betonnen projecten is te verklaren door een markante gebeurtenis in de geschiedenis. Beton wint aanzienlijk aan belang na de Tweede Wereldoorlog, aangezien deze periode gekenmerkt wordt door een gebrek aan traditionele bouwmaterialen en een hoge kostprijs van staal. Beton heeft bovendien het voordeel dat alle mogelijke vormen verwezenlijkt kunnen worden. Het is een materiaal dat makkelijk ter plaatse kan vervaardigd worden, wat een bijkomend voordeel is in tijden van heropbouw. In deze tijdlijn worden geometrische architectuur, organische architectuur en free form architecture opgenomen. Hier is bewust voor één tijdlijn gekozen, opdat zo duidelijk wordt dat het geen opeenvolging van architectuurstromingen betreft, maar dat ze tegelijkertijd plaatsvinden. De moeilijkheidsgraad bij het maken van deze tijdlijn bestond erin om ieder project binnen een bepaald kader te plaatsen. Dit is niet altijd mogelijk, aangezien de grens tussen de drie stromingen soms vaag is. Hierdoor zijn er enkele projecten zich op het snijpunt van twee stromingen bevinden.

## WERKING

Deze tijdlijn kent geen klassieke opbouw. De verschillende stromingen worden weergegeven door middel van een curve. Dit houdt in dat deze tijdlijn dient gelezen te worden als een grafiek, met op de x-as de jaartallen en op de y-as de mate waarop de architecturale stroming toegepast werd. Zo kan bijvoorbeeld worden afgelezen dat geometrische architectuur een hoogtepunt kende in de jaren '50-'60 en dat het sedertdien minder gebruikelijk is. Het voordeel dat deze tijdlijn heeft ten opzichte van een traditionele tijdlijn is dat hier onmiddellijk de link gelegd kan worden tussen bepaalde historische perioden, gebeurtenissen en de invloed ervan op de verschillende stromingen. Deze linken worden verder uitgewerkt in de uiteenzetting van iedere stroming. Deze tijdlijn vormt de basis van deze scriptie. Ze is de rode draad doorheen deze scriptie en kan daarom gebruikt worden als een hulpmiddel bij het lezen.





# GEOMETRISCHE ARCHITECTUUR

## DEFINITIE

Op de site [architectenweb.nl](http://architectenweb.nl) is een korte definitie van het begrip geometrisch terug te vinden. Het is afgeleid van het woord geometrie dat meetkunde betekent. Geometrie is dat deel van de wiskunde dat zich bezighoudt met het bepalen van de afmetingen en de eigenschappen van figuren. Ook in de architectuur wordt vaak uitgegaan van geometrische vormen. Het voordeel van geometrische vormen is dat ze makkelijk berekenbaar zijn. Geometrische architectuur wordt gekenmerkt door het toepassen van wiskundige figuren of een combinatie van deze figuren. Voornamelijk schaalvormige constructies werden toegepast. De verklaring is te vinden in hun vorm. Schaalconstructies zijn in staat hun eigen gewicht en erop werkende belastingen te dragen. Deze belastingen worden naar de achtergrond afgedragen via druk-, trek- en schuifspanningen. Dit wil zeggen dat er geen buigende momenten optreden. Schaalconstructies hebben hun efficiëntie te danken aan hun kromming. Deze structuren zijn ideaal om uit gewapend beton geconstrueerd te worden. Ze laten constructies toe van koepels en andere gebogen daken van variabele vorm. Schaaldaken zijn steeds opgebouwd uit gebogen, geometrische vlakken. Ze kunnen echter geen geconcentreerde puntlasten dragen. Hierdoor zijn bijkomende structuren bovenop schaaldaken niet of moeilijk te realiseren. Een echte begindatum voor deze stroming kan niet gegeven worden. Wel is geweten dat één van de oudste en bekendste schaalconstructie het Pantheon te Rome is. Een massieve betonnen koepel dat in 125 gerealiseerd werd. Vooral in de jaren '50 en '60 wordt volop geëxperimenteerd met schaalconstructies. De hyppars kenden vooral een groot succes. Ze zijn een gevolg van WO II, een periode die gekenmerkt werd door een schaarste aan bouwmaterialen. Ze hadden het voordeel dat ze gebouwd konden worden met een relatieve kleine hoeveelheid materiaal. Het maken van de bekisting en het storten van het beton waren wel arbeidsintensief, maar dit was mogelijk aangezien de arbeidskosten zeer laag waren.

De populariteit van dunne betonnen schaaldaken is de laatste decennia geleidelijk afgenomen, ondanks hun vele voordelen. De voornaamste reden hiervoor is het dure en arbeidsintensieve proces van het bouwen en het verwijderen van bekisting. Maar na afwezigheid van enkele decennia komt het opnieuw in de belangstelling. Dit dankzij de aandacht voor duurzaam en demontabel bouwen en de mogelijkheden om complexere vormen met computers te ontwerpen. Mogelijkheden van prefabricage in combinatie met zeerhogesterkte(vezel)beton bieden nieuwe kansen voor deze bijzondere en elegante constructies. Een voorbeeld hiervan is de betonballon.

## VOORBEELDEN

De projecten zijn gekozen omwille van hun vormgeving, die te herleiden is tot geometrische figuren of een combinatie van verschillende geometrische figuren.

1935  
ZARZUELA HIPPODROOM  
MADRID, SPANJE  
EDUARDO TORROJA

1947  
VLIEGTUIGHANGAR  
GRIMBERGEN, BELGIË  
ALFRED HARDY

1957  
RESTAURANT LOS MANANTIALES  
XOCHIMILCO, MEXICO  
FELIX CANDELA

1960  
SPORTPALEIS  
ROME, ITALIË  
PIER LUIGI NERVI

1973  
OPERA  
SYDNEY, AUSTRALIË  
JØRN UTZON

2008  
PROEFOPSTELLING BETONBALLON  
EINDHOVEN, NEDERLAND  
ROB VAN HOVE



# 1935

ZARZUELA HIPPODROOM  
MADRID, SPANJE  
EDUARDO TORROJA

# ZARZUELA HIPPODROOM

## MADRID, SPANJE

### EDUARDO TORROJA

De architectuur van de Spaanse ingenieur architect Eduardo Torroja wordt vandaag de dag, zoals Pier Luigi Nervi en vele anderen, voorgeschreven als een toonbeeld voor schaalconstructies. Dit was ooit anders. Aan het begin van zijn carrière rond de jaren 1930 kreeg de architect weinig erkenning. Het meeste van zijn werk is dan ook enkel te bewonderen in Spanje. De reden hiervoor was dat er rond die periode een gebrek aan staal was en indien het voorradig was, was het ontzettend duur. Hiervoor had Torroja de oplossing, beton, een materiaal dat goedkoop was en tegelijk ijzersterk. Hij baseerde zijn constructies op het principe van de schalen waarbij er enkel drukkrachten in de structuur voorkwamen. In zijn opleiding tot ingenieur kwam hij tot de ontdekking dat de structuur van beton niet wiskundig berekend kan worden. Hij verliet het pad van de wiskunde en ging verder met wat zijn gevoel hem vertelde. Rond de jaren 1930 bouwde hij zijn eerste monumenten, waaronder zijn bekende schaalconstructie over de markt van Algeciras met een overspanning van 50m en vervolgens de Hippodroom van Madrid (1935).

#### PROJECTOMSCHRIJVING

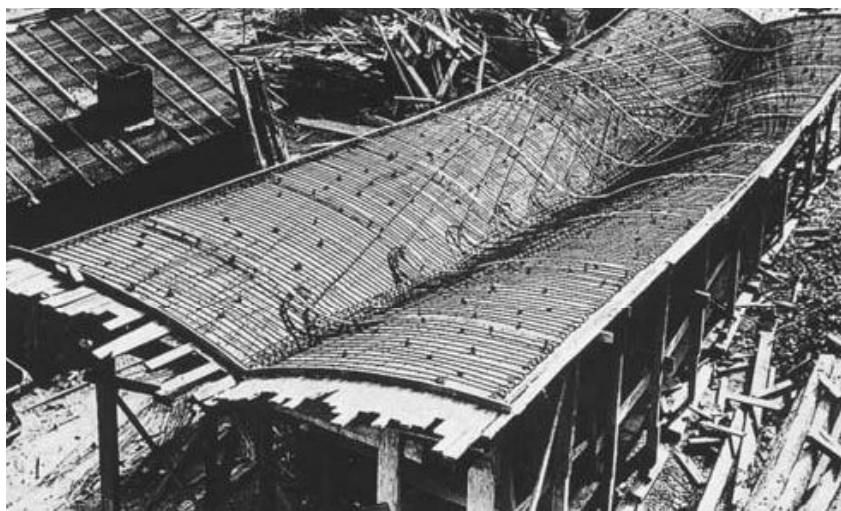
De opbouw van de hippodroom in Madrid is eigenlijk een opeenvolging van een reeks kleinere gewelven. Hierdoor wordt er een overdekking voor de tribunes gecreëerd. De luifel kraagt een groot stuk uit, daarom was het nodig de luifel van een contra gewicht te voorzien zodat deze in evenwicht blijft. Dit gebeurde door een luifel in de andere richting te spannen. De hele structuur steunt op enkele punten die afdragen via de tribune op de grond. De constructie is zelfs zo stevig dat ze in de Spaanse burgeroorlog 26 bominslagen overleefde. Voor Torroja groeit de schoonheid van de structuur uit het samenspel van wiskunde en de spanningen, vandaar deed hij deze uitspraak over esthetiek: *“For the first time in the history of art, the structure has acquired an independent personality, so that its own intimate esthetic quality can be appreciated.”* (Millais, M., Building Structures: From Concepts to Design, Taylor & Francis, 2005, p. 229-233)

## REALISATIE

De gewelven zijn gemaakt uit ter plaatse gestort beton. Door middel van deze techniek is het mogelijk praktisch elke vorm te vervaardigen. Belangrijk punt is wel dat er overal voldoende wapening voorzien moet worden, dit hangt met andere woorden nauw samen met de vorm van de constructie. Deze wapeningen zorgen er voor dat de structuur zowel in de lengterichting als in de breedterichting overspannen wordt. Dit betekent dat de structuur fungeert als een soort van stijve plaat die enkel in het midden ondersteund wordt, dit in tegenstelling tot een balkenstructuur die op de uiteinden ondersteund moet worden. Bij deze schaalstructuur is het dus zo dat de trekkrachten zich bovenaan in de golven bevinden en dat de drukkrachten zitten waar de golven samenkomen. Dit is juist het tegenovergestelde van een balk, waar de trekkrachten zich onderaan bevinden. De krachten waren voor die tijd moeilijk te berekenen. Het was dus noodzakelijk een groot schaalmodel te bouwen om de spanningen in de structuren te kunnen inschatten. Uit deze proeven bleek dat het het voordeligst was de wapeningen te voorzien zoals aangegeven op onderstaande tekening.



krachtentekening en  
tekening voor de  
trekwapening



positionering van de  
trekwapening gebeurt  
zoals aangegeven op de  
tekening





# 1947

VLIEGTUIGHANGAR  
GRIMBERGEN, BELGIË  
ALFRED HARDY

# VLIEGTUIGHANGARS GRIMBERGEN, BELGIË

## ALFRED HARDY

### PROJECTOMSCHRIJVING

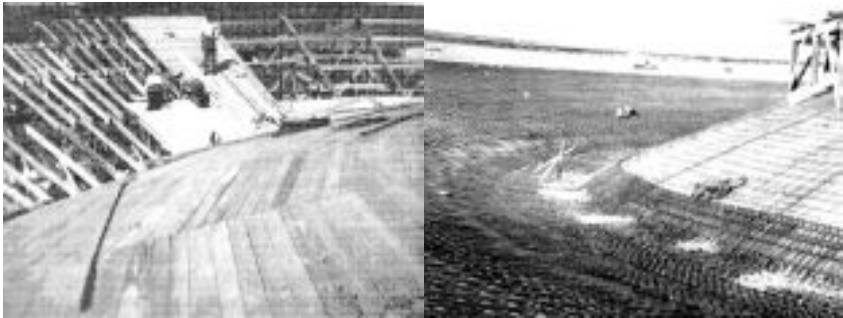
Deze twee betonnen hangars werden gebouwd in het jaar 1947 en zijn een ontwerp van Alfred Hardy. Hij was geen ingenieur-architect, maar een aannemer die aan het hoofd stond van een metaalverwerkingsbedrijf. Het is door het bouwen dat hij in contact kwam met architectuur. Hij toont zich hier als een *all-round-man*: ontwerper, structureel ingenieur en uitvoerder. De firma Blaton-Aubert uit Brussel, in samenwerking met Samuel Chaikes, namen de berekeningen en de uitwerking van de betonstructuur op zich. De metalen delen, zoals de lantaarn en schuifpoorten, werden geleverd door het Atelier Hardy-Leroy. Deze hangars werden gebouwd om verschillende soorten toeristische vliegtuigjes te herbergen. Innoverend is de cirkelvormige opstelling waardoor elk vliegtuig afzonderlijk naar buiten kan gebracht worden, zonder de rest eerst te verplaatsen. De cirkelvorm zorgt dat een compacte schikking van de vliegtuigen mogelijk is, zonder enig verlies aan circulatieruimte. Ieder hangar heeft een totaaloppervlakte van 2000m<sup>2</sup>. Ze bestaat uit twee cilinders met een buiten diameter van 50 m. In de centrale cilinder voorzag Hardy een zenitaal verlicht atelier voor het repareren van de vliegtuigen. De hoogte van de hangar bedraagt 7 m. Ze is een voorbeeld van een constructief principe, waarop Hardy in 1946 een brevet nam. Hij spreekt van een construction équilibrée, die hij de naam "la dalle autoportante" gaf. De hangar is een betonnen paddenstoelconstructie, die opgebouwd is uit een koepel en een ver uitkragende, afgeknotte kegelschaal. Beide elementen komen samen op een ringbalk die vervolgens ondersteund wordt door vier kloeke kolommen. Zowel de koepel als de kegel zijn ontworpen als een schaalconstructie. Het voordeel hiervan is dat er geen buigende momenten optreden. Zo zegt Iwan Strauven dat de constructie, de afwerking en de detaillering primair, bevattelijk en repetitief zijn - alles is vanuit het strikt utilitaire bedacht.

Bij de opbouw van de hangar werd allereerst de centrale cilindrische draagstructuur verwezenlijkt. Hierop komt het zelfdragende dak. Op de foto's is duidelijk te zien dat er eerst houten stellingen geplaatst werden, waarop de bekistingplanken kwamen. Vervolgens werd de wapening gemonteerd. Als laatste werd het beton gestort. In het uitkragende gedeelte werd de wapening voornamelijk in de concentrische richting geconcentreerd om zo de trekkrachten op te vangen. De hoeveelheid wapening neemt af naar het centrum toe: ringbalk: 8x Ø20 mm per lopende meter, nabij koepel: 6x Ø20 mm per lopende meter. Sommige elementen hebben bijkomende wapening

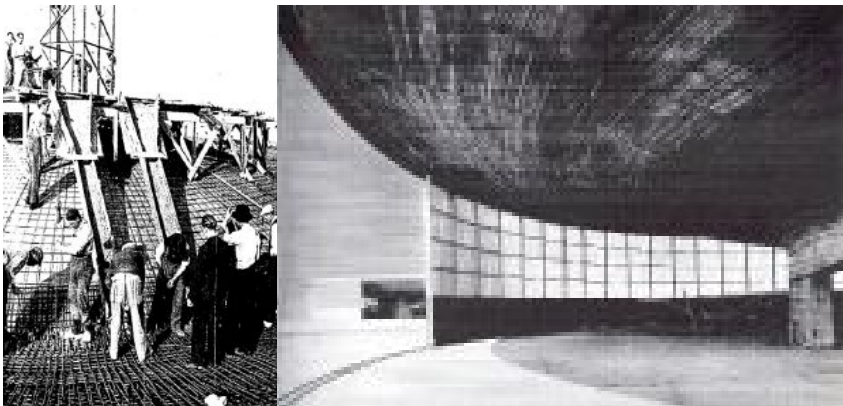


Tijdlijn

nodig. Dit komt doordat ze zich op een cruciale positie in de lastendaling bevinden. De drukkrachten verlopen radiaal en worden door het beton opgenomen. De drukkrachten zijn ten gevolge van het eigengewicht en de belasting van het dak. Aangezien het om schaalconstructies gaat, treden er geen buigende momenten op. Hierdoor blijft barstvorming in het beton beperkt en is het materiaalgebruik minimaal. Door de immense uitkraging van 14 m, die zich rond een centrale koepel met diameter 22 m bevindt, varieert de betondikte van 8 cm in de koepel tot 12 cm in de uitkraging. Het aanzienlijk eigengewicht van de paddenstoelconstructie zorgt ervoor dat bijkomende fundering tegen opwaartse druk, buiten de centrale ringfundering, overbodig is. Het geheel wordt afgesloten door een systeem van op dubbele rails gemonteerde aluminium schuifpoorten, die opgebouwd zijn uit twee meter hoge aluminiumplaten waarboven een glaspartij van 5 m. De glazen koepel dient ook als verluchting van de hangar. (met behulp van de powerpoint van Anthonis Leen, Nivelle Joris, Van weert Boud en Rik Willekens, naar aanleiding van het seminarie bouwtechnisch concept 2007)



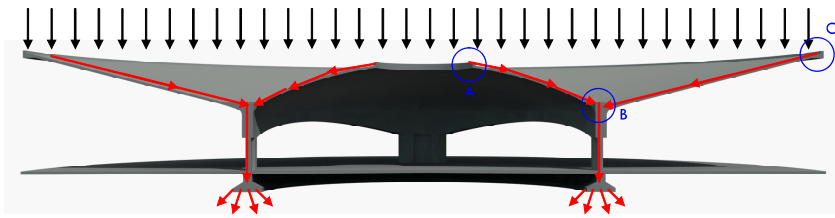
links: tijdelijke houten stellingen, waarop de bekisting wordt aangebracht  
rechts: wapening



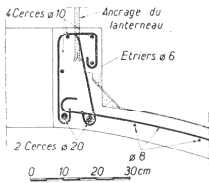
links: storten van het beton  
rechts: bekistingpatroon is zichtbaar



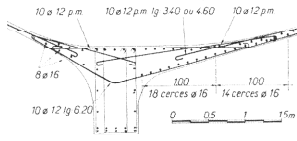
Tijdlijn



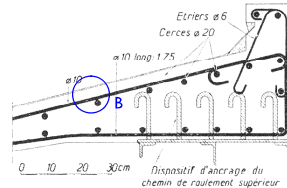
links: constructie  
rechts: uiteindelijke  
resultaat



Détail A



Détail B



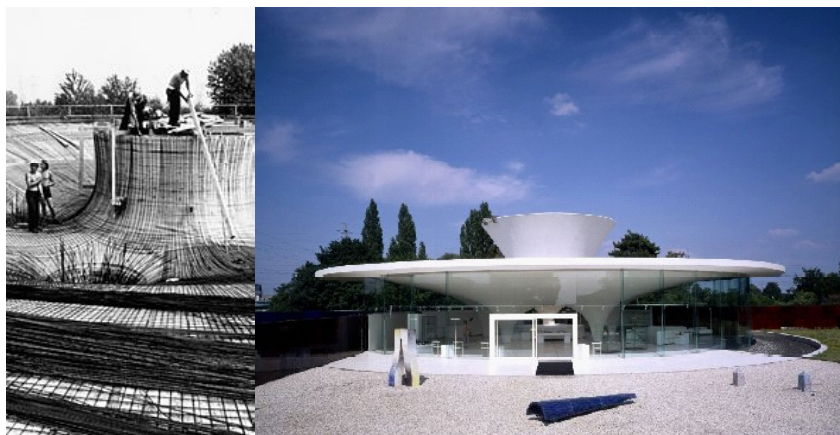
Détail C

bijkomende wapening op  
de punten A,B en C

## INVLOED VAN ALFRED HARDY

De meest bekende constructies die Hardy realiseerde; de vliegtuighangars in Grimbergen, worden soms beschouwd als de voorlopers van de schaalconstructies van Félix Candela.

Een meer recentere toepassing is een ontwerp van de Keulense architect Peter Neufert, het zogenaamde Stiftung Keramion. Door de complexe vormgeving heeft hij zeer nauw samengewerkt met de ingenieur Stefan Polonyi. Het gebouw wordt gebruikt om keramische kunstwerken te tentoonstellen. Hierbij heeft Neufert zich laten inspireren door een pottenbakkerswiel. Het is eveneens een gewapende betonconstructie. De schaal die het dak vormt heeft een diameter van 32 meter. De conische constructie op het dak doet dienst als enorme lichtkoepel die het kelderniveau van daglicht voorziet (conisch een regelvlak dat verkregen wordt door een rechte lijn te laten glijden over twee verschillende krommen gelegen in evenwijdige vlakken). Het geheel is omgeven door een transparante schil. Hierdoor komt de betonconstructie maximaal tot zijn recht en is er voldoende licht voor de tentoonstelling. De schaalconstructie van het dak draagt zijn krachten af naar de vijf slanke kolommen, die op kelderniveau overgaan in strakke ronde kolommen.



links: storten van het beton  
rechts: bekistingspatroon is  
zichtbaar



# 1957

RESTAURANT LOS MANANTIALES  
XOCHIMILCO, MEXICO  
FELIX CANDELA

# RESTAURANT LOS MANANTIALES XOCHIMILCO, MEXICO FELIX CANDELA

## PROJECTOMSCHRIJVING

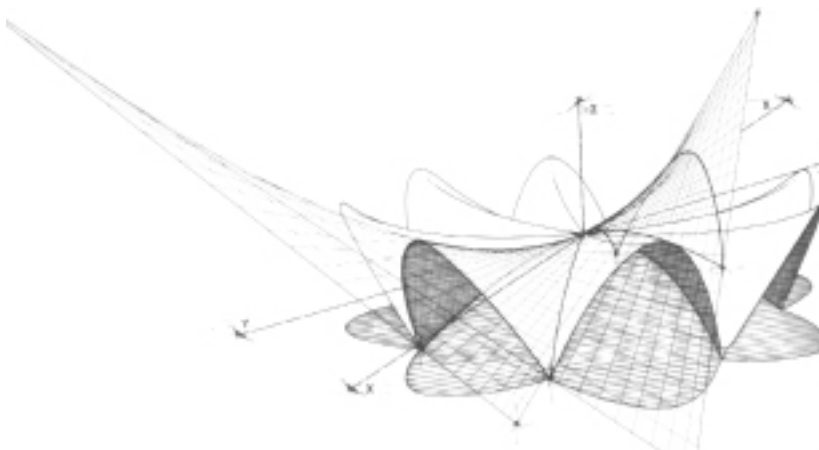
De architectuur van Candela wordt gekenmerkt door een aantal elementen: het gebruik van geometrische vormen en het gebruik van slechts één materiaalsoort, namelijk beton. Vorm en materiaal zijn twee elementen die niet los van elkaar mogen gezien worden. Hij verwierf voornamelijk bekendheid door zijn dunne betonnen schaalconstructies. Bovendien was gewapend beton het standaard bouw materiaal in Mexico. Dit was ten gevolge van een lage kostprijs, de schaarsheid van staal en de goedkope handenarbeid. Gewapend beton bleek bijzonder efficiënt in koepel- en schaalvormen. Deze vormen hebben de eigenschap treksterkte te elimineren uit het beton.

In zijn structurele meesterwerk, Restaurant Los Manantiales in Xochimilco gebouwd tussen 1957 en 1958, laat hij vier hyperbolische paraboloïden met elkaar snijden. Hierdoor creëert hij een achthoekig gewelf met verborgen ribben op de kruising van de oppervlakken. De dikte van de schalen varieert van 17 mm tot 34 mm. Ze zijn gewapend met een stalen gaas van 8 mm diameter en 2 stalen staven van 15 mm diameter. De ribben zijn extra gewapend. Ze vertonen eveneens een dikkere sectie dan de schalen zelf. De ribben vertrekken in één punt en raken de grond op acht verschillende plaatsen. Vandaag de dag vertoont het project heel wat scheuren, zowel op het binnen- als buitenoppervlak. De oorzaken hiervan zijn kruip en krimp. De scheurvorming in het gebouw ontwikkelde zich al tijdens het drogen van het eerste gegoten beton. Het beton werd met de hand gegoten, één sectie per keer, en terwijl de arbeiders de bekisting verplaatsten naar een volgend deel, werden de reeds gestorte delen zonder afdekking te drogen gelegd. Het exterieur van de schalen droogde dus sneller dan het interieur. Hierdoor werd het buitenoppervlak onder spanning gezet en ontstonden er scheuren. Na verloop van tijd, verdiepten vocht en vervuiling deze scheuren. Toch hebben deze scheuren geen betekenisvolle schade veroorzaakt. Een tweede type scheur kan vastgesteld worden aan de onderkant van de schalen. Ze verschijnen op elke zijde van elke rand. Ondanks dat de scheuren zich systematisch voordoen, zijn ze niet het gevolg van de vorm maar wel het gevolg van kruip. Hitte, vocht en vervuiling versterken dit proces. Deze scheuren brachten echter op geen enkele manier de structurele integriteit of de veiligheid van de schalen in gedrang. De schalen zijn na 46 jaar nog in goede staat. (Faber, C., Candela und seine Schalen, München Satz, München, 1965, p. 204-209)



## VISIE

Candela was van mening dat de vorm moest instaan voor de stabiliteit van een ontwerp. Hierdoor paste hij voornamelijk schaalconstructies toe in zijn ontwerpen. Hier voegt hij aan toe: „Schaalconstructies zijn in staat grote ruimtes te overdekken en dit met een minimum aan materiaal, bovendien zijn ze interessant en aantrekkelijk.” Zo trachtte hij natuurlijke hulpbronnen te sparen door een minimum aan materialen toe te passen en de prijs te drukken door design en constructie nauw met elkaar te verbinden. Candela schatte dat de helft van zijn werkuren werd besteed aan het maken van structurele berekeningen. Hij begreep dus hoe waardevol een gedetailleerde analyse was, maar was zich ook bewust van de beperkingen. Hij wou dus zo vormefficiënt mogelijk bouwen. Hij pleitte voor het gebruik van stereestructuren. Dit zijn structuren die de aangebrachte lasten via een driedimensionale geometrie overdragen. Hij zelf gebruikte voornamelijk de hyperbolische paraboloid schaalconstructies, ook bekend als de “hypar”. Deze structuren hebben een paar bijzondere eigenschappen. Hun zadelvorm wordt gevormd door een reeks opwaartse en neerwaartse parabolen met inherente weerstand tegen knik. Aangezien parabolen uniform de dode lasten voornamelijk als een axiale belasting afdragen, wordt de doorbuiging beperkt en zijn lichtere constructies mogelijk. Aangezien hij veel met hypars werkten, kon de bekisting opgebouwd worden met rechte houten planken. Dit zorgde ervoor dat de bouw van zijn betonnen schalen betaalbaar was.



de schalen worden ter  
plaatse gestort



# 1960

SPORTPALEIS  
ROME, ITALIË  
PIER LUIGI NERVI

# SPORTPALEIS ROME, ITALIË PIER LUIGI NERVI

## VISIE

Architectuur heeft volgens Nervi een utilitair doel. Hij beschrijft zijn eigen structuren als louter “bedekkingen” of “ruimtegrenzen”. Zijn werken werden niet dus gebouwd met een esthetisch doel voor ogen. Toch bereikte hij in vele werken een zekere poëtische uitstraling. Vanaf het begin van het ontwerpproces trachtte hij de fundamentele structurele problemen aan te pakken en ze de meest logische en duidelijk geformuleerde oplossing te bieden. Schoonheid, zo zei Nervi, is een onvermijdelijk bij-product van zijn zoektocht naar bevredigende structurele oplossingen. Het vormenidoom waarvan hij gebruikmaakt bij de compositie van zijn gebouwen, kan omschreven worden als geometrisch afgeleide vormen uit de levende of dode natuur. Nervi's werk is het gevolg van een continu proces van onderzoek en ontwikkeling, met de nadruk op modulair bouwen, prefabricatie en extreme fysieke en visuele lichtheid. Versterkt beton was zijn uitverkoren materiaal. Dankzij de plastische kwaliteiten van dit materiaal was hij in staat om de vorm van zijn gebouwen tot in het kleinste detail af te stemmen op het krachtenverloop in de constructie.

## FERROCEMENT

Begin jaren 1940 experimenteerde Nervi met geprefabriceerd beton. Hij stelde een materiaal samen, gemaakt van fijne mazen staaldraad, gevuld en bedekt met een dun laagje cement. Hierdoor ontwikkelde hij een materiaal dat de mechanische eigenschappen bezat van een homogeen materiaal en dat slagbestendig was. Het materiaal kreeg de naam ferrocement. Dit materiaal combineerde de vormvrijheid van beton met de sterkte van staal. Bovendien was het een zelfdragend materiaal en waren er geen steunpunten nodig. Het gebruik van deze prefabdelen elimineert dure en tijdrovende houten bekistingen, creëert een systeem van massaproductie, dat zelfs begonnen kan worden terwijl de funderingen nog worden gegraven. Het versnelt de bouw en is bovendien zuinig. Deze platen bleken flexibel, elastisch en uitzonderlijk sterk te zijn. (Nervi, P. L., Structures, F.W. Dodge Corporation, New York, 1956, p. 1-118)

## PROJECTOMSCHRIJVING

Het Palazzetto dello Sporto werd speciaal ontworpen voor de Olympische Zomerspelen van 1960 in Rome. Het is bedoeld als een sporthal op het terrein van het Olympische Dorp waar de atleten oefeningen konden doen en trainen voor de officiële wedstrijden die zouden plaatsvinden in de grotere "Palazzo". Een systematische interpretatie van de geometrische structuur en de krachtsafdracht van in de natuur voorkomende organismen vormen het uitgangspunt. Voor dit werk stond de geometrische structuur van een straaldiertje model. Hij beschouwde de structuur als een 'geheel ondersteunend organisme', niet alleen als een geraamte dat los staat van het gebouw, maar dat het gebouw zelf is. Ook de detaillering werd behandeld als een deel van het geheel. Van Nervi werd gevraagd in het gebouw de klassieke traditie van de Italiaanse cultuur te weerspiegelen. Hierdoor zijn er gelijkenissen terug te vinden met het Pantheon in Rome. Een voorbeeld hiervan is het grondplan. Ook hebben beiden gebouwen een betonnen ringfundering. De belangrijkste gelijkenis tussen beiden is het materiaalgebruik, dat voor beiden beton is. De spanwijdte van het gebouw is 60 m en er is plaats voor een 3500-tal bezoekers. Het gebouw heeft een hoogte van 21 meter. Van buiten uit lijkt het dak te zweven door de combinatie van Y-vormige steunpilaren en het dunne dak met kartelvormige randen. De arena bestaat uit een geprefabriceerde betonnen schelpvormige koepel, die aan de buitenkant geschoord wordt door betonnen steunberen. Het grootste deel van de structuur werd geprefabriceerd, waardoor de koepel in 40 dagen in elkaar gestoken was. Voor deze prefabelementen maakte hij gebruik van zijn ferrocement systeem.

plaatsing van de  
prefabelementen



Tijdljn



# 1973

OPERA  
SYDNEY, AUSTRALIË  
JØRN UTZON

# OPERA HOUSE SYDNEY, AUSTRALIË

## JØRN UTZON

### COMPUTERONTWERP

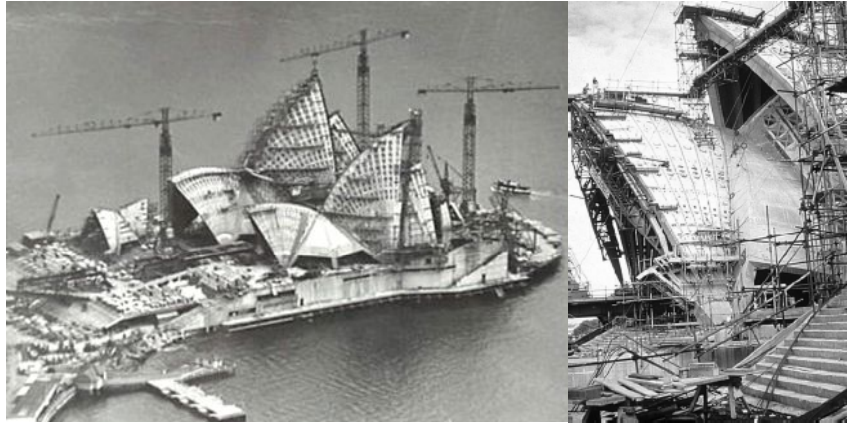
Rond 1956 werd er een wedstrijd uitgeschreven voor de bouw van een muziek- en concertcentrum. Eén van de deelnemers was de 38-jarige Jørn Utzon die een bescheiden kantoor had in Hellebæk, Denemarken. Zijn ontwerp werd tot laureaat uitgeroepen. Het verhaal van de bouw van het Opera House is in werkelijkheid een zoektocht geweest naar software en computermodellen om de complexe krachtenwerking, waaraan de schalen onderworpen zouden worden, te begrijpen en zo de meest economische vorm te realiseren. Het Ove Arup ingenieursbureau was hierin een belangrijke speler. Tussen de jaren '60 en '70 zochten informatici en ingenieurs samen naar hoe ze de complexe vorm in model konden gieten. Door de complexiteit van het project kon het pas geopend worden in 1973. Vandaag de dag zijn er nog steeds computermodellen gebaseerd op de modellen die toen ontwikkeld waren. De computer heeft dus een belangrijke rol gespeeld in het modelleren van de schelpen. Aangezien er geen enkele schaal dezelfde is en er dus geen herhaling optreedt was het een behoorlijk zware taak om deze te berekenen.

### CONSTRUCTIE

De structuur van het Sydney Opera House bestaat uit een aantal ribben die volgens een bepaalde curve werden opgesteld. De bepaling van deze curves gebeurde door een reeks bollen met elkaar te laten snijden en daar een sectie uit te nemen. Deze geprefabriceerde ribben moesten met reusachtige telescooparmen omhoog gehezen worden, dit was onvermijdelijk aangezien het plaatsen van stellingen onbegonnen werk was. Eén van de eerste grootschalige toepassingen van epoxyharsen was in het Sydney opera house. Ze werden er gebruikt om de rib segmenten aan elkaar te bevestigen. Hierop werden vervolgens de betonnen prefab panelen aangesloten. Aangezien deze schaalonderdelen allemaal anders gekromd waren, was het zeer belangrijk dat ze naadloos op elkaar aansloten. Om tot deze perfectie te komen was het interessanter de schaalonderdelen te construeren in een werkplaats. De verplaatsingskost zou onbetaalbaar geweest zijn, dus werd besloten om op de site zelf een werkplaats op te richten. Daar konden de individuele onderdelen van de schalen geprefabriceerd worden.



Toen alle onderdelen gegoten waren, werden ze getransporteerd naar de werf. Daar werden ze stuk voor stuk aan elkaar geplaatst. Deze plaatsing vereiste uiterst nauwkeurige wiskundige berekeningen en ook hier kwam de computer van pas. Toen deze fase afgerond was, werd met de afwerking begonnen: het plaatsen van isolatie en de witte keramische tegels.



structurele opbouw met de ribben die vervolgens afgewerkt worden met de prefab panelen



# 2008

PROEFOPSTELLING BETONBALON  
EINDHOVEN, NEDERLAND  
ROB VAN HOVE

# PROEFOPSTELLING BETONBALLON EINDHOVEN, NEDERLAND

## ROB VAN HOVE

Gewelfbouw kent de afgelopen decennia weinig populariteit. Dit komt deels doordat het maken van dit archetype arbeidsintensief en duur is en niet efficiënt is qua ruimtegebruik. Een innovatieve technologie van BB-Con uit Vught, BetonBallon genaamd, moet de betonnen gewelfconstructie letterlijk nieuw leven inblazen. BB-Con heeft zich hierbij geïnspireerd op Gaudi. Het kettingmodel waarmee de Spaanse architect onderzocht hoe drukkrachten zich ontwikkelen in constructies is door BB-Con vrijwel letterlijk toegepast: door kabels te spannen worden vóóraf bepaalde structuren en vormen in de ballon aangebracht. Met deze betonballon kunnen betonnen gewelfconstructies in situ gemaakt worden.

Rob van Hove, architect en ontwikkelaar van het geheel vertelt het volgende over het concept: “Je creëert een constructievorm, waarin de druk op natuurlijke wijze afvloeit naar de fundering van het gebouw. Dit maakt het mogelijk betonconstructies zonder wapening toe te passen.” Hierdoor worden materiaalbesparingen van 50 procent op beton en gemiddeld 80 procent op staal bereikt, wat resulteert in een lagere bouwkost. Ook het milieu heeft hier baat bij. Er wordt een CO<sub>2</sub>-reductie van minimaal 70% behaald. Er wordt nog wel staal gebruikt om de wanden en de vloeren aan de schaal te verbinden. Als er omwille van constructieve redenen wapening nodig is, wordt er voor vezelwapening gekozen. Met deze techniek van de betonballon is elke vorm in beton- en kruisgewelf te realiseren. Wat betreft de overspanningen zijn er geen beperkingen, maar omwille van praktische redenen ligt de grens bij 30 tot 35 m. Vloeren en wanden worden aan de betonschil gekoppeld en hebben daarop een versterkende en stabiliserende werking. Als er spelingen dienen opgenomen te worden, vraagt dit extra berekeningen, om zo het optreden van trekkrachten te vermijden.

In het artikel van Cobouw wordt omschreven hoe de vorm van een constructie tot stand komt. In de ballon worden vooraf kabels aangebracht om de ballon goed op vorm te houden. De kennis over het aanbrengen van de kabels, hoe die aan de ballon verankerd zijn en hoe die op zijn plaats gehouden wordt, zijn zaken die voorlopig geheim gehouden worden. De ballon is van PVC gemaakt en is een gesloten geheel, geen tentconstructie. Het wordt opgeblazen met lucht via een ventilator. Door het te verankeren aan de vloer wordt de ballon op zijn plaats gehouden. Voor de schalen wordt met een betonkwaliteit van B40 en B60 gewerkt. Opdat de ballon niet onder het gewicht van het beton zou inzakken, wordt eerst een dunne laag

opgespoten. Dit zet de ballon vast. Daarna wordt de schil laagsgewijs en schijfsgewijs opgebouwd. De vloeren worden met ankers aan de betonnen schil opgehangen. De bevestigde vloer brengt de wand onder druk, waardoor een stalen wapening overbodig is. De dikte van de schil is afhankelijk van de berekeningen. Meestal is die in de top circa 50 mm en aan de voet ongeveer 200 mm. „ Door te werken met hoogwaardig beton met versnellers, plastificeerders en fijne toeslagstoffen voorkom je dat het beton wegloopt of wegglijdt, en is de constructie binnen een paar dagen uitgehard. Ontkisten gebeurt door de ventilator uit te zetten, waardoor de ballon leegloopt.” zegt van Hove. Deze ballon kan later opnieuw gebruikt worden. Voor de constructie van de BB-con is een speciale aannemer nodig. De techniek van het BetonBallonconcept laat zich niet beperken tot een bouwtype. „Besparingen op materiaal en de snellere doorlooptijd, met als gevolg minder arbeidskosten, kunnen al snel leiden tot een besparing op de bouwkosten van 20 procent”, besluit Van Hove. (Wilschut, J., BetonBallon geeft gewelfbouw weer toekomst: constructieprincipe gebaseerd op kettinglijn van Gaudí, Cobouw, nov 2008, p. 31-33 & BB-con, BetonBallon, Bingo bv, Nederland, geraadpleegd op 2 februari 2009 op <http://www.bingfo.nl/body.asp?id=16&modulewaarde=nieuws&moduleitemid=111>)

## PROTOTYPE

In 2008 begon Van Hove op de campus van de TU Eindhoven met de bouw van een eerste proeve van een constructie volgens het BetonBallon-concept. Het is een prototype met oppervlakte 12 x 12 m<sup>2</sup> en een hoogte van 7 m geworden. Aan de hand van volgende foto's wordt het proces uitgelegd.



links: de voorbereidingen worden getroffen en de verdiepingsvloer wordt gestort en afgewerkt. rechts: dit is hoe de ballon eruit ziet als ze geleverd is.



De proefopstelling is klaar gemaakt en de ballon wordt opgeblazen.



links: Vervolgens wordt het beton gespoten op de voorgevormde ballon. rechts: Ter hoogte van de verdiepingvloer is wapening voorzien voor de verankering.



links: Overzicht met stempels, de ballon is leeg gelopen en weggehaald. rechts: Uiteindelijk worden de stempels verwijderd.

In 2009 zal er een eerste project met de BetonBallon gerealiseerd worden in Schijndel. Het gaat om een kantoorgebouw van 14 m hoog voor Mettler Autodemontage.

# ORGANISCHE ARCHITECTUUR

## DEFINITIE

In het woordenboek wordt organisch omschreven als primair, niet werkend met kunstmatige stoffen. Architectuur gaat echter over meer. Zo geeft Wout Sorgemoos volgende omschrijving: het gaat over ruimtes, vormen, materialen en constructie, vandaar dat organische architectuur ruimer geïnterpreteerd dient te worden. De oorsprong van deze stroming wordt rond het jaar 1900 geschat. Het begrip werd geïntroduceerd door de architect Frank Lloyd Wright. Hij beschrijft hiermee zijn architectuurfilosofie: vorm en functie zijn één, waarbij de natuur als het ultieme voorbeeld geldt van deze integratie. Hoewel algemeen aangenomen wordt dat het woord organisch verwijst naar iets wat de kenmerken van dieren of planten heeft, beschrijft Wright organische architectuur als een herinterpretatie van de principes van de natuur om zo vormen te bouwen die meer natuurlijk zijn dan de natuur zelf. Deze architectuur is dus geen imiterende stijl. Organische architectuur veronderstelt ook respect voor de eigenschappen van de materialen en respect voor de harmonieuze relatie tussen vorm/ontwerp en de functie van het gebouw. Organische architectuur is een poging ruimten te integreren in een samenhangend geheel. (Elman, K., Frank Lloyd Wright and the Principles of Organic Architecture, Essay, geraadpleegd op 14 november 2008 op <http://www.pbs.org/flw/legacy/essay2.html> & X, What is organic architecture?, organicarchitect, geraadpleegd op 15 november 2008 op <http://www.organicarchitect.com/organic/>)

Organische architectuur is dus niet alleen een ontwerpbenadering, maar ook een denkwijze, een filosofie in de architectuur. Het wil de harmonie tussen de menselijke en de natuurlijke wereld bevorderen. Dit aan de hand van ontwerpbenaderingen die zo respectvol en geïntegreerd zijn met de site, dat gebouwen, meubels, en omgeving deel gaan uitmaken van een verenigde compositie. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het bij organische architectuur gaat om gebouwen, ruimtes en vormen die groeien en niet puur rationeel opgezet zijn. Het resultaat is dus het gevolg van een groeiproces. Nu wordt organische architectuur gepromoot als die architectuur dat een ecologische en sociale verantwoordelijkheid belichaamt. Het wordt dus aangewend als een duurzame architectuur.

Organische architectuur is dus meer dan een stijl die de natuur imiteert. Het is een filosofisch getinte ontwerpproces dat binding zoekt met de natuur en de mens. Organische architectuur heeft hierdoor geen herkenbare uitwendige verschijningsvorm. Al zullen vele organische architectuur nog steeds zijn als die architectuur waarin je natuurlijke fenomenen herkent.



## VOORBEELDEN

In deze tijdlijn zijn die projecten opgenomen die in harmonie zijn met de omgeving en de gebruikers. Ze zijn het resultaat van een groeiproces. Elk onderdeel staat in relatie tot het geheel, en het geheel tot de omgeving. Het exterieur is een verderzetting van het interieur, ze zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Het resultaat is telkens een unieke en originele vorm.

1921  
EINSTEIN TOREN  
BERLIJN, DUITSLAND  
ERICH MENDELSON

UNREALISED  
ENDLESS HOUSE  
ERICH KIESLER

1954  
KAPEL  
RONCHAMPS, FRANKRIJK  
LE CORBUSIER

1962  
TWA TERMINAL JFK LUCHTHAVEN  
NEW YORK, AMERIKA  
EERO SAARINEN

2003  
AUDITORIUM  
TENERIFE, SPANJE  
SANTIAGO CALATRAVA



**1921**

**EINSTEIN TOREN  
BERLIJN, DUITSLAND  
ERICK MENDELSON**

# EINSTEIN TOREN BERLIJN, DUITSLAND ERICH MENDELSON

Erich Mendelsohn was een persoon met voor zijn tijd een zeer futuristische visie. Het gebouw is een observatorium en werd gebouwd voor de wetenschapper Erwin Finlay Freundlich. Hij was van mening dat gebouwen en meubels vitale organismen moeten zijn, waarvan de innerlijke kracht door de constructie heen stoot. Het kelderverdiep, dat zich gedeeltelijk ondergronds bevindt, bevat over de hele lengte een laboratorium. Doordat een gedeelte ondergrond zit en het andere gedeelte met een kunstmatige heuvel bedekt is, lijkt het gebouw als het ware uit de grond te verrijzen. De toren wordt op een plastische wijze vorm gegeven. Dit komt duidelijk naar voren in de ramen. Ook de hoeken van de toren zijn afgerond. Toch is het gebouw symmetrisch opgebouwd. Dit wordt zichtbaar in de voorgevel. Mendelsohn had een kneedbaar materiaal nodig dat de rondingen kon maken en het oppervlak een plastisch uiterlijk kon meegeven. Door de naoorlogse schaarste moesten sommige delen van de toren in baksteen opgetrokken worden, de basis werd in beton uitgevoerd. De bakstenen muren werden dan met pleister en cement glad gestreken. De als een homogene betonconstructie gedachte vorm werd echter zo getrouw mogelijk nagebootst, waarmee Mendelsohn bevestigde dat bouwen voor hem het scheppen van een symbool was en dat dit symboolkarakter primeerde op rationele constructie of materiaalechtheid. (Bekaert, G., Los in de ruimte 1966-1970,

Dienst Stedenbouw en Planologie, Universiteit Gent, 1986, p. 52-55)





# UNREALISED

ENDLESS HOUSE  
FREDERICK KIESLER

# ENDLESS HOUSE

## FREDERICK KIESLER

### VISIE

*“Wat zijn jullie mijn collega architecten en ingenieurs aan het doen? Hoe gebruik je je super macht aan u gegeven door het heelal? Waarom blijven jullie in routine leven? Word wakker, er moet een nieuwe wereld gecreëerd worden binnen onze wereld.”* Hiermee doet Frederick Kiesler een oproep aan alle architecten en ontwerpers om de routine te doorbreken. Een overtuiging die tot continu zou komen via verwezenlijkte en niet verwezenlijkte architecturale projecten, beeldhouwwerken, schilderijen. Met routine duidt hij op de “dozen” van het modernisme. Een leven lang spendeerde hij aan onderzoek, ontwikkeling en de opbouw van een kernconcept. Sinds Kiesler’s dood in 1965 zijn het idee van oneindige ruimte en zijn studie van Endless House in het bijzonder weer opgedoken in recente architectonische conversaties.

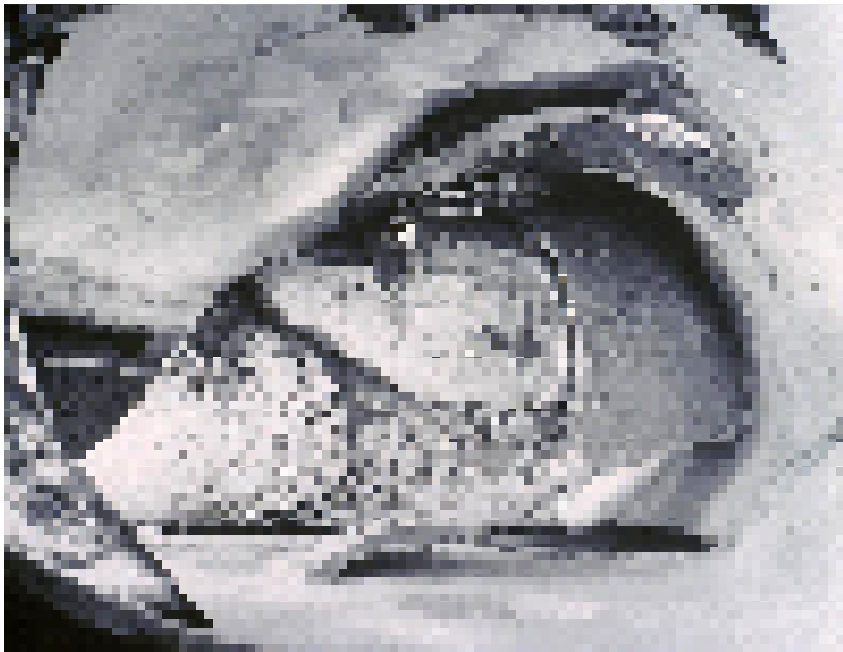
Frederick J. Kiesler werd geboren op 22 september 1890 in Cernauti, Roemenië. In de jaren '20 deed hij onderzoek naar multi-dimensionaal theater zonder podium wat het begin is van een radicaal nieuw concept, zijn kernconcept, van vorm en inhoud met de passende naam “Endless Space”. Hier werkte hij de laatste 35 jaar van zijn leven aan, zonder enige verwezenlijking. Buiten de theaterarchitectuur, was hij ook werkzaam in architectuur. Correalisme was het centrale thema in zijn ontwerpen. (de in meerdere of mindere mate bestaande onderlinge samenhang tussen twee reeksen van waarnemingen of verschijnselen) Hij was van mening dat de essentie van de werkelijkheid niet in het “ding” zelf ligt, maar in de manier waarop ze een correlatie aangaan tussen het menselijke wezen, de kunsten en de ruimte. Kiesler vond het belangrijk de grenzen tussen de verschillende kunsten te verbreken. Over het functionalisme zei hij het volgende: “Functionalisme staat gelijk aan vastberadenheid en is daarom doodgeboren. Functionalisme bevrijdt de architect van zijn verantwoordelijkheid voor een concept.” Kiesler wil zich hier van distantiëren. Het is via een synthese van de kunsten dat de mens een klimaat kan creëren dat meer past binnen zijn karakter en niet binnen een omgeving, die al bepaald werd door anderen zoals de functionalisten. Kiesler stelt een concept voor dat “de mens en zijn omgeving als een geheel omvat”. Zijn Space House, prototype van een eengezinswoning dat hij voor een meubelzaak ontwierp, is zijn eerste project waarin hij afstand neemt van de formele principes van het functionalisme. Het is ook zijn eerste realisatie op de beginselen van zijn theorie van het correalisme en zijn persoonlijke definitie van een eengezinswoning. Het was ook een aanzet van zijn concept Endless Space naar een Endless House.



Een ander project dat bepalend was voor zijn Endless House was de kunstgalerij van de Eeuw voor Peggy Guggenheim. In deze galerij wil hij de correlatie tussen toeschouwer, ruimte en kunst bevorderen. Dit deed hij door de ruimte te laten inspelen op de kunstwerken. Hiervoor werden de muren gebogen, die dan overliepen in de vloer en het plafond en de schilderijen werden van hun kader bevrijd. De galerij was de basis voor zijn interieurstudies van het Endless House.

## PROJECTOMSCHRIJVING

De basisconcepten van Endless House waren reeds in 1924 geformuleerd, maar de eerste schetsen en modellen verschijnen pas in 1950. De eerste schetsen wijzen op een sferoïdevorm (een eivormige afgeplatte bol). Kiesler vertelt dat de basis voor de sferoïde vorm verlichting was. Een vorm die het mogelijk maakt dat het licht ook “de donkere hoek van zijn grot” bereikt en niet gebroken wordt door hoeken en binnenmuren zoals bij een traditioneel gebouw. Het is veeleer een vorm die de “sociale dynamiek” van twee of drie generaties onder een dak bevordert. In 1952 werd hij door het MOMA gevraagd een prototype te maken op ware grootte. Dit gaf Kiesler de mogelijkheid om grote en kleine schaalmodellen van de Endless House te bouwen. Hiermee hoopte hij enkele vragen omtrent detaillering en tektoniek te kunnen oplossen, vragen die hij al vanaf zijn eerste studies had. Het project is jammer genoeg nooit voltooid.



interieur schaalmodel

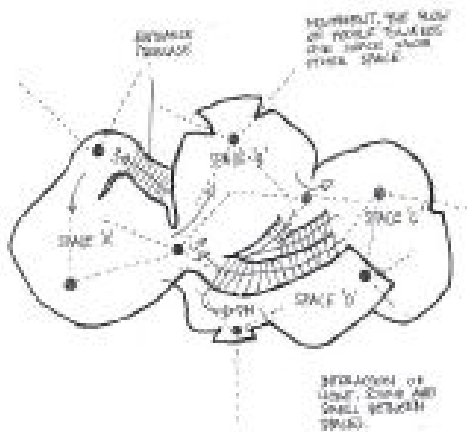
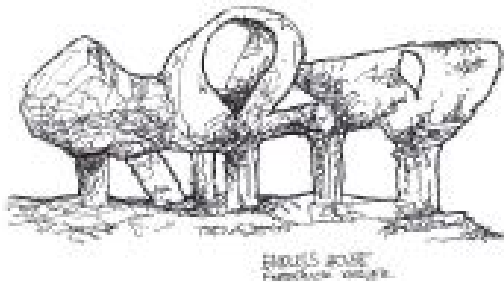
Het is dankzij deze modellen dat er een duidelijk beeld bestaat van Kieslers bedoelingen: een reeks ruimten, die zich vouwen en ontvouwen met interne trappen, privé-ruimten, interieur en exterieurwanden die naadloos in elkaar overvloeien met eenzelfde continue oppervlaktespanning. Aan de hand van teksten kon afgeleid worden wat zijn bedoelingen waren voor de buitenkant: gewapend beton op een metalen net. De raamopeningen hadden onregelmatige vormen en werden bedekt met een semi-transparante plastic. Kiesler beschouwde het huis als een totaalkunstwerk. Aan de hand van deze sculpturale studies stelde hij de strenge dozen, die een product waren van het modernisme, en de wisselwerking met het menselijke lichaam in vraag. Het is eveneens een strijd tegen Le Corbusiers idee van een huis als machine à habiter. Zo zegt hij het volgende: "Een huis is geen machine noch een kunstwerk. Het huis is een levend organisme, niet alleen een schikking van dode materialen: het geheel leeft. Het huis is de huid van het menselijk lichaam." Kiesler definieert het huis als de huid voor het lichaam. Een organisme dat vloeiend moet zijn, bewegen en zich aanpassen aan het lichaam en haar bewegingen. Hij wou de mens bevrijden van de hiërarchie van hoeken en in ruil een continu oppervlak creëren dat geen begin en einde kent. Voor de vorm gaf hij volgende verklaring: een organisch oppervlak past beter als omgeving voor de behoefte van het menselijk lichaam. Endless House wordt Endless genoemd omdat alle eindjes elkaar ontmoeten. Een oppervlak met geen begin en geen einde is meer geschikt voor een huis omdat het assimileert met het menselijk lichaam (dat volgens Kiesler ook geen begin en einde heeft). Hiermee herbevestigt Kiesler het belang van het menselijk lichaam in de architectuur, die dit lange tijd genegeerd heeft. Voor Kiesler volgt de vorm niet de functie, maar de functie volgt de visie. (Krissel, M., Frederick Kiesler: inside the Endless House..., University of Pennsylvania, 2003, p. 1-26)



## INVLOED VAN KIESLER

Kiesler is er niet ingeslaagd de Endless House op ware grootte te maken. Ondanks zijn beperkte realiseringen valt de impact van Kiesler op de huidige architectuur niet te betwisten. Dit kan gaan van voor de hand liggende vormelijke naar meer conceptuele parallellen. De architectuur van bijvoorbeeld Coop Himmelblau, dat een eigen Endless House in Malibu heeft ontworpen, bewijst dat Kieslers architectuur nog hedendaags is. Greg Lynn van FORM is een hedendaagse architect die openlijk spreekt over de invloed van Kiesler. Het experiment in de architectuur staat bij Greg Lynn centraal. Deze Amerikaanse utopisch denkende architect laat een veelheid met de computer gegenereerde vormen zien op basis van principes uit de moderne fysica, biologie en mathematica.

Plus  
L'Esprit 1960



conceptschetsen Endless House



**1958**

**KAPEL  
RONCHAMPS, FRANKRIJK  
LE CORBUSIER**

# KAPEL RONCHAMP, FRANKRIJK LE CORBUSIER

## VISIE

In 1950 kreeg Le Corbusier de opdracht een nieuwe kapel in Ronchamp op te richten. De kapel werd voltooid in 1954. Het bevindt zich op een heuvel in de Vogezen, in Ronchamp te Frankrijk. Met deze kapel breekt hij met de dogma's van zijn vroegere zakelijke, functionele architectuur. De terugkeer naar het oorspronkelijke, eenvoudige leven staat centraal en de mens is de maatstaf. Zijn architectuur wordt gekenmerkt door het gebruik van natuurlijke en onbewerkte materialen, in een plastisch en meer monumentale stijl. Zijn vormgeving is een logisch gevolg van die tijd aangezien schaalconstructies een populair thema waren in de avant-garde van de kunsten van de jaren 1950.

De kapel is één van de belangrijkste plaatsen van hedendaagse heilige kunst, het is een plaats van aanbidding. Het gebouw wordt gekenmerkt door één grote binnenruimte voor 200 personen, drie kleine kapellen en een openlucht altaar. Le Corbusier vertelt over zijn kapel het volgende: "Het sleutelwoord is licht, en licht verlicht vormen en vormen bezitten emotionele kracht". Het licht speelt een belangrijke rol in deze poëtische creatie. Licht gecombineerd met zijn spel van curven en tegencurven, het uitkragende dak, de dieperliggende ramen geven dit sculpturale werk een sacraal karakter.

Het schaalvormige dak, de ronde muren, de torens uit metselwerk en de gevels met hun ritmische openingen in gekleurd glas zijn de essentiële elementen. De modulator was de basis voor de schaal van de kapel en zijn verhoudingen.

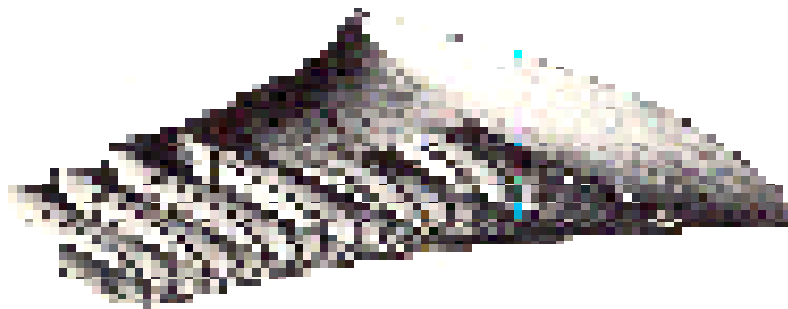


Tijdlijn

houten stellingen en de substructuur van de dakbekisting

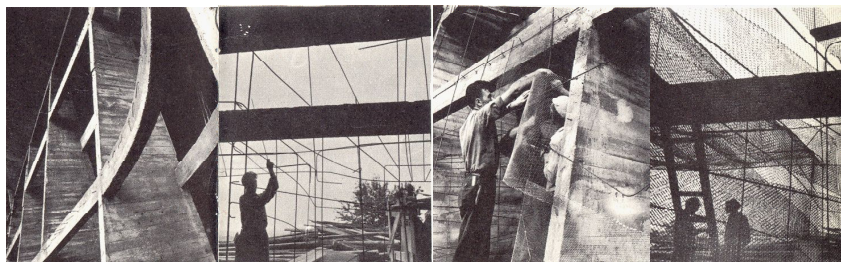
## PROJECTOMSCHRIJVING

Deze kapel bestaat grotendeels uit beton: ter plaatse gestorte béton brut voor het dak en spuitbeton voor de gevelvlakken, met kalk gewit. Het dak bestaat uit twee omgekeerde en parallelle conoïden. (conoïden zijn oppervlakken die verkregen worden door een rechte lijn met zijn ene uiteinde over een kromme en met het andere uiteinde over een rechte lijn te laten glijden) Door een dilatatievoeg is het dak gescheiden van de muren en de torens. Twee dunne parallelle betonplaten van slechts zes centimeter dik geven vorm aan het dak. Ze bevinden zich op 2, 26 m van elkaar en over deze hoogte worden ze door zes steunbalken met elkaar verbonden. Het dak is dus volledig hol en gemaakt van gewapende betonplaten over een skelet van balken en staven heen. Dit alles wordt beschermd door enkele lagen waterbestendig materiaal. Het dak wordt ondersteund door gewapende betonnen kolommen die de ruggengraat van het geheel vormen. Gerecupereerde stenen van de voormalige kapel werden als opvulling gebruikt voor de west-, noord- en oostgevel.



holle dakvorm  
met zes steunbalken

De gevelvlakken van de zuidelijke muur en zijn raamopeningen bestaan uit dunne lagen witgekalkte cementmortel, die op een metalen net worden geprojecteerd, dat dienst doet als ondersteuning. Allereerst werden ijzeren staven aangebracht op de betonnen constructie waarop dit net bevestigd werd. Gedurende de constructieperiode blijft Le Corbusier het gebouw vorm geven, de verhoudingen en de vorm van de kleinste details controleren. Een aanzienlijk aantal uitvoeringstekeningen werden gemaakt, om alle details te kennen, de materialen te bepalen... Hierdoor verkregen alle objecten hun eigen karakter. (Petit, J., *Le livre de Ronchamp*, Les Cahiers Forces Vives/Editec, 1961, p. 119-143)



zuidelijk muur: betonnen  
kolommen met metalen  
net, waarop witgekal-  
kte cementmortel wordt  
gespoten





# 1962

TWA TERMINAL JFK LUCHTHAVEN  
NEW YORK, AMERIKA  
EERO SAARINEN

# TWA TERMINAL JFK LUCHTHAVEN NEW YORK, AMERIKA EERO SAARINEN

## VISIE

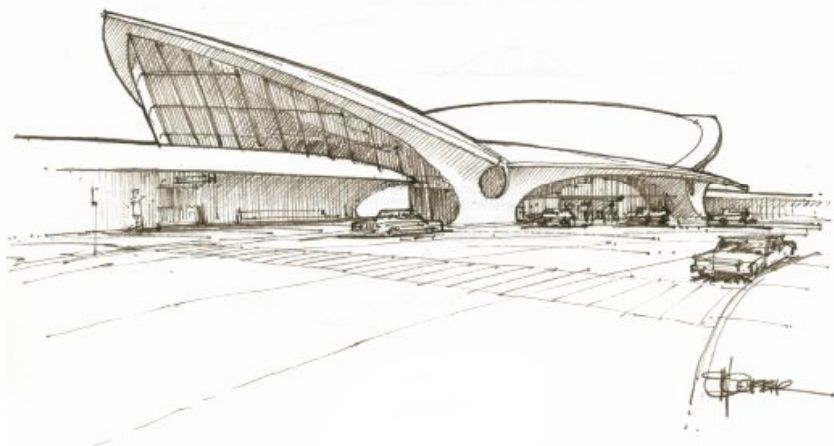
Het werk van Eero Saarinen wordt gekenmerkt door de zoektocht naar een architectuur die qua materiaalgebruik, constructie en uitdrukkingsvormen past bij de moderne geïndustrialiseerde samenleving. Hij probeerde altijd op de hoogte te blijven van de snelle ontwikkeling van de techniek en daarbij passende uitdrukkingsvormen te zoeken. Met zijn ontwerp voor de luchthaven terminal te New York wilden Saarinen bijdragen tot het creëren van een krachtige uitdrukking van de Amerikaanse identiteit. Het gebouw gebruikt dynamische vormen en structurele vernieuwingen om het optimisme van Amerika, midden 20<sup>ste</sup> eeuw, uit te drukken.

## PROJECTOMSCHRIJVING

“Our architecture is too humble,” vertelt Eero Saarinen in juli 1956, “it should be prouder, more aggressive, much richer and larger than we see it today”. Vervolgens voegde hij hier aan toe: “I would like to do my part in expanding that richness.” Deze uitspraken liggen aan de basis van zijn befaamde TWA terminal in New York. Grootschalige, sculpturale vormen en een dramatische impact vanop een afstand kenmerken deze architectuur. Ze weerspiegelen de drang naar een verse start in de helft van de 20<sup>ste</sup> eeuw. Saarinen dacht groot en bouwde ook zo, hierbij combineerde hij vrije vorm en rationele productie processen om tot een krachtige architecturale synthese te komen.

Ondanks het feit dat de 20<sup>ste</sup> eeuw gekenmerkt werd door woelige tijden, genoot het Westen van een enorme economische bloei, dat voelbaar werd in een levendige en dynamische levenswijze. Alles leek mogelijk! De vliegekunst kwam in opmars. Vliegen zorgde voor een verandering van de definities tijd en ruimte. Ruimte, tijd en architectuur werden op een nieuwe manier gelinkt. Modernisten vonden dat luchthavens hun eigen formele taal moesten creëren, dat ook tot uiting kwam aan de buitenkant. Saarinen vertrok van dit standpunt. Met een chronometer in de hand, trachtte hij het ritme van de bewegende passagiers te vangen, zodat hij zijn gebouw hierop kon baseren: ruime, transparant, dynamisch gemaakte ruimten, verlevendigd door stappen, perspectieven en gebogen dakvlakken die de passagiers in de juiste stemming moesten brengen voor hun reis. Ook al staat het gebouw

aan de grond genageld, het moest het gevoel geven dat het de beperkingen van de zwaartekracht van zich afschudt. Hierdoor krijgt het hele gebouw een dynamisch karakter en wordt de associatie met vogelvleugels opgeroepen. Toch refereert het gebouw nergens letterlijk aan de levende natuur. Hij tracht het idee van vliegen weer te geven. Saarinen was vastberaden van zijn terminal een dynamisch en grootschalige beeldhouwwerk te maken en te breken met het idee dat beton massief en stevig is.



schets van de terminal

In de ontwerpfase maakt hij verscheidene modellen, op zoek naar de meest geschikte vormgeving. Hij voerde ook verscheidene studies uit naar de lastendragende capaciteit en de ruimtelijke gevolgen van zijn ontwerp. Uiteindelijk zocht hij naar een structuur waarin de architectuur het drama en de opwinding van het reizen uitdrukte. Het hele gebouw, inclusief het interieur, werden met deze vloeiende vormtaal ontworpen. De functie wordt in de vorm tot uitdrukking gebracht.

De vorm van het gebouw is geen weergave van het krachtenverloop binnen de structuur. Integendeel zelfs: in plaats van te kiezen voor de esthetiek van een dunne schaalconstructie, kiest hij voor dramatiek met een sculpturale schoonheid. Ingenieurs moesten elke truck hanteren om de stabiliteit te garanderen. Zijn dakvlakken zijn opzettelijk zo gekozen om de opwaartse kwaliteit van een lijn te benadrukken. Het daklandschap bestaat uit vier segmenten. Drie van deze betonnen schaalvormige vlakken worden door twee Y-vormige kolommen ondersteund. Drama en opwinding zijn de hoofdideeën van dit gebouw. (Herwig, O., *Featherweights: light, mobile and floating architecture*, Prestel, Londen, 2003, p. 26-35 & van der Ree, P., *Organische architectuur: mens en natuur als inspiratiebron voor het bouwen*, Christofoor, 2000, p. 71-72-



# 1997

AUDITORIUM  
TENERIFE, SPANJE  
SANTIAGO CALATRAVA

# AUDITORIUM TENERIFE, SPANJE SANTIAGO CALATRAVA

## PROJECTOMSCHRIJVING

Het auditorium is gelegen aan de waterkant in het Los Llanos gebied van Santa Cruz, de hoofdstad van Tenerife. Gelegen tussen het Marine Park en de rand van de haven, verbindt het auditorium de stad met de oceaan en creëert zo een opmerkelijke stedelijke mijlpaal. Het gebouw doet dienst als opera huis en een plek voor het Santa Cruz Symfonie Orkest, voor kamermuziek, en voor de voorstellingen van dans, theater en Zarzuela (Spaanse operette). Het gebouw neemt 6741 m<sup>2</sup> ruimte in. Het moet opgevat worden als een sculptuur, op een platform geplaatst dat door de vestibule met de stad verbonden is. In El Croquis van 1990/1992 wordt het gebouw omschreven als een vrije vorm dat ontworpen is zodat een globaal volumetrisch beeld verkregen wordt. Het gebouw maakt een duidelijk sculpturaal gebaar, waardoor het artistieke karakter van de inwendige activiteiten ook naar buiten toe gereflecteerd wordt. Vorm en functie zijn dus één. De basis ondersteunt het plein en het gebouw. Het bevat alle extra diensten zoals opslagruimten, kantoren, repetitie kamers, bar... Verder bestaat het ontwerp uit een auditorium voor 2000 toeschouwers, een hal voor kamermuziek voor 400 personen, etc.

Vanwege de slanke en ongewone vorm, was het gebruik van beton voor de realisatie van de structuur onvermijdelijk. Drie verschillende constructie-elementen kenmerken het gebouw, door Calatrava 'vleugel', 'noot' en 'zeil' genoemd. De vleugel vertrekt van een 60 m brede basis, aan de zijkant van het gebouw. Ze versmalt naar boven toe, om te eindigen in een punt, 98 m hoger dan de basis. De vleugel steunt met drie punten op het conische lichaam van het Auditorium, de noot genoemd. Deze zaal is 50 m hoog. Ze bestaat uit een dubbele laag beton. De twee buitenste bogen, ook bekend als de "zeilen", meten 30 cm dik en omsluiten de foyer, die fungeert als een barrière tegen het lawaai van buiten. De binnenmuren zelf zijn 50 cm dik en omsluiten de grote zaal. De betonnen bogen boven de glazen inkompartijen dienen om de belastingen van de betonnen muren naar de funderingen af te leiden.

Om dit gebouw te kunnen verwezenlijken, werd een breed assortiment van bekistingen gebruikt: van eenvoudige paneelbekistingen voor de funderingen, klimbekisting voor de zeilvormige muren, tot een ongebruikelijke speciale constructie - op basis van ACS zelf klimmende technologie - voor het 100 m lange zelfdragende dak.

Een stalen constructie van vier longitudinale liggers vormt de basisstructuur van het “vleugel dak”. Dit stalen skelet werd bedekt met gewapend beton, waardoor het bouwteam met een moeilijke taak belast werd: klimbekisting dat zonder de tussenkomst van een kraan onafhankelijk moest kunnen functioneren, een architectonische beton afwerking was vereist en de werkplatforms moesten horizontaal aanpasbaar zijn. Bovendien moest het verplaatsen van de bekistingelementen tot een minimum beperkt worden en het maximale draagvermogen van de vleugels, met inbegrip van de lading van het staal en beton, moest in rekening gebracht worden.

De vleugel werd geprefabriceerd in Sevilla en werd verscheept naar het eiland in 17 stukken, waarvan het grootste stuk liefst 60 ton woog. De vleugel werd op haar plaats gebracht door een kraan, die speciaal gemaakt werd. Eenmaal de vleugel op zijn plaats, werd het gevuld met wit beton. Eenmaal de vleugel op zijn plaats, werd het gevuld met wit beton ter plaatse gemaakt werd door een combinatie van rivierzand van het Spaanse schiereiland en grover zand van Tenerife. In totaal werd er 2000 ton beton gebruikt voor het gebouw. (X., Auditorium, Santa Cruz, Tenerife, Spain, geraadpleegd op 5 februari 2009 op [http://www.peri.de/ww/en/projects.cfm/fuseaction/showreference/referencecategory\\_ID/17/reference\\_ID/459.cfm](http://www.peri.de/ww/en/projects.cfm/fuseaction/showreference/referencecategory_ID/17/reference_ID/459.cfm))



Plaatsen van de bekisting voor de gebogen zeilvormige muren. De steunpunten worden in de vloerplaat verankerd om zo de hoge horizontale belasting van de bekisting op te vangen.

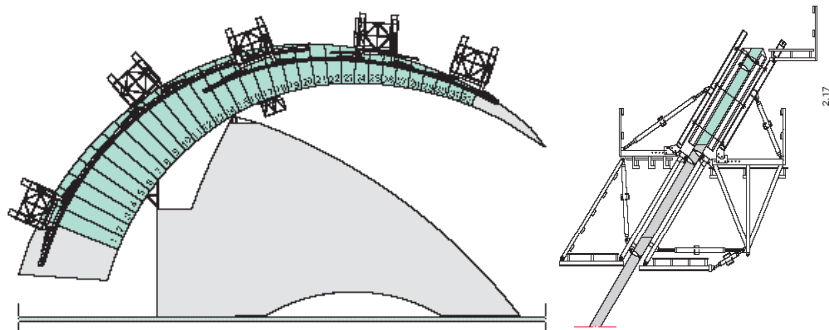


links: de steigers dienden ter ondersteuning van de vleugel. Deze steunt op het dak van het auditorium.

rechts: Een van de twee klim eenheden die hydraulisch de complete constructie optilt, met inbegrip van werkplatforms en de bekisting



voor het gieten van het beton werden drie hydraulische liften gebruikt



links: de onderverdeling van de stortsegmenten  
rechts: sectie van de klimbekisting voor de gebogen en  $55^\circ$  hellende muur. Deze bekisting is verankerd in de vorige betonningercyclus.

Tijdlijn





# FREE FORM ARCHITECTURE

## DEFINITIE

Op de site [architectenweb.nl](http://architectenweb.nl) is een artikel terug te vinden getiteld vrije vormen, intro. Een subtitel verradt lichtjes wat er verstaan wordt onder dit begrip: complexe constructies in beton. De keuze voor beton bij complexe constructies is logisch te verklaren aangezien gevouwen vlakken en vloeiende lijnen, die kenmerkend zijn voor vrije vormen, in beton kunnen gerealiseerd worden zonder naden of facettering. Een bijkomend voordeel van het gebruik van beton is dat het in tegenstelling tot complexe vormen in staal, die altijd worden geconstrueerd als een netwerk waar een bekleding overheen wordt geplaatst, kunnen bij beton de constructieve vlakken ook zichtbare vlakken zijn. Er wordt eveneens een onderscheid tussen

Op free form architecture kan geen echte begindatum geprikt worden. Vrije vormen en andere complexe constructies in beton zijn geen nieuw fenomeen. Door de hulp in te roepen van software kunnen steeds complexere constructies ontworpen worden en driedimensionaal voorgesteld worden. De speciale software heeft ervoor gezorgd dat het realiseren van gebouwen met een complexe geometrie vereenvoudigd is. Dit zal ongetwijfeld de ontwikkeling van free form architecture positief beïnvloeden. Vaak zal dit op experimentele wijze gebeuren om zo de grenzen van de software te verkennen.

Free form architecture kan gezien worden als een ontwerpbenadering waarin de architect vrij is in zijn doen, denken en ontwerpen. Complexe geometrie, vloeiende lijnen en gevouwen vlakken zijn enkele typerende elementen. Het verschilt van organische architectuur in dat opzicht dat de harmonie met de natuur niet meer centraal staat.

Een andere denkpistes in free form architecture is de zogenaamde blob. De term werd bedacht door de architect Greg Lynn in 1995. Bij blob vorm is er sprake van een complexe sculpturale vorm, die zijn inspiratie lijkt te halen uit natuurlijke vormen. Ze hebben vaak een grillig, amoebe vormig uiterlijk en worden gekenmerkt door een amorfe structuur (niet-kristallijn). Het is onmogelijk blob architectuur te realiseren zonder het gevanceerde gebruik van computer modellering. De ontwerpen worden zelden gerealiseerd. Om deze reden zal dit onderwerp niet verder behandeld worden.

## VOORBEELDEN & CASE STUDIES

In het artikel worden eveneens twee typen complexe geometrie onderscheiden: de dubbelgekromde vormen en de gefacetteerde vormen. Hierdoor wordt het begrip free form architecture meer afgebakend. In de voorbeelden en case studies zullen een aantal voorbeelden van dubbelgekromde vormen of meerdere gecombineerde dubbelgekromde vormen terug te vinden zijn. Ze zijn eveneens een weerspiegeling van de mogelijke betontechnieken, waaronder prefab, ter plaatse gestort beton en spuitbeton.

1958  
PHILIPS PAVILJOEN EXPO '58  
BRUSSEL, BELGIË  
LE CORBUSIER

1968  
SCULPTURALE WONING  
ANGLEUR, BELGIE  
JACQUE GILLET

2005  
MARTA HERFORD MUSEUM  
HERFORD, DUITSLAND  
FRANK O' GEHRY

2006  
MERCEDES BENZ MUSEUM  
STUTTGART, DUITSLAND  
UN STUDIO

2007  
SPACE PAVILJOEN  
LONDEN, VERENIGD KONINKRIJK  
ALAN DEMPSEY

UNREALISED  
MUZIEKFORUM  
GENT, BELGIË  
TOYO ITO



# 2005

MARTA HERFORD MUSEUM  
HERFORD, DUITSLAND  
FRANK O' GEHRY

# MARTA HERFORD MUSEUM

## HERFORD, DUITSLAND

### FRANK O' GEHRY

#### VISIE

Het oeuvre van Frank O'Gehry wordt gekenmerkt door de expressieve vormtaal en het vooruitstrevende materiaalgebruik. Zijn projecten vanaf eind jaren '80 worden gekenmerkt door een vloeiende, sculpturale vorm, in tegenstelling tot het grove, scherpe karakter van zijn vroegere werk. Het MARTa Museum in Herford is hier een voorbeeld van.

#### PROJECTOMSCHRIJVING

Het MARTa Herford museum is één van de eerste musea in Duitsland dat de raakvlakken tussen kunst, design, mode en architectuur verkent. Het bevindt zich in de buurt van het hoofdtreinstation en tussen de Goebenstraße en de rivier Aa. Het fundamentele ontwerpprincipe was de opname van het industriële gebouw dat zich al op de site aanwezig is. Het zal het nieuwe middelpunt worden van het museum complex. De bezoekers zullen de site betreden door een nieuwe entree, die langs beiden zijden geflankeerd wordt door nieuwe gebouwen. Het museum zelf omvat een 22 m hoge koepel en vijf kleinere galerijen die via lichtkoepels verlicht worden. Deze galerijen tellen slechts één verdiep zodat de bezoeker een onbelemmerd zicht heeft op de kunstwerken en de lucht. Het museum moet de stad cultureel gewicht, toeristisch aanzien en economische voorspoed opleveren. (Mayer, T., Under construction: Gehry Partners, LLP MARTa Herford, geraadpleegd op 10 december 2008 op <http://www.arcspace.com/architects/gehry/herford/index.htm>)

Typend voor Gehry is zijn eigen manier van ontwerpen. Zijn eerste ideeën voor een project worden altijd weergegeven in snelle schetsen. De uiteindelijke compositie wordt vervolgens uitgewerkt met behulp van ruimtelijke modellen. De laatste jaren heeft de computer een belangrijke plaats ingenomen om zijn ideeën te verwezenlijken. Hiervoor wordt het programma CATIA gebruikt, ontwikkeld voor de Franse luchtvaartindustrie. Met CATIA kunnen de meest complexe vormen direct ontwikkeld en getest worden op het scherm. Vervolgens worden de ontwikkelde ontwerpen meteen vertaald naar de precieze tekeningen en berekeningen die nodig zijn voor de constructie. Hiervoor wordt er beroep gedaan op CAD-programma's. Ook voor de praktische realisatie, door het bureau Bollinger-Grohmann verzorgd, werd de

hulp van de computer ingeroepen.

Op de dubbel gekromde schalen van het dak worden, als secundaire dragers, CNC-gefreesde roestvrije stalen panelen in overlapping vastgebout. Ook voor de gebogen wanden, uitgevoerd in ter plaatste gestort beton, werden complexe bekistingelementen uit hout gecreëerd met behulp van CAD-data. Op deze muren wordt isolatie aangebracht, waartegen een laag baksteen wordt gemetseld.

Op basis van nauwkeurige 3D-data werden alle stalen lichtkoepels met CNC-methode vervaardigd (CNC is de afkorting van Computer Numerical Control. Het begrip slaat op de computergestuurde regeling van werktuigmachines, die snel en nauwkeurig stukken maken in metaal of hout).

de op maat gesneden  
bekistingspanelen



wapening tussen de  
bekistingspanelen in.





Het storten van de muren gebeurt in verschillende stortfases.



De plafonds van de galerijen worden in beton uitgevoerd, enkel de lichtkoepels worden in staal uitgevoerd.

In Der Neue Zollhof te Düsseldorf kiest hij eerder voor prefab-elementen. Deze worden in een mal van styrofoam gemaakt. Deze mallen worden door middel van CNC uitgefreesd. In zijn projecten kiest hij nooit voor zichtbeton, wat te betreuren valt aangezien deze betonnen constructies met de uiterste precisie werden uitgevoerd.

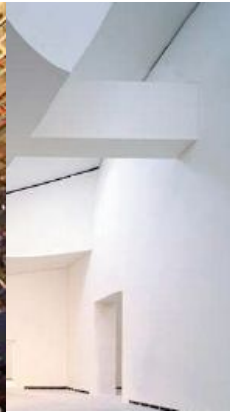




plaatsen van roestvrije stalen platen.



Stalen frame, waarachter leidingen en kabels worden geplaatst, waartegen de gyproc wordt bevestigd.



werffoto



# 2007

SPACE PAVILJOEN  
LONDEN, VERENIGD KONINKRIJK  
ALAN DEMPSEY

# SPACE PAVILJOEN

## LONDEN, VERENIGD KONINKRIJK

### ALAN DEMPSEY

#### PROJECTOMSCHRIJVING

Het Space paviljoen, de winnende inzending bij de DRL TEN Pavillion design competition 2007, is een continue vorm die verandert van horizontale vloer naar zitting, wand, dak en terug. Alan Dempsey en Alvin Huang ontwierpen de vorm als een waaierend lattenwerk uit Fibre-C, een met glasvezel versterkt betonnen paneel. Fibre-C is sterk, vormbaar en duurzaam als beton, maar ook dun, licht van gewicht en heeft een hoge treksterkte. Fibre-C is echter in de eerste plaats ontwikkeld als bekleding en niet als constructiemateriaal.



het paviljoen op Bedford Square Londen

Voor de daadwerkelijke bouw van het paviljoen, op Bedford Square in Londen, zijn dan ook uitgebreide buigtesten uitgevoerd. De geometrie is geregeld met speciale software nagerekend en aangepast. Het paviljoen werd benaderd als drie afzonderlijke constructies: het gewelfde dak, de zitting en de vloer. Op deze manier konden Dempsey en Huang de structuur optimaliseren. Het uiteindelijke paviljoen meet circa 5 x 10 x 6 m.



de verschillende Fibre-C  
platen worden door  
middel van sleuven in  
elkaar geschoven en  
met rubberen  
koppelingen vastgezet

De constructie is hybride en bestaat uit 13 mm dikke profielen van Fibre-C, verstevigd met 15 mm dikke stalen flensen. De betonnen profielen zijn gesneden uit standaardplaten Fibre-C. Ze zijn door sleuven in elkaar geschoven en worden door spanning op hun plaats gehouden. Geen enkele verbindingshoek bij de profielen was dezelfde. Rubberen koppelingen in de sleufverbindingen vangen de eventuele speling en hoekverdraaiing op. Fibre-C is relatief licht, maar blijft een betonnen paneel. Het dak bleek vooral te drukken op de 'neuzen', de twee rondingen vanuit de vloer. Om de krachten naar de vloer af te dragen, zijn de ribben op deze plaatsen versterkt door drie Fibre-C lamellen te lamineren. (X., Space leaves the AA, geraadpleegd op 7 februari 2009 op <http://cspacpavilion.blogspot.com/search>)



# TIJDLIJN BESLUIT

## BESLUIT

De projecten uit de tijdlijn duiken verspreid over de hele wereld op. Ze worden voornamelijk voor publieke doeleinden en voor de burgerlijke bouwkunde gerealiseerd. Slechts enkele particulieren wisten de creatieve geest van de architecten te appreciëren of konden het zich veroorloven. Bijzondere constructies vergen meer materiaal, meer tijd en meer mankracht, en zijn dus kostelijk. Met de komst van de computersoftware zijn de ontwerp- en constructiefase vereenvoudigd. Toch is handerarbeid in de uitvoeringsfase onmisbaar.









# 02 CASE STUDIES

# CASE STUDIES

In het volgende hoofdstuk zal er ingezoomd worden op een aantal projecten die tot free form architecture gerekend worden. Eén van de redenen waarom deze cases behandeld worden, is dat ze stuk voor stuk voorbeelden zijn van de verschillende betontechnieken. Ze werden tevens geselecteerd omwille van hun unieke vormgeving en free form uitstraling. Alle projecten komen uit een andere tijdsperiode. Dit maakt het mogelijk om te zien hoe de technieken zijn geëvolueerd. Wat betreft het Mercedes-Benz Museum, ging ik zelf een kijkje nemen op 27 december 2008.

## VOORBEELDEN

1958

PHILIPS PAVILJOEN EXPO '58

BRUSSEL, BELGIË

LE CORBUSIER

1968

SCULPTURALE WONING

ANGLEUR, BELGIË

JACQUES GILLET

2006

MERCEDES BENZ MUSEUM

STUTTGART, DUITSLAND

UN STUDIO

UNREALISED

MUZIEKFORUM

GENT, BELGIË

TOYO ITO





# 1958

PHILIPS PAVILJOEN EXPO '58  
BRUSSEL, BELGIË  
**LE CORBUSIER**

# PHILIPS PAVILJOEN BRUSSEL, BELGIË LE CORBUSIER

## KEUZEVERANTWOORDING

Het paviljoen was één van de meest spectaculaire gebeurtenissen op Expo 58. Dit kwam door de nauwe en intensieve samenwerking van een groot aantal disciplines; waaronder wetenschap, muziek en architectuur; die een spraakmakende multimediale ruimte ontwikkelden. Daarbij is gebruik gemaakt van destijds zeer innovatieve bouwtechnische mogelijkheden. Het project is een unicum in de westerse cultuurgeschiedenis. Na Expo '58 werd het paviljoen jammer genoeg opgeblazen, maar sindsdien leeft de wens het paviljoen te herbouwen. Het is dan ook van groot belang dit project op te nemen in deze thesis, aangezien er een vergelijkende studie kan gemaakt worden tussen de bouwwijze en -technieken van toen en nu. Dit levert ongetwijfeld interessante resultaten op!

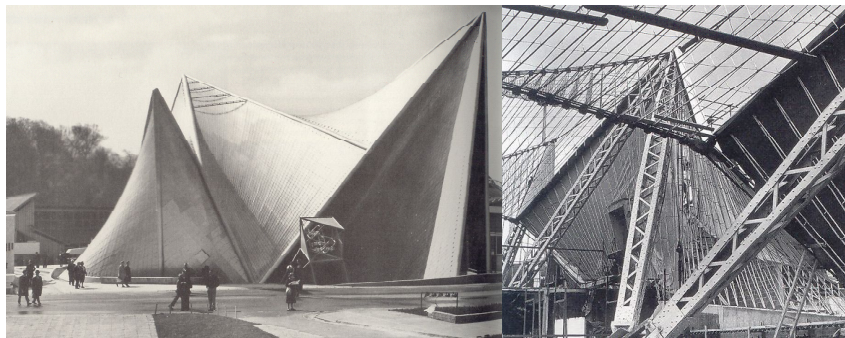
## EXPO '58

Het verhaal van het paviljoen begint met de wens van het elektronicaconcern Philips om een indrukwekkende presentatie te geven op de Wereldtentoonstelling in Brussel en dit aan de hand van een geautomatiseerd multimediaspektakel. Hiermee wouden ze de mogelijkheden, kwaliteiten en betrouwbaarheid van Philips demonstreren. De toenmalige directeur voor artistieke zaken, L.C. Kalff, komt op het idee en wordt erop toevertrouwd dit project tot een goed einde te brengen. Hij besluit de opdracht te geven aan Le Corbusier omwille van de publiciteit die de beroemde architect als vanzelf met zich zou meebrengen. Le Corbusier ziet in deze opdracht de kans een soort van Gesamtkunstwerk te maken: *een gebouw dat beroep doet op alle zintuigen*. Met hulp van Yannis Xenakis ontwerpt Le Corbusier het gebouw. Hij schrijft ook een scenario uit, dat hij als *le poème électronique* betitelt, waarbij aandacht wordt besteed aan verlichting, beeldprojecties en een geluidshow. De benodigde muziek wordt gecomponeerd door Edgard Varèse. Le Corbusier creëert een vorm die gekarakteriseerd wordt door hyperparaboloïde vlakken die op elkaar aansluiten en zo het uiteindelijke gebouw vormen. De bezoekers zullen niet geconfronteerd worden met de klassieke tentoonstelling van consumentenproducten, maar ze zullen als het ware meegevoerd worden in een wereld waar ze een intense ervaring met licht, kleur, beeld en geluid zullen beleven.



Het paviljoen spreekt tot de verbeelding, niet alleen door zijn futuristische architectuur en zijn karakteristieke silhouet, maar eveneens door dit gedurfde tentoonstellingsconcept.

Expo's boden het uitgelezen klimaat om volop te experimenteren met tektoniek en constructie. Dit leidde soms tot vernieuwende constructietechnieken. Zo zijn vele paviljoentje van Expo '58 ankerpunten in de naoorlogse constructiegeschiedenis. Toch zijn de echt innovatieve constructies eerder zeldzaam op de Brusselse tentoonstelling. Ook het Philipspaviljoen is geen koploper wat betreft structurele innovatie: twaalf samengestelde hyperbolische paraboloïde betonschalen van 5 cm dikte worden geassembleerd met technieken om beton onder voorspanning te brengen. De gebruikte constructietechnieken zijn op zichzelf weinig vernieuwd, maar de constructieve opbouw getuigt echter van een technische vindingrijkheid en een bijzondere architecturale omgang met de morfologie van deze vlakken. Ook het zoeken naar een lichtgewicht structuur en het praktische realiseren van een ruimtelijke structuurconcept is vernieuwend. Ook de tentdakconstructie kent een doorbraak. Deze constructie was een echte innovatie. Een voorbeeld hiervan is het Marie Thumas paviljoen. Beiden paviljoenen gelijken op elkaar, maar enkel het Marie Thumas paviljoen is voorbeeld van een tentdakconstructie, aangezien het een hangconstructie uit staal is. Zo werd het platte dak in vele gevallen verlaten voor een vijfde gevel. (Devos, R. & De Kooning, M., *Moderne architectuur op Expo '58 voor een humaner wereld*, Mercatorfonds, 2006, p 320-355 & Verschaffel, T., *The wind blows hard but the sky remains blue... The message of Expo 58 in Expo 58 between utopia and reality*, Brusselse Stadsarchief, Brussel, 2008, p 73-95)



links: Philipspaviljoen  
rechts: Marie Thumas

## SITUERING VAN HET PROJECT IN HET LEVEN VAN DE ARCHITECT

Le Corbusier, in feite Charles-Eduard Jeanneret, wordt op 6 oktober 1887 in La Chaux-de-Fonds in Zwitserland geboren. Hij begint zijn loopbaan als architect en kunstenaar aan de Ecole d'Art in zijn geboortestad. Tijdens zijn reizen door Europa (1907-1911) ontwikkelt hij veel van zijn ideeën. Begin 1908 vertrekt hij naar Parijs, waar hij gaat werken op het architectenbureau van de gebroeders Perret.

Centraal in de architectuuropvattingen van de gebroeders staat het gebruik van gewapend beton, dat ze als het materiaal van de toekomst beschouwen. Zo komt hij niet alleen meer te weten over het materiaal zelf, maar ook wat de mogelijkheden voor gebruik zijn: bijvoorbeeld het bekomen van een vrijere indeling van ruimten. Le Corbusier doorkruist eveneens Duitsland. Hier heeft hij kort samengewerkt met Peter Behrens en hij ontmoet ook Ludwig Mies van der Rohe en Walter Gropius. Nadat hij zich in 1917 in Parijs gesetteld heeft, formuleert hij samen met de schilder Amédée Ozenfant (1886 - 1966) de ideeën van het Purisme, een esthetiek gebaseerd op de zuivere, eenvoudige geometrische vormen van alledaagse objecten. Zijn boeken, verrassende witte huizen en stedelijke plannen plaatsen hem aan het hoofd van de moderne beweging in de jaren 1920. Al vanaf ongeveer 1935 veranderen langzaam zijn denkbeelden en voorstellingen. In die tijd begint een nieuwe fase in zijn loopbaan, in welke niet meer zo sterk de aanpassing aan de technische beschaving in de voorgrond stond, maar hoofdzakelijk de terugkeer naar het oorspronkelijke, eenvoudige leven. In de jaren 1950 wordt zijn architectuur gekenmerkt door een meer brutalistische esthetiek: gebruik van natuurlijke en onbewerkte materialen, in een plastische, meer monumentale stijl. In 1958 wordt hij gevraagd zijn bijdrage te leveren voor Nederland op de Expo '58. Het is de eerste wereldtentoonstelling die na de Tweede Wereldoorlog wordt georganiseerd. Deze staat volledig in het teken van het geloof in vrijheid en vooruitgang. Dit was kenmerkend voor de jaren vijftig en zestig. De toekomst zag er rooskleurig uit. Dit resulteerde in vernieuwende en gewaagde paviljoenen. Het is in deze tijdsgeest dat het paviljoen moet gesitueerd worden. Het paviljoen werd uitgevoerd in beton. Le Corbusier was reeds vertrouwd met het materiaal en in zijn kapel te Ronchamp van 1954 had hij al eens geëxperimenteerd met een sculpturale vorm. De keuze voor de bijzondere geometrie van hyperbolische paraboloïden is een logisch gevolg van die tijd aangezien het een populair thema was in de avant-garde van de kunsten van de jaren 1950. Le Corbusier stierf uiteindelijk op 27 augustus 1965. (X, Le Corbusier, Kunstbus, geraadpleegd op 15 juli 2008 op <http://www.kunstbus.nl/architectuur/le+corbusier.html> & Kint, J., Expo 58 als belichaming van het humanistisch modernisme, 010, Rotterdam, 2001, p. 10-50)

## TENTOONSTELLINGSCONCEPT

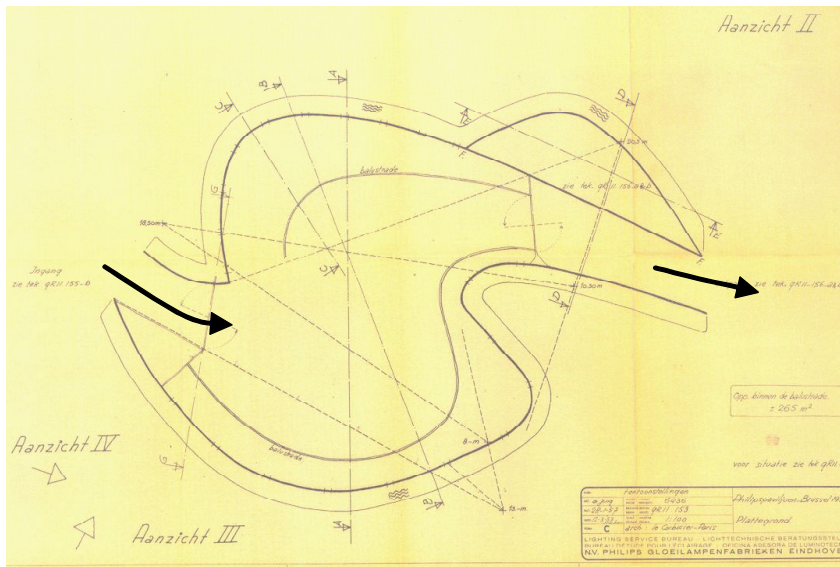
Het doel van dit paviljoen was de bezoeker zodanig overweldigen dat de merknaam Philips blijvend geassocieerd zou worden met een magische ervaring. Het paviljoen kreeg de naam Le Poème Electronique. Met dit paviljoen wou Le Corbusier een ruimtelijk totaalwerk maken, dat de potenties van de nieuwe media zou verkennen en benutten. Hiervoor had hij een verduisterde binnenruimte nodig waarvan de wanden als projectiescherm gebruikt konden worden.

In dit project zou hij zich niet zozeer van de architectuur, maar van de nieuwste elektronische media bedienen om de ruimte tot een expressief medium te maken, een ruimte met een immateriële en dynamische karakter. Hij beschouwde het paviljoen als een gebouw 'zonder buitenkant'. Het materiële, architecturale aspect liet hij over aan zijn assistent Iannis Xenakis. In het paviljoen werd gebruikt gemaakt van drie lagen visuele composities: zwartwitbeelden die om interpretatie vroegen, geritmeerde kleurprojecties die emoties oproepen en interactie van het publiek vroegen en een derde laag van abstracte motieven die commentaar leken te geven op de andere projecties. De inhoud van de beelden verbond de mens met de natuur, de maatschappij en de kosmos. De Frans-Amerikaanse componist Edgar Varèse werd ingeroepen voor de muziek van het *Poème Electronique*. In de wanden van het paviljoen werden 350 kleine luidsprekers geïntegreerd waarmee het mogelijk werd om de klank door de ruimte te laten bewegen. Er konden eveneens, door toegevoegde nagalm, virtuele akoestische ruimtes gecreëerd worden. Hierdoor leek de bezoeker zich het ene moment in een opnamestudio te bevinden, het andere moment in een kathedraal. Het *Poème Electronique* had een religieus karakter. Het was zeker spiritueel en vermakelijk bedoeld. Het vanzelfsprekende verband tussen visuele en auditieve perceptie werd kortgesloten: ogen en oren gaven tegenstrijdige informatie over eenzelfde ruimte. Ook Xenakis kreeg een compositie-opdracht. Deze diende om de pauze tussen twee voorstellingen van het *Poème Electronique* op te vullen. Het muziekstuk, *Concrete PH*, was gebaseerd op het scherpe geluid van brandende houtskool. Hierdoor ontstond de illusie dat de betonnen schelp van het paviljoen aan het barsten was. Hiermee wou ook hij emoties bij het publiek oproepen. In het *Poème Electronique* streeft Le Corbusier naar een diathese: in plaats van een synthese van de verschillende kunsten, bestond het *Poème Electronique* uit verschillende betekenisniveaus en beeldlagen die zich onafhankelijk ontwikkelden in tijd en ruimte. De synthese werd dan door de toeschouwer zelf gemaakt. Dit betekent dat het *Poème Electronique* ervoor zorgde dat bijna alle zintuigen gelijktijdig betrokken werden en dat de bezoeker gedwongen werd actief deel te nemen en alle gegevens in ene keer te interpreteren. Het *Poème Electronique* kent geen chronologisch verhaal. Het is opgebouwd volgens de techniek van de vrije associatie. De expressieve kracht van het geheel schuilt hem in de continue contrastwerking, zowel inhoudelijk als op vormelijk vlak. Door gebruik te maken van kleur-, licht- en geluidseffecten wil Le Corbusier inspelen op de perceptie en de beleving. Dit is een kenmerk dat hij verschillende malen in zijn architectuur toepaste, waaronder de kapel van Ronchamp. Het spektakel wilde de bezoeker destijds doen geloven dat wetenschap en techniek voortaan in dienst van de mens zouden staan. Deze visie sloot aan met het uitgangspunt van de

Wereldtentoonstelling: de angst voor wetenschap als instrument van tirannie en onderwerping van de massa omzetten naar geloof in de wetenschap als bevrijder en bron van welvaart. (Devos, R. & De Koening, M., cfr supra & Jencks, C., *Le Corbusier and the Continual Revolution in Architecture*, The Monacelli Press, New York, 2000, p. 313-315)



links: luidsprekeropstelling  
rechts: een voorbeeld van de visuele compositie

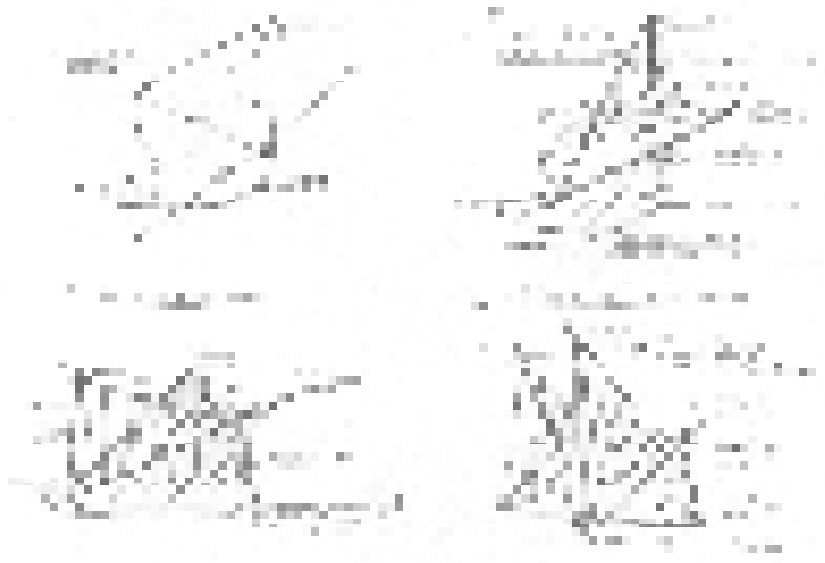


grondplan met in- en uitgang

## ARCHITECTURAAL CONCEPT

Het grondplan van het paviljoen is in de vorm van een maag met een omvang van ongeveer 1.000 m<sup>2</sup> (40×25m) en een hoogte van 22 m. Het is een soort van ellips, met een aparte in- en uitgang. De metafoor van de maag symboliseert het beoogde effect van het Poème Electronique: het publiek zal worden 'opgeslokt' om het spektakel te beleven en, als echt voedsel, de ruimte langs een ander weg verlaten, 'bewerkt' en 'getransformeerd' door de beklivende indrukken die de voorstelling had achtergelaten. De volumewerking van het paviljoen werd al vastgelegd in de eerste schetsen van Le Corbusier uit september 1956. Op deze schetsen is een vrije, organische vorm te zien, die opgebouwd is uit concave en convexe oppervlakken.

De verdere uitwerking werd overgelaten aan Xenakis, die zich aan twee belangrijke randvoorwaarden moest houden. Geen enkele kolom of ander obstakel mocht het zicht in het interieur belemmeren, want tijdens de voorstellingen bleef het publiek rechtstaan, terwijl op de volledige wandoppervlakte projecties werden afgespeeld. Daarnaast moesten de wanden en het plafond als een continu geheel van gekromde oppervlakken opgevat worden. Aangezien de binnenwanden geplooid waren, ondergingen de geprojecteerde beelden van het *Poème Electronique* een grillige vervorming. Zo moesten de projecties samen met de wanden van en naar de toeschouwers golven, waardoor het leek alsof de statische beelden nu eens op hen afkwamen, dan weer verdwenen in de nok van het paviljoen. Het doel hiervan was de grenzen van het interieur te doen vervagen, waardoor het zou lijken alsof de ruimte binnenin het paviljoen een oneindig karakter bezat. Toch was het resultaat van Xenakis niet bevredigend plastisch. Hij stelde als alternatief voor het profiel van het paviljoen op een meer rationele manier te bepalen via de grafische voorstelling van complexe wiskundige functies, wat de constructie berekenbaar maakte. Zijn eerste schetsen in 1956 laten een vorm zien die samengesteld is uit conoïden en hyperbolische paraboloiden. Ondanks het feit dat Le Corbusier hogere wiskunde niet machtig was, was hij toch enthousiast over het idee. Het geometrische aspect van Xenakis' architectuur was voor hem een metafoor voor de mathematische achtergrond van de wetenschap en de technologie, waardoor de architectuur van het Philipspaviljoen perfect aansloot bij het *Poème Electronique*. De keuze van Xenakis voor conoïden en paraboloiden is niet toevallig: dergelijke vormen waren in de jaren vijftig bijzonder populair in de avant-garde van de kunsten. Met deze vrije, geometrische vormgeving trachtte hij een ruimtelijke continuïteit te creëren: wanden en plafond zijn één. (X, Philips-Paviljoen, Stichting Alice, geraadpleegd op 15 augustus 2008 op <http://www.alice-eindhoven.nl>)



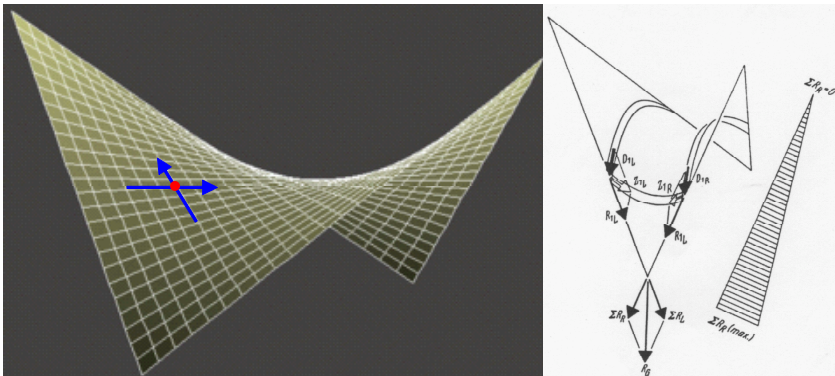
Deze schetsen leggen de geometrische opbouw van het paviljoen uit. Dit gebeurde in vier fasen.

## WISKUNDIGE BENADERING

Het paviljoen is een samenspel van verschillende hyperbolische paraboloiden. In het boek *Moderne architectuur op Expo '58* wordt de vorm omschreven als een translatie-oppervlak dat ontstaat wanneer een beschrijvende met de vorm van een concave parabool parallel verplaatst wordt volgens een richtlijn die zelf een parabool is. Het wordt ook wel eens vergeleken met de vorm van een zadel. Een andere benaming is hyppar. Door die translatie wordt een negatieve gausscurve bekomen. Het is die eigenschap die doorslaggevend is voor de grote stijfheid en die het mogelijk maakt grote overspanningen te realiseren met een minimum aan materiaal. Deze geometrie is bovendien theoretisch onderbouwd. Echter bij kleine afwijkingen van de hyppar-vorm is er een gebrek aan mathematische middelen.

Een hyperbolische paraboloid is ook een dubbel regeloppervlak. Een regeloppervlak is een oppervlak waarbij door elk punt van het oppervlak minstens één rechte gaat die volledig tot het oppervlak behoort. Vermits een hyperbolische paraboloid een dubbel regeloppervlak is, gaat door elk punt van een dergelijk oppervlak twee snijdende rechten die tot het oppervlak behoren. Dit betekent dat deze vorm gemakkelijk en goedkoop op te trekken is met spankabels of uit gewapend beton, wat dus het gebruik van de materialen van het Philipspaviljoen rechtvaardigt. Deze vorm is stevig, sierlijk en zorgt voor een goede afwatering. Ook het spanningsverloop is eenvoudig. Zo is in theorie, onder een uniform verdeelde last, de spanningstoestand van een oppervlak met een hyperbolische paraboloid vormgeving uniform, wat optimalisatie van het materiaalgebruik toelaat. Zoals je kunt zien, gebeurt er krachtafdracht naar de rand. De randbalken dienen deze lasten in evenwicht te houden en de krachten in de schaal over te brengen op de steunpunten.

(X, Paraboloid, Wikipedia geraadpleegd op 28 juli 2008 op <http://nl.wikipedia.org/wiki/Parabolo%C3%AFde>)



Case studies

links: hyperbolische paraboloid als een dubbel regelvlak  
rechts: krachtenverloop

## CONSTUCTIEVE LOGICA

Zoals hierboven vermeld hebben hyperbolische paraboloiden en conoïden de eigenschap dat ze volledig kunnen worden opgebouwd uit één of twee families van rechten. Vooral de hyperbolische paraboloiden zijn hierdoor vrij eenvoudig in wiskundige formules uit te drukken en relatief makkelijk te berekenen. Omdat deze vormen bovendien een constant spanningsverloop doorheen de doorsnede van hun oppervlak kennen, kan de dikte van dergelijke schalen tot een minimum herleid worden. De wanden van het paviljoen waren nauwelijks vijf centimeter dik! Deze dikte is sowieso vereist om aan de minimale betondekking te voldoen opdat het interne wapeningsnet van de schalen beschermd is tegen corrosie. Ondanks de geringe dikte zijn dergelijke betonschalen zelfdragend: ze kunnen grote vloeroppervlakken overspannen zonder bijkomende steun van balken of kolommen. De elegante kromming van de vlakken, het minimale materiaalgebruik van de overkapping en de omvangrijke overspanning bezorgen deze constructie een effect van visuele lichtheid; ze lijkt haast te ontsnappen aan de zwaartekracht. Deze voordelen zorgden ervoor dat de hyperbolische oppervlakken al snel tot de favorieten van de naoorlogse avant-garde hoorden. Bovendien waren ze een dankbaar alternatief voor de strakke orthogonaliteit die van toepassing was na de Tweede Wereldoorlog. Op de Wereldtentoonstelling in Brussel waren dan ook een tiental toepassingen terug te vinden. Toch kon deze nieuwe geometrie op heel wat kritiek rekenen. Dit kwam omdat vele critici meenden dat het innovatieve karakter van dergelijke paviljoenen niet verder ging dan verbluffende technische en structurele prestaties, waardoor de vormelijke, esthetische en ruimtelijke kwaliteiten achteropgesteld raakten. Deze misvatting geldt echter niet voor het Philipspaviljoen. Over de toepassing van hyperbolische vlakken was consequent gedacht. Bovendien bood het een sluitend antwoord op de oorspronkelijke functionele en programmatische eisen. Het gebruik van deze geometrie kenmerkte hier ook de hele architectuur, terwijl ze vaak enkel als dakoplossing werden toegepast. (Devos, R. & De Kooning, M., cfr supra)

## REALISATIE

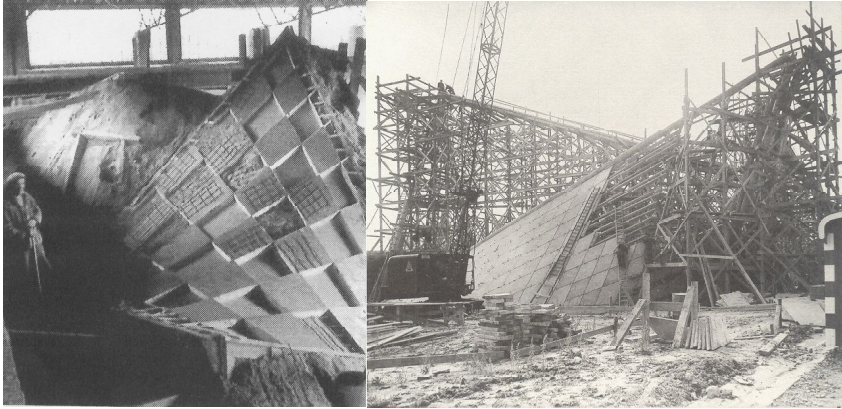
Toch schuilt er in het paviljoen een zekere paradox, één van uitvoerings aard. De realisatie van het bouwwerk werd getekend door de technologische beperkingen van dat moment. Bij gebrek aan toereikende wiskundige modellen moest de stabiliteit van de structuur op een empirische wijze worden getest op een maquette. Daarnaast hadden verschillende secties van het paviljoen een te steil verloop om ter plaatse gegoten te worden, zodat zich de moeilijkheid voordeed dat er geen gekende methode voorhanden was om de constructie te realiseren. Aanvankelijk had Le Corbusier zelf een constructieprincipe voor ogen.

Hij wenste een tentconstructie op te hangen in een frame dat aan de buitenkant duidelijk zou worden gearticuleerd. Zo wou hij de wanden vormen door stalen kabels waarop metaalplaten zouden aangebracht worden. Deze zouden dan met beton bespoten worden, een techniek die Le Corbusier kort daarvoor had toegepast om het massieve dak van de kapel in Ronchamp en de majestueuze portieken van het justitiepaleis in Chandigarh te realiseren. Met dit structurele concept in het achterhoofd had Xenakis in oktober 1956 het karakteristieke, geometrische silhouet van het paviljoen ontworpen. De eerste maquette doet vermoeden dat aanvankelijk aan een draagconstructie in staal gedacht werd. Deze hypothese wordt bevestigd door het feit dat Xenakis en Le Corbusier in eerste instantie bij het studiebureau Eiffel aanklopten. Het advies van de ingenieurs was negatief. Het idee om op metaalplaten beton te spuiten zou volgens hen tot scheurvorming leiden. Hun voorstel was de wanden op te vatten als stalen netten, aan beide zijden bekleed met een dikke laag rubber. Hierdoor zouden de wanden meer dan 80 cm dik worden, waardoor het spitse silhouet van het paviljoen zou verdwijnen. Ook de kosten voor de diepe paalfundering, die de geconcentreerde lasten van het staalframe in de drassige ondergrond moesten overdragen, zouden hoog oplopen. Kalff zelf besloot dan op zoek te gaan naar een ander constructieprocedé. Kalff vond uiteindelijk in Duyster, hoofd van het Belgisch-Nederlandse aannemersbedrijf Strabed, de ingenieur die de theoretische structurele kwaliteiten van Xenakis' architectuur wist te vertalen naar een constructief concept. Duyster zorgde ervoor dat architectuur en structuur één geheel waren. Er werd gekozen om de vlakken op een voorziene werkplaats te prefabriceren, met een uitzonderlijke bekisting: zandhopen. Op door cement gestabiliseerde zandhopen werden de hyperbolische paraboloiden vlakken in de correcte vorm gegoten en na verharding in honderden kleine elementen verdeeld. Ongeveer 2000 geprefabriceerde betonplaten werden op deze wijze vervaardigd, allen verschillend van vorm en afmeting en de giettechniek was bovendien manueel van aard. Tijdrovend en arbeidsintensief, maar arbeid was in die tijd nog goedkoop. De dikte van de betonnen vlakken was slechts 50 mm. Met behulp van houten binnenstellingen werden ze dan op plaats gemonteerd en onder spanning gebracht door zowel aan de binnenzijde als aan de buitenzijde een net van staalkabels aan te brengen. Zo werden de vlakken aan elkaar geklemd tot één monoliet vlak. Op de positie waar twee vlakken elkaar ontmoetten, werden deze vlakken aan elkaar vastgestort met een betonnen massieve staaf  $\varnothing$  400 mm. Het lijnenspel van de kabels zette het geometrische aspect van de architectuur nog eens extra in de verf. Later wordt het beton met aluminiumverf gekleurd en de binnenkant bekleed met een asbest plafond. Hierbij vertelt Marc Treib in zijn monografie *Space Calculated in Seconds* dat door het verven mensen zouden denken dat het paviljoen van metaal is of dat het zelfs een tentconstructie is, wat Le Corbusiers eerste voorstel tot constructie was. Het paviljoen moest dus twee keer worden gebouwd, waarvan de eerste maal als een negatieve ruimte. De werken startten in juli 1957 en werden in juni 1958 opgeleverd. Heel snel dus, maar wel een maand te laat voor de opening van de Wereldtentoonstelling op 2 mei 1958.

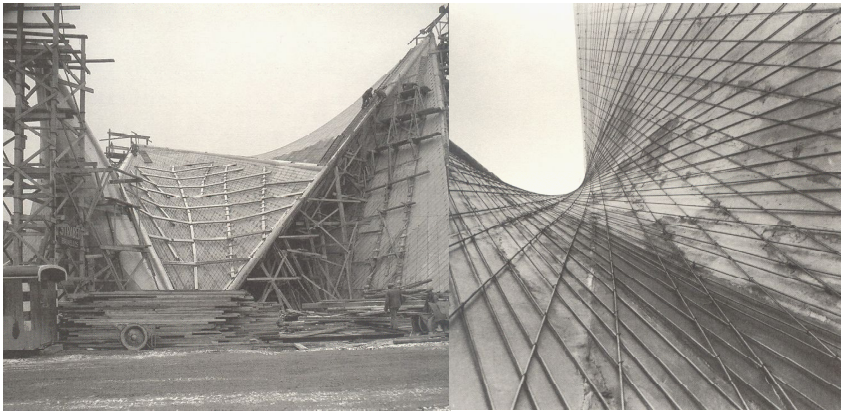


Ironisch genoeg was het paviljoen een ode aan technologie en automatisering, maar is het op ambachtelijke wijze tot stand gekomen. Het Philipspaviljoen werd een echt succes. Het paviljoen was één van de eerste gebouwen ter wereld waarin architectuur, muziek en beeld werden gecombineerd in een **totaalervaring**. (Nijisse, R., *Le Poème Electronique se répète*, Cement, Cement&BetonCentrum, 2008, p. 9-13 & Devos, R. & De Kooning, M., cfr supra)

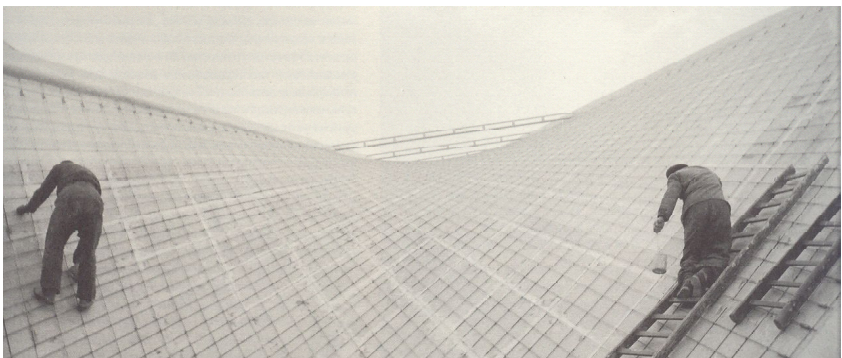
links: gestabiliseerde  
zandhopen  
rechts: houten  
binnenstellingen om  
de prefab elementen  
op hun plaats te  
brengen



links: het plaatsen  
van de prefab  
elementen is bijna  
voltooid  
rechts: stalen kabels  
werden tussen de  
prefab elementen  
gespannen



bouwwerkers werken  
de buitenschil af met  
een aluminiumverf



## ARCHITECT VERSUS INGENIEUR

De rationaliteit, die Xenakis in het ontwerpproces aan de dag legde, was enkel voor de vormelijke karakteristieken van zijn architectuur, niet voor de constructieve. Het was zelfs zo dat hij bij de keuze voor de geometrie de hypothese van een zelfdragende constructie a priori heeft aangenomen, zonder na te denken over de uitvoerbaarheid van zijn ontwerp. Dit was een veelvoorkomende gebeurtenis bij architect-ingenieurs van die tijd. Xenakis was van opleiding ingenieur, maar zoals vele architecten van die tijd was hij voornamelijk geïnteresseerd in de ruimtelijke kwaliteiten en de avant-garde esthetiek van gekromde oppervlakken, het structurele aspect kwam pas op de tweede plaats.

Deze dubbelzinnigheid van het paviljoen viel eveneens de architectuurcritici op: de architectuur leek te twifelen tussen structurele rationaliteit en vrije vormgeving. Ook Le Corbusier zelf had het moeilijk met dit paviljoen. Hij was niet zelf de architect, noch voor de formele als voor de structurele principes. Dit paviljoen met een nieuwe geometrie en een minimaal materiaalgebruik paste ook niet in het rijtje van zijn eerder massieve en sculpturale idioom van andere werken uit die periode. Ondanks alle kritiek kon het paviljoen op zes maanden tijd, met een veertigtal voorstellingen per dag, op meer dan één miljoen bezoekers rekenen. Het spektakel liet niemand onberoerd. Zelfs vijftig jaar na datum blijft het paviljoen tot de verbeelding spreken.

Toen de Wereldtentoonstelling ten einde liep, werden pogingen ondernomen het Philipspaviljoen te behouden. Het bedrijf zelf wilde het paviljoen demonteren en naar Eindhoven verhuizen waar het dienst zou doen als laboratorium voor akoestische experimenten. Helaas, de kosten bleken hoger te zijn dan wanneer er een nieuw paviljoen zou opgetrokken worden. Ook Le Corbusier heeft geprobeerd het paviljoen te redden. Hij stelde voor om er een experimentele studio voor elektro-akoestische muziek van te maken. Dergelijke voorziening bestond nog niet in België. Dit plan ging echter niet door, aangezien het paviljoen niet thermisch was geïsoleerd en niet met verwarming was uitgerust. Op 30 januari 1959 werd het paviljoen met dynamiet opgeblazen, een feit dat bijgedragen heeft tot zijn huidige, bijna mythische status. Ook nu nog spreekt het paviljoen tot de verbeelding. Er wordt dan ook overwogen het paviljoen terug te bouwen. Tot op heden is dit nog niet gebeurd. Toch zijn er de afgelopen jaren al wat studies gedaan naar de opbouw destijds en hoe het nu efficiënter kan.

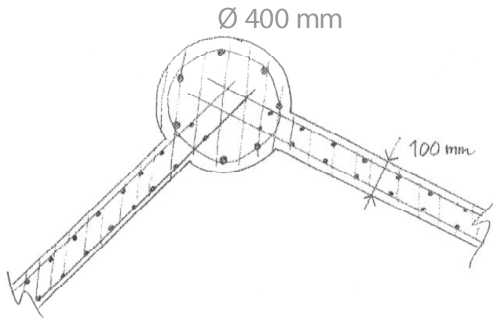
## STUDIES NAAR MOGELIJKE HEROPBOUW

Een eerste voorbeeld van dergelijk onderzoek is dat van Eindhoven in 2004. Dit onderzoek kwam er omdat een deel van de Eindhovense binnenstad, door Philips achtergelaten terreinen, werd omgevormd tot een bedrijventerrein voor de creatieve industrie. De link met het Philipspaviljoen is dan niet ver meer te zoeken. De opdracht kwam in handen van architect Wessel de Jonge en het ingenieurbureau ABT. Van hen werd gevraagd de mogelijkheid tot herbouw en de kosten ervan te onderzoeken. Hiervoor is het noodzakelijk te onderzoeken hoe het paviljoen destijds werd opgebouwd. Met behulp van over de hele wereld verspreide archieven kon het paviljoen gereconstrueerd worden. Aan de hand van een computermodel werd onderzocht op welke manier het paviljoen tegenwoordig het efficiëntst te bouwen is. In de jaren '50 echter waren de middelen beperkter: eenvoudige handberekeningen met formules en proeven met schaalmodellen: een haast onmogelijke manier om dergelijk complexe structuur te begrijpen.

Door computerberekeningen werd duidelijk dat op sommige plekken de spanningen in de betonnen schaalvlakken hoge waardes bereikten. Vooral op de plaatsen waar het dak min of meer vlak is, lopen de buigspanningen behoorlijk op. Ook tijdens de Wereldtentoonstelling zelf werd al geconstateerd dat deze punten behoorlijk vervormden en lekkages veroorzaakten. Hierdoor zal het beton in plaats van 50 mm nu 100 mm dik gemaakt worden. Doordat die spanningen en vervormingen van het gebouw goed berekend konden worden, is het mogelijk na te denken over bouwmethoden om zo het paviljoen op een meer economische wijze op te bouwen. Het paviljoen herbouwen volgens de oorspronkelijk werkwijze zou te arbeidsintensief en te duur worden. Natuurlijk moet er een zeker respect behouden worden voor de uiterlijke verschijningsvorm van het gebouw. Zo zijn er na uitvoerige studies drie bouwmethoden geselecteerd, waarmee, met respect voor de architectuur van Le Corbusier, het paviljoen terug kan worden opgebouwd. (X, Reconstructie Philipspaviljoen wereldtentoonstelling Brussel 1958 in Eindhoven, Stichting Alice, geraadpleegd op 21 november 2008 op <http://www.alice-eindhoven.nl/nieuwsitem.php> & Nijisse, R., cfr supra)

## VARIANTE 1: TER PLAATSE GESTORTE BETONNEN SCHALEN

Om deze complexe vormen in ter plaatse gestorte beton te kunnen uitvoeren moet er gewerkt worden met een bekisting en een tegenbekisting. Hierdoor is er de garantie dat het bekistingsysteem goed en volledig met beton is gevuld. Het is uitermate belangrijk dat het beton zeer goed vloeibaar is tijdens het storten; de toepassing van hogesterkte- en dus supervloeibaar beton ligt voor de hand. Deze dubbele bekistingsystemen zijn echter vanwege het benodigde materiaal en de arbeid erg kostbaar.

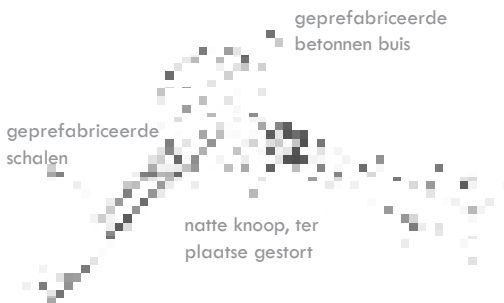


variant 1

De vereiste betondikte is 100 mm en de hypparschalen moeten goed gewapend worden. De hoeken vragen extra aandacht. De hoeken zijn de randen waar de verschillende vlakken op elkaar aansluiten. Ze worden gevormd door ter plaatse gestorte massieve betonnen staven van Ø 400 mm, waardoor hetzelfde uiterlijk wordt bekomen als het oorspronkelijke paviljoen.

## VARIANT 2: PREFAB BETONNEN SCHALEN

In deze variant wordt overwogen de verschillende hypparschalen als geprefabriceerde betonnen elementen te vervaardigen. Vanwege de afmetingen is vervoer over de weg uitgesloten en transport met een schip is op de gekozen locatie onmogelijk. De enige oplossing is ze per stuk, op de bouwplaats, horizontaal liggend op de grond te vervaardigen en ze met een kraan op de juiste positie te brengen. Overwogen is net als in 1958 op met zand gestabiliseerde heuvels te storten, maar een getimmerde bekisting blijkt toch goedkoper te zijn. Een ander voordeel van deze houten bekisting ten opzichte van de zandheuvels is dat de nauwkeurigheid van de maatvoering hoger is. Na omhoog hijsen in de juiste positie worden de prefab hypparschalen verbonden met een zogenaamde 'natte knoop', die de twee aansluitende vlakken aan de betonnen buis van Ø 400 mm vastzet. Deze buis wordt al van tevoren op de juiste locatie gebracht. De afmetingen van de prefab betonnen elementen zijn dezelfde als die in variant 1.

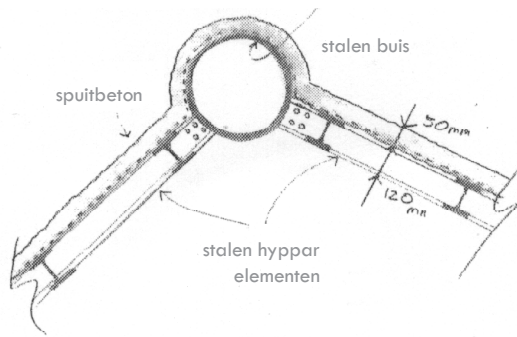


variant 2

## VARIANT 3: STAALSKELET BEDEKT MET EEN LAAG SPUITBETON

Hier wordt gekozen voor een stalen frame, door stalen buizen van  $\varnothing$  300 mm in de hoeklijnen van de vorm van het oorspronkelijk paviljoen te plaatsen. Hiertussen wordt dan, in elk vlak, met stalen HE-balken een hypparvlak beschreven, gelijk aan de hypparvlakken van het oorspronkelijke paviljoen. Elk hypparvlak kan met twee stelsels, elkaar kruisende rechte lijnen worden beschreven. Juist op dit stelsel van stalen balken wordt een fijn net van staal, bijvoorbeeld strekmetaal, bevestigd en daarop wordt met spuitbetontechnieken een laag van 50 mm beton aangebracht. Deze dikte verschilt ten opzichte van de andere voorgestelde technieken. Dit resulteert in een lagere kostprijs. Deze techniek stemt trouwens overeen met de techniek die de ingenieurs van Eiffel in 1957 hadden voorgesteld.

variant 3



## VERGELIJKING TUSSEN DE BOUWKOSTEN

Bij de heropbouw van dit paviljoen zal de bouw prijs een belangrijk en doorslaggevend argument zijn. Onder bouw prijs wordt gerekend: bouw kosten, zonder interieur, licht- en beeldshow e.d. (prijspeil mei 2006)

- 1) het paviljoen zoals het gebouwd was in 1958: kleine betonelementen tussen spandraden geklemd: € 5,4 miljoen
- 2) ter plaatse gestort met dubbele bekisting (variant 1): € 4,2 miljoen
- 3) prefab schalen, gestort op de grond op de bouwplaats (variant 2): € 4,8 miljoen
- 4) stalen hyppar frames en gebruik van spuitbeton (variant 3): € 3,1 miljoen

Tot op heden is het paviljoen nog niet gereconstrueerd, maar de herbouw werd al goedgekeurd, op voorwaarde dat vorm en uiterlijk, binnen en buiten, gerespecteerd worden. Het nieuw gebouwde Poème Electronique zal als een ontwikkelingscentrum voor beeld en geluid gebruikt worden.



# 1968

SCULPTURALE WONING  
ANGLEUR, BELGIË  
JACQUE GILLET

# SCULPTURALE WONING ANGLEUR, BELGIË JACQUES GILLET

## KEUZEVERANTWOORDING

Met behulp van de computer kunnen de dag van vandaag alle gebouwen met een complexe geometrie opgetrokken worden. Voor een gezinswoning te Luik kon dergelijke geometrie al verwezenlijkt worden in 1968, zonder de hulp van een computer. Dit is op zichzelf verrassend. De creatieve aanpak van de architect en zijn team betreffende de vormgeving en de realisatie zijn uniek en in België enig in zijn soort. Hierdoor werd dit project in deze thesis opgenomen.

## PROJECTBESCHRIJVING

De sculpturale woning in Angleur (1967-1968) te Luik, werd ontworpen door de Belgische architect Jacques Gillet. Voor dit project werkte hij samen met de beeldhouwer Félix Roulin en de ingenieur René Greisch, oprichter van het Luikse 'Bureau d'études Greisch' of 'beg'. Het werk is een synthese van structuur en vorm. Het project werd uitgevoerd in spuitbeton, dat toen geen voor de hand liggende constructietechniek was.

## PRIMEUR VOOR BELGIË

De toepassing van spuitbeton voor een woning is in 1967 een primeur voor België, tot op vandaag niet geëvenaard. De firma 'Pasek' uit Anhée, gespecialiseerd in de constructie en herstelling van hoogovens, had als één van de enige bedrijven in België ervaring met de techniek van spuitbeton of "béton projeté" en stond in voor de uitvoering. Door het faillissement van de spuitbetonfirma enkele jaren geleden en de 30-jarige bewaringstermijn van archiefmateriaal bij 'beg' zijn weinig gegevens over de berekening en uitvoering van de constructie bewaard. Later zal duidelijk worden dat er voornamelijk met studiemaquettes werd gewerkt. (Van de Voorde, S., De Meyer, R. & Taerwe, L., Rijke erfenis van de Belgische betonarchitectuur, Het Ingenieursblad, 2007, p 2-9)



## INLEIDING TOT DEZE ARCHITECTUUR

Een gebouw mag nooit los worden gezien van zijn sociale, economische, politieke en culturele achtergrond, waarin het ontstaan is. Zo kan een gebouw een versterking zijn van die tijdsgeest of eerder een reactie hierop. In volgende paragraaf wordt kort de tijdsgeest toegelicht waarin het project te Angleur tot stand kwam.

Sinds het einde van de Tweede Wereldoorlog kwam organische architectuur op als een zoektocht naar schoonheid, dat samenvalt met het idee van ideale constructie, en als een synthese van kunst en wetenschappen. Een aantal hoofdrolspelers waren onder andere Frederick Kiesler, André Bloc en Paul Virilio. Het bekendste voorbeeld van deze architectuur, gebaseerd op organische of sculpturale vormen, is de kapel in Ronchamp van Le Corbusier. De term 'sculpturale architectuur' of 'architecturale sculptuur' werd voor het eerst in 1963 door Michel Ragon gebruikt, in zijn boek 'Où vivrons-nous demain?'. De oorsprong van deze beweging gaat ver terug tot het einde van de 19<sup>de</sup> eeuw, met de werken van Louis Sullivan en Frank Lloyd Wright in de Verenigde Staten, en met Victor Horta en Antonio Gaudi in Europa. Gaudi bereikte in zijn architectuur een synthese van vorm en structuur, waarbij hij draadvormige skeletten en gipsmodellen met de wetten van de natuur vergeleek. Het sculpturale huis in Luik moet in die tijdsgeest gezien worden. Het werd ontworpen op een gelijkaardige, experimentele manier door Jacques Gillet. Toch vormt dit huis een uitzondering in het landschap van de 20-eeuwse Belgische architectuur. Dit 'levende beeldhouwwerk' was bovendien een reactie op de standaard vormgeving in architectuur, waarin artistieke armoede en tekorten moesten gecompenseerd worden door samen te werken met beeldhouwers en schilders.

## OP ZOEK NAAR EEN NIEUWE ARCHITECTUUR

Bij de analyse van een dergelijk merkwaardig en uitzonderlijk gebouw is het belangrijk inzicht te krijgen in de leefwereld van Jacques Gillet, noodzakelijk te weten wie en wat deze architect gevormd heeft. In wat volgt zal meer uitleg gegeven worden over zijn architecturale vorming en die ontmoetingen met personen die invloed op hem hebben uitgeoefend; allemaal factoren die bepalend geweest zijn voor zijn eigenzinnige architectuur.

Jacquet Gillet werd geboren in Luik in 1931. Hij studeerde af aan het Departement Architectuur van de 'Académie des Beaux Arts' te Luik in het jaar 1956. Eén van zijn professors was de Belgische architect Georges Dedoyard, een belangrijk figuur van de moderne beweging te Luik en een bekend impressionistische schilder. Gillet keerde terug naar de Academie als professor in 1964.

Hij leidde het onderzoek naar spontane architectuur en hoe dit geïntegreerd kon worden met de natuur. Hij toonde ook interesse in nieuwe bouwtechnieken en constructiemethoden, die volgens Gillet een zekere creatieve vrijheid aan het ontwerpproces gaven. Hij werkte ook graag samen met artiesten en ingenieurs. Hij beschouwde architectuur als een synthese van kunst en wetenschap, een ware eenheid tussen vorm en materiaal. In 1962 vroeg de Belgische ingenieur Jean-Maey Huberty Gillet als esthetische adviseur voor de gevels van zijn privé woning in La Hulpe, dichtbij Brussel. Gillet kwam hierdoor in contact met twee experts in betontechnologie en werd zo ingewijd in de mogelijkheden van beton. Het huis was ontworpen door Huberty zelf, in samenwerking met André Paduart en beiden waren ze burgerlijke ingenieurs. Deze laatste verrichtte onderzoek naar betontechnologie voor de Belgische Federatie van de Cement Industrie, dat gespecialiseerd was in de technologie van dunne betonnen schalen. Het huis treedt naar voren als een revolutionair en intellectuele tour de force, waarin twee jonge meesters in betontechnologie de karakteristieken van dit materiaal tot het uiterste hebben benut. Twee parabolische hyperboloiden, of hypars genaamd, werden gecombineerd en bepaalden hierbij de algemene lay-out van het plan. De hypars werden geconstrueerd als een betonnen schaal op een kader van houten planken en thermische isolatie. De schaal van het betonnen gewelf is slechts 5 cm dik. De samenwerking leidde tot een ontwerp waarin zowel architecturale als technologische kwaliteiten naar voren springen, maar het toont ook aan dat het niet zo eenvoudig was het vertrouwde pad te verlaten. In het begin van de jaren '60, kwam Gillet in contact met gelijkgestemde zielen. In 1962 raakte hij vertrouwd met de beeldhouwer Félix Roulin (°1931) en de schilder Gabriël Belgeonne (°1935), toen hun project voor een auditorium voor kamermuziek de eerste prijs in de wedstrijd 'De synthese van plastische kunsten' toegekend werd. In dit jaar ontmoette Gillet ook de Luikse ingenieur René Greisch (1929-2000). Greisch was een opmerkelijk figuur omwille van zijn geest voor onderzoek en innovatie. Greisch probeerde altijd de beschikbare technieken te verbeteren of hun uitvoering te vereenvoudigen, kwaliteiten die hoog gewaardeerd en gedeeld werden door Gillet. Gillet en Greisch werden al snel voorgedragen door de Luikse Universiteit om het laboratorium voor radiobiologisch onderzoek te ontwerpen. Het gebouw werd voltooid in 1964. Later dat jaar mocht Gillet samen met Félix Roulin het ontwerp maken voor een observatiepost voor het Astrofysische Departement van de Luikse Universiteit. Het ontwerp werd in dezelfde architecturale taal uitgevoerd, dat later ook werd toegepast in de sculpturale woning te Luik. Ook al werd de observatiepost nooit gerealiseerd, het ontwerp is een eerste belangrijke fase in de samenwerking van deze drie artiesten naar een synthese van kunsten; een gelijkgestemde groep werd zo gevormd. In 1966 werkten Gillet en Roulin samen met Belgeonne in het ontwerp voor zijn privé woning en studio. Het ontwerp, dat gebaseerd was op dezelfde organische en architecturale taal, werd gebouwd in hout en metaal, in tegenstelling tot het auditorium voor kamermuziek en de observatiepost, die ontworpen waren om in beton uitgevoerd te worden.

Rond deze periode werden verscheidene projecten ondernomen, meestal door het duo Gillet-Roulin, zoals de privé woning en studio voor een schilder en een privé woning voor een dokter. In 1967 was Gillets broer bereid volledig deel te nemen aan de realisatie van Gillets droom en vroeg zijn team om een privé woning te ontwerpen voor zijn familie van zes, in de omgeving van Luik. (Van de Voorde, S.; De Meyer, M.; De Kooning, L.; Taerwe, L. & Van De Walle, R., Design and Nature III, Sculpture house in Belgium by Jacques Gille, Southampton, WITpress, pp. 49-59)

## HET LEVENDE BEELDHOUWERSWERK ALS CONCEPT

De experimentele houding van de fysisch-chemische onderzoeker-wetenschapper-eigenaar was de basis voor de gehele aanpak van dit project: “Wat is een huis, voor ons als individu, voor onze familie, voor deze specifieke plek en dit moment in de tijd?” was de eerste vraag. De eigenaar was de broer van Gillet. Nadat hij zijn diepste bezorgdheden had uitgedrukt, gaf hij het team de kans niet alleen om hun ideeën in resultaten om te zetten, maar ook om dit op hun eigen tempo te doen. Gedurende een 3-tal jaren, zochten, bestudeerden, testten, besproken en uiteindelijk bouwden Gillet, Greisch en Roulin dit ‘levende beeldhouwwerk’, op maat gemaakt. Geïnspireerd door natuur en organische vormen, werd het ontwerp opgevat als een synthese van verschillende kunsten. Volgens hun eigen woorden, wilden ze geen revolutie starten, maar eenvoudigweg iets nieuws creëren, tegengesteld aan de standaard vormgeving in de architectuur en de standaard accommodatie van de mensheid van die tijd, die losstond van de natuur. Het is dan ook niet toevallig dat woning associaties oproept met de natuur: een grotwoning, een grote champignon in het midden van het bos of zelfs een schildpad die door zijn schild beschermd wordt. Deze manier van denken beantwoordt aan de definitie van organische architectuur. Toch is deze woning eerder een voorbeeld van free form architectuur, aangezien de architect op een ongeremde en vrije manier de woning vorm gaf.



De architecturale taal kan het beste beschreven worden aan de hand van de architect zijn eigen woorden: „We hebben voortdurend geprobeerd de krommingen ontvankelijk en stevig te maken, die anders zouden gaan hangen en verzakken, slap worden zonder enige kracht. Maar ze mochten niet te geometrisch zijn. Spontaniteit, strakheid geïnspireerd door de natuur, zuiverheid en ware eenvoud zijn kernbegrippen. Anderen laten proeven en delen in deze volkomenheid van een kromming, het lef dat een vorm uitstraalt, het vuur, de juiste plaats van een streep of van een volume, het spelen van het licht; dit alles is de belangrijkste rol van dit “ding”, ‘open naar vrienden, ideeën, emoties’ zo vertellen de bewoners het.” We kunnen hieruit concluderen dat Gillet eerder gevoelsgeladen te werk ging dan rationalistisch. Zo is het bijvoorbeeld niet eenvoudig het project in enkele hoofdlijnen te schetsen. Het betekent wel niet dat Gillet onbedachtzaam te werk ging. Zo werd het grondplan logisch georganiseerd. Het bestaat uit vier afzonderlijke vleugels: de woonkamer op het zuiden; de studeerkamer, de garderobe, de hoofdslaapkamer en de badkamer op het oosten; de eetkamer en de keuken op het westen en de kinderslaapkamers en badkamer op het noorden, het geheel zonovergoten door ramen op het oosten en het westen. Er is ook een onderscheid gemaakt in hoogte: de garage bevindt zich op het laagste niveau van de site; het vloerniveau van de gemeenschappelijke ruimten is een half vloerniveau hoger, waardoor de natuurlijke verschillen in hoogte van het terrein benut worden. Het vloerniveau van de privé vleugel van de ouders bevindt zich tussen de vloerniveaus van de gemeenschappelijke ruimten en de privé vleugel van de kinderen: deze laatste is eveneens een half vloerniveau hoger dan de gemeenschappelijke ruimten. De kinderslaapkamers situeren zich bovenop de garage. Door het creëren van split-levels bewak Gillet de nodige twee meter hoogte voor de garage zonder het gehele gebouw te verhogen. Deze ideeën werden alvast op papier gezet zodat het team niet aan het werk moest zonder een vastgelegd plan. Dit was de gebruikelijke manier van werken: de architect die een schematische tekening van zijn bedoelingen maakte, dit doorgaf aan de beeldhouwer, die hierop zijn interpretatie gaf en zo kon het hele proces opnieuw beginnen. Het ontwerpproces was verre van analytisch of rationeel en het was ook niet de bedoeling het huis op die manier te beschrijven. Om de ware betekenis van het huis te achterhalen, moet men het huis bezoeken en de bedoelingen van de ontwerpers onderzoeken. Volgende vraag kan gesteld worden: waarom deze sculpturale woning? Als men deze vraag probeert te beantwoorden, lijkt het alsof dit ontwerp gerechtvaardigd dient te worden of dat men het logisch probeert te maken. Dit verklaren houdt in dat rationeel gedacht moet worden om dit te begrijpen. Bij dit ontwerp hoor je niets te begrijpen. *Hier kun je alles voelen, subjectief tenminste...* (Bekaert, G., *Bouwen in België 1945-1970*, Brussel, Nationale confederatie van het bouwbedrijf, pp. 317-318, 1971)



grondplan

Dit is ook de enige manier om met deze sculpturale woning om te gaan: met gevoel, net op dezelfde manier als Jacques Gillet het ontwierp. Ook al moesten heel veel mensen overtuigd worden van de kwaliteiten van deze nieuwe architectuur, toch was het niet moeilijk de nodige toestemming te verkrijgen. Het lokale departement van stedelijke planning en de gemeentelijke autoriteiten geloofden ook in de mogelijkheden van dit project.

Toen de constructie beëindigd was, begon het project zijn eigen leven te leiden. Het huis verkreeg niet alleen een zekere autonomie en onafhankelijkheid, het ging ook een dialoog aan niet alleen met de bezoekers, maar voornamelijk met de inwoners zelf. Vanaf het moment dat zij hun nieuwe huis betraden, voelden ze zich thuis en werden ze één met het project. Het creëren van dergelijke harmonie en intieme vrede was voor de beeldhouwer Roulin het allerbelangrijkste: hij zag het huis als een sculptuur waarin de innerlijke leegte, in contrast met de massa, bewoond moest worden. Hij beschrijft zijn eigen beroep als het manipuleren en het behandelen van vormen en de gevoeligheid van ruwe materialen, terwijl architectuur zich bezig houdt met het materiaal van ruimte, dat niet minder expressief is maar anders is, en met het gebied dat bewoond moet worden. *Een kruising van de drempels tussen deze twee beroepen leidde tot een beeldhouwwerk waarin het ene doordringt en constant een entiteit aan volumes en vormen onthult, in een eeuwige beweging naar de inwoners toe.*

(Van de Voorde, S.; De Meyer, M.; De Kooning, L.; Taerwe, L. & Van De Walle, R., cfr supra)

We kunnen gerust stellen dat de samenwerking tussen architect en beeldhouwer tot een uitzonderlijk en fascinerend resultaat geleid heeft, waarbij het gehele ontwerp meer is dan de som (inbreng) van ieder afzonderlijk. Het is net die intense wisselwerking tussen beiden die dit huis sculpturale en architecturale kwaliteiten heeft bezorgd.

## REALISATIE

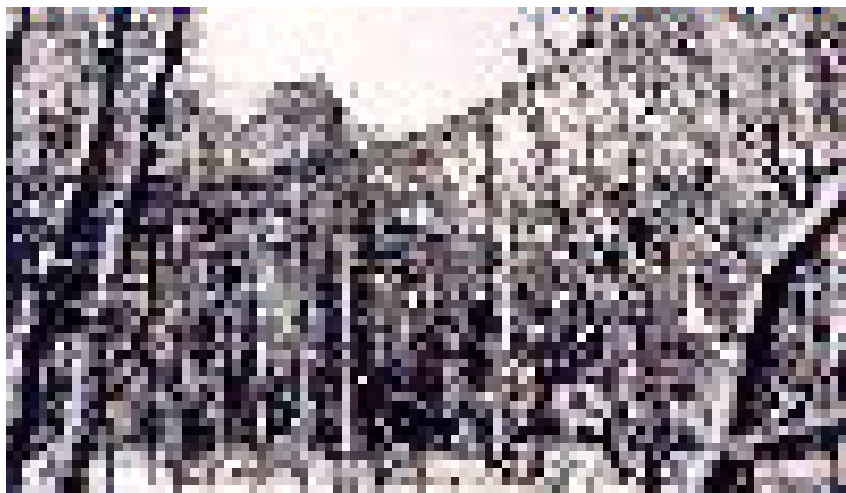
Het project moet niet gezien worden als een reactie tegen de bouwindustrie in het algemeen, aangezien het team in dit project nieuwe bouwtechnieken en materialen verkende en ermee experimenteerde. Het is eerder een antwoord op de ontwikkeling van gestandaardiseerde vormen en producten en tegelijkertijd een pleidooi voor een industrieel beleid dat tot de kern van de zaak gaat: de molecule, het atoom, de elektron. „Nooit meer de industrie van het opgelegde of het kant-en-klare.” (Bekaert, G, cfr supra) Deelnemen in het hele proces was minstens even belangrijk als de behaalde resultaten. De manier van werken en de manier waarop het ontwerp verzorgd werd, werden een doel op zich. Weigerend terug te keren naar de traditionele methoden, nam het team zijn toevlucht tot een ongewone constructiemethode waarbij beton op een metalen raster wordt geprojecteerd.



links: schaalmodel in  
boetseerlei  
rechts: schaalmodel in  
aluminium

Gedurende het ontwerpproces werden weinig detailtekeningen gemaakt. Dit was echter zo beredeneerd door Gillet. Schaalmodellen, eerst in boetseerlei en later in aluminium waren de basis voor de eerste plannen van het gebouw en ze werden gebruikt om zo de hoogteverhoudingen en de openingen te bepalen. Er werden ook testen mee gedaan, die onder leiding van Greisch uitgevoerd werden. Zo werd getest hoe dik de schaalstructuur kon worden en welke krommingen voor het draagvermogen van de schalen gunstig zijn. Het aluminium model maakte het mogelijk elk punt in driedimensionale coördinaten te bepalen. De uiteindelijke vormgeving van het huis werd aan de hand van verschillende schaalmodellen en testen bepaald. (Merx, L. & Holl, C., ... in die Jahre gekommen, deutsche bauzeitung, Leinfelden-Echterdingen, 2004, p 74-80)

Bij het begin van de werken in april 1967 werd de totale structuur, dat gebaseerd was op het aluminium model, geschetst met slechts enkele vaste elementen. Deze vaste elementen, met name de betonnen vloerniveaus en de schoorsteen, werden volgens een traditionele manier gebouwd, aangezien ze uit horizontale en verticale vlakken bestonden. Gekantelde stalen staven, in het verlengde van de vloerniveaus en de schoorsteen, dienden als versterking. Met een doorsnede van 8 mm, werden deze staven op 20 cm van elkaar geplaatst, in twee richtingen, waardoor dus een tweedimensionaal raster ontstond. Tijdelijk ondersteund door dunne houten schachten, werd het net vormgegeven door drie basisvormen te gebruiken: de boog, de trechtervorm en de parabolische hyperboloïde. De vorm was op voorhand niet nauwkeurig bepaald, ze werd aan de hand van experimenten bepaald. Het ontwerp en de constructie werden samen ontworpen en dit volgens vier parameters: innerlijke ruimte en het voorkomen van licht; de loop van het water, de stabiliteit en de sculpturale karakteristieken. Zoals reeds gezegd werd, ging ontwerpinformatie van partij A naar B die hierop nieuwe suggesties mochten doen. Hierdoor waren de architect, de beeldhouwer, de ingenieur en de klant voortdurend de vorm aan het afronden. De raamprofielen, de U-vormige profielen, werden door het team ter plaatse gebogen en gesneden. Er werd veel aandacht besteed aan de stijfheid van hun vorm en hun verticaliteit, zodat ze een contrast zouden vormen met de sculpturale betonnen massa. Noch de stalen profielen, noch andere delen van de constructie werden preventief behandeld of gegalvaniseerd. De raamprofielen kregen wel een dunne laag transparante donkere verf op. Omwille van economische redenen werd er gebruik gemaakt van beschikbare materialen, die gekozen werden omwille van hun gemakkelijke uitvoering, organische kwaliteiten, hun beschikbaarheid en gunstige prijzen. (Van de Voorde, S.; De Meyer, M.; De Kooning, L.; Taerwe, L. & Van De Walle, R., cfr supra)



het net

## SPUITEN

Zodra de eerste constructieaanzet voldoende sterk en stevig was, werd een volgende stap gezet. Een uitgespreid ijzeren net werd bevestigd op de stalen staven, opdat ze gebruikt kon worden als een vorm waarop het beton geprojecteerd werd. Het ijzeren skelet kreeg zijn massa door het spuiten van snelhechtend beton: rechtstreeks, onmiddellijk en efficiënt. Op het net werd een zeer droog en compact beton gespoten, dat zich in minder dan 15 minuten vasthechtte. Deze techniek, die voornamelijk gebruikt werd voor hoogovens en grotten, was zeer ongewoon in België. Het werd hiervoor nooit gebruikt bij het bouwen van een privé woning. Een gespecialiseerd team werd gevraagd om het werk uit te voeren. Het Tsjechisch-Belgische bedrijf Pasek, dat zich in 1960 vestigde, was één van de enige bedrijven die experimenteerde met het zandstralen en het projecteren van droge mortel. Ze hadden eveneens hun eigen projecterende machine: Refra-Gun. Het team dat dit project behandelde, bestond uit 4 man, die per twee samenwerkten. Het eerste team bediende de spuitslang, dat bevestigd was aan de achterzijde van een groot vat, dat de droge beton bevatte. Dit vat was verdeeld in twee compartimenten, zodat het vat continu door één team bijgevuld kon worden, terwijl het andere team aan het spuiten was. Water werd pas op het allerlaatste moment toegevoegd, aan het mondstuk van het spuitgeweer, waardoor je dus een zeer droog beton kreeg. Het uiteindelijke oppervlak was zeer compact en ondoordringbaar voor water. Het is zelfs zo dat de mechanische kenmerken van spuitbeton 25 à 50% beter zijn dan die van traditioneel beton, aangezien de watertoevoer beperkt wordt tot wat het hard worden van cement vereist. Er is dus geen overschot aan water. Deze positieve eigenschappen van spuitbeton ten opzichte van traditioneel beton zijn natuurlijk afhankelijk van een degelijke uitvoering, zoniet vervallen deze voordelen.

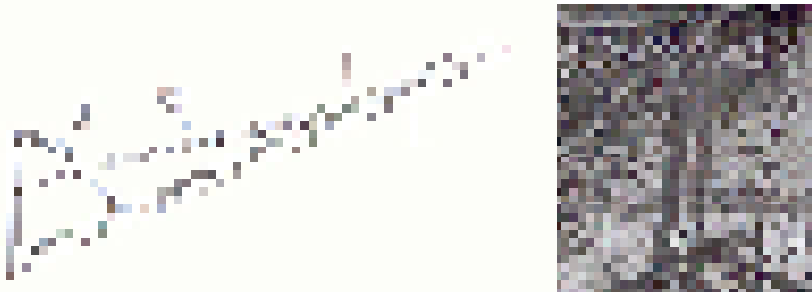
Een ander verschil van spuitbeton ten opzichte van de gebruikelijke betontechnieken is dat er geen bekisting nodig is. Wel wordt er een drager gebruikt voor het spuitbeton op zijn plaats te houden. Toch is spuiten geen echte propere constructietechniek, waardoor de nodige voorzorgen dienen genomen te worden. De raamprofielen werden bedekt en kleine, tijdelijke stroken werden op de randen van de schaalconstructie aangebracht om een duidelijke grens tussen het huis en zijn omgeving te creëren. Ongeveer 15% van het beton ging verloren tijdens het spuitproces, aangezien het beton wegschoot van het net. Dit beton ging niet helemaal verloren; de architect gebruikte het voor het aanleggen van de oprit. Het beton werd onder een hoek van 45° gespoten. Indien het loodrecht gespoten werd, zou waarschijnlijk meer dan 15% van het beton verloren gegaan zijn. Nog een voordeel van deze 'hellende techniek', die persoonlijk ontwikkeld werd door Stephan Pasek, is dat het water dat de betonnen schaal probeert te doordringen, onmiddellijk afgewaterd wordt door de hellende lagen beton.



Werklui werden ingeschakeld om de dikte van de betonnen schaal te schatten. Ze moesten oog hebben voor detail, veranderingen in consistentie van het beton opmerken en onmiddellijk ingrijpen om zo een consistent product te verzekeren. De verantwoordelijkheid, gedragen door deze werklui die deelnamen aan dit experimentele en revolutionaire project, mag niet onderschat worden.

De algemene dikte bedraagt 5 cm en werd alleen verhoogd daar waar het door de constructie vereist werd. Op sommige plaatsen, zoals bij de randen waren bijkomstige verstijvingen en versterkingen noodzakelijk op zo'n 50 cm parallel met de rand. Aan de randen werden liggers gevormd door vier stalen staven op één rij te plaatsen, waarvan de diameter niet meer dan 8 mm was. Om een sterke en stijve verbinding te verzekeren tussen de liggers en het rasterwerk, werden extra stalen haken van 5 mm diameter gevouwen in een driehoekige vorm, rond de liggers gewikkeld en op het rasterwerk gelast.

verdikking van de rand, met extra wapening. Dit is omwille van de krachtsafdracht



De dwarsdoorsnede van die liggers is 7 cm. Dit brengt de totale dikte van de plaatselijke constructie op zo'n 12 cm.

Bij dit project werd weinig beroep gedaan op wiskundige berekeningen. Proefondervindelijk bouwen is wel de beste omschrijving voor dit project. Zo werden tijdens de ontwerpfase schaalmodellen gebruikt om inzicht te krijgen in de constructie. Slechts een klein deel van de constructie werd door de ingenieur berekend. Alvorens het starten van de constructie werden wel breuktesten op ware grootte door de aannemer uitgevoerd, om zo mogelijke moeilijkheden op te sporen en om de meest economische vormen en rondingen te bepalen. Met de resultaten van deze testen in het achterhoofd, werd de huidige constructie op ervaring, intuïtie en experimenten gebaseerd. Toen de ultieme vorm vastgelegd was, werd de sterkte van de constructie nog een laatste maal getest door ter plaatse geconcentreerde druk uit te oefenen. Tijdelijke steunpunten werden verwijderd, werklui en bezoekers van de werf beklommen het dak. Waar vervormingen de 25 cm overschreden, versterkte de ingenieur de constructie. Het werken met schaalmodellen was toen waarschijnlijk de enigste en beste manier om te controleren of de constructie voldeed, maar in de huidige samenleving is dergelijke manier van experimenteren niet meer denkbaar omwille van de veiligheid en kostprijs. (Merx, L. & Holl, C., cfr supra & Van de Voorde, S.; De Meyer, M.; De Kooning, L.; Taerwe, L. & Van De Walle, R., cfr supra)

## MATERIAALKEUZE

Door zijn ontmoetingen met Huberty en Paduart werd Gillet geconfronteerd met de vele mogelijkheden van beton. Met het concept van 'levend beeldhouwwerk' in het achterhoofd was beton een voor de handliggende keuze. Het gebruik van staal was eveneens een weloverwogen keuze. De materialen en de toegepaste technieken gaven het team een creatieve vrijheid: stalen balken werden gevouwen, en één voor één geplaatst, om zo de contingentie tussen natuur, ruimte, materiaal en poëzie te verhogen.

Op die stalen balken werd een metalen gaas aangebracht en de uiteindelijke vorm werd veilig gesteld door er snel verhard beton op te projecteren. De buitenkant is slecht de envelop van de binnenkant; een bijkomstige inwendige structuur was niet nodig. De structuur aan de buitenkant is zichtbaar gelaten, waarmee eenheid tussen vorm en materiaal benadrukt wordt.



## VOLTOOIING VAN HET BOUWPROCES

Bij een dergelijke betonnen sculptuur kunnen we ons vragen stellen bij de bouwfysische eigenschappen. Aangezien de algemene dikte slechts 5 cm bedraagt, kan weinig beroep gedaan worden op de thermische massa van beton, die juist zo'n belangrijke rol kan vervullen bij de beperking van het energiegebruik voor verwarming en koeling van gebouwen en tevens een bijdrage kan leveren aan het thermisch comfort voor de gebruikers. Hierdoor werd bijkomstige thermische isolatie voorzien door met een spuitpistool vanuit de binnenkant een hard polyurethaanschuim aan te brengen. In de loop der jaren, heeft het natuurlijke daglicht invloed gehad op het schuim en kreeg het een warme en genuanceerde kleur. (zie foto's interieur) Aangezien deze isolatie niet universeel toegepast werd, was er af en toe een zeer dunne laag gespoten beton nodig om het ijzeren net aan de binnenkant te bedekken. Buiten deze thermische isolatie werden geen corrigerende maatregelen of voorzieningen getroffen. Naar alle waarschijnlijkheid zullen er zich problemen voordoen op het vlak van thermisch comfort. Extra isoleren aan de binnenkant zou een oplossing kunnen zijn, maar men moet dan oppassen voor eventuele condensatie tussen de isolatie en de betonnen buitenschil door het grote temperatuurverval. Om nog maar te zwijgen over de esthetische impact aan de binnenkant.

Het beton werd waterdicht geacht, waardoor het dak geen extra coating kreeg. De constructie werd voltooid in september 1968, wat resulteert in een totaal bouwproces van 14 maanden. Wanneer gevraagd werd een vergelijking te maken met traditionele bouwmethoden betreffende constructietijd en bouwkosten, antwoordde de architect dat hij niet van plan was competitief te zijn. Hij was er van overtuigd dat de bouwkosten niet hoger zouden zijn dan die van een traditioneel huis voor een familie van zes. Ondanks het feit dat het huis geen nood had aan bijkomende maatregelen gedurende de volgende decennia, was een kleine renovatie in de late jaren '80 onvermijdelijk. De waterdichtheid was aangetast en moest gerepareerd worden. Het exterieur werd gerestaureerd door het te impregneren met een hoog vloeibaar, waterafstotend, silicaat gebaseerde hars. Bijkomend werd een speciale coating van een halfstijve epoxyhars aangebracht op die oppervlakken die het meeste geleden hadden onder het aflopende water.

## INVLOED VAN HET HUIS TE LUIK

Terwijl het huis in Luik werd ontworpen, kreeg het team een tweede opdracht toegewezen voor een gelijkaardig huis. Het werd ontworpen door hetzelfde team, maar aangezien het terrein en de persoonlijkheden van de klanten verschillend waren, was ook het uiteindelijke ontwerp anders.

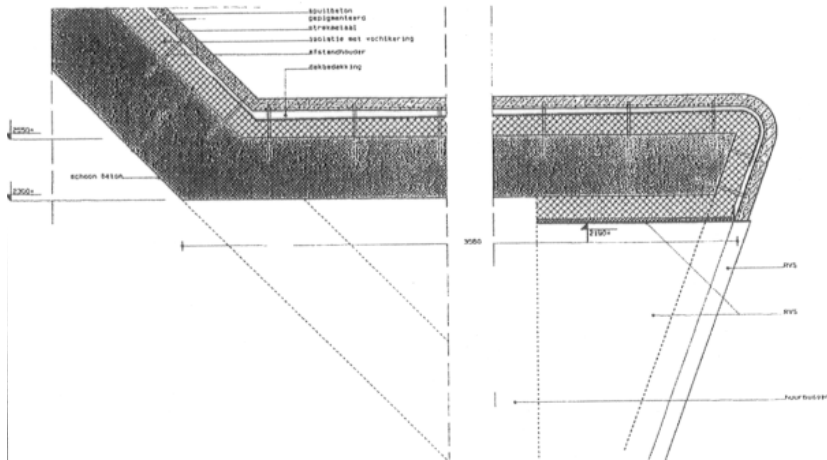
Pas in de late jaren '70 verscheen een ander voorbeeld van een beeldhouwde architectuur in België. De architect Philip Mousset, die al meerdere bezoeken aan de site in Luik gebracht had, bouwde zo een sculpturale woning in Fleurus. Dezelfde ongewone architecturale taal werd gebruikt, maar de toegepaste techniek was verschillend: een glasvezel versterkte gips werd op een elastische weefsel gespoten, in plaats van op een ijzeren net. Gedurende de volgende jaren volgden een aantal architecten het voorbeeld van Gillet, toen hij een cursus over organische architectuur doceerde op het Institut Supérieur d'Architecture Lambert Lombard in 1978.

## NEUTELINGS-RIEDIJK

Het werk van Gillet kent nog steeds grote publieke interesse. Het gebruik van spuitbeton is ook nog steeds actueel. Een voorbeeld is de uitbreiding van een postkantoor te Zichem door Neutelings-Riedijk Architecten, dat in 1997 voltooid werd. Het nieuwe gebouw heeft een rechthoekig volume met een schuin oplopende blinde gevel. Het is bekleed met een grofkorrelig spuitbeton in een wit-beige kleur. Dit nieuwe volume huisvest de sorteerzaal. De werkruimte is uitgevoerd in oranje en blauw gepigmenteerd beton. Er werd voor beton gekozen omwille van twee redenen. Ten eerste om het concept van de zandheuvel te materialiseren en om een optimaal contrast met het bestaande gebouw na te streven. Ook naar sculpturale mogelijkheden, als naar textuur, kleur en de eis voor een continue, monoliete huid, bood beton het beste antwoord. Een tweede reden had te maken met een optimale werkomgeving, meer bepaald het warmtecomfort. De architect wou een zwaar gebouw dat een goede warmtebeheersing toelaat. Dit is erg belangrijk aangezien er vooral 's nachts gewerkt wordt. Beton biedt hierop het beste antwoord, vermits het een inert materiaal is. Het ontwerp wordt gekenmerkt door een kolomenvrije ruimte van 18 op 18 meter. De betonnen dakplaat zou maar liefst een dikte van 60 cm hebben, wat een plaatgewicht inhoudt van 330 ton. Bij het zoeken naar een beperking van dit gewicht, werden in de dakplaat 81 cirkels met een diameter van 1 m uitgespaard. Hierdoor werd de dikte van de plaat gereduceerd tot 35 cm. De plafonds en de binnenmuren zijn in een gekleurde betonspecie gegoten. Deze kleuring gebeurt in de massa.

Dit project is interessant om te vergelijken met de woning van Jacques Gillet aangezien de daken van beide projecten uitgevoerd werden in spuitbeton. Bij de sorteerzaal werd ervoor gekozen de buitenschil in spuitbeton uit te voeren. Ook hier blijft een wand opbouwen met spuitbeton een experiment. Bij de woning van Gillet werd een droog compact beton toegepast. Omwille van de homogene kleurenvermenging, de controleerbaarheid van de samenstelling en de druk werd hier geopteerd voor het natte procédé.

opbouw van het dak  
en de buitenschil



De basismaterialen - cement, zand en granulaten, worden met het water op voorhand gemengd en als betonspecie in een pomp gebracht, die het mengsel met een niet al te grote snelheid naar de spuitkop voert. De perslucht zorgt voor de verstuiving van het beton. Deze techniek vereist een speciale betonspecie. Het mengsel bestaat uit gefractioneerd rivierzand, wit cement, een hoeveelheid wasselone kalk - licht hydraulische kalk - een waterwerend middel en bijkomende hulpstoffen die een optimale verwerkbaarheid en aanhechting garanderen. Net als bij Gillet, bedraagt de totale dikte van de schil minimum 5 cm. Bij het postkantoor werd deze wel in drie lagen gespoten. Een eerste laag van 1,5 cm werd aangebracht tot net over de thermische verzinkte wapening. Deze liet men gedurende 21 dagen uitharden. Ze werd ook horizontaal gekamd om een goede hechting met de volgende laag te garanderen. De derde laag werd aangebracht om een betere afwerkingslaag te realiseren. Constructief gezien was deze niet noodzakelijk. Tussen de tweede en de derde laag werd maximaal 36 uur gewacht om een goede aanhechting te realiseren. Er werd geen spouw toegepast. Op de horizontale en schuine wanden werd tussen isolatie en spuitbeton een bitumineuze waterdichting aangebracht. Er werd gekozen om rotswol als isolatie te gebruiken, aangezien de densiteit van rotswol voldoende groot is om aan de druk van het spuiten te weerstaan. Het spuiten gebeurde op een fijnmazig gegalvaniseerd net dat vastgemaakt werd aan het wapeningsnet. De wapening werd in de betonnen binnenwanden geschroefd. Op de afgeronde hoeken werd de wapening opgebouwd met strekmetaal. (Willemyns, G.,

Betonexperimenten, A+, 1999, p. 67-70)

Spuitsbeton is voor beide projecten de juiste keuze aangezien de beide architect net dit ruwe uiterlijk, dat typerend is voor spuitsbeton, nastreefde om zo hun concept extra kracht bij te zetten.



# 2006

MERCEDES BENZ MUSEUM  
STUTTGART, DUISLAND  
**UN STUDIO**

# MERCEDES BENZ MUSEUM STUTTGART, DUITSLAND UN STUDIO

## KEUZEVERANTWOORDING

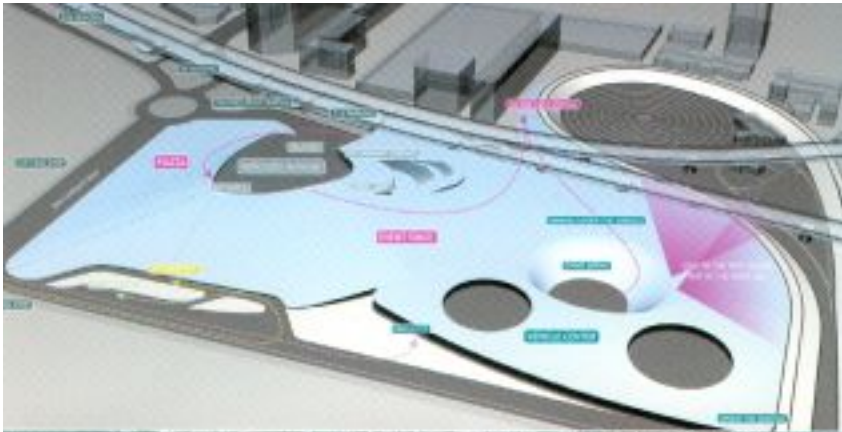
Mercedes-Benz Museum te Stuttgart is een winnaar van de Duitse Architekturpreis Beton 2008. Het gebouw springt als het ware naar voren door zijn hoge complexe geometrie en vertegenwoordigt één van de grootste constructieve uitdagingen in Europa met betrekking tot betonnen constructie, bekistingstechnologie en geometrie. Enkele jaren geleden zou het onmogelijk geweest zijn dit gebouw te realiseren. Dankzij de laatste computertechnologie slaagt de mens erin dergelijke projecten wel te verwezenlijken. Het project is een weerspiegeling van de dualiteit vrije vormgeving versus maakbaarheid. Het resultaat is een geslaagde symbiose en dit maakt het project boeiend en interessant studiemateriaal.

## PROJECTOMSCHRIJVING

Dit project werd gelanceerd in 1999 toen hg merz in opdracht van DaimlerChrysler een analyse moest maken van potentiële locaties voor een nieuw Mercedes-Benz Museum. Het vorige museum was echter te klein geworden en kon bijkomende belasting van nieuwe collecties niet meer dragen. In juni 2000 werd beslist dat de locatie voor het nieuwe museum het gebied Untertürkheim te Stuttgart zou worden, een site aan het voormalige race circuit, omgeven door de snelweg B14 en tegenover de hoofdtoegang van de Daimler fabriek. Het DaimlerChrysler project team en hg merz werden belast met de ontwikkeling van een museum tentoonstellingsconcept, een concept voor het gebruik van het stuk grond, de exploitatie van de voorzieningen en het financiële plaatje. Het tentoonstellingsconcept werd gemaakt om zo een basis te voorzien voor het verdere architecturale design. Aan de hand van dit concept schreef de Raad van Management van DaimlerChrysler een wedstrijd uit. In januari 2002 won UN Studio de besloten prijsvraag. In maart 2003 startte de bouw om vervolgens op 19 mei 2006 officieel geopend te worden. Voor de constructie werd beroep gedaan op het bureau van Werner Sobek Ingenieure. De gehele Mercedes-Benz Wereld is tot stand gekomen op een site van maar liefst 53 000m<sup>2</sup>. Deze Wereld omvat het Mercedes-Benz Museum en het Mercedes-Benz Centrum. Dit centrum is rechtstreeks verbonden met het museum, enerzijds door een bijna 100 m lange ondergrondse verbinding, dat het restaurant, de winkels en delen van het evenementen gebied van de



Mercedes-Benz Wereld huisvest. Anderzijds is er de verbinding omwille van het uniforme design en het gemeenschappelijke gebruik van het landschapsniveau, waar een openlucht gebied voor 500 personen gebouwd wordt. Bovendien is het totale landschapsniveau beschikbaar voor evenementen voor maar liefst 30 000 mensen. Het grondplan van het museum heeft de vorm van een drieledig klaverblad. Het museum heeft gevellengtes van 80m en is ongeveer 48 m hoog. Het telt 8 verdiepingen, waarbij een onderscheid is gemaakt tussen de standaard verdiepingen (niveaus 3 tot 7) en de speciale verdiepingen (niveaus 0, 1, 2, Z2 en 8), omwille van het gebruik en de ondersteunde structuur. (geschreven naar aanleiding van een persoonlijk bezoek aan het museum op zaterdag 27 december 2008)



## KUNST EN ARCHITECTUUR

UN Studio werd opgericht door twee opmerkelijke figuren: Ben van Berkel en Caroline Bos, elk met hun eigen achtergrond en vorming. Ben van Berkel kent een architecturale opleiding aan de Rietveld Academie te Amsterdam, waarna hij naar Londen vertrok om aan de Architectural Association te studeren. Zo zoekt hij naar nieuwe structuren, ontworpen met nieuwe media en uitgevoerd in moderne materialen. In 1987 studeerde hij cum laude af. Na zijn studie werkte hij onder meer bij de bureaus van Zaha Hadid en Santiago Calatrava. Caroline Bos heeft een opleiding kunstgeschiedenis aan het Birkbeck College te Londen achter de rug. Het was pas in 1989 dat deze twee hun krachten bundelen in een bureau, Van Berkel en Bos genaamd. In 1999 veranderde de organisatiestructuur en daarmee de naam van het bureau in UN Studio (United Network Studio). Het is een bureau waar verschillende specialisten op het gebied van architectuur, infrastructuur en stedenbouw werkzaam zijn.

De samenwerking tussen deze twee individuen resulteert in een unieke architecturale aanpak. Op de vraag hoe je nog iets zinnigs kunt toevoegen aan een razendsnel veranderende wereld proberen van Berkel en Bos het antwoord te vinden in gebouwen die opvallen door een esthetische schoonheid, die de zintuigen prikkelen en soms een loopje lijken te nemen met de gangbare wetten der zwaartekracht. Dat laatste wordt vooral veroorzaakt door de prominente rol die computer speelt in de ontwerpen van UN Studio. Ze maken voornamelijk ervaringsarchitectuur, gebouwen als een sculptuur. Het Mercedes-Benz Museum is hier een voorbeeld van. Anders dan vele architecten van hun generatie, is er bij UN Studio geen behoefte om dogmatisch vast te houden aan een idioom of theorie, bij UN Studio gaat het om vorm en ervaring. Kunst wordt geassocieerd met reflectie, bezinning, puur. Wanneer architectuur zich meer in de richting van kunst beweegt, is het mogelijk om conflicten tussen verschillende architecturale ambities te overbruggen. Het gebouw kan contrasterende interpretaties oproepen en hierdoor ons begrip ervan vergroten, aldus Van Berkel en Bos. (van Berkel, B., Ben van Berkel, co-founder UN Studio, UN Studio geraadpleegd op 3 januari 2009 op <http://www.unstudio.com/studio/people&X>, UN Studio – Ben van Berkel (Utrecht 1957) & Caroline Bos, Kunstbus geraadpleegd op 3 januari 2009 op <http://www.kunstbus.nl/architectuur/ben+van+berkel.html>)

## NIEUW MUSEUM CONCEPT

Wat onmiddellijk opvalt - of eerder niet opvalt - is dat het museum je eigenlijk doet vergeten dat je je in een museum bevindt. Dit komt enerzijds door de unieke manier van tentoonstellen en de ruimtelijke ervaring die hiermee gepaard gaat, anderzijds door de aparte collectie die er wordt tentoongesteld. De aanwezige werken behoren tot geen enkele cultuur dan tot de jouwe. Ze zijn dichterbij met de bezoeker verbonden en ze spreken

meer tot de bezoeker dan hedendaagse kunst. Mensen houden van dit soort speciale musea, ze halen er meer uit dan doelloos rond te kuieren in die warenhuisachtige musea. Hier worden de bezoekers gevraagd actief deel te nemen aan het hele gebeuren. Het museum houdt de mensen ook geboeid doordat elke ruimte anders ingericht is. Verrassing, nieuwsgierigheid en diversiteit zijn de benodigde ingrediënten voor een museum om mensen aan te trekken. (geschreven naar aanleiding van een persoonlijk bezoek aan het museum op zaterdag 27 december 2008)

In de unieke aanpak van het museum is eveneens de bezorgdheid van het architectenteam omtrent de huidige museumcultuur opgenomen. De interesse in museumarchitectuur overtreft bijna de interesse in de tentoongestelde werken. Zij vinden dat de objecten, die door een cultuur geproduceerd worden, meer aandacht verdienen. Zij willen dus kunst, bij hoog en laag, terug op zijn voetstuk plaatsen. Hun ambitie bestaat er dan ook in de objecten in het museum er even goed te laten uitzien als koopwaar in de grootste winkels van de wereld, zodat ze mensen boeien en dezelfde gevoelens van verlangens en bewondering oproepen. In het museum wordt ook letterlijk gebruik gemaakt van die sokkels. Ze zijn van vitaal belang bij het genereren van de juiste standpunten. Ze worden ook geïntegreerd in hun architectuur. In plaats van individuele sokkels te gebruiken in de zogenoemde legende kamers, ontwerpen ze halve cirkelvormige hellingen die de verschillende perspectieven tot stand moeten brengen. De bezoekers zien de auto's afwisselend van hoog naar laag, van dichterbij en van een afstand, frontaal en van meer schuine standpunten terwijl zij zich verplaatsen. Hierdoor wordt het probleem gereduceerd om een object, dat gewijd is aan de beweging, in een context te plaatsen waarin het wordt gezien als een statisch ding. Toegang tot de collectie kamers wordt verleend via een hoge trap – je komt dus binnen via een hoger niveau en je loopt dan tussen de auto's op eenzelfde niveau. Er kan zelfs gezegd worden dat in het Mercedes-Benz Mudeum de bezoeker op een voetstuk geplaatst wordt. Doordat de bezoeker vanop wisselende hoogten naar de tentoonstellingsruimten kijkt, worden panoramische overzichten gecreëerd. Ze willen hierbij niet alleen de bezoeker helpen zich te focussen op ieder object, maar ook om het individuele object te plaatsen binnen de gehele tentoonstelling.

*De lange sokkels in combinatie met het panoramische zicht, creëren een nieuwe type van museumruimte, die hierbij reageert tegen de slechte ruimtelijke organisatie van sommige musea. De ambitie van van Berkel en Bos bestaat erin een omgeving te scheppen dat contemplatie stimuleert, maar op een andere manier dan het creëren van een beperkt optisch veld. Ze willen een intense visuele ervaring meegeven door het werk tot de ruimte waarin het zich bevindt, tot de andere werken in de nabijheid en de wereld daarbuiten, te betrekken. Ze zijn hierbij uniek in hun standpunt over museumarchitectuur.* (van Berkel & Bos, The museum of the twenty-first century in Buy me a Mercedes-Benz, Actar, Barcelona, 2006, p 3-575)



hellingen van de legende kamers die verschillende perspectieven genereren



zicht op de helling

## DE WERELD VAN EN ROND MERCEDES BENZ

De wereld waarin dit project tot stand komt is volgens Aaron Betsky een wereld waarin alles draait rond het begrip *flow*. In een wereld overspoeld door de stroom van mensen, goederen en gegevens, waar alles dat vast is, smelt tot beweging en alleen stolt, voor een ogenblik, tot plastic, kneedbare vormen; in een periode waar tijd de essentie is, alle plaatsen in elkaar overvloeien, en zelfs persoonlijkheden vloeiend zijn, een tijdperk waarin het loont een vaartuig te hebben, in die tijd en plaats heeft UN Studio een monument aan het begrip vloeibaarheid ontworpen. Het museum is een vloeiende vorm dat beweging optekent. Je ervaart het pas als je er rond wandelt en er door loopt. (UNSTUDIO & HG MERZ, *Buy me a Mercedes-Benz the book of the museum*, Actar, Barcelona, 2006, p10)

Het museum bevindt zich naast één van de snelwegen die van de buitenwijken naar het centrum gaan en in de nabijheid van een wisseling met een ander belangrijke autoroute. Het wordt dus door duizenden pendelaars per dag gezien en het wordt benaderd door duizenden anderen die met de auto het

museum komen bezoeken. Dit is zowel gedaan voor de zichtbaarheid als voor de bereikbaarheid. De locatie is dus logisch aangezien het museum datgene huldigt wat er zich elke dag op die wegen afspeelt. Ook het begrip flow wordt op deze manier verantwoord. Een snelweg wordt immers gekenmerkt door een stroom van auto's.

„Ons museumontwerp probeert de vragen betreffende de identiteit van Mercedes-Benz, de ervaring van autorijden, de auto in het algemeen en de hedendaagse ervaring van een museum te beantwoorden.” legt Ben van Berkel uit. Tobias Walliser, die eveneens deel uitmaakt van het ontwerpteam, geeft vervolgens meer uitleg over het technische concept. „Vanuit technisch standpunt gezien, bereikt het ontwerp de limiet van uitvoerbaarheid. Het leidende principe in het concept was een gebouw te ontwikkelen op praktisch dezelfde wijze waarbij een auto tot stand komt: integratie van verschillende disciplines, het samensmelten van technische en esthetische vereisten en de strikte observatie van de grensvoorwaarde, terwijl tegelijkertijd innovatieve benaderingen worden toegepast.” (X, Dynamic architecture establishes new benchmarks, Mercedes-Benz Museum, geraadpleegd op 19 januari 2009 op <http://www.museum-mercedes-benz.com>)

Het museum lijkt als het ware op een voetstuk te staan. De architecten hebben ervoor gekozen het gebouw niet rechtstreeks op de grond te plaatsen, maar het terrein kunstmatig op te hogen tot zo'n 5m hoog. Dit wordt opgevangen door een gestaag hellend vlak, ontworpen als een landschap van mobiliteit, dat ervoor zorgt dat de bezoekers via een formele entree binnen komen, zonder hellingen of trappen te gebruiken. Het architectenteam wil hiermee het gebruik als museum uit laten steken boven de industriële omgeving. Het biedt hen ook de gelegenheid de benodigde diensten onder een kunstmatig grondvlak te plaatsen. Deze plint verbindt eveneens het museum met het centrum, waar de bezoekers daadwerkelijk het tentoongestelde product, Mercedes-Benz, kunnen kopen. De plint huisvest eveneens winkeltjes, restaurants en ontmoetingsruimten tussen beide kernen in. UN Studio heeft dus allereerst een landschap gecreëerd, waaruit het gebouw zich ontplooit.



het Museum met het kunstmatig verhoogde terrein.

## TENTOONSTELLINGSCONCEPT

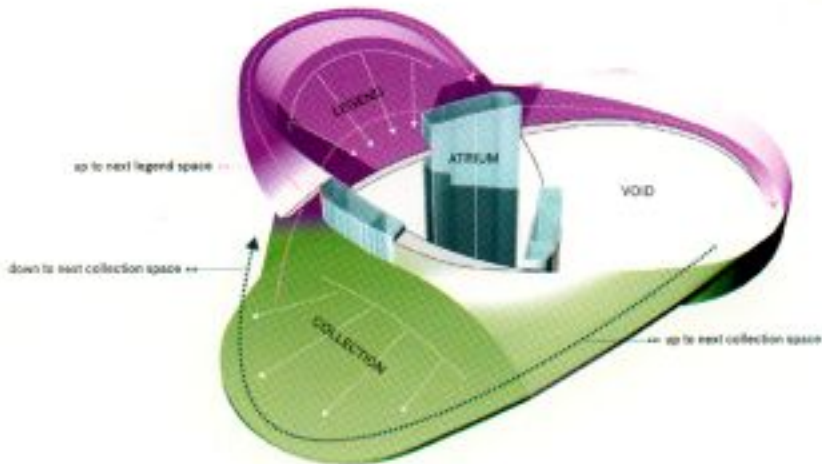
Onder begeleiding van oude filmbeelden die op de wanden van het atrium geprojecteerd worden, brengen drie futuristisch ogende liften de bezoekers naar het hoogste niveau in het gebouw. Van daaruit zijn er twee mogelijke tentoonstellingstrajecten. Eén route voert langs de zeven zogenaamde geschiedenis of legende kamers. Deze historische taferelen stellen die voertuigen voor die de grootste impact hebben gehad op het imago van Mercedes-Benz. Elke kamer markeert een tijdvak, die wordt weerspiegeld in de materialisering van het interieur. De route voert langs de binnenzijde van de gevel, die als achtergrond dient voor een doorlopende tijdsbalk, waarin feiten, anekdotes en bijzondere objecten worden getoond. Geklemd tussen de rondgaande hellingen zijn plateaus ingericht die de legendarische modellen tonen uit de enorme archieven van het automerk. Op zogeheten werkbanken worden de technische topprestaties uit de periode toegelicht. De bezoekers kunnen eveneens gebruik maken van een audioguide, die hun extra informatie geeft. Het tweede traject is die van de thematisch georganiseerde tentoonstelling. In de collectiekamers zijn de voertuigen verzameld op grond van hun gebruik en ze weerspiegelen de diversiteit van het merk. In dit museum overheerst het gevoel van de dagelijkse omgang met auto's en niet het gevoel van distantie tot de objecten. Elke collectiekamer is gewijd aan een ander thema. Alle tijdperken en mijlpalen van het merk en de geschiedenis van het bedrijf zijn opgenomen in het museum, van het begin van de individuele mobilisering via de geschiedenis van het voertuig, tot de toekomst van de auto. De schikking van de verschillende kamers gebeurt chronologisch van boven tot beneden.

Beiden trajecten lopen langs het atrium. De ruimtes langs het atrium worden gebruikt voor de legende kamers, de ruimtes aan de buitenzijde zijn de collectie kamers. Ze hebben ook elk hun eigen sfeer: extravert voor de collectie kamers met een lichtblauwe vloer, natuurlijke belichting en introvert voor de legende kamers met een donkere vloer en kunstverlichting. Tijdens de afdaling kan de bezoeker op elk moment van route wisselen. Dit komt doordat de twee trajecten onderling verweven zijn. Beide routes eindigen gezamenlijk in een overweldigende setting met het thema 'races and records'.



links: introverte sfeer van de legende kamer  
rechts: extraverte sfeer van de collectie kamers

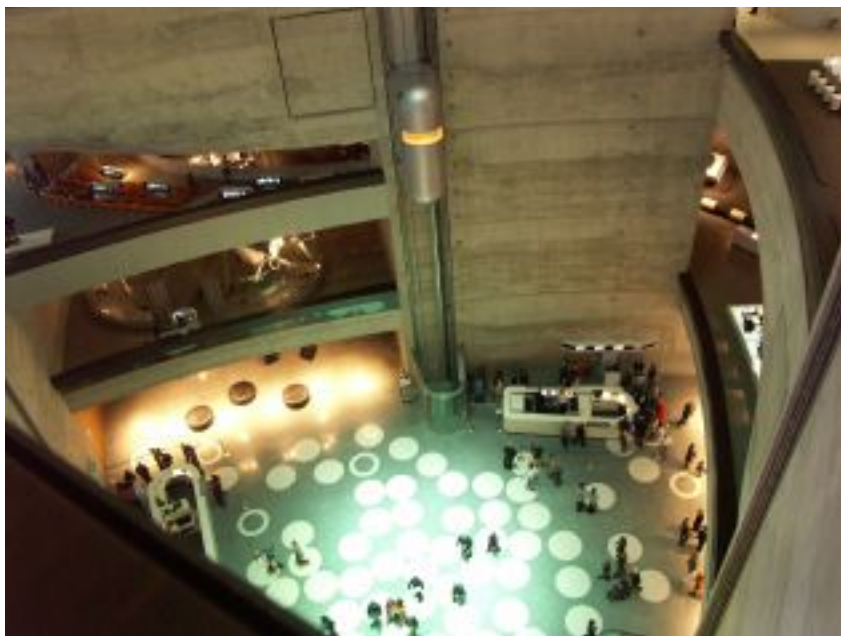
Hier hangen de snelste modellen, die het merk heeft voortgebracht, tegen een strip asfalt als schilderijen aan de muur. Langzaam verandert de asfaltstrip tot een curvebocht waarin een indrukwekkende uitstalling van klassiekers opgesteld zijn. (Frijters, E., Mercedes Benz Museum Stuttgart, Architectenweb 2006, geraadpleegd op 20 januari 2009 op [http://www.architectenweb.nl/aweb/redactie/redactie\\_detail.asp?s=1&iNTypeID=29&iNID=7503](http://www.architectenweb.nl/aweb/redactie/redactie_detail.asp?s=1&iNTypeID=29&iNID=7503) & UNSTUDIO & HG MERZ cfr supra)



schematische voorstelling van het atrium, de collectie en legende kamers

De chronologie van de auto ontvouwt zich langsheen een spiraalvormig traject, dat gecompenseerd wordt door horizontale platformen, die rust voorzien. Het verhaal van de auto op dergelijke ruimtelijke wijze verhalen, in plaats van eenvoudigweg de objecten op te hangen of naast elkaar te plaatsen, is volgens UN Studio als het ware het verhaal van de automobilititeit vertellen. Beweging en de machines die dit met zich voortbrengen, zijn inherent aan het museum en zijn inhoud. De verering van de machine zit reeds diepgeworteld in architectuur; vele architecten wilden de efficiëntie, de technologische intelligentie, de compactheid, het moderne karakter van machines in hun gebouwen nastreven. UN Studio pakt het anders aan door in hun museum de machine zelf tentoon te stellen. Zodra men zijn pad vervolgt, verdwijnt het object langzaam uit de belangrijkste gezichtshoek. Geleidelijk aan wordt het achterwege gelaten. De machines blijven op hun plaats, de bezoeker is in beweging. Dit is op zich ironisch aangezien deze auto's gemaakt werden met als doel de beweging voor hun rekening te nemen. Nu zijn zij het die de mens in beweging brengen. Zo beweert het architectenduo dat het maar liefst zes uur zou duren om elke auto, elke tentoongesteld item van de eindeloos kronkelende tentoonstelling te zien. Er zouden zelfs verscheidene bezoeken nodig zijn om het gebouw te kunnen begrijpen. Op elk punt is het moeilijk de eigen precieze positie te weten. Het gebouw blijft zich ontfouwen, blijft de bezoeker verrassen.

Maar... je kunt er je weg niet kwijtraken. Dit was daadwerkelijk zo. Je kan je precieze positie in het gebouw moeilijk inschatten, vermits je constant van kant wisselt. Echt verdwalen kun je niet, want de hellingen werken sturend waardoor je altijd automatisch de eindmeet zult bereiken. (UNSTUDIO & HG MERZ cfr supra)



zicht op het atrium

## KLAVER EN HELIX – TWEE FACTOREN VAN HET ARCHITECTURALE CONCEPT

Een eerste aanzet van het ontwerp bestond uit een schematische voorstelling van een doorlopende, in elkaar grijpende set van hellingen waarlangs de architecten het publiek willen laten bewegen voorbij de auto's. Deze klaverbladstructuur vindt niet alleen zijn oorsprong in een poging te beantwoorden aan het tentoonstellingsconcept, maar ook in het logo van het bedrijf. Deze structuur werd uiteindelijk de werkelijke structuur van het gebouw. Een klaverblad heeft van nature uit een leegte in zijn midden en dit kenmerk hebben de architecten ingevuld met een driehoekig atrium, die de kern vormt. Van deze kern vertrekken afwisselend enkele en dubbel hoge halve cirkelvormige verdiepingen, waardoor een driezijdige, afgerond gebouw ontstaat. Het is een ruimtelijk complex concept, dat nooit openlijk gemanifesteerd wordt. De klaver is niet zichtbaar binnenin het museum; het is zuiver een constructief model dat een enorme hoeveelheid aan vrijheid levert. Binnenin het atrium bevinden zich drie vaste kernen. UN Studio koos voor een dubbele helix als programmatisch model.



Beide strengen lopen om het atrium heen. Deze twee trajecten kruisen elkaar voortdurend, waardoor ze dus de verwevenheid van een DNA-streng nabootsen en de bezoeker de kans geven van traject te veranderen. (X, Digital modernity in fair-faced concrete, opus C., Keulen, editie februari 2008, p. 18-25)

Het uiteindelijke ontwerp is een combinatie van het logo, set van hellingen en structuur van een klaverblad



Het duo vertelt ons ook dat in dit project bewust gekozen is voor schuine lijnen om mobiliteit, gevoel van richting en de communicatie tussen mensen in het gebouw te stimuleren. Het gebruik van hoeken in muren, vloeren en plafonds geven het oog een focuspunt; het herhalen van deze elementen, hoe paradoxaal ook, resulteert in omgevingen die als rustig ervaren worden. Dit voel je als bezoeker ook daadwerkelijk aan. De herhaling van een bepaald patroon, het creëren van een zekere ritmiek, geeft het gevoel dat de ruimte te beheersen is, te vatten. Dit geeft inwendige rust. Buiten schuine lijnen maakt het duo van Berkel en Bos ook gebruik van gebogen lijnen. Het samenvoegen van schuine oppervlakken met symmetrisch gebogen lijnen, dat tot asymmetrische ruimten leidt, zijn zowel in de plannen als in de gevels aanwezig. De samensmelting van gebogen lijnen en schuinen lijnen leidt tot geplooid oppervlakken – het grote architecturale thema van de jaren '90. Deze plooiingen, normaal zichtbaar toegepast, worden hier als het ware onzichtbaar doordat ze een deel zijn van de constructie, de uitrustingen die daglicht voorzien en de inrichting. De structuur van het gebouw wordt als het ware een beeldhouwwerk. Hier vinden we eveneens de vergelijking van de snelwegen terug, wiens hellende structuren de lucht ingaan ter ere van de automobiele maatschappij.

In tegenstelling tot een klassiek gebouw heeft het museum geen duidelijk te onderscheiden basis, midden en top. Het gebouw kent geen beslissende, eenduidige schaal en de architecten versterken dit gevoel door het gebouw te bekleden met een gladde huid die eveneens weinig schaalgevoel prijsgeeft.



toegang tot het museum

## VERGELIJKENDE STUDIE

Niet zozeer het iconische uitzicht van een museum maakt een museum geweldig. Het succes van een museum hangt af van de vindbaarheid en de toereikendheid van zijn interne organisatie. Om de unieke structuur van het Mercedes-Benz Museum uit te leggen, zal er een vergelijking gemaakt worden met drie gebouwen die voor verandering hebben gezorgd in de museumarchitectuur van de 20<sup>ste</sup> eeuw. Deze drie gebouwen hebben het duo van Berkel en Bos beïnvloed bij het ontwerp. Niet zozeer de vormgeving, maar wel de omgang van de desbetreffende architecten met constructie en techniek. Een eerste museum is de Nationale Galerij van Mies van der Rohe te Berlijn, die wordt gekenmerkt door tentoonstellingsruimten met een grote overspanning. Hetzelfde effect van vrije ruimten die in elkaar overvloeien, is toegepast in het Mercedes-Benz Museum, mogelijk gemaakt door zijn complexe draagconstructie. Dit constructiesysteem is geïntegreerd met het circulatiesysteem, dat zijn inspiratie vond bij het Guggenheim van Frank Lloyd Wright te New York. Tegenover de enkelvoudige afdaling in het Guggenheim introduceert UN Studio het model van een dubbele helix. Evenals in het museum van Rogers en Piano beweegt het publiek buiten om de tentoonstellingszalen. Hier loopt de route echter binnen de gevels van het gebouw. Bij de collectiekamers wordt de circulatie blootgesteld aan het daglicht om zo de omgeving erbij te betrekken en een uitnodigend gebaar te zijn naar het publiek. Het Centre Pompidou was een revolutie in de architectuur door zijn spel met technische installaties.

Het Mercedes-Benz Museum echter verheft de installaties tot de status van architectuur, niet door ze zichtbaar te laten maar door ze op te nemen in de ontwerpfilosofie. Ze zijn dus niet open en bloot opgehangen aan de constructie zoals in het Centre Pompidou, maar juist onzichtbaar weggewerkt en volledig geïntegreerd in de constructie. Wat betreft de vormgeving is er enige gelijkenis met het Guggenheim museum. Dit komt door de gelijksoortige aanpak wat betreft circulatie. Ondanks deze gelijkenissen is het Mercedes-Benz Museum op z'n minst uniek te noemen. (Frijters, E. & UNSTUDIO & HG MERZ cfr supra)

## ALGEMEEN STRUCTUREEL SYSTEEM

UN Studio vertrok van een schets, een schets die in een vorig tijdperk zou leiden tot een serie van afzonderlijke ruimten, geconstrueerd met kolommen en vloerplaten. Deze schets kan met behulp van de huidige kennis van technologie en stabiliteit rechtstreeks vertaald worden naar een 3D-ruimte in gegoten en versterkt beton. De computer is hierbij een essentieel werkinstrument, aangezien die in staat is om de gewenste effecten in kaart te brengen om zo oplossingen te genereren. UN Studio werd voor de structuur, al van bij de wedstrijdphase, bijgestaan door de ingenieur Werner Sobek.



grondplan met in het rood de drie vaste kernen

Het gebouw kent een symmetrische plattegrond en heeft de vorm van een drieledig klaverblad. Het gebouw is geconstrueerd in een spiraalvorm; de verticale lasten worden verdeeld enerzijds via de drie kernen, die zich in het interieur van het gebouw situeren, en anderzijds via de muren en kolommen in het gevelvlak. Het gebouw is bijna volledig ter plaatse gestort geweest.

De configuratie van de verschillende tentoonstellingskamers verschilt van verdiep tot verdiep. Dit is ten gevolge van de draaiing die de dubbele helix inhoudt. Een horizontale versterking wordt bereikt via drie kernen, die met elkaar gekoppeld zijn door middel van de omgevende structuren. Hierdoor zijn bijkomstige ondersteunende kolommen niet nodig. De vloeren en de plafonds van de tentoonstellingsruimten zijn composiet stalen vloeren, met een overspanningbreedte tot 33 m. Ze bestaan uit stalen liggers met hoogtes van 80 cm tot 100 cm, waarop een betonnen plaat van 20 cm. Om de bouwbelasting te verminderen, is bewust gekozen voor stalen liggers.

Elk standaard verdiep bevat één legende en één collectie niveau, die overal 1,08m lager ligt dan het geassocieerde legende niveau. De legende niveau is aan de buitenkant door een ringbalk omgeven. Dit niveau wordt gekenmerkt door een helling, die de omtrek volgt, via dewelke de bezoeker naar de volgende legende niveau beweegt. Deze hellingen werken samen met de zogehete twist elementen, die tot de collectie kamers behoren. De gebogen glazen gevel wordt ondersteund door de kolommen in de gevel. Ze zijn hellend naar binnen en hebben een complexe dwarsdoorsnede. Het zijn geprefabriceerde gewapende betonnen elementen of als het structureel noodzakelijk is, een composiet constructie met een interne stalen kern.

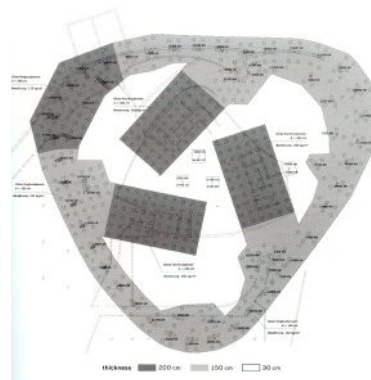


stalen composiet vloeren

links: tetrapods  
rechts boven: sche-  
matische weergave  
van de typen kolom-  
men  
rechts onder: gepre-  
fabriceerde betonnen  
kolommen



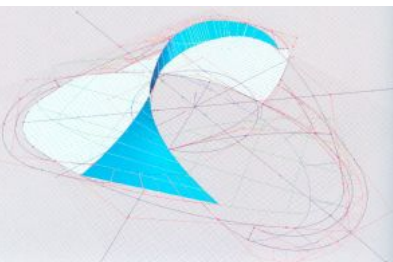
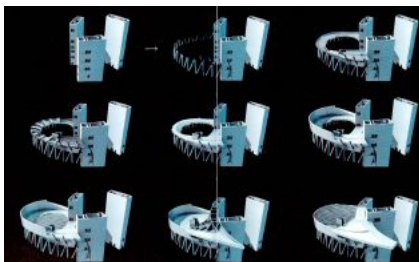
De prefab gewapende betonnen kolommen bevinden zich op het gelijkvloers en op het kelderverdieping. Deze kolommen hebben een zeshoekige doorsnede, met afmetingen 1,6 m op 0,8 m. Ze hebben een helling van  $70^\circ$  tot  $90^\circ$  en hoogten tot 8 m. Ze zijn uitgevoerd in zichtbeton. Vanaf verdiep E2 zijn de kolommen naar elkaar toe gekanteld. De zichtbare oppervlakken zijn trapeziumvormig. Ook zij hebben een zeshoekige doorsnede. Dan zijn er nog de zogenaamde tetrapods. Ze hebben de vorm van een omgekeerde Y, dat uit het vlak komt, met hoogtes tot 14 m. Deze zijn nodig voor het afdragen van de horizontale lasten van de vloeren van de collectie kamers. Het gebouw bevindt zich op een voormalige steengroeve. Hierdoor moest het gebouw zonder al te diepe funderingen worden geconstrueerd om zo grondafval en mineraal afval gescheiden te houden. Door deze beperkingen zijn de funderingsplaten op bepaalde plaatsen 2 m dik, waaronder zich korte palen bevinden. (opus C & UNSTUDIO & HG MERZ cfr supra)



linksboven: positie van de funderingspalen  
rechtsboven: funderingsplaat

## LEGENDE HELLINGEN

Van bijzonder belang zijn de vijf ongeveer 70 m lange legende hellingen, die als gewapende betonnen balkvormige liggers een halve cirkel vormen en ondersteund worden door de gevelkolommen. Ze zijn slecht gebogen volgens één as. Er worden ook tussenschotten gebruikt, binnen in de helling om zo de grote belastingen te verdelen naar de kolommen. Technische systemen, waaronder ventilatie en sprinklers worden geïnstalleerd in de overblijvende holle ruimte. Op volgende figuren zie je hoe deze hellingen zich situeren in de algemene structuur, wat hun vormgeving is en hoe deze samenwerkt met de twist.



links: opbouw van de legende helling  
rechts: samenwerking tussen legende helling en twist

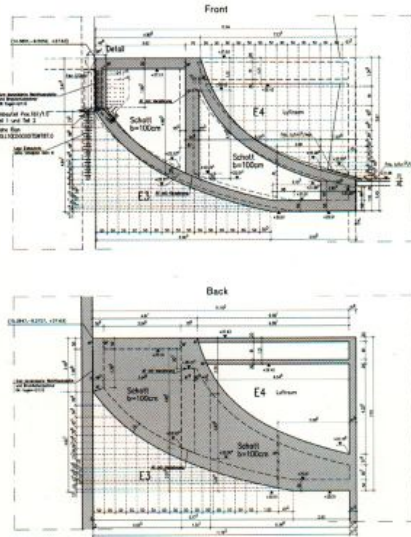
## TWIST EN TURN

Een twist bestaat uit twee verdraaide oppervlakken, die samen een verdiepingshoge balkvormige ligger vormen. Ze heeft een vierkante doorsnede en is vastgemaakt aan een kern in het midden van het gebouw. Het breidt zich uit naar buiten toe en het bereikt de gevel in een smal en langwerpige sectie, verdraaid tot het een helling is van 20°. De binnen- en buitenwelling van deze ligger zijn dubbel-axiale gebogen oppervlakken, waarvan de buitenste van hoge kwaliteit zichtbeton is. Ze zijn bovendien de meest essentiële onderdelen van de constructie. Er werd omwille van de complexiteit van dit constructie-element een team aangesteld die zich ermee bezighield. Iedere twist unit moet niet alleen zijn eigen gewicht dragen, maar eveneens de lasten van de vloerplaten in de legende en collectie kamers. Vervolgens worden deze lasten naar de centrale kernen en de kolommen in de gevels overdragen. Binnenin deze elementen bevinden zich de technische ruimte en installaties. De vorm van de twist werd ontwikkeld door middel van assemblage van drie-dimensionale bekistingen. Er werden maar liefst 150 individuele panelen voor de binnenwelling gebruikt. Om de lasten te verdelen en om het lichaam van de balkvormige ligger te versterken werden binnenin een systeem van stevige en versterkte tussenschotten en ribben met diktes tot 1 m aangebracht. (opus C & UNSTUDIO & HG MERZ cfr supra; e-mailverkeer met Heinlein Frank en Schwarz Markus; Sobek, W., Klein, D., & Winterstetter, T., *Hochkomplexe Geometrie das neue Mercedes-Benz Museum in Stuttgart*, Beratende Ingenieure, 2005, p. 15-21)

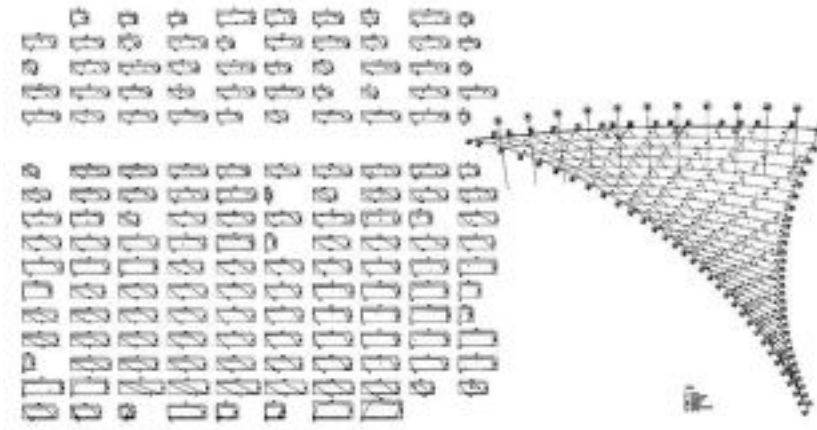
## BEKISTING

Bij de twistelementen lijkt echter geen gebruik gemaakt te worden van dubbele bekisting. Er wordt allereerst een substructuur opgesteld. Dit is prefab bekisting, die vervolgens uitgerust wordt met bekleding. 9 mm dik betonplex panelen, die op maat gesneden werden met behulp van CNC-freesmachines, werden gebruikt als bekleding. Betonplex panelen zijn vrij soepel en makkelijk plooibaar. Deze bekleding zal het beton een gladder uitzicht geven en naadvorming proberen te beperken. Op deze bekleding worden de nodige wapening en leidingen voor allerlei installaties aangebracht. Vervolgens wordt het beton gestort tot het wapeningsnet verdwenen is. Daarna wordt het manueel afgestreakt. Het beton werd een zekere consistentie gegeven zodat ze voldoende plastisch was. Tot een bepaalde hellingshoek is het mogelijk het beton zo te storten en met de hand uit te strijken. Indien de hoek te groot wordt, moet bekisting gebruikt worden. Het bekomen van een gladde oppervlakte bij deze dubbel gebogen elementen was een hele uitdaging voor het team. Hierdoor werd het maken van de bekistingelementen al in een vroeg stadium van het ontwerp opgenomen. De basis voor het vervaardigen van de bekistingelementen waren 3D data modellen, die zowel de bovenste als de onderste panelen, het wapeningsnet en alle aangrenzende elementen

behandelen. 2 dimensionale plannen waren ontoereikend voor het begrijpen en het uitvoeren van de complexe geometrie. Om deze oppervlakken eenvoudig te kunnen vervaardigen, werd een speciale procedure ontwikkeld dat toelaat de dubbele bogen te ontwikkeld met vlakke gesneden elementen, die elastisch vervormd zijn en in de gewenste vorm geperst worden.



prototype van de twist bij de rechte helling zijn verschillende stornaden te zien, omwille van de grote hellingshoek



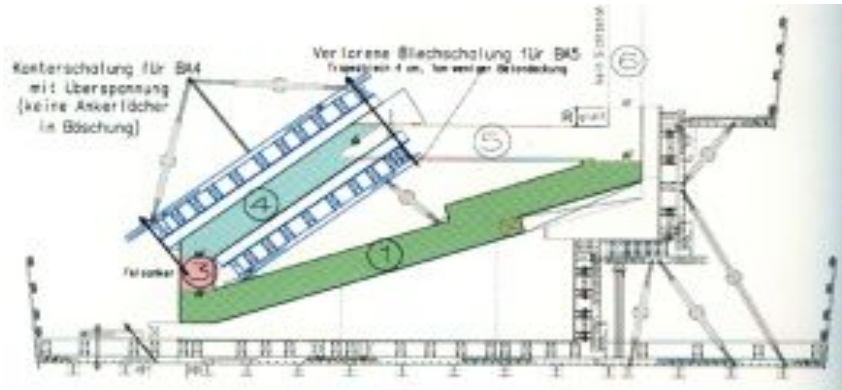
bekleding op de bekisting, met de computer uitgewerkt

Over het bekisten van de hellingen is weinig informatie terug te vinden. Aan de hand van volgende foto's kan een gelijkaardig proces vastgesteld worden als bij de twist elementen. Hier lijkt wel dubbele bekisting toegepast te worden.

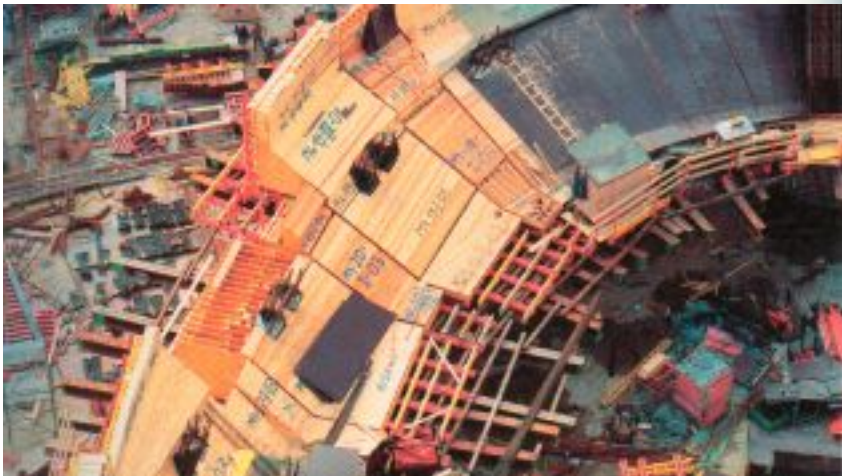




verschillende fases bij het storten van de twist.



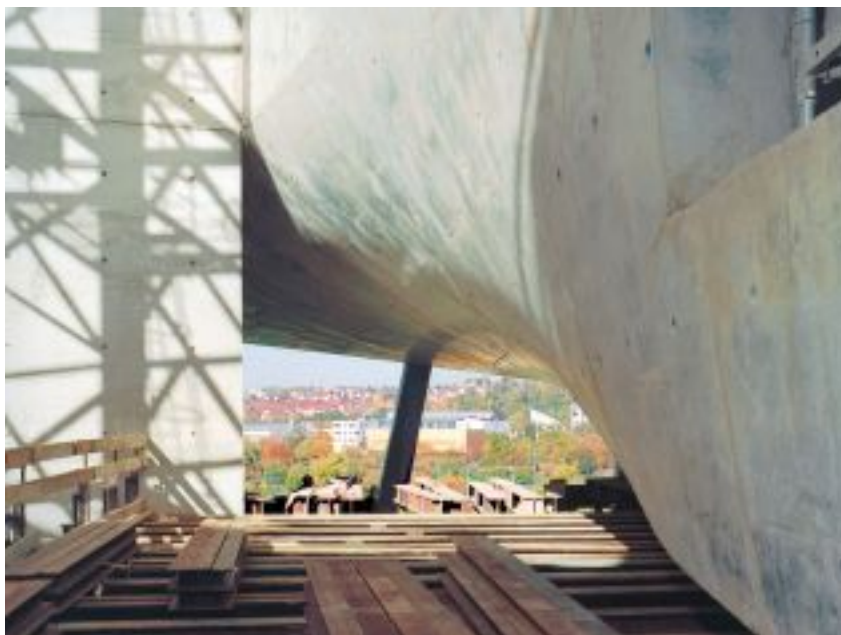
het gebruik van dubbele bekisting bij de legende hellingen



bekistingsplaten met daarop zwarte betonplex platen.

## MATERIAALCONCEPT

Dergelijke complexe geometrie kan niet anders uitgevoerd worden dan met ter plaatse gestort beton. Het bekomen van een glad betonoppervlak was een uitdaging die ze al in meerdere projecten hadden aangegaan. Een voorbeeld hiervan is het Möbius huis. De hoofdreden voor het behouden van het betonnen uitzicht schuilt hem in de tentoonstelling. Een contrastrijke achtergrond is efficiënter dan een achtergrond die even glanzend en afgewerkt is als de tentoongestelde auto's.



onderkant van de twist, bij de overgang tussen twee legende kamers

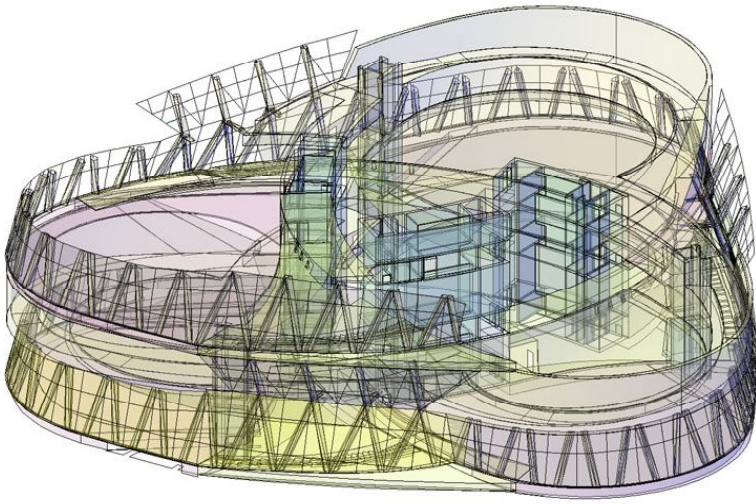
## TUSSENKOMST VAN DE COMPUTER

Het museum moest in een tijdspanne van slechts 3 jaar gerealiseerd worden. Dit vraagt natuurlijk de nodige planning en het gelijktijdig doen plaatsvinden van processen. Op de wedstrijdphase volgde een fase van zes maanden pre-planning, om zo risico's te verminderen betreffende kosten, timing en het ontwerpconcept, het onderzoeken van financiële varianten en het voorgeschreven budget tegemoet te komen voordat groen licht gegeven kon worden voor planning en realisatie. UN Studio streeft naar wat zij een 'inclusieve organisatie' noemt: een integraal ontwerp waarin tijd, gebruik, circulatie, constructie en alle andere systemen samensmelten. In het magazine *Move* werd hierover het volgende gezegd: „*The inclusive organisation absorbs all aspects of a project; its material and virtual systems and its underlying values are all taken into the equation.*”

Denken in individuele elementen wordt vermeden ten gunste van het grote geheel. Alle onderdelen komen op hetzelfde moment tot stand. Dat wil zeggen dat er geen tijdverschil of ruimtelijk onderscheid bestaat tussen constructie en interieur en dat de technische installaties, zoals verwarming- en koelingselementen, zijn opgenomen in de betonnen structuur. Door deze manier van ontwerpen kan aan de korte bouwtermijn voldaan worden.

Aangezien de korte deadline, bestond de enige oplossing erin de geometrie van het gebouw zo volledig mogelijk te controleren aan de hand van de laatste computertechnologie. Een 3D-model 'het moeder model' werd gecreëerd, dat gebaseerd was op een herwerkte versie van de 2D geometrie voor het wedstrijdontwerp. Dit model werd beheerd door Arnold Walz en UN Studio. Arnold Warz is een computer specialist die bij het bureau designtoproduction werkt. De gehele geometrie van het gebouw werd geconstrueerd als een parametrisch model om zo de grenswaarden van de uitvoerbaarheid te bepalen. Dit model maakt het mogelijk om alle soorten van veranderingen snel en efficiënt door te voeren en de resultaten van deze wijzigingen worden onmiddellijk toegepast op alle andere aspecten van het gebouw. Een grote technische uitdaging was de exacte afmetingen voor de 6500 stukken schuine glas te vinden opdat die optimaal zouden passen. Andere aspecten die door het moeder model gecontroleerd worden, zijn de openingen voorzien in de dubbelgebogen betonnen vloer- en muuronderdelen voor elementen zoals sprinklers en lichtarmaturen, en de metalen gevelbekleding. Indien de geometrie niet zo streng beheerd werd met een 3D-model, dan zou er dergelijke vrijheid in architectuur niet zijn. Het beheer van het moeder model vermindert het risico op fouten en misrekeningen, het zorgt ervoor dat er op een economisch verantwoorde wijze wordt omgegaan met materialen, en het maakt het bouwproces bestuurbaar. Dit wordt digitale duurzaamheid genoemd.

Buiten de computer speelden ook werktekeningen een belangrijke rol bij het bouwproces. Deze waren belangrijk in de communicatie met de verschillende bouwpartners. Voornamelijk bij het verwezenlijken van complex gevormde elementen, waaronder de twist en de hellingen, waren deze tekeningen een noodzaak. Een voorbeeld hiervan is het grote eigengewicht die deze elementen kennen. Die konden alleen in beperkte mate worden opgevangen door de reeds voltooide structuur. Het eigen gewicht van ongeveer 2500 ton per twist of per helling werden afgevoerd naar de basisplaat via vaste frames, vergelijkbaar met die van bruggen. Dit vereist natuurlijk uitgebreide berekeningen en een goede planning van de werkzaamheden. Er werden bovendien een hele hoop sneden en plattegronden gemaakt om zo te kunnen begrijpen en te illustreren hoe de krachten afgedragen werden. Deze illustraties waren ook de basis voor de verdere ontwikkeling van het interieur van het gebouw en de montage van de gevel.



parametrische 3D-model

## BOUWFYSISCHE KWALITEITEN

Aangezien het gebouw één groot compartiment is, moest er ander systeem voorzien worden om de brandveiligheid te verzekeren. Het gekozen systeem is een kunstmatig opgewekte cycloon, die bij brand rook onttrekt. De rook wordt uit de tentoonstellingsruimten gehouden door luchtdrukverschillen in te voeren doorheen het gehele gebouw. De rook wordt dan via het dak afgevoerd. Door die technologische innovatie is er dus geen behoefte aan een rookcompartimentering, die het concept van de eindeloze ruimte zou hebben doorbroken. In het gebouw zijn volgende installaties aanwezig: ventilatie, elektrische systemen, sprinklers, betonkernactivering voor koeling en verwarming, rookmelders, verlichting en geluidsystemen. Ze zijn allen geïntegreerd in het gebouw. Niets is zichtbaar aanwezig. Alle kanalen voor het ventilatiesysteem zijn geïntegreerd in de 3-dimensionale gebogen structuur. De luchtbehandelingsunits, die twee verdiepingen bedienen, worden ingevoegd in de holle ruimten binnenin de betonnen hellingen van de legende kamers. In de vloerplaten zelf lopen de sprinkler-, licht-, elektrische installaties en de rookuitlaat parallel met de stalen liggers, waardoor hun tussenkomst en ruimtelijke indringing in de tentoonstellingsruimten tot een minimum beperkt worden. Het meest spectaculaire kenmerk is het atrium. Deze doet dienst als een schoorsteen, waarin verse lucht circuleert en daglicht tot diep in het gebouw voorzien wordt. (Johnson, M., Mercedes-Benz contains world record artificial tornado, Autoblog geraadpleegd op 22 januari 2009 op <http://www.autoblog.com/2007/10/26/mercedes-benz-museum-contains-world-record-artificial-tornado>)





# UNREALISED

MUZIEKFORUM  
GENT, BELGIË  
TOYO ITO

# BLURRING KROOK MUZIEKFORUM GENT, BELGIË TOYO ITO

## PROJECTOMSCHRIJVING

In 2001 werd in Gent een internationale architectuurwedstrijd uitgeschreven. De stad had een duidelijke vraag/ambitie voor de site Waalse Krook te Gent: ontwerpen van een Forum voor Muziek, Dans en Beeldcultuur, een cultuurforum voor de 21<sup>ste</sup> eeuw. De site nu is verloederd en verwaarloosd. De stad hoopt door de grondige aanpak en herinrichting van dit stadsdeel aan de bocht van de Schelde, het weer te doen bruisen van leven en activiteiten. Het Forum moet een nieuw baken worden in de stad, een memorabel stuk architectuur waarvoor toeristen en cultuurconsumenten naar Gent zouden afzakken. Aan de hand van deze 'landmark' wil de stad het cultuurtoerisme aanzienlijk verhogen. Het ontwerp van Willem Neutelings won officieel, terwijl nadien vooral over de inzending van Toyo Ito gesproken werd. Er werd dan toch uiteindelijk gekozen voor het ontwerp van Toyo Ito, omdat het Gentse stadsbestuur vond dat dit een project was met een bredere uitstraling. Voorlopig is er nog geen doorbraak in deze zaak. Komt het Forum er of niet? De nabije toekomst zal het uitwijzen.

In een krantenartikel van 6 november 2008 werd meegedeeld dat het idee van een Muziekforum definitief verlaten wordt. Gerard Mortier, die de voortrekker en bezieler van het project was, wou dat op de site van de Waalse Krook een spectaculair nieuw muziekforum zou verrijzen, maar al snel liep het project vast op financiële en artistieke bezwaren. Een alternatief dat ter sprake kwam, was een bibliotheek voor de 21<sup>ste</sup> eeuw. Dit project kon al op meer sympathie en erkenning rekenen van de betrokken partijen en is nu reeds in de startblokken gezet. Het hart van de site zal een multimediacentrum worden en de nieuwe stedelijke bibliotheek zal er zich huisvesten. Het is dan ook bijzonder jammer dat het project van Toyo Ito moest plaatsruimen voor het idee van de bibliotheek. Het Muziekforum had een voorbeeldfunctie kunnen vervullen in Europa en de wereld. Voor de stad Gent zou het een interessante economische en culturele aantrekkingspool kunnen betekenen. (Van der Speeten, G., De Krook neemt een nieuwe start, De Standaard, 2008, p. 48)

Toch zullen we in onderstaande studie het gebouw bespreken aangezien het project toch heel wat internationale lof kreeg en het een voorbeeld is van hoogstaande architectuur.



## TOYO ITO IN BEELD

De Japanse architect Toyo Ito werd geboren in 1941 in Seoul, Korea. Vlak na zijn geboorte verhuisde hij naar Suwa-shi Nagano in Japan. Hij studeerde Architectuur aan de Universiteit van Tokyo. Na het afronden van zijn studie in 1965 werkte hij tot 1969 bij de architect Kiyonori Kikutake, één van de grondleggers van het metabolisme. (metabolisme is Japanse architectuurstroming met flexibiliteit en tijdelijkheid als kernbegrippen) In 1971 begon Ito in Tokyo zijn eigen bureau, Urban Robot genaamd. In 1979 veranderde hij deze naam in Toyo Ito & Associates, Architects. Tot op heden realiseert het bureau projecten over de hele wereld. Naast zijn werkzaamheden als architect is Ito gastdocent aan de Columbia University en de University of North London.

## BLURRING ARCHITECTURE

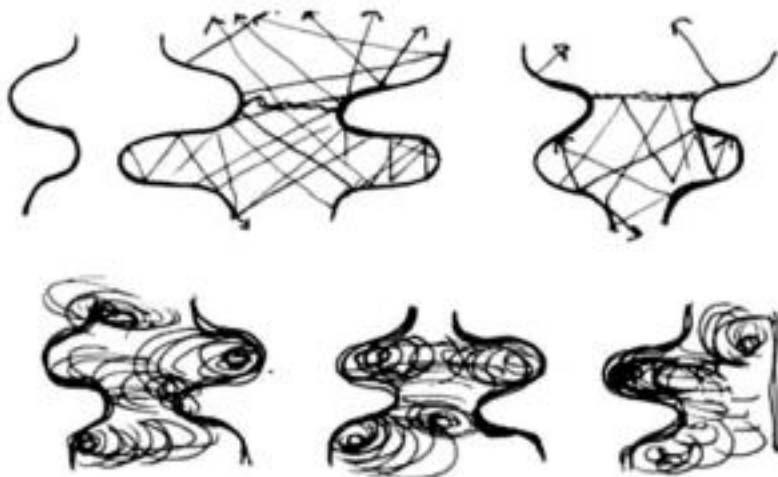
Toyo Ito is een architect die zich radicaal openstelt voor het hedendaagse, de levensstijl van nu en de gevolgen van de kapitalistische consumptiemaatschappij. Voor Ito is de klassieke architectuur voorbijgestreefd en kan die niet meer worden opgenomen in een stad die volledig gefragmenteerd, vloeibaar en dynamisch is. Hij vindt dat het huis er zijn symbolische betekenis verloren heeft en dat de notie van identiteit van de plek geen enkele zin meer heeft. Ito initieert hiermee het begrip van vloeibare, zwevende architectuur. Deze staat voor de vormgeving van de ruimte in een wereld die minder en minder materieel wordt, hoewel architectuur onderhevig blijft aan de zwaartekracht en nog steeds bestaat uit materie. Die wil om efemere architectuur, homogene, transparante en immateriële ruimten te maken, leidt Ito naar een diepgaande materialenstudie en een precieze toepassing ervan. Waar zijn eerste werken referenties vertonen aan de betonarchitectuur van Tadao Ando en iets later de hightech-invloed van zijn stagemester Kazuo Shinohara merkbaar is, is Ito op zoek naar een hedendaagse interpretatie. Technologie is daarbij een belangrijk onderdeel. Zo zal hij in zijn projecten voornamelijk met transparante en vederlichte constructies werken. Zijn werk wordt dan ook vaak als 'zwevende architectuur' omschreven, omdat zijn gebouwen los lijken van de zwaartekracht. Een gebruikelijke term voor zijn architectuur is Blurring architecture of zoals hij het zelf omschrijft: *"Blurring Architecture" is architecture that unsettles. By pursuing two kinds of architecture at once I am now attempting to 'blur' the field of architecture. In one instance by making 'hings' visible to the extreme - and in the other by purely spatializing the flow of "signs"* (Ito, T., *Blurring Architecture*, tentoonstellingscatalogus, Suermondt-Ludwig-Museum, 1999, Nederlandse vertaling naar aanleiding van de tentoonstelling van 18 februari tot 26 maart 2000 in deSingel, p 17-22 ) Hierbij experimenteert hij graag met nieuwe materialen, licht en transparantie, waardoor hij op een eigentijdse manier refereert aan de lichtheid en doorzichtigheid van de traditionele Japanse bouwkunst.

Hier lijkt Toyo Ito een hedendaags probleem aan te halen. Door het fenomeen van de globalisering, verliezen meer en meer steden hun eigen culturele identiteit. Dit om (zaken- en handels)reizigers en toeristen zich thuis te laten voelen door te werken met terugkerende architectuurconcepten en -elementen. Tijdelijkheid en flexibiliteit zijn kernbegrippen geworden. Het is begrijpelijk dat Toyo Ito hierop inspeelt in zijn architectuur, maar is het niet net de taak van de architect een project zodanig te concipiëren dat het inspeelt op de unieke culturele identiteit van een plek?

## BLURRING DE KROOK

Het concept van het gebouw zit vervat in het begrip choreografie van geluiden. Hieruit werd het begrip geluidskamer/klankkast gekozen dat de basis van het ontwerp vormt. Hoe zo een klankkast precies werkt, wordt in volgende omschrijving duidelijk: een klankkast is een holle kamer in het lichaam van een instrument, zoals een viool of cello, dat de resonantie van een toon versterkt.

Deze schetsen leggen duidelijk het principe van een klankkast uit. Toyo Ito benut dit principe ten volle door het tot de basisvormgeving van zijn gebouw te maken. De algemene lay-out van het gebouw bestaat uit ononderbroken



basisprincipe vormgeving

verticale en horizontale krommingen. Hiermee proberen de architecten eenheid te creëren. Deze lay-out zorgt er eveneens voor dat er als het ware een labyrint van publieke ruimtes, foyer, wandelgangen en trappen gecreëerd wordt. Ook de geluidskamers op zich vormen een akoestisch labyrint. Deze geluidskamers kunnen aan- en uitgeschakeld worden door het openen en sluiten van tussenwanden. Hierdoor kan een diversiteit aan ruimte gecreëerd worden.

Het gebouw is dus in staat zichzelf te transformeren naar gelang de behoefte van een concert. Zo is er dus variatie mogelijk van een fantastische akoestische ervaring in de hermetisch gesloten toestand van een geluidskamer tot een verbazingwekkend bereik van onderling op elkaar afgestemde experimenten eens de geluidskamers worden geopend. Om het in de woorden van de architecten te formuleren: het Forum wordt deel van een choreografie van geluiden en voorstellingen in een labyrint van uitwisselingen. De interferentie, de verstrengeling tussen repetitieruimtes, technische studio's, atelierruimtes voor experiment en laboratoria en de ruimtes voor het grote publiek is vernuftig en vloeiend opgebouwd. De publieke betrokkenheid en de artistieke exploratie worden hiermee gestimuleerd. Zowel de spektakelzaal als de omliggende zones zijn ruimtes waarvan de vormgeving als het ware een ode aan klank, beweging en beeld zijn geworden. (X., Toyo Ito, *Beyond the Image: Forum for Music, Dance and Visual Culture*, Ghent, A+U, 2005, p. 68-115)

Het labyrintgehalte van het gebouw zal zeker zijn effect niet missen zolang het de bezoekers blijft boeien en verrassen, maar kan al snel tot de nodige frustratie leiden indien men gedesoriënteerd raakt.

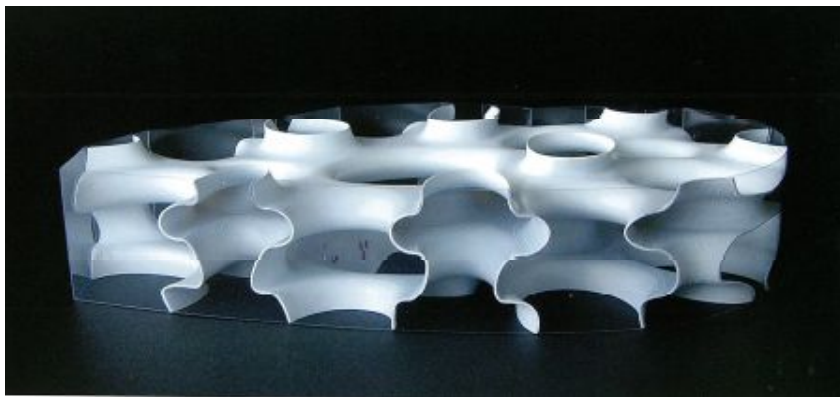


zicht op het auditorium

De naam van het project "De Krook", afgeleid van het woord kreuken, verwijst naar een buiging, een kromming in het vlak ... en die naam weerspiegelt zich eveneens in het ontwerp: gebogen ringvormige draagstructuren, welke het typische kenmerk zijn van deze fluïde architectuur aan het water... De opbouw alleen al is op die manier een ode aan de plek, "de Krook".

De gevels hebben de architecten transparant gemaakt zodat het innerlijke mechanisme van het systeem ook naar de buitenwereld toe zichtbaar wordt.

Ter hoogte van de begane grond kan het publiek op verschillende plaatsen deze “stedelijke grot”, waarmee het gebouw wel eens vergeleken wordt, binnen lopen. Hiermee wil Ito ervoor zorgen dat het gebouw letterlijk en figuurlijk deel uitmaakt van de stad, dat het eigenlijk het verlengde van de stedelijke ervaring is. Het stedelijke landschap vindt zijn weg in het geluidslandschap van het Forum en trekt bezoekers en nieuwsgierige voorbijgangers binnen in het labyrint van onderling verbonden pleinen en grotachtige holtes. Het gebouw is dus een aaneenschakeling van ruimtes die ontmoetingen induceren.



door deze ringvormige structuren staan meerdere verdiepingen met elkaar in contact

De toegang van het gebouw is voor iedereen vrij, maar toch hebben de architecten een kleine drempeloverschrijding gecreëerd. Dit is zo bewust gedaan en eveneens noodzakelijk als handeling, zodat het publiek aanvoelt dat het zich in een kunstlandschap begeeft, en dat men zich dus anders dient te gedragen dan op een openbare plaats. Het is echter zo dat de fysieke gewaarwording van die drempeloverschrijding zonder de nodige fysieke inspanning gebeurt. De architecten hebben het vormgegeven door drie-dimensioneel gebogen wanden aaneen te schakelen waardoor er een aangenaam, bedwelmend en opwindend gevoel ontstaat.

De schaal van het gebouw, die niet hoger is dan de nok van de naastliggende horecazaak en woonpanden, zet zich af tegen elke vorm van monumentaliteit, grootschaligheid of megalomanie. Het gebouw heeft als doel het vernieuwen van het stedelijk milieu, waarbij de doorlaatbaarheid en drempelloosheid (zowel letterlijk als figuurlijk) van het gebouw primeert op haar statuut als landmark en het gebouw het publieke leven naar binnenhaalt en intensifieert. In deze visie past perfect het concept van Branzi en Ito. Beiden zijn begaan met het idee dat de gebouwde omgeving er in de eerste plaats is voor zijn gebruiker en als taak heeft ontmoetingen, debat, kruisbestuiving te genereren.

Het labyrint-gehalte van het gebouw heeft een functie: de mensen die niet naar de voorstelling komen, kunnen zich in deze ruimtes ophouden, zodat bijvoorbeeld tijdens de pauze een interactie kan ontstaan tussen bezoekers en concertgangers. Niet alleen het publiek krijgt de kans om te participeren aan het culturele gebeuren, ook de reeds aanwezige culturele initiatieven in de stad: het gebouw, dat als het ware een open, transparante knoop is, symboliseert hiermee het netwerk, de verscheidenheid in aanbod, die er in de stad al aanwezig is...

Hieruit kun je concluderen dat de architecten het gebouw niet enkel ontworpen hebben voor een zeker doelpubliek, maar in hun visie op het gebouw verder dachten dan enkel de schaal dan de site zelf. Zo kent dit project niet enkel een architecturaal engagement, maar eveneens een sociaal en cultureel engagement. De Vlaamse gemeenschap zegt hierover het volgende: "Als Vlaanderen leefbaarheid en multiculturaliteit hoog in haar vaandel voert, heeft dit project de potenties deze kwaliteiten te symboliseren." Meer nog het gebouw kan een antwoord zijn op de stijgende verzuring en onverdraagzaamheid in onze maatschappij. Dit project overstijgt de pragmatische vraag naar "een mooie zaal voor 1800 toeschouwers" en schrijft zich hierdoor beter in in de reeds bestaande culturele infrastructuur en in het stedelijk gebied van het Gentse centrum. We zijn het onze kinderen verschuldigd te bouwen aan een hoopvol wereldbeeld. Het inplanten van dergelijk forumgebouw in een verpauperde stadsbuurt, kan nieuwe kansen creëren voor jong en oud, iedereen die zich geroepen voelt om te bouwen aan een leefbare toekomst in Vlaanderen. Dit gebouw wil de Gentse ambities, waarmaken en plaatst de Krook in Vlaanderen en in het wereldwijde web, en Vlaanderen in de Wereld. ( X; *Schaal, citymarketing of stadsvernieuwing?*; Gent; geraadpleegd op 28 oktober 2008 op <http://www.blurringdekrook.be/>)



het Muziekforum kent  
een labyrintvormige  
layout

## REALISATIE

Het spreekt voor zich dat dit ontwerp om een ander soort bekisting vraagt dan een doorsnee gebouw. Een mogelijke bekistingstechniek is de flexibele textielbekisting, aangezien textiel een flexibel materiaal is en in staat is zich te modelleren naar het ontwerp. Deze bekistingstechniek is een nieuwe tak in de wereld van bekisten. Er zijn echter nog geen grote projecten mee gerealiseerd. Toch kunnen textielbekistingen een mogelijk antwoord zijn op bekistingmoeilijkheden die zich bij dergelijk project zullen stellen. De resultaten van reeds uitgevoerde proeven zijn bemoedigend en er zit een enorm potentieel in deze techniek. Alvorens het principe van de techniek wordt uitgelegd, is het noodzakelijk het werkterrein te verkennen. Belangrijke aspecten en aandachtspunten bij het gebruik van textielbekisting zijn:

- 1) optimalisatie van de vorm, aangezien textiel voornamelijk op trek wordt belast
- 2) rekening houden met de betonbelasting
- 3) controle op vervormingen
- 4) textielkeuze
- 5) confectie van de textielbekisting

Modellering wordt gebruikt om patronen te snijden waarmee de eigenlijke textielbekisting wordt gemaakt. Dit ontwerp vraagt een specifieke vormgeving van het textiel en hierbij wordt er als volgt te werk gegaan: het volledige element wordt opgedeeld in textielstukken die worden samengevoegd of "geconfectioneer". De confectie kan gebeuren via lassen of stikken, en zou ook plaatselijke verstevigingen kunnen integreren. Naast de textielbekisting zelf is er doorgaans een hulpconstructie nodig om het textiel te ondersteunen en voor te spannen, wat bij de gekromde oppervlakten van dit project de werkmethode zal zijn. Bij het modelleren worden eveneens de spanningen berekend op het membraan en de krachten aan de randen.



links: berekening van de spanningen op het membraan  
midden: textielbekisting, voorgespannen met een hulpstructuur  
rechts: betonschaal uit spuitbeton

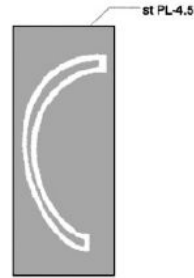
Wat betreft het textielgebruik, zijn vooral textuur, treksterkte en elasticiteitsmodulus bepalend. De textieltextuur bepaalt enerzijds de ontkistbaarheid van het element, anderzijds de textuur van het betonoppervlak. De elasticiteitsmodulus moet in overeenstemming met de belasting worden gekozen om vervorming bij het storten te beperken. Dit is een belangrijk aspect voor dit ontwerp aangezien het hier "schaalvormige oppervlakten" betreft.

Hierdoor moet gekozen worden voor textieltypes met een vrij hoge treksterkte (40-150 kN/m) bij een lage vervorming (18-30%). Er wordt hier ook best voor gecoat textiel gekozen aangezien deze doorgaans ondoorlaatbaar is en een egaal betonoppervlak levert. Belangrijk bij dergelijke vrije vormgeving is dat het textiel een aanzienlijke voorspanning nodig heeft en bijgevolg ook een stevige hulpconstructie. Wat betreft de betontechniek zal voor spuitbeton gekozen worden. Naast de integratie van een traditionele wapening met stalen staven kan er ook gekozen worden voor innovatieve textielwapening. (Cauberg, N., Organische vormen met textielbekisting, Cement, 2008, p. 14-17)

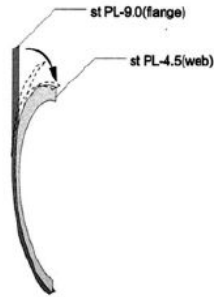
Bij het ontwerp van Toyo Ito wordt het gebruik van textielbekisting in vraag getrokken, aangezien de structuur van het Muziekforum afwijkt van de natuurlijk afvloeiing van krachten. Het zijn geen vormactieve structuren, zoals bogen of tentzeilen die wel vormactief zijn en gekenmerkt worden door een natuurlijke krachtsafdracht. Textielbekisting zal enkel optimaal werken bij vormactieve structuren. Een tweede probleem dat zich voordoet is de hydraulische druk van vloeibaar beton. Hierdoor zal de storthoogte beperkt blijven. 1 m<sup>3</sup> beton heeft een druk van 2,5 bar; textiel zal dit niet kunnen opvangen. Hierdoor lijkt het onwaarschijnlijk het gebouw van Toyo Ito te kunnen uitvoeren met textielbekisting.

Een tweede methode voor het construeren van dergelijke vrije vorm geometrie is aan de hand van een stalen geraamte, die de basis zal vormen. In onderstaande afbeeldingen zal het algemene principe uitgelegd worden. Deze methode maakt het mogelijk vrije vorm oppervlaktes te realiseren, zonder gebruik te moeten maken van ingewikkelde bekistingen.

Op een basis stalen structuur wordt streekmetaal aangebracht. Deze wordt gebruikt als steun, waarop wapeningsnet komen. Het beton wordt dan op het streekmetaal gespoten, totdat de wapeningsnetten volledig ingesloten zijn. Er kan maar liefst 150 mm dik aan beton tegelijkertijd gespoten worden. Deze dikke laag wordt aangebracht door gebruik te maken van de natte methode. Bij de natte methode is het water reeds toegevoegd en vermengd met de droge bestanddelen en het natte beton wordt al van de spuitmond aangebracht. Het voordeel van deze methode is dat er grotere controle is over de betonsamenstelling, aangezien het beton reeds in de fabriek wordt gemixt in het bijzijn van aannemers. Er wordt nog een tweede laag van 25 mm apart gespoten, zonder al te grote aggregaat om een gladde oppervlakte afwerking te bekomen. Deze wordt met de droge methode aangebracht. Bij de droge methode zijn de droge bestanddelen al vermengd. Water wordt pas toegevoegd aan de mix van de spuitmond. Het is echter van belang dat deze afwerkinglaag adequaat droogt om krimp te minimaliseren en dat de stevigheid gegarandeerd wordt. De betondikte zal variëren van 200 mm op de bovenste verdieping, tot 350 mm onderaan.



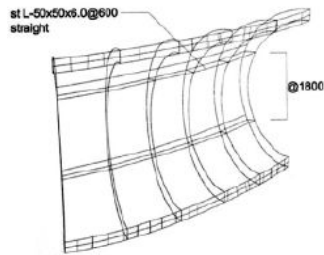
De gebogen basisvorm wordt volautomatisch uit een rechthoekige stalen plaat gehaald met de lasersnijder.



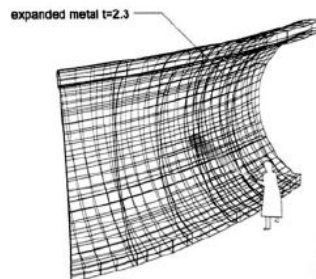
Een tweede plaat die dienst doet als flens, wordt bovenop de eerste plaat gelast. Deze volgt ook de kromming van de eerste plaat.



Ieder geraamte wordt dan zodanig geplaatst dat het de kromming van de geometrie volgt.



Ze worden onderling verbonden door een horizontaal geraamte toe te voegen. Zo wordt dus de basisvorm gecreëerd.



Bovenop deze stalen frame wordt aan beide zijden strekmetaal aangebracht. Hierop wordt het spuitbeton aangebracht.







# CASE STUDIES RESULT

# BESLUIT

Met free form architecture tracht de architect op een creatieve manier een antwoord te bieden op het programma en de omgeving. Hierdoor is elke voorbeeld van free form architecture uniek. Free form architecture wordt vaak tenonrechte onefficiënt ruimtegebruik verweten, maar in bepaalde gevallen vraagt het landschap om een andere invulling dan de traditionele, orthogonale architectuur. Vaak versterkt het gebruik van vrije vormgeving ook de functies en de intenties van het gebouw.

Waar vroeger schaalmodellen werden gebruikt om tot de gewenste vorm te komen en breuktesten werden uitgevoerd om de haalbaarheid van de constructie te testen zoals, wordt nu de computer gebruikt om vrije vormen te creëren en de constructie zo efficiënt mogelijk te concipiëren. Uit de tijdlijn en de besproken case studies wordt duidelijk dat in vele gevallen gekozen wordt voor ter plaatse gestort beton. Waarom wordt er nu precies voor deze techniek gekozen? Op basis van welke factoren wordt een keuze gemaakt? De redenen hiervoor zijn uiteenlopend en zijn verschillend voor iedere beton-techniek. Deze redenen kunnen esthetisch, economische of praktisch zijn. Het was vroeger zo dat de realisatie van het bouwwerk werd getekend door de technologische beperkingen van dat moment. De komst van computergestuurde machines en CAD/CAM software minimaliseren deze beperkingen en hebben ervoor gezorgd dat betonnen constructies efficiënter en kostenbesparender kunnen uitgevoerd worden.

Spuitsbeton werd initieel vooral toegepast als bescherming tegen instortingen bij diepe uitgravingen of voor de herstelling van beschadigde constructies. Meer en meer wordt het nu ook toegepast in gebouwen voornamelijk omwille van esthetische redenen. Zijn ruw uitzicht kan sterk contrasteren met andere materialen of kan ook een meer natuurlijk uitzicht geven aan grote wandoppervlakken. Spuitsbeton kan eveneens met verschillende kleuren toegepast worden. Spuitsbeton gebruiken heeft enkele voordelen. Zo kan er bespaard worden op dubbele bekisting. Er is slechts één drager nodig. Spuitsbeton kan ingeschakeld worden bij het realiseren van free form architecture, aangezien eender welke vorm of dikte mogelijk is. Bijkomend voordeel is dat het ingeschakeld kan worden bij projecten waar geen ruimte is voor bekisting. Spuitsbeton is wel specialistenwerk. Hierdoor kan de kostprijs oplopen.

Bij free form constructies zijn prefab betonelementen zelden mogelijk, omdat de bekisting een eigen unieke vorm heeft en geen onderdeel herhaald wordt. Toch zijn er projecten met prefab betonelementen uitgevoerd. Dit komt omdat de fabriek omstandigheden gunstiger zijn dan de werfomstandigheden. Door te kiezen voor prefab wordt bovendien de bouwtermijn ingekort wat de arbeidskosten en bouwkosten drukt. Het grote voordeel van ter plaatse gestort

beton bij het realiseren van free form architecture is dat gevouwen vlakken en vloeiende lijnen zonder naden of sporen van facettering kunnen verwezenlijkt worden. Ter plaatse gestorte betonnen constructies geven de ontwerper meer vrijheid en de mogelijkheid alle cruciale fasen op de voet volgen.

Ter plaatse gestorte vrije vorm constructies vergen meer materiaal, meer tijd en meer mankracht, en zijn dus duur. Ook de bekisting is niet standaard. Dergelijke projecten vragen op maat gemaakte bekistingen. Waar vroeger arbeiders ingeschakeld werden voor het vervaardigen en ineentimmeren van de bekisting, wordt nu speciale software gebruikt. Deze software tekent de bekisting nauwkeurig uit om vervolgens via computergestuurde fabricagemethoden geproduceerd te worden. Hierdoor kan voor een stuk op arbeidskrachten bespaard worden. Daarna wordt de bekisting met de nodige zorgvuldigheid op de werf gemonteerd. De vormvastheid en het afsteunen van de bekisting kunnen daarbij voor extra hoofdbrekens zorgen. Daarom zien we volgens Joop Paul, directeur van Arup Nederland, niet-traditionele en vrije vormconstructies in beton vooral in landen gerealiseerd worden waar de opdrachtgever veel geld heeft en arbeid goedkoop is. Op het moment zijn dat onder meer India, China en Dubai. Paul: "Wil men bij beton de kosten eruit halen, dan moet het productiemiddel, de mal, vele malen worden gebruikt. Daarom fabriceert men vaak alleen de standaardelementen als een vloer, een kolom en de rechte wanden."

Wapeningstaal wordt over het algemeen in het werk met de hand gevlochten. Kostenvermindering is bereikbaar met 'prefab wapening'. De gebogen vormen zouden ook in de fabriek kunnen worden gemaakt om vervolgens in het werk te worden samengebracht. Hier is echter weinig vraag naar zodat het wapeningswerk voornamelijk handwerk blijft.

Niet alleen op het gebied van wapening en bekisting wordt getracht de kosten te drukken, ook wordt gezocht naar een optimalisatie van het beton. Zo wordt sinds kort zelfverdichtend beton ingeschakeld. Dit vergroot de mogelijkheden van ter plaatse gestorte vormen. Er wordt ook geëxperimenteerd met glas- en staalvezel versterkt beton. Het Space Paviljoen te Londen is een voorbeeldproject van glasvezel versterkt beton. Bij de betonballon wordt gewerkt met staalversterkt beton. Vezelversterkt beton maakt slankere constructies mogelijk. Bovendien is het arbeidsintensieve staalvlechten hier overbodig. Dit beton maakt het bouwen makkelijker, maar de benodigde hoeveelheid staalvezels om het gebouw sterkte- en doorbuigtechnisch te laten voldoen, kan hoger oplopen dan wanneer gewerkt wordt met gevlochten staal. Het gebruik van vezelversterkt beton is daarom voornamelijk geschikt voor kleinere bouwwerken. Voor de grotere werken, zoals het Mercedes-Benz en Muziekforum, zal het gebruik van gevlochten staalwapening goedkoper zijn.

#### Mallen en bekisting

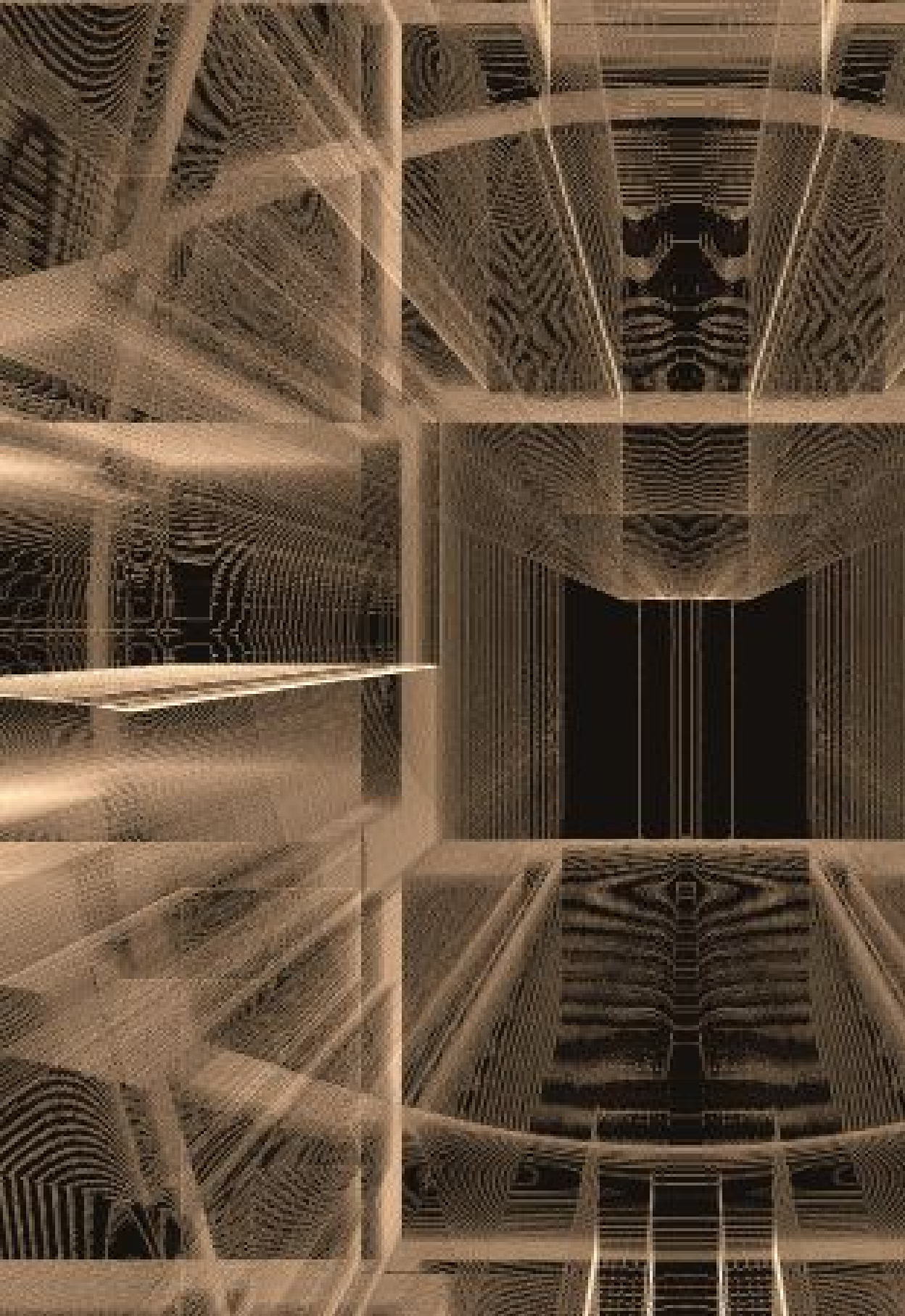
Zoals reeds vermeld werd, zijn prefab betonelementen zelden mogelijk. In

de toekomst kan hier verandering inkomen. In de TU Delft worden er reeds experimenten gedaan met een flexibele mal. De flexibele bekisting bestaat uit een raamwerk met individueel instelbare dempers. Daarop wordt een flexibele plaat gelegd. Zo zouden relatief snel en goedkoop vrije vormen in beton gemaakt kunnen worden. Er blijkt zich echter één probleem voor te doen: de randen van de betonelementen. Juist daar leidt een kleine maatafwijking al snel tot onnauwkeurige aansluiting van de delen. Eenmaal een oplossing gevonden wordt voor deze problemen, kan deze flexibele mal een waardevolle bijdragen zijn voor het efficiënt construeren van free form architecture.

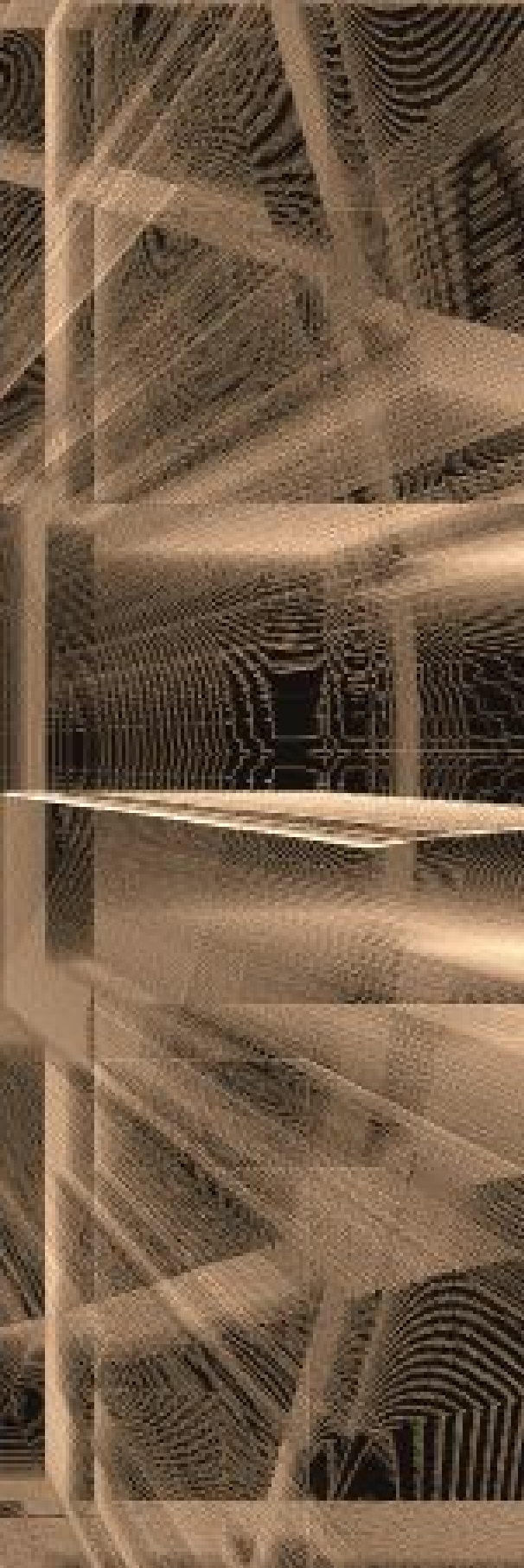
Ook de betonballon is een veelbelovende techniek. Nu kunnen met deze bouwmethode gewelven op industriële wijze in situ verwezenlijkt worden. Aangezien de technologie en techniek niet stilstaan, is het misschien mogelijk deze bouwmethode in te toekomst in te schakelen voor het realiseren van vrije vorm constructies.

Het ziet er dus naar uit dat in de toekomst prefab betonelementen en ter plaatse gestorte constructies meer en meer aan elkaar gewaagd zullen zijn. Hoe ingewikkeld de vormen ook zijn, technisch zijn ze volgens Joop Paul altijd te realiseren. Dit komt ook doordat veel vormen variaties zijn op of te herleiden zijn tot traditionele constructies met bogen of kolommen. Bovendien hebben de softwarepakketten het ontwerpen, tekenen, verifiëren van draagconstructies en de praktische realisatie van free form architecture vereenvoudigd. Free from architecture staat ook voor een uitdaging. Het zou naar duurzaamheid toe boeiend zijn de vorm in te zetten om de prestatie van een gebouw te verbeteren.









OR

# DIGITAAL VERSUS MANUEEL

# DIGITAAL vs MANUEEL

## INLEIDING

Door de Tweede Wereldoorlog nam de ontwikkeling van de computer een snelle vlucht. De periode hiervoor werd voornamelijk gekenmerkt door mechanische rekenmachines. In de jaren 1950-1980 werd de computer geleidelijk aan meer en meer ingezet in de professionele sectoren. Rond de jaren 1990 sloop de computer de huiskamers binnen. Nu is de computer niet meer weg te denken uit het leven en blijft ze terrein winnen.

Computers, aanvankelijk gebruikt voor ingewikkelde berekeningen betreffende lasten en constructie zijn stilaan uitgegroeid uit tot een creatief instrument. Nieuwe digitale ontwerpinstrumenten hebben zich in een hoog tempo geïntegreerd in de bouwwereld. Het groeit voornamelijk aan belang in die takken van de architectuur die met een complexe 3D-vormgeving werken: organische architectuur en vrije vormarchitectuur. De groeiende interesse kan alleen maar logisch verklaard worden door de evolutie van de technologiewereld en de veranderingen die het met zich meebrengt van de levenswijze en van het maatschappijbeeld. Dit heeft ongetwijfeld het denken over en het beoefenen van architectuur beïnvloed.

## PEN EN PAPIER?

Kijkend naar de tijdlijn van organische en vrije vormarchitectuur, komen telkens enkele grote namen terug. Opmerkelijk is dat deze eenlingen weinig navolging kenden. Dit komt doordat deze architectuurstromingen tot voor enkele jaren het werkterrein waren van genieën, aangezien dergelijke, vaak complexe vormen moeilijk op papier te zetten waren. Als het dan uiteindelijk lukte, werd de architect geconfronteerd met constructieve problemen waarop de standaardoplossingen geen antwoord meer bieden. Door de introductie van de pc kende de maatschappij de afgelopen twee decennia een drastische wending. Nieuwe digitale media hebben de architectuurpraktijk in een stroomversnelling gebracht. De klassieke hulpmiddelen, zoals geodriehoek, passer, T-latten, blauwdrukken, raken in ongebruik. Dankzij de evolutie van 3D-software, schakelen meer en meer architecten over naar digitale denkprocessen en ontwerpmethodes. Dit brengt eveneens nieuwe frustraties met zich mee. Ontwerp- en tekenkundig kan alles wat maar mogelijk geacht wordt. De frustratie ligt eerder in de constructieve uitwerking. Vaak komt hierbij een hoog kostenplaatje kijken, zodat er weinig ruimte voor experimenteren is. Zo wordt er nog al te vaak gebruik gemaakt van

traditionele draagconstructies, waardoor de free form architecture vaak gebruikt wordt als maquillagemiddel. Hierdoor krijgen cyberarchitecten vaak de naam van onrealistische dromers. Toch slagen een aantal architectenbureaus erin een eerste stap te zetten naar constructie en te zorgen voor vervaging tussen digitaal en realiteit.

## DRIE TYPEN SOFTWARE

De softwarewereld is een enorm uitgebreide en veelzijdige wereld. Om een duidelijk beeld te krijgen van de software die interessant en geschikt is voor free form architecture wordt een onderscheid gemaakt tussen drie types. Hierbij werd de thesis van Davy Franssens ter ondersteuning gebruikt.

Een eerste type is de basis software. Voorbeelden hiervan zijn Autodesk Autocad, Bentley Microstation... De meeste CAD-systemen; zoals Autodesk Autocad, Bentley Microstation, bevatten algemene modelleercommando's (curves, surfaces, solids). Een CAD-systeem biedt dus een uitgebreide set aan geometrische tools aan. Ze geven de ontwerper een hoge graad van expressie en vrijheid. Het laat de architect toe eender wat te tekenen. Dit in tegenstelling tot de CAAD-pakketten (Computer Aided Architectural Design, software speciaal ontwikkeld voor architecturale ontwerpdoeleinden) die werken met voorgedefinieerde elementen zoals ramen, deuren. CAD-software leent zich ideaal voor de conceptuele fase.

De algemene geometrische functionaliteit van deze basis CAD-software werd uitgebreid met een volledige 3D-modellering, de zogenaamde mechanische CAD-systemen. Ze vormen het tweede type software. Deze software kan gebruikt worden om de globale vorm van het gebouw, de omringende volumes en de individuele componenten te modelleren. Een voorbeeld van deze mechanische software is SolidWorks, waarbij van een 3D-vorm vertrokken wordt, die bewerkt kan worden. Een voordeel van deze mechanische software is dat het makkelijk kan samenwerken met CAM-programma's (Computer Aided Manufacturing). Deze programma's zorgen ervoor dat de computer kan toegepast worden bij de fabricage van onderdelen en producten. Mechanische software is bovendien geschikt om complexe ontwerpen naar de constructiefase te begeleiden. (X., Why SolidWorks?, geraadpleegd op 31 januari 2009 op <http://www.solidworks.com/sw/3d-software-solid-modeling.htm>)

Een derde type is de animatie-software. Deze kunnen ingeschakeld worden om de vorm van het gebouw te ontwikkelen, maar voor de planning en de fysieke realisatie zijn ze echter niet geschikt. Dit komt doordat deze software geen dimensionale accuraatheid kennen, aangezien in de animatiewereld maatvoering geen essentie is. Ze werken op basis van verhoudingen. Hierdoor worden ze vaak enkel in de ontwerpfase gebruikt. Een voorbeeld van het

kunnen van deze software is het creëren van renderings (een virtuele foto die een indruk of sfeer weergeeft van wat een architect in zijn technische tekening heeft ontworpen). Deze 'foto's' dienen als visuele hulpmiddelen om personen, die geen kennis hebben van technisch tekenen, een beeld te geven van hoe het in werkelijkheid zou kunnen zijn. De belangrijkste bijdrage van animatiesoftware is de integratie van de notie 'tijd'.

Bij het realiseren van free form architecture kan de ontwerper beter vanaf het begin van het ontwerpproces de basis CAD-software combineren met animatiesoftware, aangezien het van essentieel belang is om bij free form architecture onderzoek te verrichten naar kneedbaarheid van de vorm.

SketchUp is een softwarepakket dat door vele architectuurstudenten wordt gebruikt als een ontwerpinstrument. Dit programma is eigenlijk ontworpen voor "the conceptual stages of design". Toch wordt SketchUp vaak op een verkeerde manier gehanteerd: als een volwaardig ontwerpinstrument dat de stappen van eerste ontwerpschets tot definitieve uitvoeringsplannen volledig dekt. In essentie is het niets meer dan een digitalisering van papier en potlood. Met dit programma kunnen ook 3D-modellen gemaakt worden. Deze modellen dienen enkel ter visualisatie. Voor een verdere constructieve uitwerking kan beter overgeschakeld worden naar professionele CAD-softwarepakketten. Zij worden zodanig ontworpen dat de mogelijkheden oneindig zijn, waardoor de ontwerper aangespoord wordt zijn creativiteit aan te scherpen. (scriptie van Wout Sorgeloos, Digitaal ontwerpen & file-to-factory, Diepenbeek, 2006, p. 1-120)

De afgelopen jaren is er onderzoek verricht naar een nieuw type van architecturale CAD-software (onderzoek gevoerd door Smartgeometry). Het betreft een type dat de krachtlijnen van de drie eerder besproken types omvat. Naar verluid zijn er nog geen officiële versie op de markt. Toch zijn er twee pakketten die speciaal ontwikkeld werden voor twee architectenbureaus. Het pakket Digital Projects dat bovenop CATIA werkt, werd voor het bureau van Frank O'Gehry uitgewerkt. Generative Components, dat op zijn beurt gekoppeld wordt aan Microstation, werd speciaal voor het bureau van Foster+Partner vervaardigd. Deze twee softwarepakketten worden verder in de scriptie nog besproken. (scriptie Davy Franssens, File-to-Factory maakbaarheid versus virtualiteit, 2007, p. 1-100)

Het grote aanbod aan software houdt enkele gevaren in. Zo ontstaat er een steeds groter wordende groep van specialisten die in een bepaald digitaal vakgebied thuis zijn. Dit kan enkel vermeden worden doordat de architect zich persoonlijk engageert om over een uitgebreide basis van zoveel mogelijk deelassen te beschikken.

## DIGITALE ONTWERPINSTRUMENTEN

Digitale ontwerpinstrumenten zijn elementen die de softwarepakketten ter beschikking stellen. Ze weerspiegelen als het ware het kunnen van de software. De voornaamste elementen, met betrekking tot free form architecture, zijn non-euclidische geometrie, nurbs en parameters.

Een allereerste instrument is de non-euclidische geometrie. Wat deze geometrie interessant maakt vanuit architecturaal oogpunt, is de mogelijkheid om nieuwe concepten van ruimte te distilleren. Zo is het in deze ruimte mogelijk om op eenvoudige wijze vormen te beschrijven. Zo kan in een Riemanniaans concept, genoemd naar de wiskundige Riemann die het ontstaan van de niet-euclidische ruimte aantoonde, een kubus gemakkelijk in een blob veranderen, en vice versa, door de nodige parameters van de ruimte in dewelke ze gedefinieerd worden, te veranderen.

NURBS is een tweede instrument. NURBS is de afkorting van 'non-uniform rational B-spline'. NURBS kunnen een ruim aanbod van geometrische vormen tekenen, van een eenvoudige 2D lijn, cirkel, boog, of kromme tot de meest complexe 3D-organische vrije vorm oppervlak of volume. Door hun flexibiliteit en nauwkeurigheid, kunnen NURBS-modellen in elk deel van het ontwerpproces gebruikt worden: van illustratie en animatie tot de fabricage. Rhinoceros is een voorbeeld van NURBS-modellering voor Windows. Als we de website moeten geloven, kent Rhinoceros geen beperkingen. Rhino kan creëren, bewerken, analyseren, documenteren, renderen, animeren, en NURBS krommen, oppervlakken, en volumes vertalen, zonder beperkingen betreffende complexiteit, omvang of grootte. Met Rhinoceros kunnen ongeremd alle vrije vorm 3D-modelleringen gemaakt worden. Bij het modelleren van het digitale model voor het Mercedes-Benz Museum werd dan ook Rhinoceros gebruikt.

(McNeel, What is NURBS?, geraadpleegd op 5 februari 2009 op <http://www.rhino3d.com/nurbs.htm>)

Het organiseren van complexe architectuur vraagt om een duidelijke onderliggende geometrie. De chaos moet geordend worden. Om het ontwerp te kunnen ordenen, wordt geprobeerd van in het begin de onderliggende structuur in de vorm op te nemen. Dit gebeurt door middel van parameters. Hierdoor wordt het model een bundel van parameters en door zijn voorgedefinieerde parameters is ze ook aanpasbaar. Door dit model is de architect in staat meer controle over het bouwproces uit te oefenen.

De oudste betekenis van parameter is meetkundig: variabele; veranderlijke grootte. Vandaag de dag wordt het begrip gebruikt om duidelijk te maken dat een entiteit, eenmaal gegenereerd, makkelijk te veranderen is. Parametrische 3D-modellen verschillen van de gewone building models, waarbij elk aspect gedefinieerd en beschreven kan worden zonder aan andere delen van het model te raken. Bij parametrische modellen zijn de

verschillende aspecten afhankelijk van de relaties tussen de delen van het gebouw. Het voordeel hiervan is dat het volstaat enkele parameters te wijzigen om een grote verandering door te voeren. Dit wil zeggen dat deze wijzigingen gevolg hebben op het totale model. Hierdoor is het niet meer noodzakelijk de reeds getekende informatie handmatig aan te passen. Parametrische tools, die ontwikkeld werden om parametrische architecturale modellen te creëren, laten relaties toe tussen de aspecten in het model, zodat ze gedefinieerd kunnen worden, en parameters die de verschillende aspecten van het model controleren, zodat deze gedefinieerd en gewijzigd kunnen worden. Parameters kunnen dus gedefinieerd worden als toegeschreven regels die het gebouw moet volgen. (scriptie van Wout Sorgeloos en Davy Franssens, cfr supra)

Digital Project, gebaseerd op CATIA, en Generative Components zijn twee voorbeelden van softwarepakketten die met parametrische tools werken. Beiden zijn ideaal voor het oplossen van complexe geometrische ontwerpproblemen. Ze kunnen zonder problemen ingezet worden voor free form architecture te ontwikkelen. Generative Components voorziet een werkomgeving met standaard geometrie (lijnen, bogen, cirkels, volumes, oppervlaktes), die met elkaar gerelateerd, getransformeerd, gegenereerd en gemanipuleerd kunnen worden en dit door de gebruiker zelf. 2D en 3D geometrie worden op een logische wijze met elkaar verbonden. Elke wijziging in een component zal automatisch de anderen veranderen, maar wel in overeenstemming met de regels. Dit laat de gebruiker toe het ontwerp te verkennen en een reeks varianten te onderzoeken. Dit helpt de gebruiker in zijn zoektocht naar een innovierend ontwerp. Deze software steunt niet op vooraf vastgelegde regels. Sterker nog, de architect of ingenieur kan de relaties tussen componenten, op verschillende niveaus, vastleggen en dit geeft hen de mogelijkheid ontwerpalternatieven te verkennen, zonder het ontwerpmodel handmatig te heropbouwen. Deze software biedt de architect de mogelijkheid complexe vormen en structuren zonder enige vorm van beperking te verkennen. Creatieve architecten en ingenieurs kunnen nu een structuur modelleren, onafhankelijk van dimensie of geometrische configuratie. Wanneer het model voltooid is, kan het in een schematische vorm weergegeven worden om zo de ontwerpstrategie te controleren.

GenerativeComponents is een dus een software die met parametrisch design tools werkt. Dit geeft de ontwerper meer vrijheid, aangezien het model opgebouwd is uit parameters. Indien één parameter wordt gewijzigd, wijzigt het ook die parameters die hiermee verbonden zijn. De software is niet moeilijk te gebruiken. De architect moet wel in staat zijn logisch te denken en de nodige algebraïsche basiskennis bezitten. GenerativeComponents wordt nu reeds gebruikt door een aantal van 's werelds beste ontwerpers en universiteiten, waaronder Foster & Partners en Ove Arup.

Om een beeld te krijgen van de mogelijkheden van deze software, wordt een fictief voorbeeld uitgewerkt: Stel, je ontwerpt een nieuw dubbel gebogen dak en weet niet wat de beperkingen zijn van het programma. Je begint het dak intuïtief te tekenen, te verfijnen, te beeldhouwen met behulp van eenvoudige oppervlakken en volumes. Stel dat je dan een gedeelte van het dubbel gebogen dak wilt vervangen door glazen panelen. Met Generative Components kan het model intuïtief opgebouwd worden en achteraf kunnen op een logische manier onderlinge relaties tussen elke component gecreëerd worden. Nu kan de gebruiker commando's geven om zo het vereiste aantal en de configuratie van de glazen panelen te berekenen - zelfs de exacte afmetingen van elk paneel kunnen bepaald worden. Hierdoor kan maximale efficiëntie bekomen worden. Elke component moet geïdentificeerd worden en een reeks kenmerken - een component type, dat de eigenschappen bepaald - en 'Update Methodes', die zijn functie beschrijven, meegegeven worden. Een eenvoudig concept eigenlijk. Ieder component wordt geïdentificeerd en onderlinge relaties worden vastgesteld, die gewijzigd kunnen worden. Dit maakt het mogelijk uiterst complexe modellen te genereren. Met GenerativeComponents kan het model in kleinere, meer beheersbare grafische modellen verdeeld worden. Datgene wat de gebruiker zelf modelleert, kan evenwel de basis vormen van een nieuwe 'Generative Component' of feature genaamd. Een architect of ingenieur kan het model eveneens gebruiken om de geometrie voor te bereiden op de digitale fabricage. Hiervoor wordt een opengevouwen model gecreëerd dat associatief is met het ontwerpmodel, zodat veranderingen aan dit 'moeder' model automatisch weergegeven worden. GC is eveneens geïntegreerd met BIM, analyses en simulatiesoftware, waardoor feedback over bouwmaterialen, samenstellingen, systeemprestaties en milieu-omstandigheden kan gegeven worden. (Het Bouw Informatie Model ook (Building Information Model) ofwel BIM is een manier van ontwerpen en bouwen waarbij het gebouw of de constructie in een 3D-model en databank wordt opgebouwd. In de bouwwereld is prototyping bijna niet mogelijk. De bouw zelf is meteen het prototype, dit werkt fouten en dus kostenoverschrijding in de hand. Het 3D-model bestaat uit dynamische intelligente objecten. Het object weet van zichzelf wat het is en reageert op andere objecten en andere objecten reageren op het object. Dit zorgt er voor dat bij wijzigingen alle objecten waarop deze wijziging invloed heeft reageren en dit allemaal in de databank bijgehouden. Bij traditioneel ontwerpen veroorzaakten de wijzigingen vaak weer andere fouten en waren zeer arbeidsintensief en dus kosten bepalend. omschrijving gevonden op website van Itanex: [http://www.itanex.com/mainpage/203/202/203/Building\\_Information\\_Model\\_\(BIM\).html](http://www.itanex.com/mainpage/203/202/203/Building_Information_Model_(BIM).html))

GenerativeComponent helpt de architect en ingenieur om het meest efficiënte en meest innovatieve ontwerp te maken. Het is niet vergelijkbaar met Sketch-up, dat een 3D schetsende software is die vooral bruikbaar is in de conceptuele fase van het ontwerp. Het is ontworpen om de mensen op een eenvoudige manier 3D dingen te laten tekenen. GenerativeComponents vraagt echter meer training. (Chadwick, D., GenerativeComponents, SOFTWARE focus, 2007, p. 8-9 & X, GenerativeComponents, Bentley, geraadpleegd op 31 januari 2009 op [http://www.bentley.com/en-US/Markets/Building/GenerativeComponents/more\\_info.htm](http://www.bentley.com/en-US/Markets/Building/GenerativeComponents/more_info.htm))

## ANALOOG OF DIGITAAL?

Sinds het Philipspaviljoen op de Wereldexpo'58 in Brussel, was Frank O'Gehry één van de eerste architecten die met complexe architectuur werkte. O' Gehry heeft een eigenzinnige manier om te werk te gaan. Het ontwerpen bij O' Gehry gebeurt nog steeds analoog, dit wil zeggen door middel van handgemaakte maquettes in papier, karton, klei... De beste modellen worden dan door middel van een 3D-scanner ingescand. Het scannen levert een reeks van ruimtelijke gegevenspunten op. Op basis van deze gegevens wordt in CATIA het 3D-computermodel ontwikkeld. (CATIA staat voor Computer Aided Three Dimensional Interactive Application) Dit model laat toe de gegevens digitaal te manipuleren, zodat ze geometrische vormen opleveren die bouwbaar zijn. Als alle gegevens in het rastermodel aan alle termen, zoals programmavereisten, vorm en opmaak voldoen, dan wordt er een computermodel gemaakt, die gedurende het hele ontwerpproces aangepast kan worden. Als dit model voldoende informatie in een driedimensionaal gegevensbestand bevat, wordt het tot de digitale replica van het project gerekend. Vervolgens wordt op basis van dit model de draagstructuur opgemaakt.

Een andere werkmethode is het digitaal ontwerpen. Hierbij is de computer het ontwerp gereedschap. Dit proces wordt gekenmerkt door vijf opeenvolgende stappen: briefing, proces, vorm, digitale productie en ervaring. Bij briefing en proces worden de verlangens en wensen van de opdrachtgever in een proces omgezet dat door middel van computergestuurde krachten velden een vorm genereert. Achter deze vorm gaat wel een concept schuil. Willekeurige vormen zijn dus uit den boze. Van deze vorm worden enkele varianten gemaakt, elk met een ander doel: als presentatierender, voor de stabiliteitsberekening en tweedimensionale snedes als CAD-tekeningen. Een nauwe samenwerking met een ingenieursbureau is hierbij van essentieel belang, aangezien softwarepakketten niet alle vragen betreffende het ontwerp en de uitvoering kunnen beantwoorden. De verschillende partijen staan in contact met elkaar door middel van een browser. Bij de digitale productie wordt vaak beroep gedaan op computergestuurde regeling van machines. Dit gebeurt op basis van een programma dat meestal wordt gegenereerd in een CAM-systeem.

(scriptie Davy Franssens, cfr supra & X., Is digital design desirable, geraadpleegd op 5 februari 2009 op <http://www.designcommunity.com/discussion/24778.html>)

In het ontwerpproces van een bouwwerk dient de stap van analoog naar digitaal en terug meerdere malen gemaakt te worden. Dit is uitermate belangrijk opdat geen fouten zouden gemaakt worden tegen schaalverhoudingen, materialisering en maakbaarheid. Vaak situeren zich juist daar de problemen bij architecten die uitsluitend digitaal ontwerpen. Helaas, door de soms grote complexiteit van deze architectuur resulteert dit in tijdslopend handwerk, waardoor deze stap vaak overgeslagen wordt. Ook hierop heeft de softwarewereld een oplossing gevonden.



## RAPID PROTOTYPING

Bij het vervaardigen van fysieke modellen wordt rapid prototyping een voornaam begrip. Het wordt gebruikt voor processen die digitale 3D-informatie omzetten in fysieke objecten. RP is ondenkbaar zonder 3D-CAD. Om de transfer van CAD naar RP-programmeersoftware min of meer te standaardiseren wordt het volume voorgesteld in het STL-formaat. Het STL-formaat beschrijft een productvolume door het omsloten oppervlak te verdelen in een groot aantal driehoeken. Het exporteren naar STL of Stereolithografie of het verdelen van de vorm in driehoeken, wordt triangulatie genoemd. Na deze eerste confrontatie met het prototype, moet het ontwerp geoptimaliseerd worden met het oog op de latere constructiefase. Het is in deze fase dat veel architecten en ontwerpen stranden. Hierbij wordt de hulp ingeroepen van gespecialiseerde bureaus die zich enkel toespitsen op het adviseren en begeleiden van architecten naar de constructiefase. Designtoproduction is zo'n adviserend bureau voor de digitale productie van complexe ontwerpen. Hun voornaamste taken zijn:

- 1) organisatie. Ze implementeren gebruiksvriendelijke parametrischemodellen voor ontwerp en fabricatie op basis van professionele CAD-pakketten.
- 2) optimalisatie. Ze gebruiken innovatieve softwaretoepassingen om zo ontwerpideeën in overeenstemming te brengen met constructieve, structurele en functionele oplossingen.
- 3) vereenvoudigen. Ze rationaliseren complexe ontwerpen, gebaseerd op een volledig begrip van geometrie, productie know how en materialenkennis.
- 4) materialiseren. Ze coöpereren met fabricatie-experten om componenten van de complexe structuren door middel van computergecontroleerde processen te fabriceren.

UN Studio deed beroep op dit bureau voor de realisatie van het Mercedes-Benz Museum te Stuttgart. Designtoproduction stond in voor de organisatie van het gebouw door middel van de parametrisatie van het ontwerp. Ze hebben eveneens geholpen met het uitwerken van het 3D-model. (X., We realize complexity in architecture, designtoproduction, geraadpleegd op 27 oktober 2008 op <http://www.designtoproduction.ch/content/view/19/2/>)

## CNC

In de constructiefase wordt er enkel van computergestuurde fabricagemethoden gebruik gemaakt. Een belangrijk begrip hierin is CNC. Het staat voor Computer Numerically Controlled en het betreft de digitale sturing van werktuigmachines, die zorgen voor een snelle en nauwkeurige productie. Eenvoudig gezegd is het de manier waarop computers met machines communiceren. Lijnen en objecten getekend in CAD-software kunnen niet rechtstreeks aangewend worden om machines te bedienen. De elektronische componenten van een machine moeten instructies krijgen. Via codes wordt de machine meegedeeld welke acties het precies moet uitvoeren.





# DIGITAAL VERSUS MANUEEL BESLUIT

# BESLUIT

Bij het realiseren van free form architecture is de computer een onmisbaar hulpmiddel geworden. Ze geven de architect de mogelijkheid zijn ideeën te vertalen in 2D en 3D-modellen. Met behulp van de softwarepakketten kunnen bovendien alle stappen van het ontwerpproces beheerst worden. Toch schuilt er een gevaar in het gebruik van 3D-modelleringssoftware. Een gevaar van constructieve aard. Dit kan echter vermeden worden door vanaf het begin van het ontwerpproces een ingenieur onder de arm te nemen. Zo kan constructie-informatie tegelijkertijd met de ontwerpinformatie gegenereerd worden. Ook al kunnen gebouwen volledig digitaal geconcipieerd worden, het blijft noodzakelijk een terugkoppeling te maken naar tastbare modellen. Zo kunnen verkeerde ontwerpbeslissingen vermeden worden. Door de computer kan de ontwerper zijn creativiteit aanwenden om duurzame gebouwen te ontwikkelen. Dit komt doordat sommige softwareprogramma's op voorhand een aantal factoren kunnen inrekenen zoals materiaal en constructie. Dit draagt bij tot een efficiënt bouwproces. Toch kunnen pen, papier en schaalmodellen niet helemaal verbannen worden, aangezien ze een onmisbaar communicatiemiddel vormen in de uitvoeringsfase.







# DANKWOORD

Dank  
woord

# DANKWOORD

Ik zou deze scriptie willen beëindigen met iedereen te bedanken die mij geholpen hebben dit werk tot stand te brengen. Op deze manier kan ik dus zeker niemand vergeten. Bovendien wil ik nog een aantal mensen persoonlijk bedanken voor hun hulp. Te beginnen met de man die deze scriptie van begin tot eind begeleid heeft, Mr. De Meyer. Ook Harry Schutters, die mij tijdens mijn zoektocht in de bibliotheek altijd bijstond met de nodige raad en daad. Mr. Merx en Mr. Heinlein wil ik bedanken voor het ophelderen van onduidelijkheden omtrent mijn case studies. Mr Robert Wit van het bureau BB-con mag ik niet vergeten voor alle informatie die hij mij gemaïld heeft en voor zijn openhartigheid. Dank ook aan mijn familie voor hun steun, woorden van moed en het nalezen van dit werk. Als laatste wil ik zeker mijn vriend Dieter Verdoodt bedanken, voor al zijn werk en tijd die hij in deze scriptie gestoken heeft.





# BIBLIOGRAFIE

# BIBLIOGRAFIE

## 01 TIJDLIJN

### boeken en tijdschriften

Millais, M., *Building Structures: From Concepts to Design*, Taylor & Francis, 2005, p. 229-233

powerpoint van Anthonis Leen, Nivelde Joris, Van weert Boud en Rik Willekens, naar aanleiding van het seminarie bouwtechnisch concept 2007

Faber, C., *Candela und seine Schalen*, München Satz, München, 1965, p. 204-209

Nervi, P. L., *Structures*, F.W. Dodge Corporation, New York, 1956, p. 1-118

Wilschut, J., *BetonBallon geeft gewelfbouw weer toekomst: constructieprincipe gebaseerd op kettinglijn van Gaudí*, *Cobouw*, nov 2008, p. 31-33

Bekaert, G., *Los in de ruimte 1966-1970*, Dienst Stedenbouw en Planologie, Universiteit Gent, 1986, p. 52-55

Krissel, M., *Frederick Kiesler: inside the Endless House...*, University of Pennsylvania, 2003, p. 1-26

Petit, J., *Le livre de Ronchamp*, Les Cahiers Forces Vives/Editec, 1961, p. 119-143

Herwig, O., *Featherweights: light, mobile and floating architecture*, Prestel, Londen, 2003, p. 26-35 & van der Ree, P., *Organische architectuur: mens en natuur als inspiratiebron voor het bouwen*, Christofoor, 2000, p. 71-72

### Internet

BB-con, *BetonBallon*, Bingo bv, Nederland, geraadpleegd op 2 februari 2009 op <http://www.bingfo.nl/body.asp?id=16&modulewaarde=nieuws&moduleite mid=111>

Elman, K., *Frank Lloyd Wright and the Principles of Organic Architecture*, Essay, geraadpleegd op 14 november 2008 op <http://www.pbs.org/flw/legacy/essay2.html>

X, What is organic architecture?, *organicarchitect*, geraadpleegd op 15 november 2008 op <http://www.organicarchitect.com/organic>

X., Auditorium, Santa Cruz, Tenerife, Spain, geraadpleegd op 5 februari 2009 op [http://www.peri.de/ww/en/projects.cfm/fuseaction/showreference/referencecategory\\_ID/17/reference\\_ID/459.cfm](http://www.peri.de/ww/en/projects.cfm/fuseaction/showreference/referencecategory_ID/17/reference_ID/459.cfm)

Mayer, T., Under construction: Gehry Partners, LLP MARTa Herford, geraadpleegd op 10 december 2008 op <http://www.arcspace.com/architects/gehry/herford/index.htm>

X., Space leaves the AA, geraadpleegd op 7 februari 2009 op <http://cspacepavilion.blogspot.com/search>

## 02 CASE STUDIES

### boeken en tijdschriften

Devos, R. & De Kooning, M. , *Moderne architectuur op Expo '58 voor een humaner wereld*, Mercatorfonds, 2006, p 320-355

Verschaffel, T., *The wind blows hard but the sky remains blue... The message of Expo 58 in Expo 58 between utopia and reality*, Brusselse Stadsarchief, Brussel, 2008, p 73-95

Kint, J., *Expo 58 als belichaming van het humanistisch modernisme*, 010, Rotterdam, 2001, p. 10-50

Jencks, C., *Le Corbusier and the Continual Revolution in Architecture*, The Monacelli Press, New York, 2000, p. 313-315

Nijssse, R., *Le Poème Electronique se répète*, Cement, Cement&BetonCentrum, 2008, p. 9-13

Van de Voorde, S., De Meyer, R. & Taerwe, L., *Rijke erfenis van de Belgische betonarchitectuur*, Het Ingenieursblad, 2007, p 2-9

Van de Voorde, S.; De Meyer, M.; De Kooning, L.; Taerwe, L. & Van De Walle, R., *Design and Nature III, Sculpture house in Belgium by Jacques Gille*, Southampton, WITpress, pp. 49-59

Merx, L. & Holl, C., ... in die Jahre gekommen, *deutsche bauzeitung*, Leinfelden-Echterdingen, 2004, p 74-80

Willemys, G., *Betonexperimenten*, A+, 1999, p. 67-70

van Berkel & Bos, *The museum of the twenty-first century in Buy me a Mercedes-Benz*, Actar, Barcelona, 2006, p 3-575

X, *Digital modernity in fair-faced concrete*, opus C., Keulen, editie februari 2008, p. 18-25)

Winterstetter, T., *Hochkomplexe Geometrie das neue Mercedes-Benz Museum in Stuttgart*, Beratende Ingenieure, 2005, p. 15-21

e-mailverkeer met Heinlein Frank en Schwarz Markus; Sobek, W., Klein, D.

Van der Speeten, G., *De Krook neemt een nieuwe start*, De Standaard, 2008, p. 48

Ito, T., *Blurring Architecture*, tentoonstellingscatalogus, Suermondt-Ludwig-Museum, 1999, Nederlandse vertaling naar aanleiding van de tentoonstelling van 18 februari tot 26 maart 2000 in deSingel, p 17-22

X., Toyo Ito, *Beyond the Image: Forum for Music, Dance and Visual Culture*, Ghent, A+U, 2005, p. 68-115

Cauberg, N., *Organische vormen met textielbekisting*, Cement, 2008, p. 14-17

## Internet

X, *Le Corbusier, Kunstbus*, geraadpleegd op 15 juli 2008 op <http://www.kunstbus.nl/architectuur/le+corbusier.html>

X, *Philips-Paviljoen*, Stichting Alice, geraadpleegd op 15 augustus 2008 op <http://www.alice-eindhoven.nl>

van Berkel, B., *Ben van Berkel, co-founder UN Studio*, UN Studio geraadpleegd op 3 januari 2009 op [http://www.unstudio.com/studio/people &](http://www.unstudio.com/studio/people&)

X, *UN Studio – Ben van Berkel (Utrecht 1957) & Caroline Bos, Kunstbus* geraadpleegd op 3 januari 2009 op <http://www.kunstbus.nl/architectuur/ben+van+berkel.html>

Frijters, E., *Mercedes Benz Museum Stuttgart*, Architectenweb 2006, geraadpleegd op 20 januari 2009 op [http://www.architectenweb.nl/aweb/redactie/redactie\\_detail.asp?s=1&iNTypeID=29&iNID=7503](http://www.architectenweb.nl/aweb/redactie/redactie_detail.asp?s=1&iNTypeID=29&iNID=7503)



## O3 DIGITAAL versus MANUEEL

### boeken

scriptie van Wout Sorgeloos, Digitaal ontwerpen & file-to-factory, Diepenbeek, 2006, p. 1-120

scriptie Davy Franssens, File-to-Factory maakbaarheid versus virtualiteit, 2007, p. 1-100)

Chadwick, D., GenerativeComponents, SOFTWARE focus, 2007, p. 8-9

### Internet

X., Why SolidWorks?, geraadpleegd op 31 januari 2009 op <http://www.solidworks.com/sw/3d-software-solid-modeling.htm>

McNeel, What is NURBS?, geraadpleegd op 5 februari 2009 op <http://www.rhino3d.com/nurbs.htm>

X., GenerativeComponents, Bentley, geraadpleegd op 31 januari 2009 op [http://www.bentley.com/en-US/Markets/Building/GenerativeComponents/more\\_info.htm](http://www.bentley.com/en-US/Markets/Building/GenerativeComponents/more_info.htm)

X., We realize complexity in architecture, designtoproduction, geraadpleegd op 27 oktober 2008 op <http://www.designtoproduction.ch/content/view/19/2>



