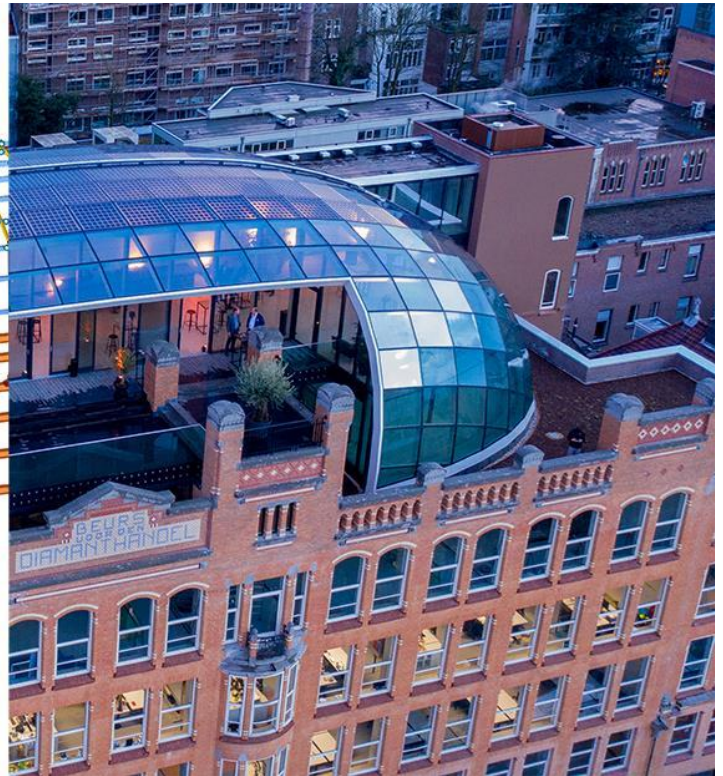
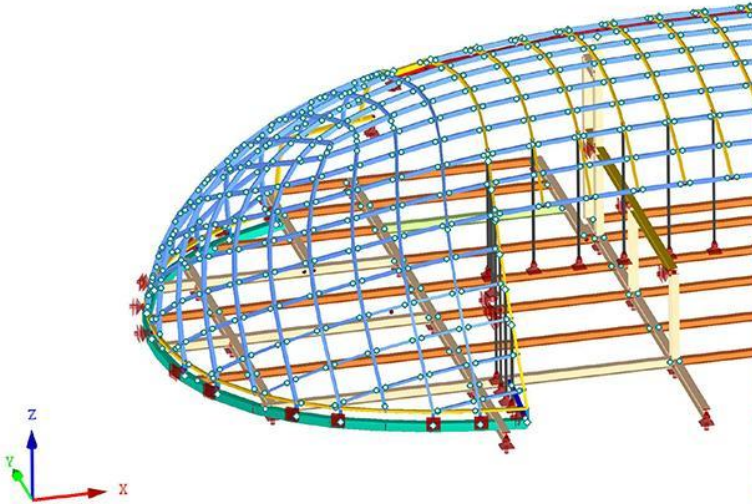


Lesprogramma parametrisch ontwerpen

Professionalisering in een holacratisch bedrijf



Onderzoeksrapport

10 februari 2022

Naam student: **Mark van Beelen**

Studienummer:

Telefoonnummer:

Onderwijsinstelling: **Haagse Hogeschool**

Opleiding: **Bouwkunde**

Begeleider: **J.K. Parlevliet**

Tweede lezer: **R.A. Nivillac**

Bij externe opdracht/ afstudeerplaats: **Octatube Nederland BV**

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie 'lesprogramma parametrisch ontwerpen'. Het onderzoek voor deze scriptie naar een trainingsmodule in een bouwkundig bedrijf is uitgevoerd voor het bedrijf Octatube. Deze scriptie is geschreven in het kader van de opleiding bouwkunde aan de Haagse Hogeschool. Vanaf september 2021 tot februari 2022 ben ik bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van de scriptie.

Omdat mijn ambitie is om na de studie bouwkunde docent wiskunde te worden, ben ik op zoek gegaan naar een opdracht binnen het specialisme constructieberekeningen, aangezien het rekenen daarvan mij altijd het meeste aansprak binnen de bouwkunde. Toen dacht ik aan Octatube, een bedrijf waar ik in mijn studie al meerdere keren mee in aanraking was gekomen. Daar kwam ik precies op het juiste moment met de juiste vraag, aangezien de constructeurs juist bezig zijn met het afdelingsbrede professionaliseren op het gebied van parametrisch ontwerpen. Hiermee komen mijn beide interesses; constructie berekenen en onderwijs, in één opdracht samen.

Bij dezen wil ik graag mijn naasten, familie en begeleiders bedanken voor hun grote betrokkenheid in dit proces. In het bijzonder Jort Winkel (namens Octatube) en Jeroen Parlevliet (namens de Haagse Hogeschool) wil ik bedanken voor hun intensieve begeleiding in wat voor mij een moeilijke tijd is geweest. Tijdens de gehele afstudeerperiode heb ik een aantal tegenslagen gehad, waar zij mij telkens weer doorheen hebben geloodst. Dankzij deze heren is er altijd grip op de situatie gebleven en is het uiteindelijk gelukt om deze scriptie tot een goed einde te brengen.

Ik wens u veel leesplezier toe

Mark van Beelen

Den Haag, 10 februari 2022

Samenvatting

Het steeds groter worden van parametrisch ontwerpen is een actuele ontwikkeling in de bouw. Zo ook bij Octatube, waar een deel van de constructeurs dit al toepast in het ontwerpproces. Door onbekendheid en onervarenheid met de software wordt deze ontwerpmethodologie door een deel van de constructeurs ook nog niet ingezet. Het doel van dit onderzoek is het achterhalen met welk lesprogramma de gehele constructie-afdeling van Octatube het parametrisch ontwerpen in ontwerpprogramma Grasshopper en de koppeling met het rekenprogramma RFEM effectief kan gaan inzetten in het werkveld.

De volgende onderzoeksvraag is hiervoor opgesteld: *'Wat is de bouwkundige meerwaarde van parametrisch ontwerpen binnen de projecten van Octatube en met welke didactische uitgangspunten en lesprogramma kan een constructeur het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM effectief in het ontwerpproces inzetten?'*

Hierbij is het aantonen van de bouwkundige meerwaarde van parametrisch ontwerpen het bouwkundige deel van de hoofdvraag en het ontwerpen van een lesprogramma het onderwijskundige deel. Het gehele ontwerpproces van het lesprogramma wordt aangevlogen als zijnde een bouwkundig probleem. Dat wil zeggen; er wordt van grof naar fijn gewerkt. Er wordt een programma van eisen en didactische uitgangspunten opgesteld. Vanuit deze documenten vormen zich de ontwerpcriteria. Vanuit de ontwerpcriteria ontstaat een uitvoeringsplan voor het lesprogramma als eindproduct.

Om de bouwkundige meerwaarde voor het bedrijf aan te tonen is er een onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van het bedrijf door de jaren heen en hoe parametrisch ontwerpen hiermee in verhouding staat. Uit het onderzoek is gebleken dat door de vooruitstrevende aard van het bedrijf en de complexe bouwwerken die het bedrijf wil realiseren het toepassen van parametrisch ontwerpen een essentiële ontwikkeling is in het ontwerpproces van Octatube.

Het onderwijskundige deel bestaat uit het opstellen van de didactische uitgangspunten met betrekking tot het lesprogramma. De uitgangspunten zijn; leerdoelen bevatten kernwoorden over inhoud, gedrag en situatie. Er wordt gefocust op contextgericht leren, oftewel; de lesstof is werk gerelateerd. Door keuzemogelijkheid aan te brengen kan ieder een leerstijl kiezen die bij hem of haar past. De lesstof moet aansluiten op realistische werksituaties om relevantie aan te tonen en door op te bouwen in moeilijkheidsgraad wordt ingezet op het vertrouwen in de software. De leeractiviteiten worden opgesteld aan de hand van de leerdoelen om zeker te zijn dat de activiteit aansluit op het einddoel.

Het uitvoeringsplan van het lesprogramma is ontworpen aan de hand van de 4C/ID methode. Dit is een methode van lesontwerp die goed toepasbaar is op een trainingsmodule in het werkveld. Het lesprogramma zal bestaan uit een centrale uitleg, verschillende op elkaar volgende leertaken die direct te koppelen zijn aan activiteiten in een realistisch project en optionele deeltaken ter ondersteuning en extra scholing in het gebruik van de software.

Op basis van het uitvoeringsplan wordt aanbevolen om de leeractiviteiten, opgesteld in het uitvoeringsplan, uit te werken en vervolgens het lesprogramma te testen op werkdruk en het behalen van de doelen. Pas dan kan vastgesteld worden of het lesprogramma echt geschikt is voor implementatie in het werkveld.

Inhoud

Voorwoord.....	2
Samenvatting.....	3
Afkortingen & begrippen	6
Inleiding	7
Aanleiding.....	7
Onderwerp & relevantie	7
Probleem & doelstelling.....	8
Onderzoeksvragen	8
Leeswijzer	10
Theoretisch kader	11
Methodologie	12
Bouwkundige meerwaarde parametrisch ontwerpen	12
Programma van eisen.....	12
Didactische uitgangspunten.....	13
Ontwerpcriteria.....	13
Uitvoeringsplan	13
Bouwkundige meerwaarde parametrisch ontwerpen.....	14
Wat is parametrisch ontwerpen?.....	14
Wat is bouwkundige meerwaarde van parametrisch ontwerpen in het algemeen?	15
Wat is de ontwikkeling en marktpositie van Octatube door de jaren heen en hoe staat dit in verhouding met parametrisch ontwerpen?.....	15
Wat is het doel van parametrisch ontwerpen binnen Octatube?.....	16
Wat is de bedrijfsstructuur van Octatube?	17
Wat is de huidige werkwijze van de constructeurs van Octatube?	17
Op welke bedrijfsprocessen van de constructeurs van Octatube heeft parametrisch ontwerpen invloed? ...	18
Deelconclusie	18
Programma van eisen	19
Wat is het huidige niveau van kennis van de constructeurs van Octatube met betrekking tot het gebruik van Grasshopper en RFEM?	19
Wat is het gewenste niveau van kennis van de constructeurs van Octatube met betrekking tot het gebruik van Grasshopper en RFEM?	19
Wat is de toekomstvisie en ontwikkelbehoefte van de medewerkers en Octatube?	19
Welke randvoorwaarden stelt de opdrachtgever aan het lesprogramma?.....	20
Deelconclusie	20
Didactische uitgangspunten	21
Welke didactische concepten zijn toepasbaar op deze casus?.....	21
Wat zijn de didactische uitgangspunten voor het lesprogramma?.....	21
Deelconclusie	21

Ontwerpcriteria	22
Wat zijn geschikte ontwerpmethodes voor een lesprogramma en welke van deze is het beste geschikt om toe te passen op deze casus?	22
Op welke wijze kan geverifieerd worden dat het lesprogramma aansluit op de doelgroep?	23
Op welke wijze kan er worden gedifferentieerd in het lesprogramma op basis van instapniveau van de medewerker?	23
Deelconclusie	23
Uitvoeringsplan.....	24
Uit welke onderdelen bestaat een lesprogramma volgens de gekozen ontwerpmethode?	24
Welke leerdoelen moeten worden behaald tijdens het doorlopen van het lesprogramma?	24
Welke leeractiviteiten zijn nodig om de opgestelde leerdoelen te behalen?	24
Validatie van de invulling van de leeractiviteiten	25
Wat zijn de risico's en succesfactoren?	26
Welke lesprogramma's bestaan er al over de software en kunnen deze gebruikt worden?	26
Van welke informatiebron kan gebruik gemaakt worden voor de invulling van de verschillende leerdoelen in het lesprogramma?	26
Wat is het benodigde materiaal en materieel om het lesprogramma succesvol te kunnen doorlopen?	27
Voldoet het lesprogramma aan de vooraf gestelde eisen, wensen en randvoorwaarden?	27
Deelconclusie	27
Conclusie.....	28
Bouwkundig deel; wat is de bouwkundige meerwaarde van parametrisch ontwerpen binnen de projecten van Octatube?	28
Onderwijskundig deel; met welke didactische uitgangspunten en lesprogramma kan een constructeur het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM effectief in het ontwerpproces gaan inzetten	28
Discussie	29
Aanbevelingen	29
Literatuurlijst	30

Afkortingen & begrippen

Parametrisch ontwerpen- ontwerpmethode. Parametrisch ontwerpen is een ontwerpmethode op basis van componenten en parameters. Verdere uitleg over dit begrip bevindt zich in het verdiepende onderzoek naar parametrisch ontwerpen

Parameter – definitie: variabele waaraan een bepaalde waarde wordt toegekend om met behulp daarvan andere onbekende grootheden te kunnen berekenen

Algoritme – definitie: Een algoritme is een recept om een wiskundig of informaticaprobleem op te lossen

Grasshopper – parametrisch ontwerpprogramma. Grasshopper is een plug-in van Rhinoceros (Rhino). Rhino is een visueel ontwerpprogramma. Modellen worden in Rhino vormgegeven door het plaatsen en koppelen van componenten in Grasshopper.

RFEM – rekenprogramma. RFEM is het programma waar de constructeurs een berekening kunnen doen op sterkte en stijfheid van een ontwerp door er belastingcombinaties aan toe te kennen

IDEA statica – rekenprogramma. IDEA statica is het programma dat de constructeurs van Octatube gebruiken voor de constructieberekening van knooppunten. In deze scriptie wordt verder geen onderzoek naar gedaan naar de werking van dit programma.

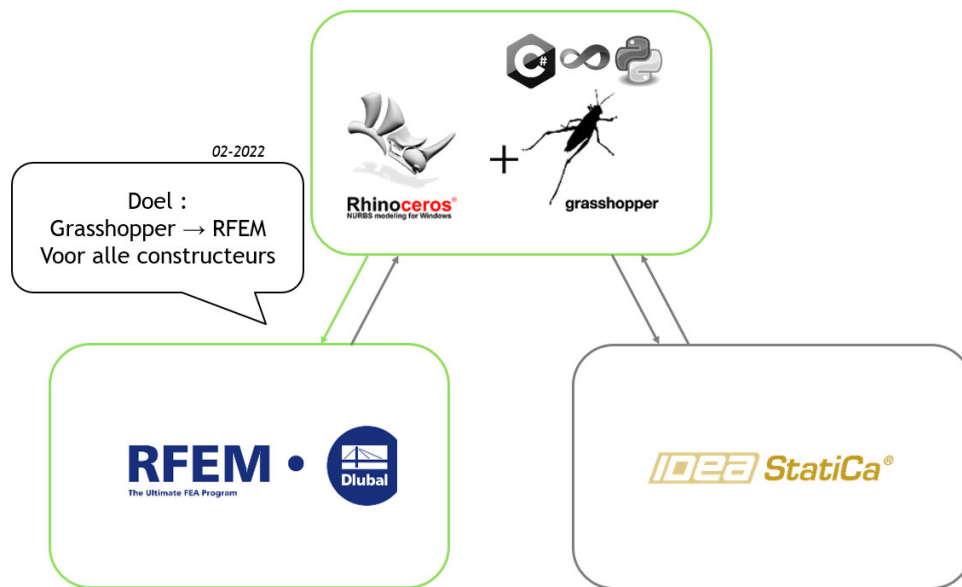
Open source – met open source materiaal worden bestanden, documenten en tutorials bedoelt die vrij te verkrijgen zijn op het web. Vaak is de broncode van dit materiaal vrij. Dat betekent dat deze beschikbaar en aanpasbaar is. Open source software is aantrekkelijk voor ontwikkelaars en systeembeheerders, overal ter wereld. Ze kunnen in de broncode van open source verbeteringen aanbrengen of aan allerlei uitbreidingen werken, die ten goede komen aan de community.

B+G toolbox – een implementatie in Grasshopper die het mogelijk maakt om informatie over te schrijven naar RFEM. Deze toolbox is gemaakt door Diego Apellániz en is als open source verkrijgbaar

Inleiding

Aanleiding

Aanleiding Binnen het ontwerpproces van Octatube zijn de constructeurs verantwoordelijk voor het terugbrengen van constructieve risico's tot een acceptabel niveau. Om dit aan te tonen realiseren de constructeurs op meerdere momenten in het ontwerpproces een constructief rapport. Het uitrekenen van de constructieve risico's wordt gedaan in verschillende rekenprogramma's. In het rekenprogramma RFEM kan men de sterkte en stijfheid van de algehele constructie berekenen door belastingcombinaties op de betreffende constructie toe te passen. Vervolgens kunnen de knooppunten constructief worden doorgerekend met behulp van het programma IDEA statica. Grasshopper is een parametrisch ontwerpprogramma dat informatie snel van en naar RFEM en IDEA statica kan schrijven. De wens van Octatube is dat dit proces in de toekomst geautomatiseerd wordt binnen het ontwerpproces van het bedrijf. Dit kan echter alleen als het uit te rekenen model parametrisch is opgezet in Grasshopper. De eerste stap om deze wens te bereiken is dat alle constructeurs van Octatube het parametrisch ontwerpen in Grasshopper en het overschrijven (koppelen) van deze informatie naar RFEM beheersen. Binnen Octatube is er nog geen medewerker die de tijd had om zich met deze ontwikkeling bezig te houden. Dit is de aanleiding geweest voor het bedrijf om deze vraag uit handen te geven voor een afstudeeronderzoek.



Figuur 1: afkadering afstudeeronderzoek in beeld gebracht

Onderwerp & relevantie

Onderwerp: Het onderwerp van dit onderzoek is: het professionaliseren van een bouwkundig constructiebedrijf in parametrisch ontwerpen.

Relevantie: Tegenwoordig worden bouwprojecten steeds meer in de computer uitgewerkt. Dit geldt ook voor het maken van krachtberekeningen. Deze kunnen goed digitaal uitgevoerd worden. Parametrisch ontwerpen is een krachtig middel om een aanpasbaar model te creëren waar snel varianten en aanpassingen toegepast kunnen worden. De toename van gebruik van parametrisch ontwerpen in het ontwerpproces is een actuele ontwikkeling in de bouw.

Probleem & doelstelling

Probleemanalyse: De informatiewisseling tussen RFEM en IDEA statica wordt op dit moment handmatig gedaan. Wanneer in een model lijnen anders komen te liggen of verschillende varianten moeten worden berekend kost dat tijd en is dit foutgevoelig. Meerdere medewerkers zijn onbekend en/of onervaren met Grasshopper en de mogelijkheden hiervan. Doordat de kennis van parametrisch ontwerpen ontbreekt, blijven oude methoden gehanteerd worden. Er is op dit moment geen lesprogramma aanwezig wat de constructie-afdeling gebruikt om huidige en toekomstige werknemers het parametrisch ontwerpen in Grasshopper aan te leren.

Probleemstelling: Onervarenheid en onbekendheid met parametrisch ontwerpen in Grasshopper zorgt ervoor dat nog niet alle constructeurs gebruik kunnen maken van het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM in het ontwerpproces van Octatube

Doelstelling: Het middels een lesprogramma vertalen van onervarenheid en onbekendheid naar de nodige kennis en ervaring waarmee alle constructeurs van Octatube het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM effectief kunnen toepassen in het ontwerpproces.

Eindproduct: Een uitvoeringsplan voor een lesprogramma in het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM.

Onderzoeksvragen

Hoofdvraag: Wat is de bouwkundige meerwaarde van parametrisch ontwerpen binnen de projecten van Octatube en met welke didactische uitgangspunten en lesprogramma kan een constructeur het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM effectief in het ontwerpproces inzetten?

Deelvragen:

1. Wat is de bouwkundige meerwaarde van parametrisch ontwerpen binnen de projecten van de constructeurs van Octatube?
 - 1.1 Wat is parametrisch ontwerpen?
 - 1.2 Wat is bouwkundige meerwaarde van parametrisch ontwerpen in het algemeen?
 - 1.3 Wat is de ontwikkeling en marktpositie van Octatube door de jaren heen en hoe staat parametrisch ontwerpen in verhouding met deze ontwikkeling?
 - 1.4 Wat is het doel van parametrisch ontwerpen binnen Octatube?
 - 1.5 Wat is de bedrijfsstructuur van Octatube?
 - 1.6 Wat is de huidige werkwijze van de constructeurs van Octatube?
 - 1.7 Op welke bedrijfsprocessen van de constructeurs van Octatube heeft parametrisch ontwerpen invloed?
2. Wat zijn de eisen, wensen en randvoorwaarden van de opdrachtgever met betrekking tot het lesprogramma in parametrisch ontwerpen en het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM?
 - 2.1. Wat is het huidige niveau van kennis van de constructeurs van Octatube met betrekking tot het gebruik van Grasshopper en RFEM?
 - 2.2. Wat is het gewenste niveau van kennis van de constructeurs van Octatube met betrekking tot het gebruik van Grasshopper en RFEM?
 - 2.3. Wat is de toekomstvisie en ontwikkelbehoefte van de medewerkers en Octatube?
 - 2.4. Welke randvoorwaarden stelt de opdrachtgever aan het lesprogramma
3. Wat zijn de didactische uitgangspunten met betrekking tot het on-the-job scholing van de constructeurs van Octatube in parametrisch ontwerpen en het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM?
 - 3.1. Welke didactische concepten zijn toepasbaar op deze casus?

- 3.2. Wat zijn de didactische uitgangspunten voor het lesprogramma?
4. Welke ontwerpcriteria met betrekking tot het on-the-job scholing van de constructeurs van Octatube in parametrisch ontwerpen en het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM zijn nodig om de nodige kennis en vaardigheden aan te leren?
 - 4.1. Wat zijn geschikte ontwerpmethodes voor een lesprogramma en welke van deze is het beste geschikt om toe te passen op deze casus?
 - 4.2. Op welke wijze kan geverifieerd worden dat het lesprogramma aansluit op de doelgroep?
 - 4.3. Op welke wijze kan er worden gedifferentieerd in het lesprogramma op basis van instapniveau van de medewerker?
5. Wat is er allemaal nodig om het lesprogramma in parametrisch ontwerpen en het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM succesvol uit te kunnen voeren?
 - 5.1. Uit welke onderdelen bestaat een lesprogramma volgens de gekozen ontwerpmethode?
 - 5.2. Welke leerdoelen moeten worden behaald tijdens het doorlopen van het lesprogramma?
 - 5.3. Welke leeractiviteiten zijn nodig om de opgestelde leerdoelen te behalen?
 - 5.4. Wat zijn de risico's en succesfactoren?
 - 5.5. Welke lesprogramma's bestaan er al over de software en kunnen deze gebruikt worden?
 - 5.6. Van welke informatiebron kan gebruik gemaakt worden voor de invulling van de verschillende leerdoelen in het lesprogramma?
 - 5.7. Wat is het benodigde materiaal en materieel om het lesprogramma succesvol af te ronden?
 - 5.8. Hoe kan worden getoetst of het lesprogramma succesvol zal zijn?

Leeswijzer

Het eerste hoofdstuk is het theoretisch kader. Hier wordt het onderzoek afgebakend en uitgelegd uit welke delen de hoofdvraag is opgebouwd. In de methodologie wordt vervolgens uitgelegd welke onderzoeken er zijn gedaan en waarom. Ook wordt hier uitgelegd hoe de deelvragen in verhouding staan met de hoofdstukken in deze scriptie. Wat volgt zijn de onderzoeksresultaten met een hoofdstuk per deelvraag. Aan het einde van elk hoofdstuk per deelvraag is een deelconclusie te lezen die bijdraagt aan de uiteindelijke conclusie, beschreven in het gelijk genaaemde hoofdstuk. Na de conclusie volgen de discussie en aanbevelingen, waar kort in wordt gegaan op de validatie van het onderzoek en de door mij geadviseerde vervolgstappen naar aanleiding van dit onderzoek. Ten slotte de bijlagen waar alle belangrijke documenten te vinden zijn waarnaar wordt gerefereerd in de scriptie.

Theoretisch kader

Wanneer er wordt gekeken naar de hoofdvraag, kan deze worden gesplitst in twee thema's; het **bouwkundig deel** en het **onderwijskundig deel**.

Hoofdvraag: Wat is de bouwkundige meerwaarde van parametrisch ontwerpen binnen de projecten van Octatube en met welke didactische uitgangspunten en lesprogramma kan een constructeur het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM effectief in het ontwerpproces inzetten?

Het bouwkundig deel zal zich voornamelijk richten op het parametrisch ontwerpen in Grasshopper. Wat is dit nou eigenlijk en waarom is deze ontwikkeling een meerwaarde voor het bedrijf Octatube? Aangezien parametrisch ontwerpen een breed begrip is, beperkt dit onderzoek zich tot het opzetten van een model in Grasshopper en het gebruik van de koppeling van Grasshopper met RFEM. Er wordt geen onderzoek gedaan naar het wel of niet inzetten van parametrisch ontwerpen in een project. Dit zou een apart onderzoek betreffen. Uitgegaan wordt dat Octatube zelf beslist wanneer een ontwerp parametrisch opgezet moet worden.

Het onderwijskundige deel zal gericht zijn op een professionalisering in een bouwkundig bedrijf. Keuzes hierin zijn gemaakt met oog op het inzetten van een trainingsmodule in een realistische werkomgeving. Ten behoeve van het behalen van een bouwkundige studie is het ontwerpproces van het lesprogramma aangevlogen als bouwkundig proces. Dat wil zeggen; er wordt van grof naar fijn gewerkt door een programma van eisen op te stellen en deze (in combinatie met didactische uitgangspunten) telkens een stap verder te ontwikkelen tot ontwerpcriteria en uiteindelijk een uitvoeringsplan.

Methodologie

De aanpak van dit onderzoek is opgesplitst in vijf fasen. Hier vallen de twee thema's op als fasen in het proces. De andere stappen zijn algemeen van toepassing bij een bouwkundig ontwerpproces

1. Bouwkundige meerwaarde parametrisch ontwerpen
2. Programma van eisen
3. Didactische uitgangspunten
4. Ontwerpcriteria
5. Uitvoeringsplan

Bouwkundige meerwaarde parametrisch ontwerpen

Als eerste stap in het onderzoek is deskresearch gedaan naar parametrisch ontwerpen en de bouwkundige meerwaarde hiervan. Een webinar en een serie tutorials in het gebruik van Grasshopper voor parametrisch ontwerp zijn doorlopen om de eigen vaardigheden met de programmatuur te ontwikkelen.

Vervolgens is onderzoek gedaan naar de opbouw van het bedrijf en de huidige werkwijze. Hier wordt duidelijk welke bedrijfsstructuur gehanteerd wordt en van welke methodes en programma's op dit moment gebruik gemaakt wordt in het ontwerpproces van de constructeurs van Octatube.

Om de bouwkundige meerwaarde voor het bedrijf aan te tonen heeft een verdiepend onderzoek plaatsgevonden wat de marktpositie van Octatube is en op welke bedrijfsprocessen parametrisch ontwerpen invloed heeft.

Deelvraag

1. Wat is de bouwkundige meerwaarde van parametrisch ontwerpen binnen de projecten van de constructeurs van Octatube?

Programma van eisen

Alle eisen, wensen en randvoorwaarden zijn opgesteld in een programma van eisen. Het is belangrijk om te weten wat de doelgroep is en hoe deze doelgroep tegen de ontwikkeling in het bedrijf aankijkt. Daarom zijn er interviews afgenomen binnen de groep constructeurs. In deze interviews zijn vragen gesteld over de huidige kennis in parametrisch ontwerpen en het gebruik van Grasshopper en ook over de toekomstvisie en ontwikkelbehoefte van de individuen in de groep. Ook is onderzocht wat het gewenste niveau is in het gebruik van de software.

Deze informatie heeft de verzameling van eisen en wensen vormgegeven. Vervolgens zijn alle randvoorwaarden opgesteld. Het programma van eisen is ten slotte aangeboden aan de opdrachtgever voor feedback als iteratieronde.

Deelvraag

2. Wat zijn de eisen, wensen en randvoorwaarden van de opdrachtgever met betrekking tot het lesprogramma in parametrisch ontwerpen en het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM?

Didactische uitgangspunten.

In het onderwijskundige deel van dit onderzoek wordt een afweging gemaakt welke didactische concepten van toepassing zijn op deze casus. Vanuit de didactische concepten zijn uitgangspunten opgesteld voor het lesprogramma. Deze uitgangspunten gaan in op de visie op wat er bereikt moet worden met het lesprogramma. Er worden keuzes gemaakt met oog op het toepassen van een trainingsmodule binnen een bedrijf. Er vindt een feedbackronde plaats door de didactische uitgangspunten aan te bieden aan de opdrachtgever.

Deelvraag

- 3. Wat zijn de didactische uitgangspunten met betrekking tot het on-the-job scholing van de constructeurs van Octatube in parametrisch ontwerpen en het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM?**

Ontwerpcriteria

Het programma van eisen in combinatie met de didactische uitgangspunten vormen samen de ontwerpcriteria. Deze criteria zijn vervolgens een stap fijner uitgewerkt richting het uitvoeringsplan van het lesprogramma. De strategie voor het bereiken van het einddoel staat centraal voor de ontwikkeling van de ontwerpcriteria. Er moet een ontwerpmethodode voor het lesprogramma gekozen worden. Er is een afweging gedaan welke van een aantal lesprogramma's het beste van toepassing is voor deze casus.

Als iteratieronde zijn de ontwerpcriteria wederom aangeboden aan de opdrachtgever voor terugkoppeling.

Deelvraag

- 4. Welke ontwerpcriteria met betrekking tot het on-the-job scholing van de constructeurs van Octatube in parametrisch ontwerpen en het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM zijn nodig om de nodige kennis en vaardigheden aan te leren?**

Uitvoeringsplan

In het uitvoeringsplan staan alle benodigdheden beschreven voor de uitvoering van het lesprogramma. Ten eerste is onderzocht welke leeractiviteiten nodig zijn voor het behalen van alle leerdoelen. De risico's en succesfactoren worden per leerdoel opgesteld. Er is onderzocht van welke informatiebron gebruik gemaakt kan worden voor de invulling van de gekozen ontwerpmethodiek. Dit wordt gedaan aan de hand van een multi-criteria analyse. Ten slotte is het uitvoeringsplan van het lesprogramma ter validatie getoetst aan de vooraf gestelde eisen. Ook hier vindt een feedbackronde plaats ter controle door de opdrachtgever.

Deelvraag

- 5. Wat is er allemaal nodig om het lesprogramma in parametrisch ontwerpen en het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM succesvol uit te kunnen voeren?**

Bouwkundige meerwaarde parametrisch ontwerpen

Deelvraag

1. Wat is de bouwkundige meerwaarde van parametrisch ontwerpen binnen de projecten van de constructeurs van Octatube?

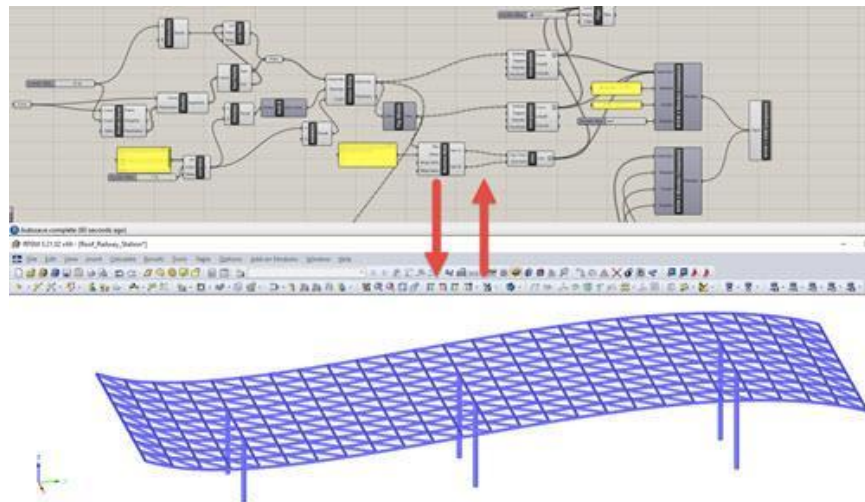
Wat is parametrisch ontwerpen?

De volgende definitie wordt gebruikt binnen het bedrijf:

Parametrisch ontwerpen is het digitaal ontwerpen gebaseerd op algoritmisch denken waar gebruik gemaakt wordt van uitdrukkingen die parameters bevatten. Deze uitdrukkingen definiëren samen het uiteindelijke ontwerp.

Onder een parameter wordt verstaan; een variabele waaraan een waarde wordt toegekend om met behulp daarvan andere onbekende grootheden te kunnen berekenen.

Parametrisch ontwerpen wordt bij Octatube in Grasshopper gedaan. Grasshopper is een vrij te verkrijgen plug-in voor het 3D-tekenprogramma Rhino. In Grasshopper bouw je met behulp van componenten en parameters een ontwerp. De componenten hebben allemaal een eigen functie: input, verwerking en output. Door deze te koppelen kan je een eigen ontwerp realiseren.



Figuur 2: parametrisch ontwerp in Grasshopper

Belangrijk om te weten is dat parametrisch ontwerpen in Grasshopper niks anders is dan een manier van het vormgeven van je ontwerp. Aangezien het tekenen gebeurt aan de hand van parameters, kun je hier in een later stadium aanpassingen in aanbrengen om een nieuwe berekening uit te voeren. De meerwaarde is dat het maken van deze aanpassingen gebeurt door het aanpassen van de parameters, waardoor in potentie grote aantallen knooppunten in een enkele wijziging aangebracht kunnen worden. Dit staat in tegenstelling tot het handmatig aanpassen van ieder punt in een model. Het digitaal doorrekenen van de constructie kost vervolgens wel tijd, maar dit is wachttijd die gebruikt kan worden om na te denken over andere kritische beslissingen.

Wat is bouwkundige meerwaarde van parametrisch ontwerpen in het algemeen?

Er zijn meerdere redenen om gebruik te maken van parametrisch ontwerpen:

- Vormgeving: bij het ontwerpen van complexe vormen, zoals vlakken met meerdere krommingen of andere gebogen constructies helpt een parametrisch ontwerp om snel een 3D-model te genereren.
- Productie: wanneer dezelfde berekeningen veel moeten worden herhaald, kan parametrisch ontwerp het productieproces aanzienlijk versnellen. Dit geldt bijvoorbeeld als hoeveelheden, rapporten of ontwerptekeningen automatisch moeten worden ontwikkeld.
- Optimalisatie: volledig parametrisch ontworpen constructies zijn vaak geschikt voor optimalisatie. Hierbij kunnen algoritmes worden gebruikt om de meest optimale variant te vinden.
- Flexibiliteit: aan het begin van het ontwerpproces zijn er nog veel vragen. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van parametrisch ontwerp kunnen veranderingen zeer snel worden doorgevoerd en hoeven dezelfde handelingen niet opnieuw te worden gedaan.

Wat is de ontwikkeling en marktpositie van Octatube door de jaren heen en hoe staat dit in verhouding met parametrisch ontwerpen?

Het bedrijf heeft een enorme ontwikkeling doorgemaakt door de jaren heen; het bedrijf is begonnen in 1973 als afstudeerproject genaamd: Octatube door Mick Eekhout. Deze constructie was een ruimtevakwerk en dat is een lange tijd het handelsmerk geweest van het bedrijf. Deze trend heeft zich een tijd lang doorgezet en is zo ook nog toegepast bij de nieuwe locatie van de faculteit Bouwkunde op de TU Delft.



Figuur 3: Afstudeerproject “Octatube” betekende de start van het bedrijf (1973) Figuur 4: Ruimtevakwerk: Nieuwe locatie faculteit bouwkunde TU Delft na brand (engineering in 2009)

Door de jaren heen heeft Octatube echter de ontwikkeling ingezet om steeds meer uitdagende en innovatieve bouwwerken te realiseren. Dat is ook terug te zien in het motto van het bedrijf: *“realising challenging architecture”* en het brutale ideaal: *“Design & build the most iconic building skin in 2030”*.

Het bedrijf is al in aanraking gekomen met parametrisch ontwerpen. Het eerste parametrisch opgezette ontwerp was de diamantbeurs in Amsterdam. Door de vrije vorm van het gebouw sloten alle knooppunten telkens op een andere manier en met een andere hoek op elkaar aan. De meerwaarde voor Octatube is geweest dat er niet telkens opnieuw begonnen moest worden als er een aanpassing plaatsvond.



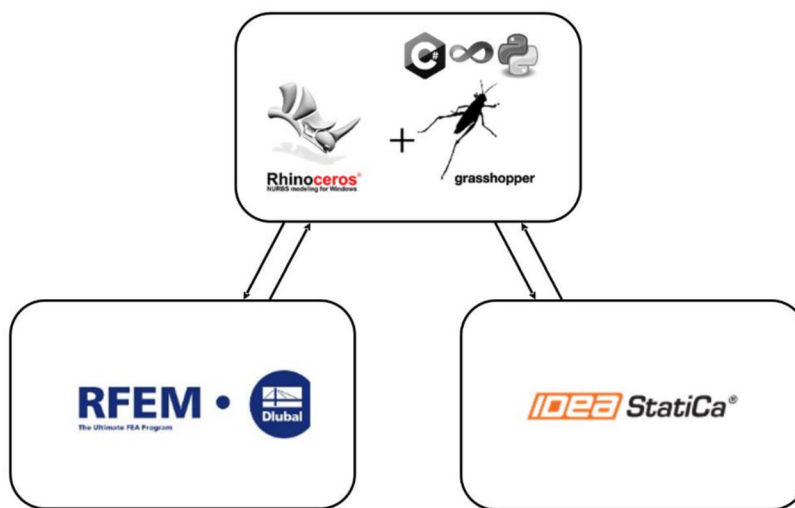
Figuur 5: Diamantbeurs Amsterdam (engineering in 2019) Figuur 6: Imax theater Boekarest (engineering in 2009)

Terugkijkend op oudere projecten waar parametrisch ontwerpen nog niet was toegepast valt op dat bijvoorbeeld bij het IMAX theater in Boekarest nog gebruikt is gemaakt van trial and error. Dit houdt in dat er vele iteraties zijn gedaan om tot het uiteindelijke ontwerp te komen. Ook deze vorm is in meerdere richtingen gekromd en hierdoor zijn ook in deze constructie alle knooppunten verschillend op elkaar aangesloten. Wanneer hier wel gebruik was gemaakt van parametrisch ontwerp, zou dit veel tijd gescheeld hebben in het ontwerpproces.

Als je kijkt naar de marktpositie van Octatube komen opdrachtgevers bij dit bedrijf terecht om hun uitdagende bouwwerken te realiseren. Octatube is altijd een vooruitstrevend bedrijf geweest en dit komt ook naar voren in hun motto en toekomstideaal. Door de complexe aard van de constructies die het bedrijf realiseert, is de ontwikkeling in parametrisch ontwerpen een essentiële stap om te nemen voor het bedrijf en om uiteindelijk in 2030 de meest iconische gevel te hebben gerealiseerd.

Wat is het doel van parametrisch ontwerpen binnen Octatube?

Binnen de constructeurs is een kleine groep medewerkers verantwoordelijk voor software development. Dit houdt in dat deze groep met een plan de modernisatie in gebruik van software overziet. Voor de rest van de constructeurs. In de huidige werkwijze wordt gewerkt met RFEM voor de berekeningen van sterkte en stijfheid van constructies en IDEA statica voor de berekeningen ten behoeve van knooppunten. De medewerkers weten dus al hoe met deze programma's om te gaan. In de meest ideale situatie werken deze programma's in een driehoeksverhouding samen met Grasshopper, waar het parametrisch opgezette model zich bevindt. Helaas blijkt dit nog een blik in de toekomst en is het huidige doel om de programma's met elkaar samen te laten werken via Grasshopper, zoals in de onderstaande afbeelding te zien is. Zoals besproken in de doelstelling, is de eerste stap hierin het afdelingsbreed beheersen van de koppeling tussen Grasshopper en RFEM.

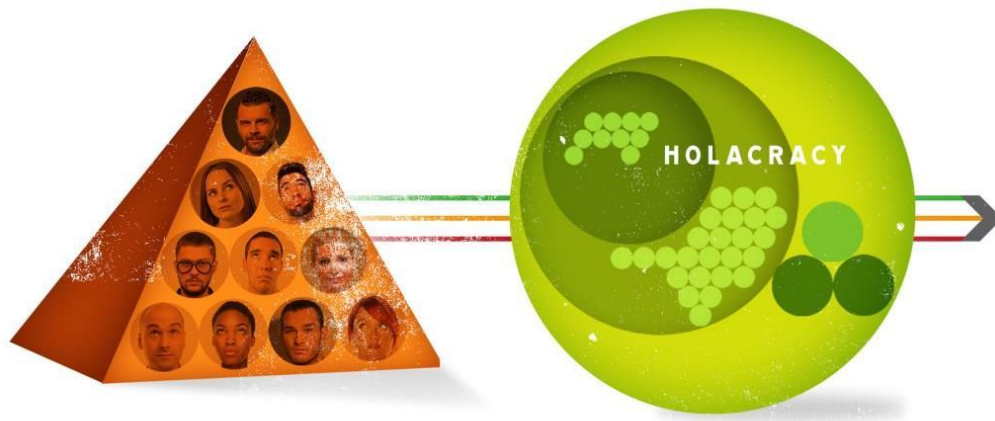


Figuur 7: gewenste wisselwerking tussen de programma's RFEM en IDEA statica

Wat is de bedrijfsstructuur van Octatube?

Octatube maakt gebruik van een Holacratische bedrijfsstructuur. Dit houdt in dat er geen piramidestructuur is, maar de verschillende disciplines binnen het bedrijf zijn verantwoordelijk voor de beslismomenten binnen hun eigen expertise. Zo maken de medewerkers van de afdeling verkoop de beslissingen over de binnengekomen projecten en zijn de constructeurs de eindverantwoordelijke voor alle constructieve berekeningen binnen een project.

Projectteams worden gevormd door de verschillende rollen toe te wijzen aan de juiste personen. Deze vormen samen een "cirkel". Het uitgangspunt van deze sturingsvorm is; Uitgebalanceerde projectteams vormen om de stroom aan projecten optimaal aan te kunnen. Zowel de kwantiteit als de kwaliteit (kennis, vaardigheden, talent) van de mensen sluiten aan bij de bedrijfsstrategie en projectverwachting



Figuur 8: van traditionele hiërarchie naar holocratische organisatie

Wat is de huidige werkwijze van de constructeurs van Octatube?

De afdeling constructie & berekening werkt nauw samen met de afdeling architectonisch ontwerp. In het bedrijf zelf wordt gesproken over de cirkel; Engineers (architectonisch) en de cirkel; Structural Engineers (constructie en berekening). Gedurende een project draagt de constructieafdeling verantwoordelijkheid voor de constructieve aspecten van het project. Als er een wijziging geconstateerd wordt in het ontwerp, moet de constructeur zo nodig het constructierapport aanpassen.

Er wordt van grof naar fijn gewerkt. Het proces van een project bij Octatube is als volgt:

1. Verkoopfase
2. Pre-design
3. Voorlopig ontwerp
4. Definitief ontwerp
5. Productie
6. Montage
7. Afronding
8. Maintenance & service

Verkoopfase: De constructieafdeling is betrokken in de verkoopfase met een eerste belastingaannames rapport. In dit rapport wordt het schetsontwerp constructief uitgewerkt met dimensies en materialen. In deze fase worden meerdere (geometrische) varianten onderzocht.

Pre-design: De constructeurs moeten in de pre-design fase aan kunnen tonen of een ontwerp constructief haalbaar is. Ook in deze fase worden meerdere (geometrische) varianten onderzocht door de constructeurs. Het is tevens een fase waarin aan de klant getoond kan worden welke kunde en expertise Octatube in huis heeft en vertrouwen te geven dat Octatube de hoofdpdracht naar wens uit kan voeren.

Voorlopig ontwerp: Tijdens de voorlopige ontwerpfase wordt gezamenlijk met de andere afdelingen een voorlopig constructiemodel en berekeningen gemaakt. In dit model liggen de constructieve uitgangspunten vast.

Definitief ontwerp: In het definitief ontwerp van een project worden door de constructeurs drie rapporten opgeleverd; het hoofdrapport, glasrapport en detailrapport. In deze fase wordt de constructie tot op detailniveau getoetst.

Verdere verloop: De constructieve afdeling is bij de rest van het project betrokken door supervisie te geven over de constructieve aspecten.

Op welke bedrijfsprocessen van de constructeurs van Octatube heeft parametrisch ontwerpen invloed?

Parametrisch ontwerpen heeft invloed op het tekenen van een model en de berekening die uitgevoerd moet worden in RFEM, specifiek het toevoegen van belastingen op ingewikkelde geometrie. Zo kunnen snel meerdere varianten onderzocht worden. In de toekomst wil de afdeling ook de koppeling tussen het parametrisch model en IDEA Statica gaan leggen, maar dit is nog niet aan de orde.

Deelconclusie

Octatube gebruikt Grasshopper voor parametrisch ontwerpen. In Grasshopper kan men complexe constructies vormgeven. Het is vooral toepasbaar op vlakken met dubbele krommingen, omdat daar op veel verschillende punten de samenkost van elementen weer net wat anders is. Het is daarom niet haalbaar om deze allemaal handmatig door te rekenen. Parametrisch ontwerpen biedt hier de oplossing voor.

Octatube is door de jaren heen altijd een vooruitstrevend bedrijf geweest op het gebied van complexe constructies; Waar er begonnen is met ruimtevakwerken, heeft het bedrijf veel uitdagende en innovatieve bouwwerken in het portfolio. Door de innovatieve geest van het bedrijf lenen de bouwwerken zich ervoor om volgens een parametrisch model opgezet te worden. Dit is vooral van toepassing bij de 'vrije vorm' gebouwen. Opdrachtgevers komen naar Octatube met complexe opdrachten. Daarom is de ontwikkeling in parametrisch ontwerp voor het bedrijf een onontkoombare stap.

Een belangrijke nota die bij het aanleren van de vaardigheden in Grasshopper moet worden meegenomen, is dat het parametrisch ontwerpen niets meer is dan een andere manier van het vormgeven van een ontwerp. De berekeningen binnen de andere programma's verlopen nog steeds zoals ze dat ook zouden doen bij het handmatig invoeren van het ontwerp.

Programma van eisen

Deelvraag

2. Wat zijn de eisen, wensen en randvoorwaarden van de opdrachtgever met betrekking tot het lesprogramma in parametrisch ontwerpen en het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM?

Het programma van eisen is opgesteld aan de hand van de volgende subvragen. De uitgangspunten in dit document zijn opgesteld op basis van; doel, kwalitatieve eisen, functionele eisen, tijd, middelen en geld. Het volledige PVE is te vinden in [bijlage 1](#)

Wat is het huidige niveau van kennis van de constructeurs van Octatube met betrekking tot het gebruik van Grasshopper en RFEM?

Elke constructeur is al eens in aanraking gekomen met parametrisch ontwerpen in Grasshopper. Er is namelijk al eens een cursusavond geweest waar de groep constructeurs bezig is geweest met het programma. Sommige constructeurs gebruiken het zelfs al in het ontwerpproces. In de onderstaande tabel is per constructeur te zien wat de ervaring is in het werken met Grasshopper.

Geen/ weinig ervaring	Gemiddelde ervaring	Veel ervaring
Luis, Peter	Marina, Michele	Jort, Joey, Youri

In de volgende tabel is te zien welke medewerkers het parametrisch ontwerpen in Grasshopper al toepassen in de werkmethode.

Gebruikt Grasshopper niet in het werkproces	Wel vaardig in het gebruik met Grasshopper, nog niet standaard in het werkproces toegepast.	Probeert parametrisch ontwerpen toe te passen in het werkproces	Past parametrisch ontwerpen toe in het werkproces
Luis, Peter	Marina	Michele, Youri	Jort, Joey

Wat is het gewenste niveau van kennis van de constructeurs van Octatube met betrekking tot het gebruik van Grasshopper en RFEM?

Het gewenste niveau in kennis is niet om expert te worden in het gebruik van Grasshopper. Het doel is om de basisprincipes van het programma te leren en te weten hoe de informatie binnen Grasshopper van de punten en lijnen werkt zodat de vormgegeven constructie overgeschreven kan worden naar RFEM om hier vervolgens een constructieberekening mee te kunnen maken.

Tevens moet het lesprogramma ervoor zorgen dat de medewerkers gemotiveerd raken om parametrisch ontwerpen in Grasshopper en de koppeling met RFEM, al dan niet zelf, te gaan toepassen in het ontwerpproces van Octatube.

Wat is de toekomstvisie en ontwikkelbehoefte van de medewerkers en Octatube?

Uit de interviews met de medewerkers blijkt dat het ontwikkelen in parametrisch ontwerpen leeft binnen de groep constructeurs. Er is alleen tot nu nog geen centrale persoon geweest die zich een langere periode met deze ontwikkeling bezig kon houden. Wanneer gevraagd werd of parametrisch ontwerpen de toekomst is van de cirkel reageerde iedereen hier positief op. Er wordt aangegeven dat de wens is om als bedrijf mee te groeien met de huidige ontwikkelingen in de bouw en dat als er complexe geometrie moet worden ontworpen, dat je in de toekomst niet meer om parametrisch ontwerp heen kan.

De wens van de groep is om het werken met Grasshopper te beheersen. In het verleden is er al eens een poging gedaan om deze skills aan de cirkel te leren aan de hand van een cursusavond. De medewerkers die

nog niet eerder te maken hebben gehad met parametrisch ontwerp hebben aangegeven dat dit hen niet heeft aangespoord om door te gaan met deze manier van ontwerpen aangezien het voor hun nog een abstracte methode van ontwerpen is. Ze hebben de meerwaarde nog niet ingezien omdat ze geen koppeling hebben gezien met realistische situaties in het werkveld en met de constructieberekeningen in RFEM.

Welke randvoorwaarden stelt de opdrachtgever aan het lesprogramma?

De randvoorwaarden die naar voren zijn gekomen op een rij;

- Het lesprogramma moet naast de bestaande werkzaamheden uitgevoerd kunnen worden.
- Het lesprogramma moet vanuit huis te volgen zijn
- Het lesprogramma moet uit te voeren zijn binnen de beschikbaar gestelde uren. Dit zijn 8 trainingsuren (vanuit CAO) of in eigen tijd.
- Het budget dat beschikbaar is voor de voorbereiding en uitwerking van het lesprogramma zijn het aantal uren dat beschikbaar is voor de stageperiode en de uren die benodigd zijn voor de begeleiding van het proces door J. Winkel.
- Het lesprogramma moet uitgevoerd kunnen worden op een computer of laptop met toegang tot Grasshopper, RFEM en internet.
- Het lesprogramma moet in het Engels te volgen zijn.

Deelconclusie

De wens om te ontwikkelen is er bij de constructeurs van Octatube. Ze willen bereiken dat ieder lid van de cirkel de informatiewerking van het programma Grasshopper begrijpen en door van dit programma gebruik te maken een lijnenmodel kan over zetten naar RFEM, waar een berekening toegepast kan worden op het model. De ontwikkelwensen en randvoorwaarden vormen samen het programma van eisen.

Didactische uitgangspunten

Deelvraag

3. Wat zijn de didactische uitgangspunten met betrekking tot het on-the-job scholing van de constructeurs van Octatube in parametrisch ontwerpen en het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM?

Het onderwijskundige deel van het onderzoek is het opstellen van didactische uitgangspunten. Er wordt gefocust op de visie die bereikt moet worden met het lesprogramma. Het volledige document is te vinden in [bijlage 2](#)

Welke didactische concepten zijn toepasbaar op deze casus?

Er bestaan veel theorieën op het gebied van didactiek. Aan de hand van gesprekken met docenten op de Hogeschool zijn een aantal didactische concepten naar voren gekomen waar gebruik van gemaakt kan worden.

Taxonomie van Bloom: De taxonomie van Bloom schrijft voor dat leerdoelen worden opgesteld met een werkwoord dat past bij het niveau van orde in denkniveau. De orde van denkniveau varieert van lagere orde (onthouden en begrijpen) tot hogere orde (toepassen, analyseren, evalueren, creëren)

Leerstijlen van Kolb: De Learning Style Inventory (LSI), die ontwikkeld is door David Kolb, is een van de eerste en meest gebruikte modellen voor leerstijlen in het onderwijs en management. Deelnemers worden in een categorie geplaatst op het gebied van favoriete leerstijl (Persoonlijke relaties, observeren, rationeel denken, dingen uit proberen)

Leermotieven van Vermunt: Ook de Inventaris van Leerstijlen (ILS) van Jan Vermunt kan gebruikt worden in een onderwijssituatie. Vermunt onderscheidt drie leerstijlen: reproductieve stijl, betekenisgerichte stijl, toepassingsgerichte stijl.

Breinentraal leren: De leerstof moet zo opgesteld worden dat het brein gestimuleerd wordt. Breinentraal leren leidt ertoe dat wat je leert beter beklijft en sneller wordt toegepast op en verbonden wordt met andere ervaringen. Principes; stress voorkomen, herhaling, aanzetten tot creatie, contextgericht leren, zintuigelijk rijk, voortbouwen op bestaande kennis.

Constructive alignment is het principe dat de leerstof wordt ontworpen vanuit de toets die uiteindelijk gaat plaatsvinden om de leerdoelen aan te tonen door het doel en de methode van toetsing in gedachten te houden bij het ontwerpen van de leeractiviteiten.

Wat zijn de didactische uitgangspunten voor het lesprogramma?

Vanuit de verschillende geschikte didactische concepten zijn uitgangspunten opgesteld die toepasbaar zijn op deze casus. Van elk genoemd concept is bekeken wat de doorslaggevende onderdelen zijn en deze zijn meegenomen in de uitgangspunten. De belangrijkste didactische uitgangspunten die hieruit zijn gekomen:

- Leerdoelen bevatten inhoud en gedrag
- Het lesprogramma moet geschikt zijn voor een brede selectie van leerstijlen
- Relevantie en vertrouwen zijn de belangrijkste leermotieven
- Leerprincipe focust zich op contextgericht leren (werk gerelateerd)
- De leeractiviteiten zijn ontworpen aan de hand van de toetsing van de leerdoelen

Deelconclusie

Er zijn didactische uitgangspunten opgesteld met betrekking tot de leerdoelen, leerstijlen, leermotieven, leerprincipes en leeractiviteiten. Deze uitgangspunten zijn tot stand gekomen door het analyseren van de belangrijkste principes binnen de gekozen didactische concepten.

Ontwerpcriteria

Deelvraag

4. Welke ontwerpcriteria met betrekking tot het on-the-job scholing van de constructeurs van Octatube in parametrisch ontwerpen en het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM zijn nodig om de nodige kennis en vaardigheden aan te leren?

Het programma van eisen wordt steeds verder verfijnt tot uitvoeringsplan. Hierbij staat de vraag centraal: wat is de strategie om het doel te bereiken? De volgende stap hierin is het opstellen van de ontwerpcriteria. De volledige lijst van criteria is te vinden [bijlage 3](#)

Wat zijn geschikte ontwerpmethodes voor een lesprogramma en welke van deze is het beste geschikt om toe te passen op deze casus?

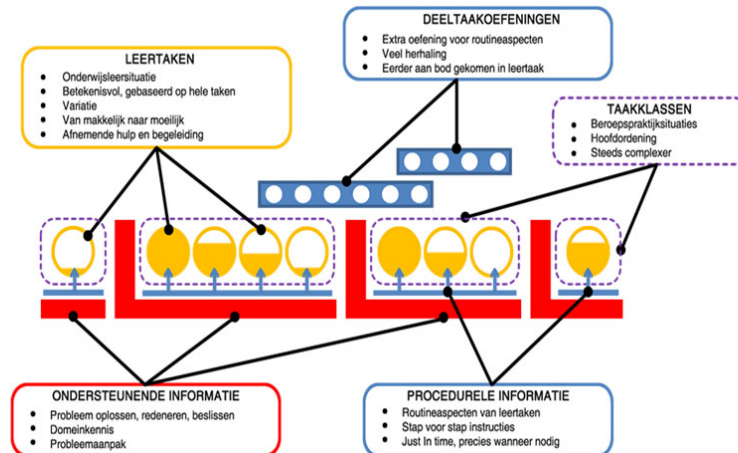
Voor de onderbouwing van de lesmethode wordt gekeken naar een drietal lesmethoden; 4C/ID methode, blended learning en backwards design.

4C/ID: De 4C/ID methode kenmerkt zich door de directe koppeling met het werkveld. Door een professionele taak te verdelen in deeltaken wordt de student opgeleid om directe problemen die voor komen in het ontwerpproces op te lossen. Het is daarom zeer geschikt om toe te passen als ontwerpmethodiek voor het lesprogramma. Het 4C/ID model is in basis bedoeld voor het oprichten van een curriculum, maar aanpasbaar tot het oprichten van een enkele module.

Blended learning is een ontwerpmethode waar een afwisseling van werkvormen en leeractiviteiten in verschillende leeromgevingen centraal staat. Deze methode is geschikt voor de beroepspraktijk aangezien het gericht is op de interactie met collega's in combinatie met het zelfstandig werken. Aangezien het blended learning- systeem nadruk legt op verschillende werkvormen is het minder geschikt voor deze casus aangezien die een enkele te leren module bevat die zo specifiek is dat het niet ten goede komt om verschillende werkvormen te gebruiken.

Bij de **backwards design** methode wordt een lesprogramma ontworpen vanuit een leerdoel en de toetsing hiervan. Door het lesprogramma te ontwerpen aan de hand van hoe de toetsing zal plaatsvinden, is het zeker dat de leerstof aan sluit op de te behalen doelen. Een ander begrip voor het backwards design is: constructive alignment. Deze methode is geschikt voor de casus omdat de leerdoelen en succesfactoren al bepaald zijn. De methode is minder geschikt aangezien er geen toetsing plaats gaat vinden. De medewerkers hoeven niet te bewijzen met een schriftelijke of andere toets dat de leerdoelen zijn behaald.

Uiteindelijk is gekozen voor de **4C/ID methode** aangezien deze goed toepasbaar is op de casus. Het is te gebruiken voor een enkele lesmodule en is gericht op de beroepspraktijk.



Figuur 9: 4C/ID methode

Zoals in de bovenstaande afbeelding te zien is bestaat een ontwerp volgens de 4C/ID methode uit taakklassen, met een paarse stippenlijn aangegeven. Deze taakklassen zijn gekoppeld aan beroepspraktijksituaties. Voor elke taakklasse is ondersteunende informatie beschikbaar. Deze informatie beschrijft de algemene probleemaanpak en is ten alle tijden terug te kijken. Een taakklasse is onderverdeeld in leertaken. Elke taak is oplopend in moeilijkheidsgraad en er is sprake van just-in-time procedurele informatie die de stap voor stap instructies geven op het moment dat gewerkt wordt aan de leertaak. Ten slotte zijn er deeltaakoefeningen ter extra oefeningen van routineaspecten.

Op welke wijze kan geverifieerd worden dat het lesprogramma aansluit op de doelgroep?

Elke Octaan (medewerker Octatube) heeft een Octanenpaspoort waar een persoonlijkheidstest volgens de 16personalities onderdeel van is. Deze test deelt je op basis van een vragenlijst in een profiel. Deze profielen zijn te koppelen aan een leerstijl (volgens methode Kolb) die vaak ook overeenkomt met de favoriete leerstijl van de medewerkers. De theorie van Kolb schrijft voor dat er 4 verschillende leerstijlen zijn; Persoonlijke relaties, observeren, rationeel denken en dingen uit proberen. In de ontwerpcriteria is dus ook gekozen om zo goed mogelijk aan te sluiten op al deze profielen. Het criterium dat daarbij hoort: *Het lesprogramma sluit (zo goed mogelijk) aan op de voorkeurs leerstijl van de medewerkers, toegekend via de 16personalities. Door keuzemogelijkheden aan te brengen kan elke student zijn eigen leerpad kiezen.*

Op welke wijze kan er worden gedifferentieerd in het lesprogramma op basis van instapniveau van de medewerker?

De 4C/ID methode is zo opgezet dat de leeractiviteiten in moeilijkheidsgraad toenemen. Door de leerdoelen te bekijken kan een constructeur zelf kiezen op welk moment in het lesprogramma hij of zij instapt of welke leertaken kunnen worden overgeslagen of juist niet als de betreffende persoon het leerdoel al behaald heeft.

Deelconclusie

De ontwerpcriteria gaan in op de strategie om het einddoel te behalen. Er wordt gebruik gemaakt van de 4C/ID methode aangezien deze zeer goed geschikt is voor implementatie in het werkveld. Door keuzemogelijkheid aan te brengen in de manier van leren sluit het lesprogramma zo goed mogelijk aan op de leerstijlen van de medewerkers en doordat de leeractiviteiten in moeilijkheidsgraad toenemen kan elke constructeur instromen op basis van ervaring die ze al hebben in gebruik van de software.

Uitvoeringsplan

Deelvraag

5. Wat is er allemaal nodig om het lesprogramma in parametrisch ontwerpen en het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM succesvol uit te kunnen voeren?

Als eindproduct is een uitvoeringsplan voor het lesprogramma in parametrisch ontwerpen geleverd. Aan de hand van dit uitvoeringsplan moet de opdrachtgever in staat zijn om het lesprogramma uit te werken voor implementatie in het werkveld. Het uitvoeringsplan bestaat uit een lijst van leerdoelen, succesfactoren, benodigdheden, tijdsplanning en begroting van de te volgen leer- deeltaken. De leertaken zijn stapsgewijs opbouwend in moeilijkheidsgraad en maken gebruik van twee verschillende constructieve modellen. Het eerste model is een simpele overkapping om de basis skills onder de knie te krijgen. Het andere model is een realistische casus die onlangs in het ontwerpproces van Octatube parametrisch is opgezet om daarmee te oefenen met het filteren van informatie en de werk gerelateerde taak in de praktijk te oefenen met een complex model. Het complete uitvoeringsplan is te vinden in [bijlage 4](#)

Uit welke onderdelen bestaat een lesprogramma volgens de gekozen ontwerpmethode?

Zoals eerder beschreven bestaat een lesontwerp volgens de 4C/ID methode uit taakklassen met elk ondersteunende informatie, leertaken met elk procedurele informatie en deeltaakoefeningen. In deze casus is er sprake van 1 taakklasse: het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM. Hierbij hoort een centrale (ondersteunende) uitleg die op elk moment terug gekeken moet kunnen worden. In de centrale uitleg moet uitgelegd worden wat het einddoel is van het lesprogramma en wat de algemene probleemaanpak is om tot dat einddoel te komen. De algehele taak wordt opgedeeld in leertaken. Leertaken zijn opdrachten die oplopen in moeilijkheidsgraad. Deze leertaken hebben een directe relatie met taken die voor kunnen komen in de beroepspraktijk, en gaan uit van een leerdoel wat behaald moet worden. Ze worden ondersteund door procedurele informatie zoals een stappenplan of uitlegvideo. De deeltaken zijn oefeningen die ingezet kunnen worden voor optionele extra scholing in de leertaken, in dit geval extra oefening in het gebruik van de software Grasshopper en RFEM.

Welke leerdoelen moeten worden behaald tijdens het doorlopen van het lesprogramma?

In de ontwerpcriteria zijn de leerdoelen opgesteld die hebben geleid tot het opstellen van de leer- en deeltaken. Onderstaand is een overzicht van de leerdoelen en welke leeractiviteit hierbij is gekozen.

De student is na afloop in staat om:

- De opbouw van een Grasshopper model te **begrijpen**.
- Een Grasshopper model te **manipuleren** ter gereed making voor de koppeling met RFEM.
- De koppeling van Grasshopper met RFEM te **kunnen toepassen**.
- Het inladen van belastingcombinaties in RFEM te **kunnen toepassen**.

Welke leeractiviteiten zijn nodig om de opgestelde leerdoelen te behalen?

Het begrijpen van de opbouw van een Grasshopper model. Om de opbouw van een Grasshopper model te begrijpen gaat de student aan de hand van een stappenplan aan de slag om zelf een simpele constructie op te bouwen in Grasshopper. Het is hierbij niet de bedoeling dat de student een expert wordt op het gebied van het zelf ontwerpen van constructies, maar kennis maakt met de werking van componenten in Grasshopper en de informatieoverdracht in het programma.

Het manipuleren van een Grasshopper model ter gereed making voor de koppeling met RFEM kan worden aangeleerd door verder te werken aan de eerder gemaakte simpele constructie van de vorige taak. In deze stap gaat de student de verschillende onderdelen een kleur en naam geven (balk, kolom, enzovoorts). Door

het kleuren van onderdelen is de lerende bezig om de juiste elementen te filteren uit een model. Nu is de constructie klaar om ingeladen te worden in RFEM.

Het kunnen toepassen van de koppeling van Grasshopper met RFEM. Het overschrijven van een model van Grasshopper naar RFEM gebeurt door gebruik te maken van specifieke componenten in Grasshopper. De lerende gaat als leeractiviteit volgens een stappenplan de componenten plaatsen en van de juiste input voorzien.

Het kunnen toepassen van het inladen van belastingcombinaties in RFEM. Om vervolgens een krachtberekening uit te kunnen voeren moeten in RFEM belastingcombinaties worden toegewezen. Dit wordt gedaan aan de hand van een bestaand Excel bestand. De student doorloopt een stappenplan om deze toewijzing van krachten een keer gedaan te hebben

Toetsing. Om te toetsen of de leerdoelen behaald zijn volgen er hierna nog een tweetal aan leeractiviteiten waarbij de constructeurs de eerder doorlopen activiteiten moeten toepassen in een complexer model. Het kan namelijk ook voorkomen dat er een lijnenmodel wordt aangeleverd vanuit de engineering-afdeling van het bedrijf. In de vorige stappen was een hogere maat van sturing aanwezig (stappenplan). In deze stap zal minder sturing gegeven worden en kunnen de studenten de centrale uitleg in combinatie met de uitwerking van de al doorlopen stappen in de vorige leeractiviteiten gebruiken als naslagwerk. Door koppeling te maken met een complexer en realistisch model uit het werkveld wordt de koppeling gemaakt met de actuele projecten van Octatube en zal de meerwaarde van het gebruik van de koppeling van Grasshopper en RFEM zichtbaar worden.

Deeltaken. Voor extra scholing kunnen de medewerkers de deeltaken volgen. Dit zijn tutorials in gebruik van Grasshopper en RFEM. Deze deeltaken zijn optioneel en zijn bedoelt ter verrijking van de kennis die er al is. In principe is het dus alleen nodig om de leertaken te volgen om het effectief inzetten van de koppeling te bereiken.

Validatie van de invulling van de leeractiviteiten

Door zelf verschillende leeractiviteiten doorlopen te hebben (tutorials en webinars in gebruik van Grasshopper) heb ik een goede basis gevormd in het gebruik van het programma. Tijdens deze leeractiviteiten heb ik geleerd om zelfstandig een ontwerp te creëren in Grasshopper. Aangezien dit niet het doel is van Octatube, maar het begrijpen van de programmatuur, en er geen koppeling was met de werksituaties bij het bedrijf is ervoor gekozen om zelf leertaken te ontwerpen. De tutorials zijn wel inzetbaar als deeltaak.

Ook is er een workflow-controle gedaan waarbij ik met een collega van de software-development-cirkel de stappen doorlopen heb die gebruikelijk zijn; van het opzetten van een Grasshopper model tot de berekening in RFEM. Door het doorlopen van de tutorials en de controle van de workflow is een goed beeld ontstaan wat de verschillende stappen zijn in het proces van de constructeurs. Op basis van deze ervaringen en verschillende validatiemomenten met de opdrachtgever zijn de leerdoelen en leeractiviteiten voor het lesprogramma opgesteld. De precieze invulling (stappenplan, uitwerking etc.) Van de leeractiviteiten moet nog plaatsvinden.

Wat zijn de risico's en succesfactoren?

Wanneer we het hebben over risico's is het bij een lesprogramma altijd een onbekende hoe het valt bij de betrokkenen. De constructeurs kunnen het format of de manier van uitleg niet begrijpen of niet als prettig ervaren.

Op dit moment is de werkdruk binnen de constructie-cirkel erg hoog. Dat betekent dat er eigenlijk weinig tot geen tijd is om in overige uren bezig te zijn met een trainingsmodule. Een risico is dus ook dat het lesprogramma om deze reden links komt te liggen en uiteindelijk niet opgepakt wordt door de medewerkers. Dit geldt waarschijnlijk voor de meer ervaren leden van de constructie cirkel. Deze constructeurs hebben meer een mentor/adviesfunctie dan dat ze zelf in het werkveld veel berekeningen hoeven te doen. Een bijkomend risico hiervan is dat deze coachende medewerkers dan niet begrijpen waar hun collega's mee bezig zijn wanneer ze parametrisch ontwerp willen toepassen in het werkveld.

Het is daarom een kritische succesfactor dat iedereen in de cirkel dit lesprogramma eens heeft doorlopen om bekend te worden met de werking van de programmatuur en vertrouwen te ontwikkelen met het werken volgens deze methode. Dit kan bereikt worden door het zo klein mogelijk houden van de werkdruk van het lesprogramma zodat de drempel om deze te volgen laag blijft.

Welke lesprogramma's bestaan er al over de software en kunnen deze gebruikt worden?

Er bestaan tutorials voor het gebruik van Grasshopper en RFEM. Deze zijn beiden geschikt voor gebruik voor de deeltaken van het lesprogramma.

Het overzetten van informatie van Grasshopper naar RFEM wordt gedaan met de B+G Toolbox. Dit is een toolbox in Grasshopper die speciaal ontworpen is voor deze taak. Er bestaat een video met uitleg door de bedenker en ontwerper van de toolbox, maar deze video is niet toereikend genoeg voor Octatube aangezien het specifieke voorbeelden mist van de toepassing op hun projecten. Het overschrijven van een lijnenmodel van Grasshopper naar RFEM is een dusdanig unieke stap dat hier nog geen bestaande lesprogramma's over zijn.

Van welke informatiebron kan gebruik gemaakt worden voor de invulling van de verschillende leerdoelen in het lesprogramma?

Er is een Multi-criteria analyse (MCA) gedaan om te onderzoeken welke lesstof zelf ontworpen moet worden en bij de invulling van welke leeractiviteiten van open source gebruik gemaakt kan worden. Deze MCA is te vinden in [bijlage 5](#)

De vaardigheden die voor het lesprogramma nodig zijn om te leren zijn onderverdeeld in 3 groepen; Grasshopper basiskennis, RFEM basiskennis en B+G toolbox basiskennis.

Wanneer er gekeken wordt naar de basiskennis van Grasshopper valt op dat dit goed te doen is via open source. Er bestaat al informatie over het aanleren van deze kennis. Ook de RFEM basiskennis heeft de meerderheid van de opties in het open source eindigen. Voorbeelden van open source bronnen die gebruikt kunnen worden zijn; de Grasshopper tutorials van de TU-Delft of YouTube video tutorials.

De B+G toolbox (koppeling Grasshopper-RFEM) daarentegen, is een unieke toolbox die alleen gebruikt wordt door de medewerkers van Octatube in het ontwerpproces. Specifieke leertaken die hiermee te maken hebben moeten hoe dan ook zelf ontworpen worden.

Wat is het benodigde materiaal en materieel om het lesprogramma succesvol te kunnen doorlopen?

In het uitvoeringsplan staan alle benodigde onderdelen genoemd per leeractiviteit. Het gaat hierbij voornamelijk om de uitleg (op meerdere manieren: video, stappenplan en uitwerking) en een computer met toegang tot de programmatuur.

Ook staat in het uitvoeringsplan hoeveel de beoogde tijd is die nodig is om een specifieke leertaak te doorlopen.

Voldoet het lesprogramma aan de vooraf gestelde eisen, wensen en randvoorwaarden?

Er heeft een toetsing plaatsgevonden of het uitvoeringsplan voldoet aan het programma van eisen. De volledige toetsing is te vinden in [bijlage 6](#)

Het lesprogramma zelf zal nog uitgewerkt moeten worden waarna een toetsing plaats moet vinden of deze geschikt is voor implementatie in het werkveld. Deze toets zal uiteindelijk uitwijzen of het lesprogramma voldoet aan alle eisen.

Deelconclusie

In het uitvoeringsplan staan alle benodigdheden om het lesprogramma succesvol in te kunnen vullen. Risico's zijn dat het lesprogramma links komt te liggen door de aanwezige werkdruk en een kritische succesfactor is dan ook dat het lesprogramma zelf geen hoge werkdruk uitoefent. Er bestaat nog geen bruikbare uitleg over de specifieke stap van het overschrijven van informatie van Grasshopper naar RFEM, daarom zal deze uitleg zelf ontworpen moeten worden. Extra vaardigheden in gebruik van de software kunnen wel aangeleerd worden door open source materiaal. Er heeft een toetsing plaatsgevonden of het uitvoeringsplan voldoet aan de vooraf gestelde eisen, wensen en randvoorwaarden. Er kan nog niet aangetoond worden of het lesprogramma uiteindelijk voldoet.

Conclusie

De hoofdvraag die voor dit onderzoek gesteld is;

Wat is de bouwkundige meerwaarde van parametrisch ontwerpen binnen de projecten van Octatube en met welke didactische uitgangspunten en lesprogramma kan een constructeur het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM effectief in het ontwerpproces gaan inzetten?

De conclusie is onder te verdelen in twee categorieën; bouwkundig deel en onderwijskundig deel. Het bouwkundig deel betreft de bouwkundige meerwaarde van parametrisch ontwerpen voor het bedrijf. Het onderwijskundig deel betreft een professionalisering wegens een trainingsmodule binnen een bouwkundig bedrijf

Bouwkundig deel; wat is de bouwkundige meerwaarde van parametrisch ontwerpen binnen de projecten van Octatube?

Parametrisch ontwerpen is een wiskundige manier van het vormgeven van een ontwerp. Het kost in opzet meer tijd, maar naarmate ervaring in de ontwerpmethodede zich ontwikkelt zal deze extra tijd afnemen. De geïnvesteerde tijd om een parametrisch model op te zetten betaalt zich terug in de aanpasbaarheid en de mogelijkheid om snel aanpassingen te doen in het model. Aangezien het model aanpasbaar is, kunnen varianten en aanpassingen, in vergelijking met het handmatig aanpassen, snel worden toegepast en doorgerekend. De meerwaarde voor het bedrijf Octatube komt naar voren in de toekomstvisie en de ontwikkeling die het bedrijf in de loop der jaren heeft doorgemaakt. De toekomstvisie van Octatube is: realising challenging architecture en het (brutale) ideaal: Design & build the most iconic building skin in 2030. Dit is ook terug te zien in de projecten die het bedrijf aangaat; Naarmate de tijd vorderde zijn ze telkens complexere projecten aangegaan en deze projecten zijn door hun aard (staal- en glasconstructies in bijzondere vormen) uitermate geschikt om parametrisch op te zetten. Het handmatig doorrekenen van elk uniek knooppunt in een vorm met meerdere krommingen is tegenwoordig niet meer haalbaar in de beschikbare tijd.

Onderwijskundig deel; met welke didactische uitgangspunten en lesprogramma kan een constructeur het koppelen van informatie van Grasshopper naar RFEM effectief in het ontwerpproces gaan inzetten

Deel 1: De didactische uitgangspunten zijn gebaseerd op; leerdoelen, leerprincipes, leerstijlen leermotieven en leeractiviteiten. Deze vier pijlers zijn voornamelijk gericht op het professionaliseren in een bouwkundig bedrijf. Het is in principe een algemeen beleid wat op de meeste bouwkundige bedrijven toepasbaar is.

Leerdoelen; om de leerdoelen toe te kunnen passen op een praktische situatie in het werkveld moeten deze kernwoorden bevatten over inhoud en gedrag.

Leerprincipes; er wordt gefocust op contextgericht leren. Dit houdt in dat de context van het lesprogramma zich bindt aan toepassingen in het werkveld. Oftewel; de lesstof is werk gerelateerd.

Leerstijlen; iedere persoon heeft een eigen favoriete manier van leren. Aangezien het lesprogramma nu en in de toekomst toepasbaar moet zijn op verschillende persoonlijkheden zal het dus op meerdere leerstijlen aansluiting moeten vinden. Er moet in het lesprogramma keuzemogelijkheid zijn in de manier van leren die ieder het meest aanspreekt.

Leermotieven; Uit interviews is gebleken dat relevantie en vertrouwen de belangrijkste aandachtspunten zijn. Voor relevantie is het essentieel dat de lesstof aansluit op realistische situaties die in het werkveld voor kunnen komen. Er wordt dus gebruik gemaakt van echte projecten die Octatube heeft aangenomen. Om vertrouwen te winnen in het gebruik met de software moet duidelijk worden dat het parametrisch opzetten van het model niets anders is dan een andere manier van tekenen. Door de leertaken in het lesprogramma op te bouwen in moeilijkheidsgraad zal vertrouwen gewonnen kunnen worden.

Leeractiviteiten; De leeractiviteiten zijn gebaseerd op het leerdoel wat behaald moet worden. Zo bouw je zekerheid in dat de leeractiviteit aansluit op de realistische werksituatie die uiteindelijk uit zal wijzen of het volgen van het lesprogramma geschikt is geweest.

Deel2: het lesprogramma is ontworpen volgens de 4C/ID methode. Deze methode is goed toepasbaar op professionalisering in het werkveld. De methode schrijft voor om het lesprogramma op te delen in verschillende leertaken, opbouwend in moeilijkheidsgraad. Elke leertaak heeft haar eigen leerdoel(en). De leertaken zijn contextgericht en er wordt gebruik gemaakt van constructies die onlangs in een echt project zijn gemaakt. Er is keuzemogelijkheid in manier van doceren (video, stappenplan, uitwerking) om aan te sluiten op de verschillende leerstijlen. Ook zijn er deeltaken aanwezig voor extra scholing in het gebruik van de programmatuur.

Discussie

Door de methode van ontwerpen kan gevalideerd worden dat het eindproduct voldoet aan alle eisen, wensen en randvoorwaarden. Er is uitgegaan van het programma van eisen en vervolgens van grof naar fijn gewerkt. Door elk document in deze stappen telkens aan te bieden aan de opdrachtgever ontstaat er een feedback-cyclus waardoor gevalideerd kan worden dat het eindproduct voldoet aan de verwachtingen van Octatube. Ook heeft er een toets plaatsgevonden of het uitvoeringsplan uiteindelijk voldoet aan het programma van eisen.

Ondanks dat het uitvoeringsplan van het lesprogramma is getoetst op de wensen en eisen in het programma van eisen en de bouwkundige meerwaarde mist er nog een punt van validatie. Het is namelijk belangrijk om een evaluatie te doen nadat het lesprogramma is doorlopen. Deze validatie zal pas echt uitwijzen of alle doelen zijn behaald en of het lesprogramma op iedereen een positief effect heeft gehad.

Aanbevelingen

Het lesprogramma is nu nog beperkt tot een uitvoeringsplan. Om het lesprogramma daadwerkelijk in werking te laten treden is het noodzakelijk om de leertaken uit te werken tot kant-en-klaar lesprogramma. Hierbij hoort het uitschrijven van de leertaak in een stappenplan. Ook moet er per leertaak een video worden gemaakt met de uitleg van het stappenplan. Ten derde moet de startsituatie in een Grasshopper model en de uitgewerkte versie van het stappenplan gemaakt worden.

Vervolgens zou ik aanbevelen om het lesprogramma een keer te laten doorlopen door iemand zonder ervaring in de stof, zodat diegene kan testen hoe dit hem of haar afgaat en of alles duidelijk omschreven is. Ook is het belangrijk om te weten of het lesprogramma binnen de vooraf bedachte tijd te doorlopen is.

Als laatste aanbeveling zou ik het bedrijf adviseren om zich te verdiepen in de manier van ontwerpen van dit lesprogramma om te gebruiken zodat hier voor de toekomstig geplande professionalisering in de constructie afdeling gebruik gemaakt van kan worden. De 4C/ID methode is een methode die goed geschikt is voor toepassing in het werkveld en in combinatie met de shared learning sessies die na elke vergaderingen plaatsvinden kan hier de centrale uitleg plaatsvinden.

Literatuurlijst

BNA [BNA in beeld]. (2018, 10 september). *Parametrisch Ontwerpen | Stel data centraal in je ontwerpproces* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=J4_a3_sOYgU&ab_channel=BNAINbeeld

Brandse, P. (2015, augustus). *Van beroepsbeeld naar complex leren*. https://hbo-kennisbank.nl/details/sharekit_inholland:oai:surfsharekit.nl:6db2520a-0f62-41a1-93d9-125346bc8a9d?q=praktijkgericht+leren&p=5

Didactische uitgangspunten van opleidingen en cursussen. (z.d.). Erasmus Academie | Erasmus University Rotterdam. https://www.eur.nl/erasmusacademie/didactische-uitgangspunten-van-opleidingen-en-cursussen#Brein_Centraal_leren

Hoogeveen, P., & Winkels, J. (2018). *Het didactische werkvormenboek* (12de editie). Koninklijke Van Gorcum.

Leerstijlen | Carrièretijger. (z.d.). Leerstijlen. <https://www.carrieretijger.nl/functioneren/ontwikkelen/leerstijlen>

Lucassen, M. (2021, 30 juni). *5 Modellen om je onderwijs mee te ontwerpen*. Vernieuwonderwijs ontwerpmodellen. <https://www.vernieuwonderwijs.nl/5-modellen-om-je-onderwijs-mee-te-ontwerpen/>

Octatube. (2021, 16 juli). *Parametrisch ontwerpen*. Parametrisch ontwerpen. https://www.octatube.nl/nl_NL/systemen/systemitem/23-parametrisch-ontwerpen.html

Open Universiteit Nederland. (2010, maart). *Basisworkshop 4C/ID* [Presentatieslides]. researchgate.net. https://www.researchgate.net/profile/Iwan-Wopereis/publication/241886254_Basisworkshop_4CID/links/0f3175322c6d9e6e62000000/Basisworkshop-4C-ID.pdf

Peeters, W. (2021, 20 februari). *Curriculumontwikkeling: Backward design vs. ADDIE – welk model is aan te raden?* Vernieuwonderwijs. <https://www.vernieuwonderwijs.nl/curriculumontwikkeling-backward-design-vs-addie/>

Projecten. (2021, 16 juli). Projecten Octatube. https://www.octatube.nl/nl_NL/projecten.html

Radboud universiteit. (z.d.). *Constructive Alignment*. Docenten. <https://www.ru.nl/docenten/onderwijs/onderwijs-ontwerpen/ontwerpprincipes/constructive-alignment/>

Robertson, B. J. (2015). *Holacracy*. Reed Business Education.

Speksnijder, A. (2019, 15 maart). *Leerstijlen van Vermunt | motieven om te leren staan centraal*. Bridge2learn. <https://www.train-de-trainer.com/leerstijlen-van-vermunt/>

Spieringhs, J., & Boerma, H. (2019, mei). *De Onder(door)gang van Handrekenen*. https://www.hbo-kennisbank.nl/details/sharekit_han:oai:surfsharekit.nl:279e7e0e-ff06-4dc0-ad35-b49831e4c0b1?has-link=yes&q=parametrisch+ontwerpen&c=0

TU Delft. (z.d.). *Grasshopper - TOI-Pedia*. Tutorials Grasshopper. <http://wiki.bk.tudelft.nl/toi-pedia/Grasshopper>

Uitleg over het 4C/ID-model. (2016, April). BSL. <https://www.bsl.nl/wp-content/uploads/2016/04/Uitleg-over-het-4CID-model.pdf>

Universiteit Utrecht. (z.d.). *Leerdoelen en de Taxonomie van Bloom*. Leerdoelen en de taxonomie van Bloom. <https://docentenportal-farmacie.sites.uu.nl/onderwijsontwikkeling/leerdoelen-formuleren/>

Wat is Holacracy? Gestructureerde zelforganisatie. (2022, 14 januari). Wat is Holacracy? Geraadpleegd op 7 februari 2022, van <https://energized.org/wat-is-holacracy/>

Webredactie OMJS. (2018, 13 september). *Taxonomie van Bloom*. Onderwijs Maak Je Samen. <https://www.onderwijsmaakjesamen.nl/actueel/download-ontwerp-verrijk/>

Wevers, I. (2021, 25 mei). *Constructieve afstemming: meer samenhang in het curriculum!* Vernieuwonderwijs. <https://www.vernieuwonderwijs.nl/constructieve-samenhang/>

wij-leren.nl. (2020, 12 oktober). *design thinking als basis voor innovatief onderwijs*. <https://wij-leren.nl/design-thinking-innovatief-ontwerpgericht.php>