



van Digitaal naar Digitaal 2.0

**Een hoger level van de engineering met
Computational Design**

Definitief
14 juni 2018

Mylan van de Flier
Civiele Techniek (ontwerp)

van Digitaal naar Digitaal 2.0

Een hoger level van de engineering met Computational Design

Definitief revisie 1.0
14 juni 2018

Auteur



M. (MYLAN) VAN DE FLIER

+31 6 158 512 36

mylan_f@icloud.com

Avans Hogeschool
Civiele Techniek (ontwerp), Voltijd
Studentnr.: 2089816

Begeleiders



ANTEA NEDERLAND B.V.

ir. B.A. (Bob) Heester

+31 6 520 463 28

bob.heester@anteagroup.com



AVANS HOGESCHOOL

ir. B.F. (Bart) Dankers

+31 88 525 61 91

bf.dankers@avans.nl

ir. I.N. (Irene) Vloerbergh

+31 88 525 92 35

in.vloerbergh@avans.nl

Voorwoord

Innovaties met kenmerken van digitalisering en industrialisatie, zoals 3D-printing, mass customization en Generative Design, vind ik bijzonder interessant. Ik ben ervan overtuigd dat, wanneer de huidige bouwsector niet of niet voldoende vernieuwt met de mogelijkheden die er zijn, andere of nieuwe partijen hierop inspelen en marktaandeel veroveren.

Mijn interesse sluit aan bij de ambitie van Antea Group om te investeren in deze onderwerpen. Voorafgaand aan de afstudeerperiode ben ik, als stagiair en werkstudent, ongeveer een jaar bij Antea Group werkzaam geweest in de functie van modelleur. Daarin heb ik al veel ervaring opgedaan met Revit en aan interessante projecten gewerkt. In deze leuke periode is de basis voor dit onderzoek gelegd.

In de afstudeerperiode heb ik diverse inspirerende events bezocht en met gepassioneerde vakgenoten gesproken. Ik heb veel kennis en inzichten opgedaan over de mogelijkheden en de komende veranderingen in de engineering. Ik kijk ernaar uit om dit na het behalen van mijn diploma in de praktijk te gaan toepassen en me te specialiseren. Graag wil ik Antea Group heel hartelijk dank voor alle kansen die mij geboden zijn.

Graag wil ik nog een aantal mensen bedanken: Josha van Reij van Cadac Group voor de hartelijke ontvangst en het inspirerende interview. Bart Dankers en Irene Vloerbergh voor hun behulpzaamheid en persoonlijke begeleiding. Bob Heester van Antea Group voor zijn inzichten en eindeloze geduld. En tenslotte Martijn voor zijn kritische blik.

Heel veel leesplezier gewenst!

Mylan van de Flier

Breda, 14 juni 2018

Samenvatting

De Architecture, Engineering & Construction industrie, nog nauwelijks hersteld van de laatste economische crisis, staat aan de vooravond van ingrijpende veranderingen. Nieuwe technieken, waaronder 3D-printing en visueel programmeren, vragen om nieuwe benaderingen van het engineeringproces, maar openen gelijktijdig deuren om reeds lang geleden ingezette ontwikkelingen naar een nieuw level te tillen.

More – better – less vat de uitdaging van de sector samen: meer leveren van betere kwaliteit met minder middelen. Ingenieursbureau Antea Group ziet zich geconfronteerd met deze uitdaging. Als mogelijke oplossing wordt Parametric Design genoemd: het ontwerpen aan de hand van een door parameters variabel model. Enerzijds uit de wens dit verder te verkennen en anderzijds om te onderzoeken of dit thema kansen biedt, is de hoofdvraag van deze studie ontstaan: “Hoe kan Antea Group Parametric Design toepassen om aan te sluiten bij de ontwikkelingen in de Architecture, Engineering & Construction industrie?” Om de doelstelling – een verkenning van de stand van zaken op gebied van parametrisch ontwerpen en het komen tot een praktische invulling ervan – te realiseren, gaat deze studie aanzienlijk verder dan enkel het onderwerp Parametric Design zelf.

Gestart wordt met beschrijving van de ontwikkelingen in de industrie in de periode vanaf 1850 tot en met de nabije toekomst. Nadat eind vorige eeuw (mechanische) kracht is vervangen door kennis, zullen in onze tijd digitalisering en data doorslaggevend worden voor het bestaansrecht van ondernemingen. Vooral het vermogen om dit om te zetten in meerwaarde voor opdrachtgevers wordt een centraal thema binnen de engineering en dus ook voor Antea Group.

Daarna wordt aandacht besteedt aan het engineeringproces. Dit wordt uitgesplitst naar een mentaal en een fysiek deel, dat met de komst van de computer digitaal wordt. De stap van Digitaal naar Digitaal 2.0 wordt toegelicht aan de hand van Computational Design, visueel programmeren, Computational Thinking en Parametric Design. Ondersteund door afbeeldingen wordt de relatie tussen de begrippen uitgelegd en onderbouwd. Tevens wordt aandacht besteed aan de veranderende positie van de engineer in dit proces: hij werkt niet langer met de computer, maar laat de computer (een gedeelte van) zijn werk overnemen.

Tenslotte wordt gekeken hoe Antea Group de verkregen inzichten kan omzetten naar de praktijk. Parametric Design alleen is niet voldoende om de meerwaarde te leveren die de opdrachtgever verlangt. Naast de mogelijkheid (in beginsel) oneindig veel varianten te ontwerpen, moet uit deze varianten ook de best mogelijke variant gekozen kunnen worden. Hiervoor is Analysis – Optimisation nodig, ofwel: de varianten worden getoetst aan de hand van door opdrachtgever opgegeven criteria en het ontwerp met de beste score wordt geselecteerd voor verdere uitwerking. Dit wordt de Computational Design Solution genoemd.

Omdat het startpunt voor het aanbieden van een dergelijke Solution wordt gevormd door een Parametric Design, wordt hierna een procesdiagram opgesteld en besproken. De diverse onderdelen hiervan (databases, standaarden en processtappen) worden toegelicht, alsmede de relatie met Computational Thinking en uiteindelijk weer met BIM, waarmee het geheel in de praktijk moet communiceren. De studie sluit af met een overzicht van de bevindingen en enkele aanbevelingen.

Abstract

The Architecture, Engineering & Construction industry, hardly recovered from the last economic crisis, is on the verge of significant changes. New technologies, including 3D printing and visual programming, require new approaches to the engineering process, but also open doors to take a long time to develop developments.

More - better - less summarizes the sector 's challenge: delivering better quality with fewer resources. Engineering firm Antea Group is facing this challenge. The possible solution is called Parametric Design: design using a variable model. On the one hand, the desire to explore this further and on the other hand to investigate whether this theme offers opportunities, the central question of this study has arisen: "How can Antea Group apply Parametric Design to fit in with the developments in the Architecture, Engineering & Construction industry?" To realize the objective - an exploration of the state of affairs in parametric design and achieving a practical interpretation - this study goes far beyond just the subject of Parametric Design itself.

We start with a description of developments in the industry in the period from 1850 up to and including the near future. After replacing (mechanical) power with knowledge at the end of the last century, digitization and data will become decisive in our time for the existence of companies. Especially the ability to convert this into added value for clients becomes a central theme within the engineering and therefore also for Antea Group.

Nex is the engineering process. The typical process is broken down into a mental and a physical part, which becomes digital with the arrival of the computer. The step from Digital to Digital 2.0 is explained by Computational Design, visual programming, Computational Thinking and Parametric Design. Supported by images, the relationship between the terms is explained and substantiated. Attention is also paid to the changing position of the engineer in this process: he no longer works with the computer but lets the computer take over (a part of) his work.

Finally, we look at how Antea Group can convert the obtained insights into practice. Parametric Design alone is not sufficient to deliver the added value that the client requires. In addition to the possibility (in principle) to design infinitely many variants, the best possible variant must also be chosen from these variants. Analysis - Optimization is required for this, either: the variants are tested against the criteria specified by the client and the design with the best score is selected for further elaboration. This is called the Computational Design Solution.

Because the starting point for offering such a Solution is a Parametric Design, a process diagram is drawn up and discussed below. The various components of this (databases, standards, and process steps) are explained, as well as the relationship with Computational Thinking and ultimately again with BIM, with which the whole must communicate in practice. The study concludes with an overview of the findings and some recommendations.

Inhoudsopgave

Blz.

	Figurenlijst	1
	Video links	1
1	Inleiding	2
1.1	Aanleiding	2
1.2	Doelstelling	2
1.3	Probleemstelling	3
1.4	Aanpak	3
2	Ontwikkeling tot industrie	5
2.1	Introductie	5
2.2	1850 – 1900	5
2.2.1	van Nijverheid naar Industrie	5
2.2.2	Bouwmeesters	6
2.2.3	Infrastructuur & De waterstaat	6
2.2.4	Splitsing van de bouwsector	6
2.2.5	Kracht als onderscheidende factor	7
2.3	1900 – 2010	7
2.3.1	Gewapend beton	8
2.3.2	Onderzoek	8
2.3.3	Normen & waarden	9
2.3.4	Kennis is macht	9
2.4	2010 – Toekomst	10
2.4.1	van Product- naar Servicegericht	10
2.4.2	Industrie 4.0	10
2.4.2.1	Digitalisering	11
2.4.2.2	Robotisering	12
2.4.2.3	Mass customization	12
2.4.3	Naar een digitale wereld	13
2.5	Conclusie	13
3	Digitalisering van de engineering	14
3.1	Engineering	14
3.2	Computational Design	15
3.2.1	Visueel programmeren	15
3.2.2	Computational Thinking	16
3.2.3	Mogelijkheden	17
3.2.4	Beperkingen	18
3.2.5	Aansluiting met BIM	18
3.2.5.1	BIM levels	20
3.3	Parametric Design	22
3.3.1	In de markt	23

3.4	Conclusie	25
4	Toepassing voor Antea Group	26
4.1	Horizon Antea Group	26
4.2	Parametrisch Concept	28
4.2.1	BIM standaarden	28
4.2.2	Input – Output	29
4.2.2.1	Output	29
4.2.2.2	Input	29
4.2.3	Parametrisch proces	30
4.2.3.1	Database	31
4.2.3.2	Select & Process	31
4.2.3.3	Link elementen	32
4.2.3.4	Analysis & Fit	33
4.2.4	Software	33
4.3	Conclusie	34
5	Conclusie	35
5.1	Aanbevelingen	37
	Bronnenlijst	38
	Bijlage A Transcriptie interview Cadac Group	
	Bijlage B Concept Kruisingsconstructie	
	Bijlage C Ontwikkeling Concept Kruisingsconstructie	

Figurenlijst

Figuur 1 Probleemstelling	3
Figuur 2 Productiviteit industrieën (The Economist, 2017)	11
Figuur 3 van Stukfabricage naar Mass customization (ING Economisch Bureau, 2016)	12
Figuur 4 Ontwerpproces (Jeffries, 2016)	14
Figuur 5 Script (Autodesk, 2018)	15
Figuur 6 Computational Thinking (Zuiderman, 2015)	16
Figuur 7 Eco-systeem van software (Beach, 2017)	17
Figuur 8 Werkvelden BIM (Heester, 2018)	19
Figuur 9 BIM levels (Succar, 2015)	20
Figuur 10 Data, Informatie, Kennis, Inzichten en Wijsheid (Somerville, 2014)	21
Figuur 11 Overeenkomst BIM levels en verwerking in proces	21
Figuur 12 Verdeling capaciteit mens (MOA, 2018)	22
Figuur 13 Investeren & resultaat (Ploeg, 2018)	23
Figuur 14 Station Arnhem (UNStudio, 2015)	23
Figuur 15 Parametrisch viaduct (Viegen, 2018)	24
Figuur 16 Dynamische Elementen (Groot, 2018)	24
Figuur 17 Workflow (Wallaert & Knudsen, 2017)	25
Figuur 18 Traditionele workflow (Rethinking The Future, 2018)	26
Figuur 19 Mogelijke varianten (Rethinking The Future, 2018)	27
Figuur 20 Computational workflow (Rethinking The Future, 2018)	27
Figuur 21 LOD niveaus (Areo, 2016)	29
Figuur 22 Lagen, Projectgrenzen, Alignement en Netwerklinks	30

Video links

Video link 1	Demo Dynamo	https://www.youtube.com/watch?v=yjcgufOGTZc
Video link 2	Demo Dynamo (Bridge)	https://www.youtube.com/watch?v=aLA6iA2S4IA
Video link 3	Parametric Design	https://www.youtube.com/watch?v=3whfhLQ_LdU
Video link 4	Analysis – Optimisation	https://www.youtube.com/watch?v=5Pe86qGsYxM
Video link 5	Generative Design	https://www.youtube.com/watch?v=CtYRfMzmWfU

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Antea Group is gestart met het 'duizenddagenplan' om het meest klantgerichte, innovatieve, winstgevende en zichtbare ingenieurs- en adviesbureau van Nederland te worden. Dag 500, februari 2018, is reeds verstreken. Na de 1000 dagen heeft Antea Group zich onder andere het volgende doel gesteld: "Antea Group is toonaangevend in de sector op het gebied van engineering van 3D-printing, sensing en data-analyse. Onderwerpen waar de relatie ingenieurswerk en ICT centraal staat" (Antea Group, 2017). Met deze innovaties wil Antea Group zich onderscheiden, de arbeidsproductiviteit verhogen en zijn marktpositie behouden en/of verbeteren.

In het Jaarplan 2018 van de afdeling Kunstwerken is onder het thema 'Innovatie' het aandachtspunt 'Virtueel Bouwen' opgenomen, wat als volgt wordt uitgelegd: "Intensief betrokken bij BIM-Continues & Parametrisch ontwerpen verkennen & kansen invullen" (Antea Group afd. Kunstwerken, 2018).

Het kernteam 'BIM-Continues' is opgezet door de businesslijn Infra en krijgt versterking van de businesslijn Contracten en Vergunningen. Antea Group signaleert een toenemende mate van digitalisering. Met BIM wordt al enige tijd gewerkt en de verwachting is dat zich dit komende jaren verder zal ontwikkelen. Om mee te kunnen in de ontwikkelingen in de sector moet hieraan concreet invulling worden gegeven, anders zal het bedrijf in de toekomst minder aantrekkelijk worden voor klanten en getalenteerd personeel.

Het andere deel van de doelstelling ("Parametrisch ontwerpen verkennen & kansen invullen") heeft tot op heden nog minder aandacht gekregen. Dit terwijl diverse andere marktpartijen reeds de eerste stappen in deze richting hebben gezet. Dit onderzoek is een eerste invulling voor deze doelstelling.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van de afdeling Kunstwerken van Antea Group (hierna: Antea Group) met betrekking tot parametrisch ontwerpen valt in twee onderdelen uiteen:

1. Verkennen;
2. Kansen invullen.

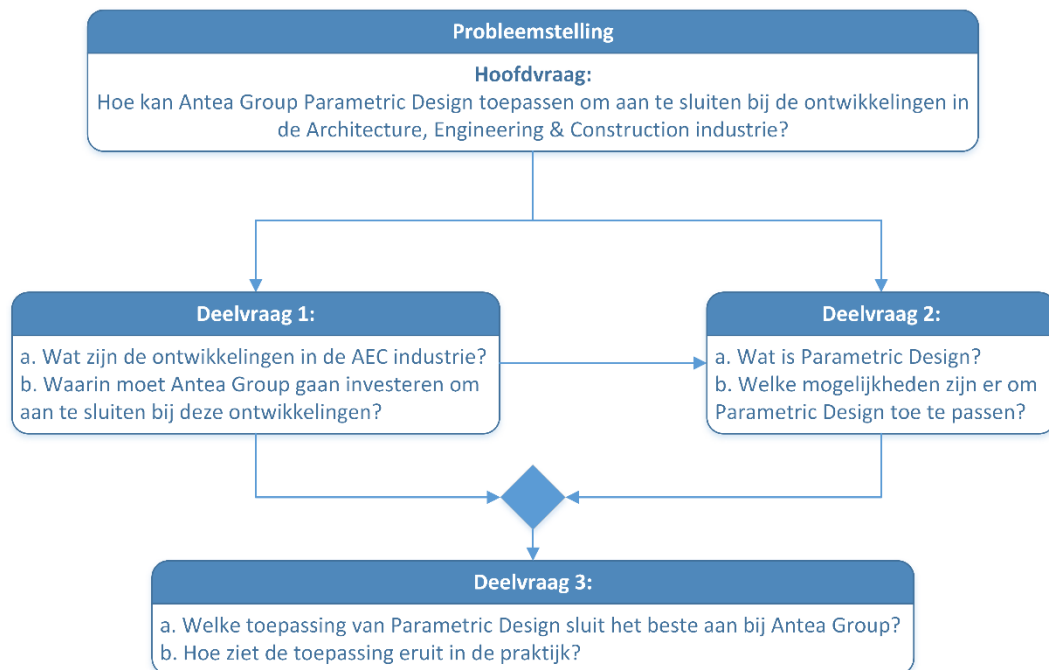
Dit onderzoek geeft aan beide onderwerpen invulling. De verkenning wordt in twee richtingen gedaan: enerzijds wordt gekeken naar de ontwikkelingen in de Architecture, Engineering & Construction (AEC) industrie in verleden, heden en toekomst. Dit geeft Antea Group meer inzichten over de uitgesproken verwachtingen met betrekking tot digitalisering. Anderzijds wordt specifiek voor parametrisch ontwerp gekeken wat het inhoudt en wat de markt op dit moment reeds aanbiedt.

Daarnaast wordt ingegaan op de meerwaarde die parametrisch ontwerpen in de dienstverlening van Antea Group kan bieden en hoe deze vorm van ontwerpen geïmplementeerd kan worden. Aan de hand van een procesdiagram wordt dit voor een viaduct concreet uitgewerkt.

De afdeling Kunstwerken krijgt in dit onderzoek de benodigde handvatten om verder invulling te gaan geven aan de doelstelling met betrekking tot het parametrisch ontwerpen. De aanbevelingen worden gegeven als aandachtspunten voor verder ontwikkeling van dit werkveld binnen de afdeling. Tevens zal aandacht uitgaan naar de relatie tussen parametrisch ontwerpen en BIM, waardoor deze studie ook voor het team BIM-Continues interessant zal zijn.

1.3 Probleemstelling

Aan de doelstelling wordt invulling gegeven door beantwoording van onderstaande hoofdvraag, die in een drietal deelvragen uiteen valt:



Figuur 1 Probleemstelling

1.4 Aanpak

In het volgende hoofdstuk wordt aandacht besteed aan de ontwikkelingen in de AEC industrie in de periode vanaf 1850 tot en met de nabije toekomst. Dit is gedaan op basis van literatuur. De besproken onderwerpen gelden voor de gehele industrie, echter ze worden toegespitst op de Civiele Techniek. Gekeken wordt welke ontwikkelingen voor Antea Group relevant zijn. Dit vormt de basis voor het verdere onderzoek.

Hoofdstuk 3 geeft een verkenning met betrekking tot de digitalisering van de engineering. De conceptuele kaders waarop later de praktische invulling is gebaseerd, worden in dit hoofdstuk beschreven. Het hoofdstuk sluit af met een overzicht van reeds bestaande toepassingen in de

markt. Het interview met Cadac Group en het bezoeken van het event Parametrisch Ontwerpen van VNconstructeurs heeft bijgedragen aan de inzichten in dit hoofdstuk.

Na de verkenningen en opgedane inzichten in hoofdstukken 2 en 3 is er in hoofdstuk 4 een toepassing voor Antea Group uitgewerkt om zo een kans voor het bedrijf te creëren. Eerst zullen de principes van deze toepassing uitgelegd worden. Daarna wordt een procesdiagram doorgenomen voor de toepassing van Parametric Design. Dit procesdiagram is in een ontwikkelend proces tot stand gekomen. Deze is als bijlage bijgevoegd (bijlage B) en zal worden beschreven vanaf paragraaf 4.2.

2 Ontwikkeling tot industrie

In dit hoofdstuk komt de ontwikkeling van de Architecture, Engineering & Construction industrie (hierna: AEC industrie) in de periode vanaf ongeveer 1850 tot en met de nabije toekomst aan bod. De werkprocessen die de industrie vandaag hanteert, vinden hun oorsprong in het verleden. Het doel van dit hoofdstuk is het geven van een verkenning en inzichten in de ontwikkelingen die voor Antea Group van belang zijn.

De hierna volgende paragrafen geven geen alomvattende historische beschrijvingen, maar richten zich op ontwikkelingen welke voor het onderzoek relevant zijn. De besproken onderwerpen gelden voor de gehele industrie, echter ze worden toegespitst op de Civiele Techniek. Daarnaast moeten de gegeven periodes niet als harde, vast omlijnde tijdsbestekken worden gezien: vanzelfsprekend lopen deze geleidelijk in elkaar over. De periode is opgedeeld in drie periodes, elk met hun eigen specifieke ontwikkelingen. Na elke periode worden deze nog kort samengevat.

2.1 Introductie

Architecture, Engineering & Construction industrie houdt zich bezig met het realiseren van ruimtes, verbindingen en de waterstaat. Dat klinkt groot en dat is het ook: in feite omvat de industrie alles wat met de leefomgeving te maken heeft. De industrie bestaat intussen ongeveer anderhalve eeuw en heeft zich in die tijd ontwikkeld tot een complexe sector die opereert in een volatiele markt.

2.2 1850 – 1900

In de periode van omstreeks 1850 tot 1900 heeft zich een transformatie voorgedaan van de Nederlandse maatschappij. Dit komt door samenkomst van gebeurtenissen, ontwikkelingen en denkwijzen, zoals de grondwetswijziging van 1848 en de industriële revolutie. Dit werkt door in hoe het land wordt bestuurd en hoe mensen leven en werken. Het bepaalt hoe bedrijven en sectoren ontstaan en zich ontwikkelen en daarmee hoe het straatbeeld eruit ziet. De bouwnijverheid in Nederland heeft zich in deze korte periode getransformeerd tot een beginnende industrie.

2.2.1 van Nijverheid naar Industrie

In de eerste helft van de 19^e eeuw is de industriële revolutie buiten Nederland al in volle gang. Halverwege deze eeuw verschijnen de nieuwe technieken in Nederland. Daarbij wordt de energie geleverd door mens, dier of wind overgenomen door mechanische energie, die vele malen krachtiger en continu beschikbaar is. De capaciteit is ongekend en groeit extreem snel. In 1850 breekt in Nederland een stabiele politieke periode aan. Er is een grote drang om de samenleving een beter bestaan te geven. Door een nieuwe staatsinrichting en de economische groei komen grote investeringen door de overheid van de grond. Door deze investeringen groeit de werkgelegenheid, wat resulteert in betere bestaansvoorwaarden voor de Nederlanders en bevolkingsgroei (Lintsen, Deel II, 1993, pp. 95-96). Dit alles geeft een grote impuls voor de bouwnijverheid en brengt een technische modernisering en professionalisering teweeg. (Lintsen, Deel III, 1993, p. 191)

2.2.2 Bouwmeesters

De scheiding tussen ontwerp en uitvoering vindt zijn voltooiing rond het einde van de 19^e eeuw. Dit heeft geleid tot een nieuwe arbeidsverdeling. Voorheen was er de bouwmeester die wordt ingeschakeld voor het ontwerpen, tekenen, inkopen van materiaal, aanstellen van ambachtslieden en de begeleiding van de uitvoering. Het ontwerp ontstaat vanuit ervaringen uit de uitvoering, waardoor er weinig oog is voor architectuur.

Wanneer Napoleon het openbaar aanbesteden invoert voor werken van de overheid in het begin van de 19^e eeuw, staat het voor eenieder vrij zich hierop in te schrijven. Naast de bestaande bouwmeesters komen er timmerlieden en metselaars die werken aannemen en die dus ook wel 'aannemer' worden genoemd. Dit heeft ertoe geleid dat de bouwmeester zich heeft geprofessionaliseerd tot architect, waarbij hij zich tevens gaat verdiepen in innovaties en nieuwe materialen. Het gebruik van de wetenschap in het ontwerp en technische uitwerking komt in deze periode ook op. (Lintsen, Deel III, 1993, pp. 201-205) Deze verdeling is tot op heden zichtbaar.

2.2.3 Infrastructuur & De waterstaat

De overheid speelt een belangrijke rol binnen de ontwikkelingen die in een korte tijd plaatsvinden tussen 1850 en 1900. De overheid beschikt over middelen en daadkracht om Nederland mee te laten doen met de revolutie die gaande is. Dit is dan ook te zien doordat de overheid nieuwe taken op zich neemt en bestaande taken centraliseert of opnieuw onderverdeelt tussen provincie en gemeente (Lintsen, Deel II, 1993, p. 168). Deze acties zijn gericht op het landsbelang en de overheid wordt daarbij een overkoepelend orgaan.

Een goed voorbeeld hiervan is dat de overheid heeft gezorgd voor het aanleggen van spoorlijnen en het verbinden van bestaande spoorlijnen door het bouwen van spoorbruggen met als doel een landelijk netwerk te realiseren. Het aanleggen van waterwegen en later ook het landelijke wegennet zijn andere voorbeelden. Een andere belangrijke taak is de zorg voor de waterstaat. Onder de waterstaat valt het beschermen tegen overstromingen en het verbeteren van het waterkwaliteit en borging van voldoende water voor de gehele staat (Rijksoverheid, 2018).

Deze taken worden ondergebracht in een ministerie. Zij maken het beleid voor Nederland. Rijkswaterstaat is de uitvoerende organisatie van het beleid van het ministerie. Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het ontwerp, uitwerking, aanbesteding en beheer. Eind 19^e eeuw heeft Rijkswaterstaat ook de taak gekregen om openbare- en overheidsgebouwen te realiseren. De stijl van de gebouwen staat bekend onder de waterstaatstijl. Tegenwoordig worden veel van deze verantwoordelijkheden overgelaten aan de markt, waardoor Rijkswaterstaat een managende organisatie wordt.

2.2.4 Splitsing van de bouwsector

De groeiende vraag naar en verscheidenheid aan gebouwen, infrastructuur en de waterstaat aan het einde van de 19^e eeuw heeft ertoe geleid dat de bouw technieken heeft gemoderniseerd en processen heeft geprofessionaliseerd. Door de komst van bijvoorbeeld de trein is de behoefte ontstaan om bruggen te bouwen over de rivieren. Hiervoor is een hoge mate van specifieke kennis benodigd die op dat moment in Nederland minimaal aanwezig is. Voor de militaire bouwkunde

bestaat reeds academisch onderwijs voor het opleiden van militaire ingenieurs. In eerste instantie leveren zij de benodigde kennis, soms met hulp vanuit het buitenland. Omdat het toch om een specialisme gaat, is er in de late 19^e eeuw een splitsing gemaakt tussen militaire en civiele ingenieurs met ieder een eigen academie. Later komen er nog meerdere niveaus van onderwijs voor de civiele ingenieurs.

Er zijn ook ontwikkelingen bij de aannemerij. Vrijwel alle aannemers gaan zich specialiseren in een bepaalde sector van de bouw. De benodigde kennis en ervaring voor het realiseren van een spoorbrug is anders dan voor een woning of gemeentehuis. Het materieel wat benodigd is voor de weg- en waterbouw vereist een grote investering voor de aannemer. Dus zijn er aannemers die zich uitsluitend gaan richten op de weg- en waterbouw of op de burgerlijke bouw. Voor de burgerlijke bouwkunde waar de architect de ontwerpende partij is, ontstaan ook specifieke opleidingen. Hierdoor wordt de splitsing alleen maar groter.

In de huidige bouwsector bestaat deze splitsing nog steeds. Er zijn ingenieursbureaus en aannemers met verschillende afdelingen voor burgerlijke bouw en weg- en waterbouw. In het onderwijs zie je voor opleidingen de termen bouwkunde en civiele techniek terugkomen. Burgerlijke bouw(kunde) wordt nu niet meer gebruikt. Bouwkunde en Burgerlijke- & Utiliteitsbouw (B&U) zijn de huidige termen. Voor weg- en waterbouw zijn er nog meer termen zoals Grond-, Weg-, en Waterbouw (GWW) of civiele techniek.

2.2.5 Kracht als onderscheidende factor

De revolutie die tussen 1850 en 1900 heeft plaatsgevonden, heeft grote impact gehad op de bouw. Daardoor heeft de bouwsector bijgedragen aan het mogelijk maken van de opbouw van de nieuwe maatschappij. De bouwnijverheid heeft zich door deze invloeden ontwikkeld naar een industrie met veel aspecten die tot op de dag van vandaag zichtbaar zijn, zoals de verdeling van de domeinen architectuur, engineering en aannemerij, en de splitsing tussen B&U en de GWW. Met de komst van de mechanische kracht in de eerste industriële revolutie verkrijgen bedrijven die over deze nieuwe vorm van energie kunnen beschikken een prominente plaats in de sector.

2.3 1900 – 2010

De periode 1900 – 2010 kenmerkt zich door optimalisatie van de tussen 1850 en 1900 ontstane AEC industrie. De samenleving heeft zich tot een mondiale samenleving ontwikkeld, die draait om transport, handel, IT en welvaart. Deze ontwikkeling heeft kunnen plaatsvinden door verbetering van bestaande technieken en processen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de stoommachine die wordt vervangen door een verbrandingsmotor, die weer wordt vervangen door de elektromotor. De functie – het leveren van een beweging – is hetzelfde gebleven, maar de manier waarop is geoptimaliseerd.

De strijd tegen het water, waar Nederland altijd al mee bezig is geweest, wordt in deze periode steeds belangrijker. Het risico bij het falen van het systeem wordt steeds groter doordat de gevolgen toenemen. Deze toename komt doordat er zich meer economische waarde en mensen in het risicogebied bevinden. Daarnaast vindt de maatschappij het niet meer acceptabel dat te hoge risico's genomen worden. Het Deltaplan is hier het gevolg van en is een prestatie van wereldformaat. De gevolgen van het ingrijpen van de mens op de natuur komen tijdens de realisatie van de deltawerken onder de aandacht. De combinatie van de groei van de bevolking,

economie en bewustzijn van de gevolgen op de natuur met de daarbij behorende belangen geeft een steeds hogere complexiteit aan projecten.

2.3.1 Gewapend beton

Waar bak- en natuursteen voor waterbouwkundige constructies in de 19^e eeuw nog gebruikelijk is, zal in de periode voor de Tweede Wereldoorlog geleidelijk gewapend beton een vervanger worden als een nieuw composiet constructiemateriaal. Dit biedt veel voordelen: gewapend beton heeft een hogere druksterkte en kan enige trekspanningen opnemen. Daarbij zijn de materiaalkosten lager, is het arbeidsarm en nagenoeg onderhoudsvrij. Door de plastische verwerking van beton is er vrijheid in de vormgeving en de mogelijkheid om constructieonderdelen te koppelen. Deze ontwikkeling gaat gepaard met verandering en vernieuwing van kennis, constructie en uitvoering.

Ongewapend beton wordt vanaf eind 19^e eeuw al behoedzaam toegepast als vervanger van metselwerk. De eerste toepassing is een combinatie van metselwerk aan de buitenzijde en beton in de kern. Het metselwerk dient als bekisting. Naar voorbeeld van de Panamasluizen, waarbij een bouwsysteem ontwikkeld is met een stalen herbruikbare bekisting, worden steeds meer constructies volledig uitgevoerd in ongewapend beton. Dit bouwsysteem is de basis voor hoe er nu nog beton wordt gestort. Doordat ongewapend beton een vervanger is voor metselwerk, wordt het ontwerp van waterbouwkundige constructies dan nog niet gewijzigd.

Gewapend beton daarentegen geeft de mogelijkheid, door de vernieuwde eigenschappen, voor het verfijnen van de constructie. Behoedzaam experimenteren met gewapend beton begint in de 20^e eeuw. De ontwikkeling van de benodigde kennis, ervaring en overtuiging voor het breed toepassen van gewapend beton heeft tot de jaren '30 geduurd. De geleidelijke overgang naar gewapend beton is mooi te zien in het feit dat kritische delen van een constructie uitgevoerd worden in gewapend beton en de overige delen in ongewapend beton. Voor een constructie van ongewapend beton is er veel meer massa aan grondstoffen nodig, die niet altijd in de omgeving te vinden zijn. Dit maakt het als het ware noodzakelijk om een slankere constructie uit te voeren in gewapend beton. De laatste grote stap van de ontwikkeling is dat de constructie-onderdelen monolithisch aan elkaar worden verbonden, met als voordeel een efficiëntere constructie. Na de Tweede Wereldoorlog zijn de vaardigheden en kennis weer opgepakt om in de wederopbouw toegepast te worden.

2.3.2 Onderzoek

In de opkomende industrie en veranderend Nederland zijn nog vele kennisgebieden niet toereikend. Het verdiepen van de bestaande kennis en de komst van onder andere nieuwe materialen, bouwsystemen en toetscriteria heeft ertoe geleid, dat er methodes zijn ontwikkeld om studies te doen naar gedrag en effecten van een object of een situatiewijziging. Hierdoor kan systematisch een ontwerp tot stand komen en een effectenstudie worden gedaan. Vaak wordt ontbrekende kennis proefondervindelijk in een lab met schaalmodellen onderzocht. De resultaten worden gebruikt om wiskundige formules mee op te stellen, om de werkelijkheid te benaderen. Hierdoor zijn voor hetzelfde ontwerp niet telkens proeven nodig. In de GWW is Rijkswaterstaat de grootste opdrachtgever voor het jagen naar en verzamelen van deze nieuwe kennis.

Deze studies en berekeningen worden live of met de hand uitgevoerd. Met de komst van een nieuw medium – de computer – komt hier verandering in. De nauwkeurigheid van de berekening van

gedrag en gevolgen is voor de komst van de computer al op hoog niveau. Door het gebruik van de computer kan de snelheid opgevoerd worden. Hierdoor is men geneigd om meer te berekenen dan met de hand. Door deze automatisering van de engineering zijn de benaderingen steeds complexer geworden. Er wordt met meer factoren en parameters gerekend om het werkelijkheidsgehalte te verhogen. Om de betrouwbaarheid te kunnen waarborgen en foutgevoeligheid te kunnen beheersen, is er een uitgebreide en systematische vergelijking nodig. De vergelijking wordt gedaan met meetprogramma's die worden uitgevoerd in bijvoorbeeld het waterbouwkundig lab.

De computers zijn steeds krachtiger en sneller geworden. Daardoor kan ook zwaardere en complexere software gebruikt worden. Ondanks deze automatisering en ontwikkeling van de beschikbare tools, is de rol van de ingenieur niet veranderd. Met de komst van de computer zijn de processen ook niet radicaal op de schop gegaan en is het doorgronden en verwerken van in- en uitkomende data bijna niet te doen (InfoNu, 2016). Dit alles, tezamen met het fenomeen van slechte koppeling en interactie tussen softwarepakketten, maakt dat de voordelen van de computer niet altijd optimaal kunnen worden benut.

2.3.3 Normen & waarden

Het bewustzijn over de gevolgen van de moderne beschaving op het milieu resulteert in het tweede deel van de 20^e eeuw in nieuwe normen en waarden. Normen en waarden die betrekking hebben op het welzijn van de bevolking bestaan op dat moment al langer. Denk hierbij aan het aanleggen van riolering en de komst van de woningwet in 1901. De zorg voor de waterhuishouding, zowel in kwaliteit als in kwantiteit, verandert halverwege de 20^e eeuw. Waar eerst alleen de nadruk lag op de behoefte van de mens, komt er dan ook aandacht voor de impact op het milieu.

Het kantelpunt komt in 1972 (Schot, Lintsen, Rip, & Bruhèze, 1998, p. 190). In dat jaar worden, door samenspel van politieke en maatschappelijke invloeden, de mens en het milieu bijna op gelijke voet gezet. Eén van de eerste resultaten daarvan is dat de Oosterschelde niet met een dam wordt afgesloten van de zee – wat grote gevolgen zou hebben op het ecosysteem in de Oosterschelde – maar open wordt gehouden door een doorlaatbare stormvloedkering. De vernieuwde normen en waarden brengen ook vernieuwende onderzoeken met zich mee. Vanaf die tijd is het criterium milieu niet meer weg te denken in de AEC industrie. Nu is het zelfs zo dat er aan natuurherstel wordt gedaan. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het opnieuw laten meanderen van een gekanaliseerde beek. Deze ontwikkeling heeft hele nieuwe onderdelen in de sector gecreëerd, met als resultaat een duurzamer, maar ook complexer Nederland.

2.3.4 Kennis is macht

Door de nieuw ontwikkelde materialen en het rekening houden met het milieu zijn in de periode 1900 – 2010 veel nieuwe inzichten en kennis opgedaan. Daarbij komt de toenemende bevolkingsdruk op ons land. Dit maakt het werk van de AEC industrie complexer door het toenemende aantal factoren waarmee rekening gehouden moet worden. Tegelijkertijd wordt de mens meer en meer ondersteund door nieuwe technologie. Door de lab studies zijn er wiskundige formules opgesteld, waardoor verschuiving ontstaat van proefondervindelijke naar theoretische benadering. Met de komst van de computer vindt een verdere automatisering van deze ontwikkeling plaats. De vele tijdrovende handberekeningen worden overgenomen door de computer.

Waar eerst de beschikking over kracht de onderscheidende factor was, wordt dit nu de beschikking over kennis. Meer kennis leidt tot een hogere efficiëntie en daarmee wordt het verschil gemaakt.

2.4 2010 – Toekomst

Door de recente economische crisis hebben marktpartijen de opdrachtgevers en eindgebruikers meer centraal moeten stellen. Het milieubewustzijn blijft groeien, terwijl tegelijkertijd met gelijke of zelfs minder middelen en in korter tijdsbestek meer waarde moet worden gecreëerd. Marktpartijen zien zich geconfronteerd met een steeds complexere en veeleisendere samenleving, steeds sneller veranderende technologieën en een aankomende nieuwe industriële revolutie. Innovatieve bedrijven en startups adopteren deze nieuwe technieken en kunnen disruptief zijn voor de bestaande orde en/of nieuwe markten creëren (Doodeman, 2017). Wat brengt de toekomst?

2.4.1 van Product- naar Servicegericht

Vanaf 2005 heeft Rijkswaterstaat een nieuwe manier van contracteren geïntroduceerd, welke intussen markt breed bekend staat als het zogenaamde geïntegreerde contract (Rijkswaterstaat, 2018). Het Design, Build, Finance and Maintain-contract (DBFM) is hiervan de meest uitgebreide variant. Een bedrijf of bouwteam neemt hierbij de verantwoordelijkheid voor alle betreffende aspecten van dit contract op zich. Het project betreft niet langer alleen de bouwfase, maar start al bij het ontwerp en omvat tevens (een deel van) de onderhoudsperiode. Enerzijds wordt hiermee de opdrachtgever ontzorgd, waardoor deze zich kan richten op zijn kerntaken. Anderzijds zorgt het voor een efficiëntieslag gedurende het gehele project. Dit vereist nieuwe kennis en competenties bij marktpartijen. Vaak worden bouwteams opgericht, waarin partijen samenwerken door hun eigen expertise in te brengen en de risico's te delen.

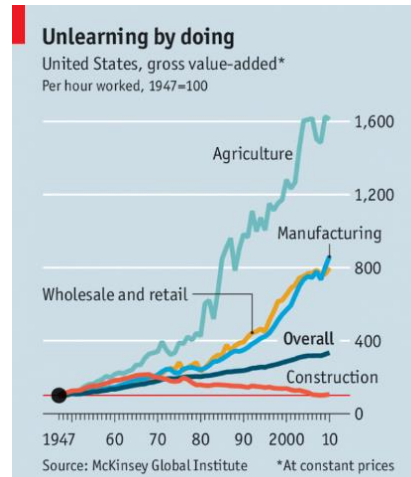
Met deze verschuiving van product naar service volgt de sector markt brede ontwikkelingen op dit vlak. In de consumentenmarkt worden reeds vele vormen van end-to-end solutions aangeboden. Denk bijvoorbeeld aan Spotify ter vervanging van CD-verkoop en de opkomst van private lease ten opzichte van autoverkoop. Op vergelijkbare wijze zal in de civiele techniek het bouwen van een snelweg worden vervangen door het aanleggen en operationeel houden van een snelweg voor een periode van (bijvoorbeeld) twintig jaar. De benadering van de partijen naar de opdrachtgevers en gebruikers zal zich hierdoor steeds meer gaan richten op het creëren van maximale klantwaarde met zo weinig mogelijk middelen.

2.4.2 Industrie 4.0

De term Industrie 4.0 wordt in Duitsland gebruikt om de aankomende Vierde Revolutie te benoemen (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2017). De industrie (en daarmee ook de AEC) verwacht aan de vooravond te staan van een volgende grote revolutie (zie bijlage A, blad 1) (De Ingenieur, 2015; Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2017). Het belangrijkste aspect wordt het zogenaamde "cyber-fysieke systeem". Hiermee wordt de versmelting van de fysieke en de digitale wereld aangeduid. Nieuwe innovaties, waaronder Artificial Intelligence (AI), robotisering, Internet of Things (IoT), quantum computing en Big Data, spelen hierbij een belangrijke rol. Daarnaast is het van doorslaggevend belang dat eenieder die hierin wil participeren

de drive heeft om deze vernieuwingen actief en doelgericht te implementeren: Big Data bijvoorbeeld moet je niet verzamelen om het verzamelen zelf, maar voor het toepassen ervan.

De maakindustrie (manufacturing) heeft, door actieve participatie in voorgaande revoluties, de afgelopen decennia een bijna exponentiële stijging in productiviteit bereikt. De bouw is hierin achtergebleven, onder andere door de volatiliteit van de markt en de gebleken kwetsbaarheid bij economische recessie. Daarnaast heeft de bouw, door uitdagingen steeds als unieke projecten te benaderen, geen voordeel behaald met de schaalvergroting, met een veel lagere productiviteit als resultaat. (The Economist, 2017)



Figuur 2 Productiviteit industrieën
(The Economist, 2017)

Als er een moment is om de achterstand in te lopen, dan is het nu. Hierna worden de voor de AEC industrie meest relevante zaken besproken.

2.4.2.1 Digitalisering

Met de komst van de computer in de jaren '80 start een proces van digitalisering. Wat ooit begon als een verschuiving van papier (analoge data) naar Word of Excel bestanden (digitale data) is intussen heel veel meer. Hele werkprocessen worden ondersteund door de computer of zelfs compleet geautomatiseerd. De digitale wereld heeft nu reeds veel invloed op de werkwijzen, (on)mogelijkheden, informatievoorziening, samenwerking, inzichten en productiviteit, en deze invloed zal de komende jaren alleen maar groter worden. (Bergshoeff, 2018)

De hoeveelheid beschikbare digitale data groeit gestaag en zal nog sneller gaan stijgen door bijvoorbeeld het toenemende gebruik van steeds slimmer en goedkoper wordende sensoren. De computer is uitermate geschikt voor het verwerken van grote hoeveelheden data. Door de data te structureren, analyseren en waarderen wordt informatie en kennis gecreëerd.

Het vermogen om de informatie te koppelen, analyseren, verwerken en opslaan wordt alleen maar beter. Het internet maakt het delen van informatie en de mogelijkheid tot samenwerken steeds eenvoudiger. Door de krachtigere en snellere computers is het mogelijk om alsmat complexere

algoritmes te laten uitrekenen. Een onderneming hoeft dit niet meer in eigen bezit te hebben: ongekende hoeveelheden opslag, capaciteit en kracht zijn te huur via webservices.

2.4.2.2 Robotisering

De robotarm is in een productielijn van de auto-industrie al gemeengoed. Hierdoor ontstaat een geautomatiseerd productieproces. Voor de AEC industrie daarentegen is het nieuw om handelingen automatisch te laten verrichten. De AEC industrie heeft het voordeel dat de benodigde basistechnieken al voorhanden zijn. De uitdaging is om deze op een efficiënte en vernieuwende manier toe te passen in een minder gecontroleerde omgeving.

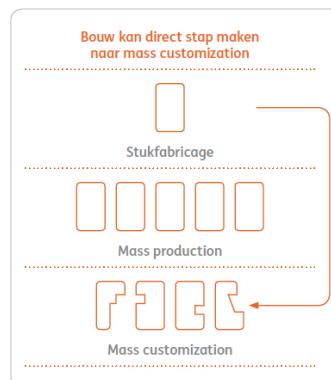
Robotisering kan in de AEC industrie op verschillende manieren worden toegepast. Er zijn robots die geprogrammeerde handelingen geautomatiseerd kunnen uitvoeren met behulp van één of meerdere gereedschappen. Denk hierbij aan CNC-toepassingen voor het frezen van complexe geometrische bekistingen. Een andere techniek is om materiaal, door middel van een printer, alleen daar te plaatsen waar het nodig is. Dit wordt ook wel 3D-printing genoemd. Hierbij kunnen verschillende materialen, verfijning en methodes worden toegepast. Deze techniek kan voor kleine maar ook voor grotere toepassingen worden ingezet.

Er zijn veel voordelen te benoemen voor het gebruik van robots: vormvrijheid, efficiënt in materiaalgebruik, uitstekend in herhalende taken en maatwerk is eenvoudig in te passen. Er zijn startups die de engineering en uitvoering helemaal toespitsen op 3D-printen of robotische fabricage. Nederlandse voorbeelden hiervan zijn MX3D en Studio RAP.

2.4.2.3 Mass customization

Bij mass customization kunnen klant-specifieke wensen binnen een vooraf gedefinieerd concept worden verwerkt. De nieuwe technologische ontwikkelingen die hierboven genoemd zijn, kunnen dit mogelijk maken binnen de AEC industrie. (ING Economisch Bureau, 2016)

Dit kan op twee manieren worden ingezet. De eerste mogelijkheid is het configureren tussen bouwelementen. In dat geval wordt, door 'standaard' elementen in wisselende combinaties toe te passen, telkens een uniek object gerealiseerd. De tweede optie is het daadwerkelijk vervaardigen van complete unieke objecten door de betreffende robots telkens op enkele kleine punten anders te programmeren. 3D-printing is de meest bekende techniek waarin dit reeds wordt toegepast. Voor de sector kan dit meer flexibiliteit, een hogere mate van efficiëntie en verduurzaming opleveren.



*Figuur 3 van Stukfabricage naar Mass customization
(ING Economisch Bureau, 2016)*

2.4.3 Naar een digitale wereld

Het heden en de komende jaren zullen zich kenmerken door snelle en radicale veranderingen: van product naar service, van fysiek naar digitaal, van handmatig naar robot gestuurd, van stukfabricage naar mass customization. Marktpartijen staan voor de uitdaging waarde toe te voegen aan de productieketen(s) en tegelijkertijd een efficiëntieslag te maken. De mate waarin en de snelheid waarmee de overstap van fysiek naar digitaal kan worden gemaakt, wordt het nieuwe machtsinstrument en zorgt voor toekomstbestendigheid.

Misschien is de vraag dus niet zozeer: “wat brengt de toekomst?” maar “wie heeft de toekomst?”. Bovenstaande vereist veel daadkracht, nieuwsgierigheid en flexibiliteit. Maar niet alleen dat: er zal tijd en geld nodig zijn om daadwerkelijk verandering mogelijk te maken.

2.5 Conclusie

De voorgaande paragrafen laten een belangrijke verschuiving binnen de AEC industrie zien. Waar in de eerste periode van professionalisering en modernisering kracht nog de doorslaggevende factor was, is dit in de vorige eeuw kennis geworden. In deze periode ontstaat er een complexere wereld die wordt ondervangen door verdieping en vernieuwing. Het heden en de komende jaren staan in het teken van de uitdagingen waarmee de AEC industrie zich nu geconfronteerd ziet: de noodzaak om een inhaalslag op productiviteit te maken en de overstap van fysiek naar digitaal.

Antea Group staat voor dezelfde uitdagingen. Om tot een verhoging van de productiviteit te komen, kan gekeken worden naar de manufacturing. Echter, mass production zal niet passend zijn omdat daarvoor de te ontwerpen producten teveel unieke kenmerken hebben. Mass customization biedt hierin wel mogelijkheden. Door niet in unieke objecten, maar in concepten te denken, verschuift de focus van wat anders is naar wat overeenkomstig is. Voor dit overeenkomstige kan een model worden gemaakt, waarmee een efficiëntieslag wordt bereikt. Automatisch wordt hiermee meerwaarde gecreëerd omdat de eindproducten weliswaar minder uniek zijn, maar er kan meer geproduceerd worden, van betere kwaliteit en met minder materiaal: more – better – less.

Voor de opbouw en invulling van een concept zoals hierboven genoemd, is een digitale benadering van het engineeringsproces noodzakelijk. De digitale mogelijkheden zijn er. Om meerwaarde te kunnen creëren is het voor Antea Group van belang te investeren in de digitalisering van het engineeringsproces. In het volgende hoofdstuk wordt hierop dieper ingegaan.

*“As our tools become more powerful and sophisticated, we need to evolve and develop our working methods in order to stay competitive.”
(Kilkelly, 2016)*

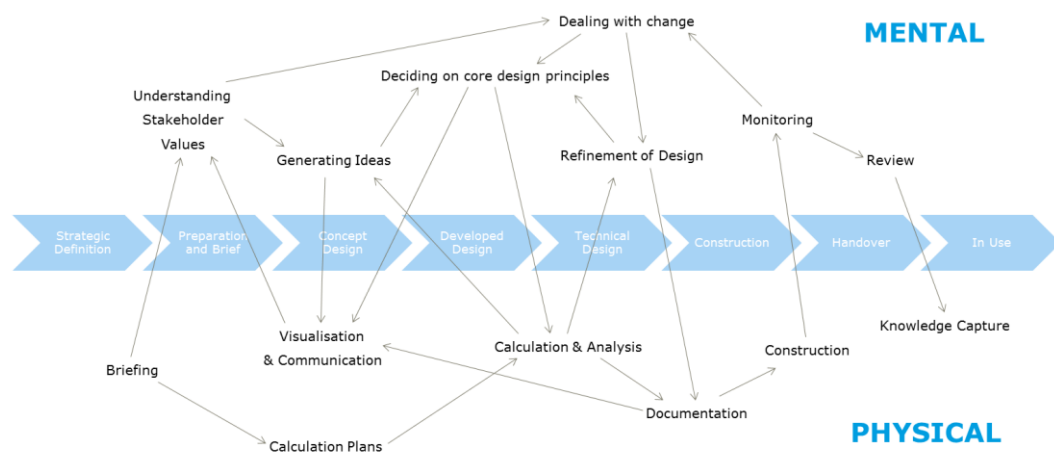
Naarmate onze tools krachtiger en geavanceerder worden, moeten we onze werkmethoden evolueren en ontwikkelen om concurrerend te blijven.

3 Digitalisering van de engineering

Dit hoofdstuk geeft een verkenning van het werkveld digitalisering binnen de engineering. Voordat de vraag “Wat is Parametric Design?” kan worden beantwoord, komen eerst de grotere conceptuele kaders aan de orde. Eerst wordt gekeken naar het ontwerpproces en hoe digitalisering daarop invloed heeft. Na de beschrijving van Parametric Design wordt tot slot stilgestaan bij toepassingen in de markt.

3.1 Engineering

Het ontwerpproces bestaat feitelijk altijd uit twee gedeeltes: het mentale en het fysieke. Het eerste deel omvat het ontwerpen van ideeën, denken en praten over problemen, het begrijpen van en beslissen over de fundamentele principes. Het tweede betreft de tastbare aspecten, zoals tekeningen en berekeningen. Deze heb je nodig voor communicatie (met collega's en met de opdrachtgever) en verificatie van het mentale deel. Schematisch zou dit er als volgt uit kunnen zien:



Figuur 4 Ontwerpproces (Jeffries, 2016)

Er is dus een voortdurende wisselwerking tussen de mentale en fysieke kanten van het ontwerpproces. Het uiteindelijke ontwerp is het resultaat van talloze keren onderzoeken, bespreken, verfijnen of juist verwerpen.

Het fysieke deel is met de komst van de computer digitaal geworden. Waar eerst met de hand werd getekend, wordt dit vanaf dat moment gedaan met CAD-software (Computer-Aided Design). Het proces verandert echter niet: de software is de digitale vertaling van het tekenbord naar het beeldscherm. Digitaal tekenen heeft voor een efficiëntieslag gezorgd, echter (nog) niet tot een wezenlijke verandering in benadering geleid. (Jeffries, 2016)

De computer heeft echter meer mogelijkheden, die op dat moment nog niet worden benut. De computer beschikt over ongekend rekenvermogen en past te allen tijde logica toe. Om het maximale uit de computer te halen, moet een nieuwe benadering worden gekozen. Deze benadering is er intussen: Computational Design.

3.2 Computational Design

De term 'Computational' is een bijvoeglijk naamwoord – wat dus iets zegt over Design – en staat vrij vertaald voor “gebruik maken van het computerproces” (Cambridge Dictionary, 2018). 'Computation' is het zelfstandig naamwoord en betekent “wiskundige berekening” (Cambridge Dictionary, 2018).

Deze benadering wordt in de literatuur ook wel “Parametric Design” genoemd, echter deze studie maakt daarin een duidelijk onderscheid: Parametric Design vormt slechts een onderdeel, dat hierna overigens nog uitvoerig aan de orde zal komen. Computational Design is de meer overkoepelende benaming die het onderliggende gedachtengoed omvat.

Computational Design is dus het in een hoge mate gebruik maken van de rekenkracht van de computer door gebruik te maken van algoritmes in het fysieke gedeelte van het ontwerpproces. Een algoritme is een eindige reeks van instructies om vanaf een beginpunt een bepaald doel te bereiken (Kernerman Dictionaries, 2014). Het gebruik van algoritmes is veel betrouwbaarder dan het menselijk brein en kan bovendien veel meer data verwerken. Daarnaast hoeft het algoritme slechts één keer te worden opgesteld: daarna kan het automatisch en - in principe – oneindig vaak opnieuw worden ingezet. De computer wordt hiermee niet alleen een ontvanger van gegevens, maar ook een generator ervan.

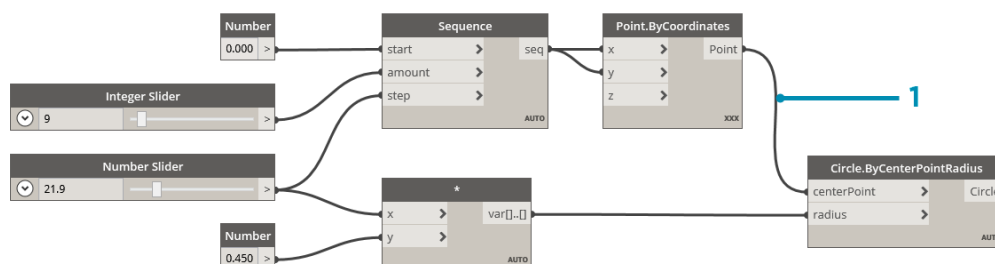
3.2.1 Visueel programmeren

Voor de AEC industrie is de software, waarmee het gebruik van algoritmes breed kan worden geïmplementeerd, intussen ontwikkeld. De bekendste zijn Grasshopper3d en Dynamo Studio. Deze zijn gebaseerd op het visueel programmeren. Hiervoor is het niet meer noodzakelijk om tekstueel te programmeren, maar kunnen de algoritmes op een visuele manier worden gescript.

Scripten is het bouwen van een algoritme met visueel programmeer software. In de volgende video's wordt een demo gegeven over Dynamo (Studio):

- [Video link 1](#) Demo Dynamo
- [Video link 2](#) Demo Dynamo (Bridge)

In de volgende figuur staat een script uitgewerkt.



Figuur 5 Script (Autodesk, 2018)

De vlakken (nodes) vertegenwoordigen een bepaalde instructie met een bepaalde in- en output. Achter elke node zit programmeertaal. In het programma zit een bibliotheek met nodes en het is mogelijk om zelf nodes toe te voegen. Hierdoor wordt het programma zeer veelzijdig in toepassingen en zijn er weinig beperkingen. (Autodesk, 2018)

Met alleen nodes is er geen algoritme. Er moeten ook verbindingen (wires) worden gemaakt tussen de output en input van de instructies om tot het doel van het script te komen. Met de wires kun je de datastromen en volgorde van de nodes regelen en relaties creëren. (Autodesk, 2018)

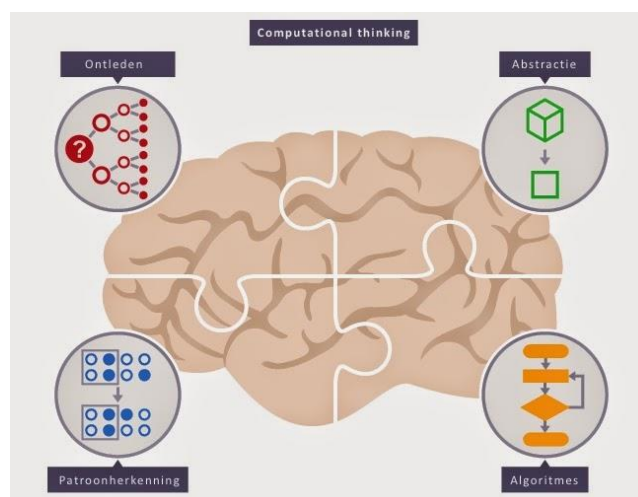
Door middel van deze programmatuur kan een gespecialiseerde modelleur over het computational vermogen beschikken wat eerst alleen voor programmeurs was weggelegd. Om van 'gewone' BIM-modelleur naar specialist te gaan is echter nog wel een verandering nodig.

3.2.2 Computational Thinking

Tijdens de digitalisering van het ontwerpproces (het fysieke gedeelte) is de computer uitsluitend aan de gebruiker aangepast. Nu zullen de gebruikers zich moeten gaan aanpassen aan de computer, ofwel: het mentale gedeelte zal een verandering moeten ondergaan.

Door Computational Design vindt een verschuiving plaats van het ontwerpen van een object naar het ontwerpen van het netwerk en de processen die tot het object leiden. Van het creëren van geometrie naar het creëren van logica. (Jeffries, 2016)

In het proces zal de computer de werkzaamheden niet langer alleen ondersteunen, maar het werk daadwerkelijk overnemen. Dit is alleen mogelijk als de gebruiker de computer op een andere manier benadert: meer een 'programmerende' dan een 'gebruikende' aanpak. Bij het programmeren is het noodzakelijk om te weten wat de computer voor je kan doen en hoe hij dat voor je kan doen. De gebruiker moet begrijpen hoe de computer instructies interpreteert en verwerkt. Dit vraagt om Computational Thinking.



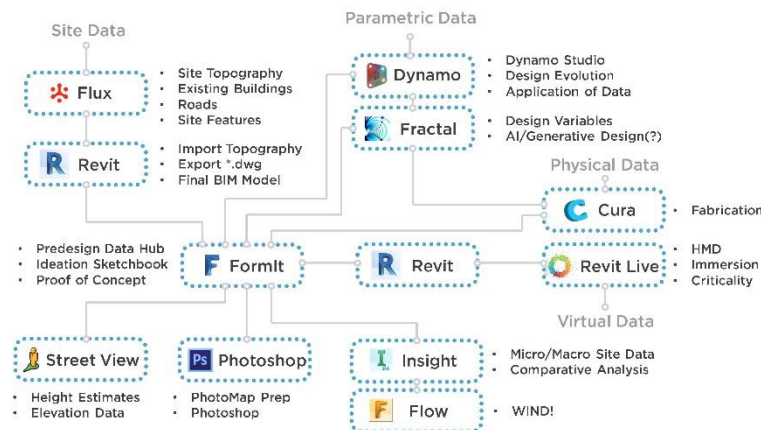
Figuur 6 Computational Thinking (Zuiderman, 2015)

Computational Thinking vereist de volgende skills, geïllustreerd in bovenstaande figuur: ontleden, abstractievermogen, patroonherkenning en algoritmisch denken. **Ontleden** is het kunnen opdelen van het proces in kleinere onderdelen en losse taken. **Abstractie** is het vermogen om de werkelijkheid op een zo simpel mogelijke manier aan de computer uit te leggen. **Patroonherkenning** is het vermogen om de raakvlakken tussen verschillende situaties te zien en hierop hetzelfde trucje op loslaten. Het **denken in algoritmes** is het kunnen plaatsen en schakelen van instructies om een doel te bereiken. (Berry, 2015)

3.2.3 Mogelijkheden

Door deze benadering kunnen de volgende tools worden toegepast:

- Automatisering: repeterende handelingen in bestaande software automatiseren door te programmeren;
- Nieuwe functies: de gebruiker van software kan zelf nieuwe functies aan de software toevoegen (dit was voorheen voorbehouden aan programmeurs);
- Eco-systemen: door de mogelijkheid om diverse softwarepakketten te koppelen, kan het beste van elk pakket worden benut zonder verlies van data. Hierdoor kan een efficiënter proces worden ingericht. Het krachtigste programma op dit moment is Autodesk Forge (zie bijlage A, blad 5);



Figuur 7 Eco-systeem van software (Beach, 2017)

- Parametric Design: (een gedeelte van) het ontwerpproces inrichten met algoritmes op basis van parameters. Dit is voornamelijk gericht op het produceren van geometrie en de connecties daartussen, wat resulteert in een 3D-model. Door de parameters te wijzigen, kunnen talloze varianten gegenereerd worden. Parametric Design wordt verder uitgewerkt in paragraaf 3.4; [Video link 3](#)
- Analysis – Optimisation: dit maakt gebruik van de gescripte algoritmes van het Parametric Design. Het gegenereerde 3D-model kan worden geanalyseerd, waaruit prestaties van het ontwerp, zoals zon- en windinvloeden, naar voren komen (Autodesk, 2018). Op basis van de data uit de analyse en de data uit het 3D-model kan door middel van Optimisation het beste ontwerp worden gekozen uit de talloze varianten (ABT, 2018); [Video link 4](#)

- Generative Design: het ontwerpen op basis van op de biologie gebaseerde algoritmes. De algoritmes genereren complexe biologische structuren die de meest efficiënte constructievorm opleveren. Met de komst van de 3D-printer is het mogelijk deze vormen te produceren. (Autodesk, 2018) [Video link 5](#)

Deze ontwikkelingen zijn nog jong: er zullen nog vele andere tools ontdekt en ontwikkeld worden.

3.2.4 Beperkingen

Er zijn taken waar de computer niet (goed) toe in staat is. Complexe taken waarbij creativiteit wordt gevraagd en innovatief moet worden gedacht, kunnen door de computer niet worden uitgevoerd. Ofwel: daar waar de paden nog niet zijn uitgestippeld, zal de computer in beginsel niet uit zichzelf komen. Deze beperking zal de taak van de mens blijven.

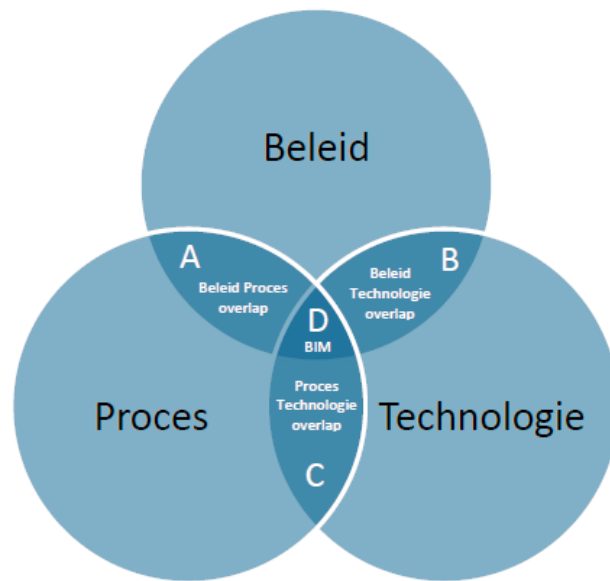
De tools genoemd in de vorige paragraaf zijn erg krachtig wat betreft hun eigen specifieke taak, maar ook uitsluitend gericht op die ene taak. Soms zijn er echter unieke situaties waarop de opgedragen taak niet toepasbaar is. In die gevallen zou het handig zijn als de computer zelf over de flexibiliteit beschikt om situatie en taak weer in overeenstemming te brengen. Echter, de computer zo programmeren dat hij zelf over deze flexibiliteit beschikt is enerzijds heel lastig en anderzijds in veel gevallen niet rendabel. Hier blijft de mens de doorslagende factor.

De uitdaging is dus om een systeem te creëren waarbij de computer en de mens optimaal samen kunnen werken. In dit systeem moeten mens en computer samen komen, om zo de sterke punten van elkaar te benutten en de zwakte punten te elimineren (McCaffrey, 2017). Dit lijkt in de praktijk te lukken: een voorbeeld van zo'n systeem is BIM.

3.2.5 Aansluiting met BIM

Het Bouw Informatie Model (afgekort: BIM) is een intussen gangbare methodiek binnen de AEC industrie, voornamelijk in de B&U. Het is dus van belang dat ontwikkelingen in Computational Design in lijn liggen met deze methode.

BIM is een methode waarmee binnen het bouwdomain informatie wordt geclusterd, interacties worden analyseren en overlappen mogelijk worden gemaakt om te komen tot een nieuw omvattend digitaal 3D bouwwerk. BIM is een interactie van 3 werkvelden: Beleid – Proces – Technologie. (Heester, 2018)



Figuur 8 Werkvelden BIM (Heester, 2018)

“Het eerst veld is **beleid** en houdt zich bezig met de beleidskant van BIM. Dit zijn meestal opgelegde eisen zoals bouwstandaarden, bibliotheken, contracteisen en onderzoeksprojecten.

Het tweede veld is **proces** en houdt zich bezig met het management van het project en het modelleren. Veelal wordt het werk verricht door Projectleiders, Architecten en Ontwerpers die samen voor het product staan.

Het derde en laatste veld is **technologieën** houdt zich bezig met hardware en software in gebruik van BIM. Hierin spelen software pakketten, leveranciers, hardware eisen en netwerktoepassingen de hoofdrol.” (Heester, 2018)

Computational Design speelt in overlap C in bovenstaande figuur. Het visueel programmeren en het maken van de eco-systemen zal het werkveld technologie verbeteren. Het op nieuwe wijze benaderen van het ontwerpproces door de constructeurs en modellers zal het werkveld proces verbeteren. Aan het werkveld beleid zal Computational Design niet bijdragen, maar moeten volgen door gebruik te maken van standaarden.

Een uiteindelijke BIM-model is voor de gehele levenscyclus van het bouwwerk bedoeld: Ontwerp – Realisatie – Gebruik. Het model ontwikkelt zich over alle fases heen, zodat het op elk moment gebruikt kan worden. Het kunnen delen van en samenwerken met het digitaal bouwwerk over de hele levenscyclus is hierbij een streven.

“Kortweg kunnen we zeggen dat de primaire voorwaarde voor BIM één of meerdere 3D bouwwerk modellen zijn en hieraan diverse databronnen gekoppeld worden en welke onderling relaties aangaan om te komen tot een of meerdere doelen en elkaar (semi-)live beïnvloeden. De mate van integratie en automatisering vanuit één model worden ook wel BIM levels genoemd.” (Heester, 2018)

3.2.5.1 BIM levels

In BIM zijn er gebruikelijk drie levels en daarnaast bestaat er nog een vierde 'ultiem' level dat in de praktijk nog minder vaak wordt beschreven:

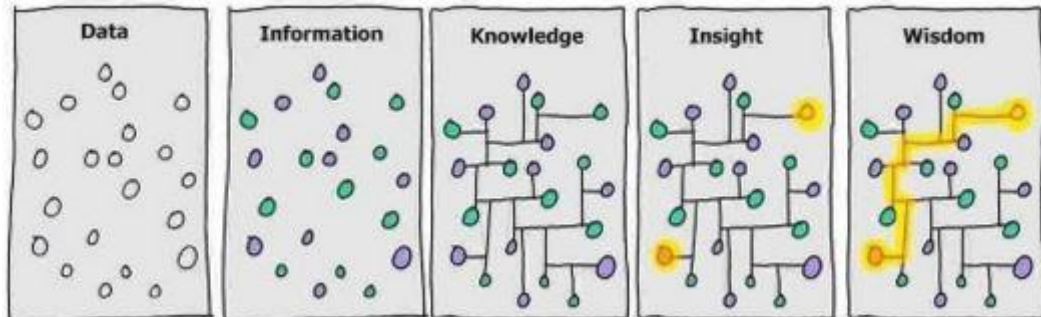
- BIM level 1 is Object gebaseerd Modelleren. Hierbij wordt gewerkt in 3D-geometrie en zijn er interacties binnen het model. Maar het model is niet herbruikbaar voor andere doeleinden. Een voorbeeld hiervan is het gebruik van BIM-software, zoals Autodesk Revit, om tekeningen te vervaardigen.
- BIM level 2 is Model gebaseerd samenwerken. Nu is het model met de daarbij behorende data ook te combineren of te gebruiken voor andere disciplines en fases, echter wel op een statische manier. Ook wordt gebruik gemaakt van statische bibliotheken. Hierdoor is interactie tussen verschillende fases en disciplines niet altijd optimaal.
- BIM level 3 is Netwerk gebaseerd integreren. Hierbij wordt gewerkt met een centraal model, waarin de modellen van alle afzonderlijke gebruikers worden samengevoegd. Hierdoor is de integratie tussen disciplines optimaal en dynamisch. Ook wordt gebruik gemaakt van dynamische bibliotheken, waardoor de gebruiker wordt geholpen bij zijn werkzaamheden.
- Post-BIM zijn real-time onderling afhankelijke modellen. Hierbij kan gedacht worden aan complete steden – bebouwing en infrastructuur – waarbij de modellen van verschillende onderdelen in één real-time onderling afhankelijke model worden gecoördineerd.
(The BIM Framework blog, 2013)

De onderstaande figuur geeft hiervan een visuele weergave. Kleur vertegenwoordigt de fase, vorm de discipline. Punt 1 → Level 1: specifieke modellen van één project die door de vorm niet overdraagbaar of te combineren zijn. Punt 2 → Level 2: specifieke en gecombineerde modellen (nog steeds van één project) die door de vorm wel over de fases en tussen de disciplines overdraagbaar zijn. Punt 3 → Level 3: gecombineerde modellen van fases en disciplines die dynamisch met elkaar zijn verbonden. Hierin is hergebruik uit andere modellen mogelijk. Punt 4 → Post-BIM: geïntegreerd model van diverse losse gecombineerde modellen.



Figuur 9 BIM levels (Succar, 2015)

Om tot een ontwerp te komen, wordt een proces doorlopen van mentale en fysieke ontwikkelingen. Er bestaat een hiërarchie en logische opbouw in de stappen van het omzetten van data naar wijsheid (Nelissen, 2014). De figuur hieronder illustreert dit.



Figuur 10 Data, Informatie, Kennis, Inzichten en Wijsheid (Somerville, 2014)

Het kost de ontwerper capaciteit om de stappen te zetten: het produceren van geometrie (data), het koppelen van gegevens aan die geometrie (informatie), deze geometrische elementen met elkaar verbinden om een brug te ontwerpen (kennis), het weten van waar tot waar die brug moet overspannen (inzicht) en het weten wat de beste brug is voor de gegeven situatie (wijsheid).

Er bestaat een overeenkomst met de BIM levels zoals te zien in de onderstaande figuur.



Figuur 11 Overeenkomst BIM levels en verwerking in proces

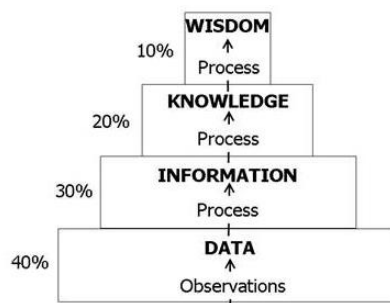
In BIM level 1 vertegenwoordigt een model alleen data en informatie. Geometrie en materiaalsoort is data en aan elkaar gekoppeld is het informatie. De ontwerper is nodig om de informatie te produceren en de relaties te leggen tussen de informatie.

In BIM level 2 is het mogelijk om het model te delen, waardoor de kennis in het model als start gebruikt kan worden voor een volgend discipline. Door het gebruik van statische bibliotheken is informatie voorhanden.

In BIM level 3 worden meerdere modellen geïntegreerd, waardoor ze elkaar inzichten kunnen verschaffen. Door het gebruik van dynamische bibliotheken is kennis voorhanden.

In BIM level 4 is het mogelijk om een bredere beschouwing van de situatie te onderzoeken, waardoor de beste keuze kan worden gemaakt voor de uitdaging.

Door de ontwikkeling van hoogwaardige interacties en gebruik van bibliotheken is het mogelijk om niet altijd vanaf het laagste niveau te moeten starten. Dit heeft effect op de verdeling van de capaciteit van de ontwerper. In de figuur hieronder is te zien hoe capaciteit gewoonlijk verdeeld wordt.



*Figuur 12 Verdeling capaciteit mens
(MOA, 2018)*

Wanneer dus niet steeds vanaf het laagste niveau gestart hoeft te worden, blijft er meer over voor gebruik op een hogere niveau en voor creativiteit.

Om stappen te maken in de BIM levels is Computational Design nodig. Per level wordt het proces steeds meer digitaal en interactief, waardoor de hoeveelheid ontsloten data stijgt. De datastromen in BIM en Computational Design vormen wederzijdse in- en output. Deze combinatie leidt tot een krachtige synergie in data. Er kan zeer veel data uitgewisseld worden, waarbij het dataverlies minimaal is.

Tot slot: Gesteld kan worden dat Computational Design een wezenlijk onderdeel is van BIM, maar BIM hoeft geen wezenlijk onderdeel te zijn van Computational Design. Deze laatste kan zich ook zonder BIM verder ontwikkelen. Voor BIM geldt dat niet. Aangezien BIM alleen maar belangrijker zal worden, is het verstandig om hierop te blijven aansluiten.

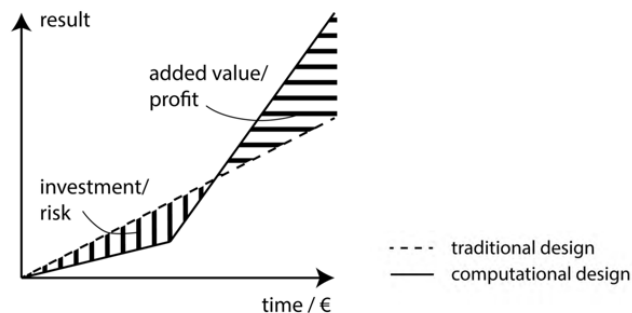
3.3 Parametric Design

Parametric Design is een destillaat van Computational Design. Parametric Design maakt gebruik van het gedachtegoed van Computational Design, maar heeft daarnaast specifieke kenmerken. De belangrijkste zijn het algoritmisch proces en het beïnvloeden van de output door parameters. Parametric Design richt zich op het geometrisch deel van ontwerpen. Hiermee zal een digitaal 3D-model gemaakt worden.

“Een parametrisch model is gebaseerd op relaties tussen elementen. Het model wordt gedefinieerd in regels en beperkingen, welke op hun beurt de aspecten van een ontwerp en hun onderlinge relaties definiëren. Het wijzigen van een regel of beperking of het aanpassen van een deel van het model zelf, heeft implicaties voor het hele model.” (Mackenzie, 2016)

Daarnaast is er nog de input, ofwel: de parameters. Deze parameters beïnvloeden het model – volgens de regels en beperkingen – waardoor een ontwerp ontstaat. Door het wijzigen van (één van) de parameters wijzigt het hele ontwerp.

Binnen een concept van een object – zoals bijvoorbeeld een viaduct – zal de logica om tot een ontwerp te komen niet veranderen. De output verandert mee met de parameters, die voor elk ontwerp – dus elk concreet te bouwen viaduct – wel anders zullen zijn. Het is dus zinvol om meer in het concept en minder in individuele ontwerpen te investeren. (Jeffries, 2016) Aanvankelijk zal het resultaat achterblijven bij de traditionele werkwijze, echter op langere termijn zal de investering in het concept tot een hoger resultaat leiden.



Figuur 13 Investerings & resultaat (Ploeg, 2018)

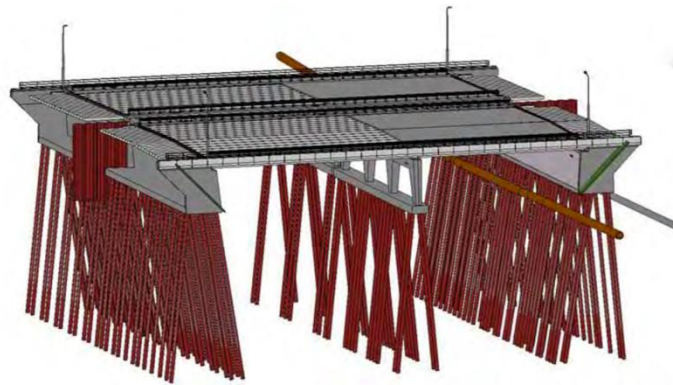
3.3.1 In de markt

Bij architecten zie je Parametric Design al langer. Zij zetten dit in om hun architectonische expressie te vergroten. Hierdoor kunnen zij complexe, sterk gebogen vormen in het ontwerp verwerken. Door analyse op het ontwerp toe te passen, kunnen zij voor de betreffende situatie tot de beste variant komen (optimalisatie). Het architectenbureau UNStudio is hiervan een voorbeeld (UNStudio, 2015). Zij zijn onder andere bekend van het nieuwe station in Arnhem.



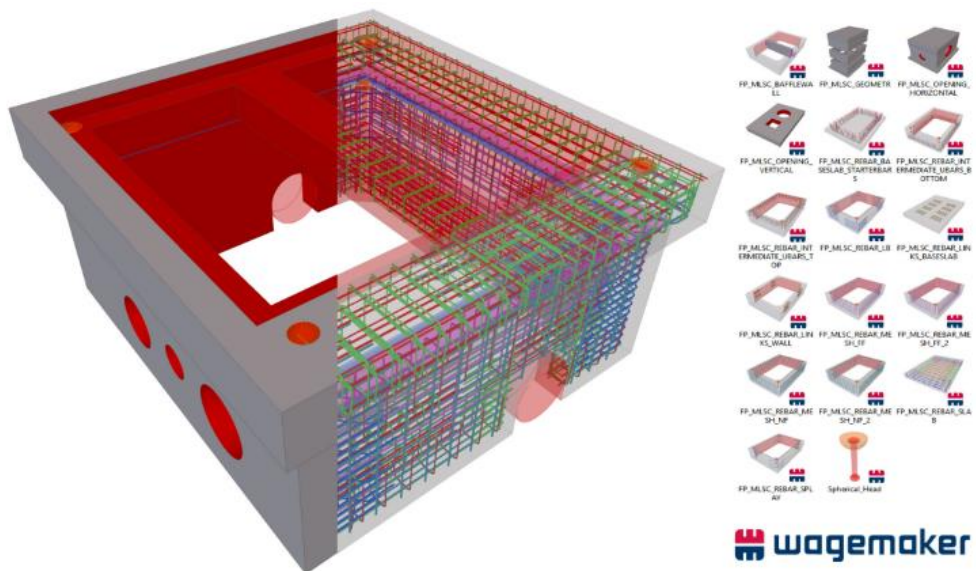
Figuur 14 Station Arnhem (UNStudio, 2015)

Een aantal ingenieursbureaus gebruikt Parametric Design eveneens. Royal HaskoningDHV heeft reeds een parametrisch 3D-model van een viaduct ontwikkeld (Beliën & Serra, 2017). Hierbij is het mogelijk om de breedte, hoogte, lengte, soort liggers en de vorm van het landhoofd in te voeren en vervolgens de computer het 3D-model te laten modelleren.



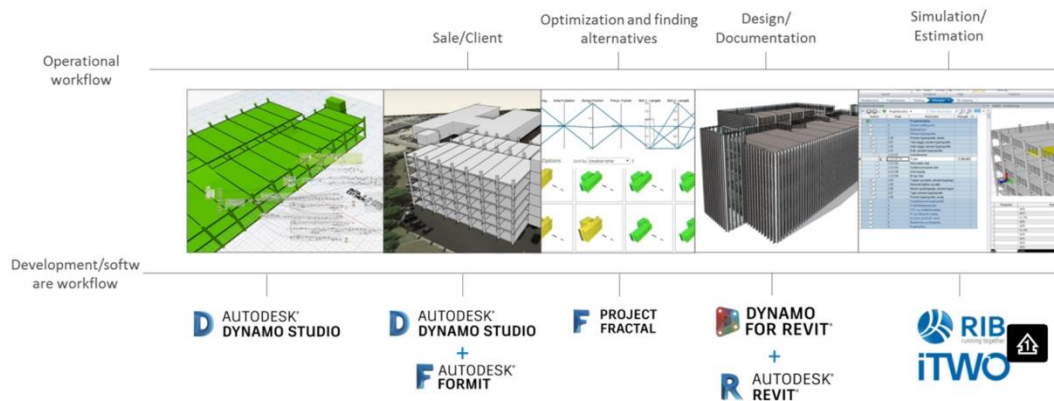
Figuur 15 Parametrisch viaduct (Viegen, 2018)

Wagemaker is al een stap verder gegaan en heeft voor een puttenleverancier hun engineeringproces kunnen automatiseren met behulp van Parametric Design. Door input vanuit de sales te koppelen met het parametrisch systeem, wordt de put gegenereerd door gebruik te maken van dynamische elementen (de rechterzijde van onderstaande afbeelding) die op elkaar inspelen. Een vorm van mass customization is het resultaat. (Groot, 2018)



Figuur 16 Dynamische Elementen (Groot, 2018)

MT Højgaard is één van de grotere aannemers van Denemarken. Zij hebben 'the parking garage configurator' (zoals zij het zelf noemen) ontwikkeld. Door meerdere fases te doorlopen, kunnen zij een parkeergarage ontwerpen. Dit start bij het aangeven van de projectgrenzen en het invoeren van klantwensen. Daarna volgt het genereren en selecteren van het ontwerp. Het gekozen ontwerp wordt uiteindelijk verder uitgewerkt en opgenomen in BIM. In onderstaande figuur is de workflow weergegeven. Dit proces maakt in hoge mate gebruik van Computational Design. (Wallaert & Knudsen, 2017)



Figuur 17 Workflow (Wallaert & Knudsen, 2017)

3.4 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn veel aspecten over Parametric Design aan de orde gekomen. Geconcludeerd mag worden dat het onderdeel is van, maar zeker niet hetzelfde is als Computational Design. Computational Thinking vormt de basis voor Parametric Design, wat zal betekenen dat de engineer zich zal moeten aanpassen aan de computer in plaats van andersom. Tevens zal hiervoor het denken in concepten (in plaats van objecten) noodzakelijk zijn. Naarmate het proces zich ontwikkelt, zal een verschuiving optreden wat betreft de inzet van de capaciteit van de ontwerper. Dit sluit aan op de diverse levels van BIM. De wisselwerking tussen Computational Design en BIM is scherp gesteld: Computational Design vormt altijd een onderdeel van BIM, maar BIM hoeft niet per definitie onderdeel te zijn van Computational Design.

Tot slot is in dit hoofdstuk aandacht besteedt aan de reeds bestaande mogelijkheden in de markt. De meest uitgebreide uitwerking tot op heden betreft 'the parking garage configurator' van MT Højgaard. Door 'parametrisch ontwerpen' op te nemen onder het aandachtspunt 'Virtueel Bouwen' in het jaarplan 2018 geeft Antea Group er blijk van het belang van deze mogelijkheden in te zien. Hierna wordt specifiek ingegaan op een mogelijkheid voor Antea om de in dit hoofdstuk opgedane inzichten om te zetten in een kans.

4 Toepassing voor Antea Group

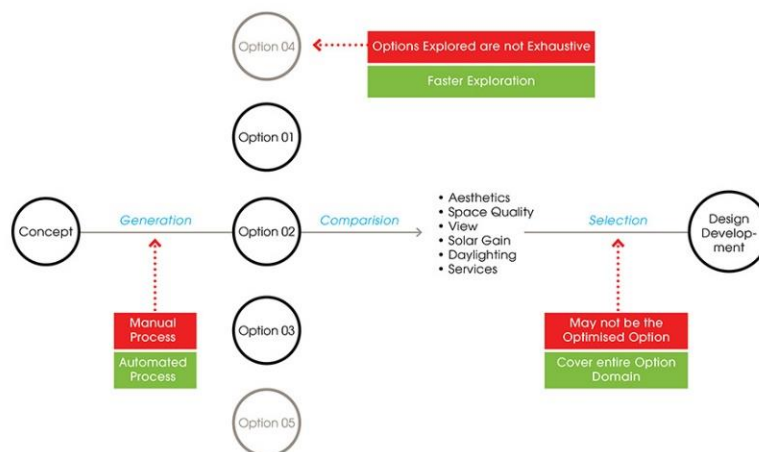
Vanuit voorgaande hoofdstukken kan nu een toepassing voor Antea Group uitgewerkt worden. Eerst wordt gekeken naar de horizon van Antea Group en de plaats van Computational Design daarin. Daarna wordt een praktische invulling voor de uitgewerkt om tot inzichten te komen, met als doel om voor Antea Group een stip op de horizon te creëren als het gaat om digitalisering.

4.1 Horizon Antea Group

Antea Group heeft er belang bij om Computational Design toe te passen, voor zichzelf om het ontwerpproces efficiënter te maken en tevens om meerwaarde te kunnen leveren voor de opdrachtgever. Enkel het parametrisch maken van een 3D-model van bijvoorbeeld een viaduct kan wel het proces beter en sneller maken, maar het zal geen meerwaarde leveren voor wat betreft de optimalisatie van het ontwerp en evenmin geeft het invulling aan uitdagingen op gebied van duurzaamheid.

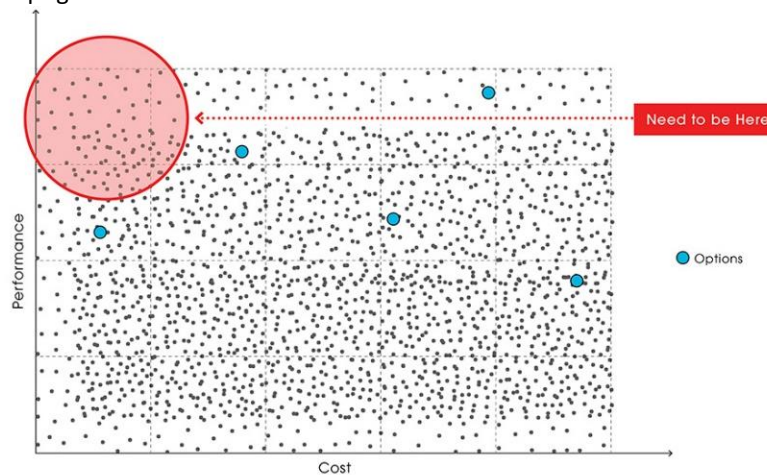
Om naast de efficiëntieslag ook tot optimalisatie van het ontwerp te komen is meer nodig. Computational Design biedt de mogelijkheid om vele malen meer varianten te maken in dezelfde tijd, deze vervolgens te analyseren en tenslotte te komen tot het beste ontwerp. Wat 'het beste ontwerp' is, wordt bepaald aan de hand van criteria die door de opdrachtgever zelf worden verstrekt. In dat geval wordt dus wel meerwaarde geleverd.

Onderstaande figuur geeft de traditionele workflow weer voor het opstellen en selecteren van varianten. Voor een bepaalde uitdaging (hieronder: concept) moet een oplossing worden ontworpen. Door beperkingen in tijd, geld en capaciteit van de mens kan slechts een kleine hoeveelheid varianten onderzocht worden. Daaruit wordt uiteindelijk de beste geselecteerd en uitgewerkt.



Figuur 18 Traditionele workflow (Rethinking The Future, 2018)

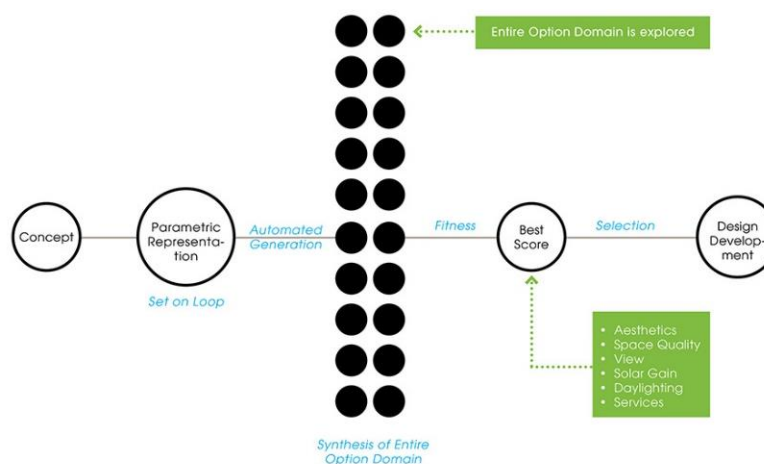
De figuur hieronder geeft de mogelijkheden van ontwerpen door toepassing van Computational Design weer. De blauwe puntjes vertegenwoordigen de varianten die in de traditionele workflow onderzocht zijn. Alle overige puntjes vertegenwoordigen alle mogelijke varianten die eveneens voor het concept gelden.



Figuur 19 Mogelijke varianten (Rethinking The Future, 2018)

Het rode veld omvat de meest interessante varianten: een hoog resultaat tegen beperkte kosten. Om te komen tot de varianten binnen de cirkel moeten deze dus, samen met alle andere varianten, allereerst ontworpen kunnen worden. Hiervoor zijn zeer veel repeterende handelingen nodig. Parametric Design kan hiervoor een uitstekende oplossing zijn.

Wanneer alle varianten gereed zijn, is echter nog niet automatisch duidelijk welke de beste zijn. Hiervoor is een volgende stap nodig, welke in de figuur hieronder is weergegeven. Om uit alle varianten de beste te kunnen kiezen, kan door middel van een Analysis – Optimisation data uit de varianten gefilterd worden. Deze data worden getoetst aan de hand van de criteria van de opdrachtgever, waarbij aan elke variant een mate van geschiktheid (hieronder: fitness) wordt toegekend. De meeste geschikte variant (de 'Best Score') zal naar voren komen en verder worden uitgewerkt.



Figuur 20 Computational workflow (Rethinking The Future, 2018)

Dit samen (Parametric Design en Analysis – Optimisation) is een Computational Design Solution. Aangezien Parametric Design het startpunt vormt, wordt dit in de volgende paragraaf praktisch uitgewerkt voor een betonnen viaduct.

4.2 Parametrisch Concept

Parametric Design start met het denken in concepten (zie paragraaf 3.3) dus in plaats van ‘betonnen viaduct’ wordt hierna gesproken over het concept ‘kruisingsconstructie’. Eerst zoeken we aansluiting met BIM. In de paragrafen erna wordt een procesdiagram toegelicht waarmee varianten van een kruisingsconstructie gegenereerd kunnen worden. Het concept richt zich op het zoeken naar de beste keuze voor de betreffende locatie, waarbij door middel van input de locatiegegevens worden vastgesteld. Daarnaast zal gewerkt worden met parameters om de varianten te kunnen genereren. De parameters zijn een overbrugging en/of een ondertunneling, de wijze van kruisen en de verschillende bouwsystemen. Het concept in deze studie is meer gericht op het produceren van een model dan op het genereren van geïntegreerde data.

4.2.1 BIM standaarden

De hoge mate van digitalisering en het feit dat veel partijen (uit diverse disciplines) met elkaar moeten samenwerken in BIM, maken het van groot belang dat iedereen met de zelfde regels werkt. Om dit mogelijk te maken zijn standaarden opgesteld. In deze standaarden is vastgelegd welke begrippen gehanteerd moet worden, op welke manier gewerkt dient te worden en aan welke richtlijnen moet worden voldaan. (BIM Loket, 2018)

Voor Antea Group is het verstandig om zich te concentreren op de standaarden die door Rijkswaterstaat worden verlangd. Momenteel zijn de volgende standaarden van belang voor het opstellen van het concept. (Rijkswaterstaat, 2018)

OTL staat voor Objecttypenbibliotheek. Deze standaard is opgesteld om ervoor te zorgen dat de ketenpartners dezelfde begrippen gebruiken gedurende de hele levenscyclus van een bouwwerk. Het gaat hierover benamingen, relaties, onderverdeling en eigenschappen van objecten. Verschillende opdrachtgevers hanteren elk hun eigen OTL, toegespitst op hun kernactiviteiten. Voor het concept wordt de OTL van Rijkswaterstaat aangehouden. (Rijkswaterstaat, 2018)

NEN2767-4 is een methodiek om de conditie van de infrastructuur te bepalen. Om tot een bepaling van de conditie te komen, wordt een decompositie van objecten gehanteerd: Beheerobject – Element – Bouwdeel. Deze decompositie komt terug in het concept. Hierin is ‘Beheerobject’ vervangen door ‘Bouwobject’. Een beheerobject is onder andere een viaduct of tunnel. Een element is een onderdeel van een beheerobject, zoals een brugdek of open tunnel moot. Een element bestaat uit meerdere bouwdelen, bijvoorbeeld een balk of wand. (NEN, 2018)

CB-NL staat voor ‘De Nederlandse conceptenbibliotheek voor de gebouwde omgeving’. Het is kort gezegd een digitaal vertalingsboek tussen de verschillende standaarden. CB-NL wordt (onder andere) toegepast om de koppeling tussen de begrippen uit de OTL en de NEN2767-4 te maken. (CB-NL, 2018)

ROK staat voor ‘Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken’. Dit is een bouwrichtlijn waaraan kunstwerken minimaal moeten voldoen. De richtlijn is opgesteld door Rijkswaterstaat en wordt door hen altijd

gehanteerd, echter veel andere opdrachtgevers refereren er ook naar. Het is van groot belang dat de objecten in het concept hieraan voldoen. (Rijkswaterstaat, 2018)

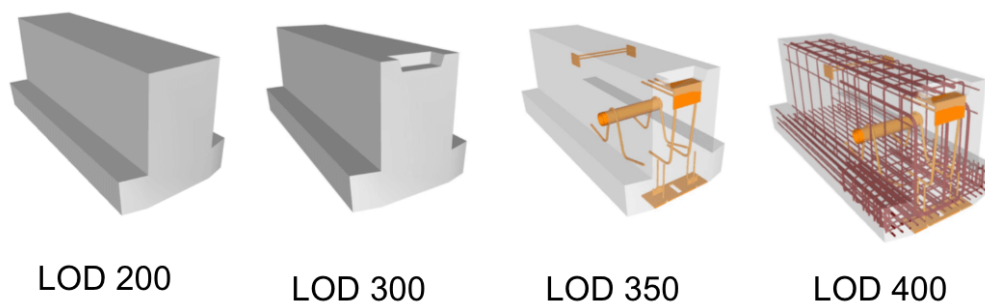
4.2.2 Input – Output

In bijlage B wordt het Concept Kruisingsconstructie weergegeven. Hierna worden de diverse elementen van dit concept beschreven. Begonnen wordt met in- en output. Daarna komt het parametrisch proces aan de orde.

4.2.2.1 Output

De output van het Parametrisch Concept wordt als input gebruikt voor de tool Analysis – Optimisation. Deze output bestaat uit een 3D-model en eigenschappen hiervan (bijvoorbeeld of een geometrie van staal of beton is, hierna: geïntegreerde data). De tool combineert 3D-model en geïntegreerde data om tot de selectie van één variant te komen.

Deze studie richt zich op de beginfase van de ontwikkeling van een parametrisch concept, waardoor de output op relatief laag detailniveau zal zitten. De BIM-term voor de geometrie is LOD: Level of Detail. Dit geeft aan hoe gedetailleerd het model is opgebouwd. Dit wordt in onderstaande figuur geïllustreerd. Hoe hoger de LOD, des te meer data het oplevert. Voor het Parametrisch Concept zal nu LOD 200 al interessant zijn. LOD 400 vereist een complexer Parametrisch Concept en zal meer rekencapaciteit vragen van de computer.



Figuur 21 LOD niveaus (Areo, 2016)

4.2.2.2 Input

De locatie, situatie en functie van een kruisingsconstructie wisselt bij elk project. Dit beïnvloedt de output van het proces. Het is interessant om zo basaal mogelijke input te geven om zoveel mogelijk aan het algoritme over te laten. Daardoor is de kans op fouten zo laag mogelijk en worden geen varianten uitgesloten. Met de input maak je het concept project specifiek.

De input wordt gevormd door de volgende gegevens:

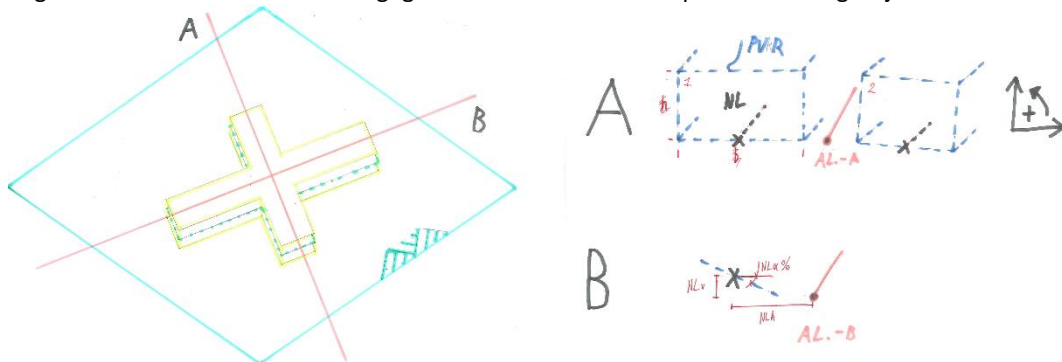
Lagen Voor het model is het van belang dat de lagen van de locatie – maaiveld, grondwater en draagkrachtige grond – worden opgenomen. De lagen kunnen via een Excel sheet worden

ingevoerd of ze kunnen worden geladen vanuit een andere bron, bijvoorbeeld Google Maps. (Beach, 2017)

Projectgrenzen Dit geeft kaders waarbinnen de varianten moeten blijven. De grenzen moeten voor het horizontaal vlak en maximale hoogte en diepte worden ingevoerd.

Alignement Voor het concept is ervan uitgegaan dat reeds twee 3D-alignementen zijn bepaald. Er zou ook een Computational Design Solution expliciet voor het bepalen van alignmenten gebouwd kunnen worden. Het algoritme interpreteert het alignmenten buiten de projectgrenzen als een vast gegeven. Binnen de grenzen is het vrij om in verticale zin het alignmenten aan te passen.

Netwerklinks is een benaming uit de OTL. Het duidt op een verbinding in de infrastructuur. Een netwerklink vertegenwoordigt een type verkeersstroom, heeft een PVR (Profiel van Vrije Ruimte) en belasting type. De gegevens van de netwerklinks moeten gekoppeld worden aan de alignmenten. Hiervoor kan het interessant zijn om een interface te ontwikkelen die de gebruiker helpt. Hiermee wordt het PVR ten opzichte van het alignment gedefinieerd voor beide alignmenten. Hierdoor ontstaan gegevens die in het verdere proces benodigd zijn.



Figuur 22 Lagen, Projectgrenzen, Alignement en Netwerklinks

4.2.3 Parametrisch proces

De uitdaging is om met de gegeven input tot de output te komen. Met behulp van Computational Thinking kan een proces worden opgezet. Daarbij moet rekening worden gehouden met de standaarden om aan BIM te voldoen in een latere fase. In bijlage B is in de bovenste helft het procesdiagram te zien wat van START tot END loopt. Er wordt een ontwerp gemaakt van een kruisingsconstructie die kan dienen als variant voor Analysis – Optimisation. In de onderste helft is het proces verder uitgediept en toegespitst op een viaduct.

Het heeft meerdere schetsen gekost om tot versie 1.0 te komen. De schetsen zijn opgenomen in bijlage C. Versie 0.1 was nog niet gericht op een kruisingsconstructie, maar op een viaduct. In versie 0.2 is de OTL geïntroduceerd. Hiermee is een boomdiagram gemaakt met als uitgangspunt een viaduct. Om de verschillende stappen in het diagram een naam te geven, is de decompositie van de NEN2767-4 gebruikt. Ook is nagedacht over wat de parameters, eigenschappen en keuzes (datastromen) zijn waarmee het boomdiagram doorlopen wordt. Met de inzichten van de OTL, decompositie en datastromen is in versie 0.3 overgegaan naar een proces met meerdere

databases. Het laatste document in bijlage C is de eerste versie van het algoritmisch denken om tot een procesdiagram te komen.

4.2.3.1 Database

Een database is een bibliotheek waarin iets wordt opgeslagen. De database wordt gevuld door de gebruiker/het bedrijf zelf. De database is een opslag van kennis en gegevens, waarvan tijdens het proces gebruik gemaakt kan worden. In het concept zijn vier databases opgenomen. De eerste is voor het opslaan van de gegevens van de netwerklink. De andere drie zijn onderverdeeld aan de hand van de decompositie uit de NEN2767-4 (Bouwobject – Element – Bouwdeel). Er is bewust voor meerdere databases gekozen, omdat dit het proces meer flexibiliteit en de gebruiker meer overzicht en eenduidigheid geeft. Hier komt de skill 'ontleden' uit Computational Thinking van pas.

Beschrijving van de databases:

Netwerklink Hierin zijn gegevens opgeslagen die gebruikt worden om per alignement de netwerklink te bouwen. Gegevens in deze database zijn onder andere type van het verkeer, PVR en belasting type.

Bouwdeel Hier zijn de bouwdelen van een element in opgenomen. Het zijn geometrische onderdelen die eigenschappen met zich meedragen, zoals het gebruikte materiaal en hoe het onderdeel zich gedraagt als de afmetingen veranderen. Dit gebeurt door middel van relaties tussen de afmetingen en het hebben van knooppunten. De knooppunten worden later gebruikt om met bouwdelen een element samen te stellen. Dit is een abstracte benadering om de relatie tussen de bouwdelen en het element te verwezenlijken (de skill 'abstractie' uit Computational Thinking).

Element Hierin zijn de elementen om tot een bouwobject te komen opgenomen. De elementen worden samengesteld met bouwdelen. De eigenschappen van de bouwdelen blijven behouden. In deze database worden overkoepelende eigenschappen (zoals vuistregels en mogelijke veranderingsrichting) toegevoegd, zodat het element als één geheel aangepast kan worden. Hier worden ankerpunten toegevoegd, om later in de template van het bouwobject de elementen te kunnen linken.

Bouwobject Hier zijn templates voor ieder bouwobject in opgenomen. In de template worden de inputgegevens opgenomen en door de ankerpunten in de template kunnen de elementen gelinkt worden aan de template. Dit geeft flexibiliteit, omdat verschillende elementen van bouwsystemen aan één ankerpunt gelinkt kunnen worden.

Databases geven structuur hoe het uiteindelijke 3D-model gegenereerd kan worden. Verder geeft het structuur om het concept te vullen met kennis. Door de databases te vullen met wisselende bouwobjecten en elementen kan het concept hier verschillende varianten mee maken, om uiteindelijk tot meerwaarde te komen.

4.2.3.2 Select & Process

In het procesdiagram wordt hierna verder gekeken naar de handelingen tussen **START** en **END**. Voor het proces is het algoritmisch denken van belang. Wanneer de blokjes lichtblauw zijn, geeft

dit aan dat er in die handeling meerdere variabelen zijn waaruit gekozen kan worden. Door hierin te wisselen, krijg je de vele varianten.

Beschrijving van de handelingen van rechts naar links:

Select Kruisingsconstructie Aan de hand van de projectgrenzen (maximale hoogte en diepte) wordt vastgesteld welke mogelijkheden er zijn. Wanneer het object onder het grondwater mag komen, is een ondertunneling een optie. Wanneer dit niet het geval is, dan is overbrugging de enige optie. Dit geldt natuurlijk ook andersom.

Select Bouwobject Template Aan de hand van de typen netwerklinks wordt bepaald welk template wordt geselecteerd. Wanneer beide typen netwerklinks 'wegverkeer' zijn, dan zal het bouwobject een viaduct zijn en zal er uit de database de template van een viaduct worden geselecteerd.

Select Ligging Alignementen z-as Hier wordt bepaald hoe de alignementen elkaar kruisen in de z-as. Hier zijn dus weer meerdere opties mogelijk.

Process Template Het template wordt geladen met de projectgegevens en de ligging van de alignementen. Eerst worden de projectgegevens, zoals de aslijnen (grid), lagen (layers), PVR en projectgrenzen ingeladen. Aan de hand van de PVR en de ligging van de alignementen wordt de eerste schatting gemaakt van het verloop van de alignementen. Uitgangspunt daarbij is dat het onderste alignement zo dicht mogelijk bij het maaiveld wordt geplaatst. Daarna wordt onderzocht hoeveel steunpunten er kunnen komen, waaronder ook de landhoofden. Als laatste wordt een **check** gedaan of de gestapelde PVR's binnen de projectgrenzen vallen.

4.2.3.3 Link elementen

De template staat nu klaar om gevuld te worden. In de volgende fase worden de elementen van het bouwobject ingevoerd en gelinkt.

Beschrijving van de handelingen:

Link Elementen Vanuit de database 'Elementen' worden de bijbehorende elementen van het bouwobject ingevoerd en gelinkt aan de ankerpunten in de template. Hier is de optie om tussen de bouwsystemen van de elementen te wisselen, bijvoorbeeld verschillende soorten brugdekken.

Process Elementen In deze handeling wordt het element aangepast aan de invloeden van de template, zoals kruisingshoek en breedte brugdek.

Move Elementen Hier wordt het element, in stappen van 10 cm, vanuit het kruisingspunt verschoven totdat het buiten de PVR valt. Dit is nodig omdat de computer moet zoeken naar de juiste plek voor het element.

Fit Alignement Nu de elementen zijn gepositioneerd, kan het bovenste alignement daarop worden aangepast. Nu kan er weer een check worden gedaan of het geheel nog binnen de projectgrenzen valt.

De volgorde van deze handelingen is te zien op de onderste helft van het procesdiagram. Mocht blijken dat meer dan twee steunpunten geplaatst kunnen worden, dan wordt de optie gegeven om een derde (of meer) wel of niet te plaatsen.

4.2.3.4 Analysis & Fit

De elementen zijn gepositioneerd en ook is bekend wat de binnenwerkse afmetingen zijn van het viaduct om de onderste PVR te kunnen overbruggen.

Beschrijving van de handelingen:

Analysis Elementen Hier wordt een eerste analyse gedaan voor een constructieve check. Het 3D-model wordt in een FEM-softwarepakket geladen. Aan de hand van het belasting type kan er een belasting worden gegenereerd. Door de belasting zullen in ieder element spanningen optreden. Deze moeten onder de maximaal toelaatbare materiaalspanning blijven. De volgorde staat aan in de onderste helft van het procesdiagram.

Safe? Wanneer in één van de elementen de maximaal toelaatbare materiaalspanning wordt overschreden, is het niet safe en dan wordt de volgende handeling re-Process. Mocht dit niet het geval zijn, dan gaat het proces door naar Fit Alignment.

re-Process Hier wordt het betreffende element aangepast met voorgeprogrammeerde stappen. De aanpassing gaat van binnen naar buiten, zodat de PVR niet in het gedrang komt. Na de aanpassing wordt opnieuw gecontroleerd of het geheel nog binnen de projectgrenzen valt. Dan gaat het weer terug de analyse in.

Fit Alignment Wanneer één van de elementen aangepast is, en dan voornamelijk het brugdek, moet het alignment daarop worden aangepast.

Fit Elementen Alles wordt nog eens op elkaar afgestemd. Hierbij is het talud belangrijk, omdat het alignment hoogstwaarschijnlijk in de laatste stap nog is aangepast. Nadat alles is gedaan, moeten de projectgrenzen nogmaals worden gecheckt.

END Er is nu een 3D-model gegenereerd voor het desbetreffende project. Wanneer het proces opnieuw wordt doorlopen, worden andere bouwsystemen geselecteerd voor de elementen en ontstaan nieuwe varianten voor het betreffende project.

4.2.4 Software

Er zijn meerdere pakketten nodig met elk hun eigen specifieke taak. Dit hoeven geen hele andere programma's te zijn dan die nu reeds bij het dagelijks ontwerpen worden gebruikt.

Dynamo (Studio) is één van de visueel open source programmeer programma's. Het hoort bij de collectie van Autodesk. Dit heeft als voordeel dat het goed samenwerkt met andere Autodesk programma's. Met Dynamo Studio kunnen de datastromen tussen de software, diverse handelingen en de geometrie voor de databases geprogrammeerd worden. (Autodesk, 2018)

Microsoft Excel is uitermate geschikt voor het invoeren, het opslaan en het verwerken van data. Het kan ook de functie hebben van doorvoer kanaal tussen software. (Stark & Secerbegovic, 2015)

FormIt is eveneens een Autodesk programma. Dynamo en FormIt sluiten erg goed op elkaar aan. Het is een schetsachtig modelleerprogramma, wat als voordeel heeft dat er vrijer met de geometrie kan worden omgegaan. In Revit (een zwaarder modelleerprogramma) zouden veel foutmeldingen optreden (zie bijlage A, blad 7). FormIt wordt ook gebruikt in de parkeergarage configurator van MT Højgaard. (Wallaert & Knudsen, 2017)

SOFiSTiK is een niet veel gebruikte FEM-software. Hiermee kan de analyse worden uitgevoerd. Een groot voordeel is dat dit programma een plug-in heeft met Revit. (Beliën & Serra, 2017)

4.3 Conclusie

In de conclusie van hoofdstuk 2 is toegelicht dat het leveren van meerwaarde de uitdaging van de AEC industrie voor de komende periode zal zijn: more – better – less. In dit hoofdstuk is duidelijk geworden hoe de engineering die meerwaarde voor opdrachtgever kan bieden: de aantoonbare garantie dat het geleverde ontwerp één van de best mogelijke ontwerpen is (zie figuur 18 met toelichting). Dit wordt bereikt door Parametric Design en Analysis – Optimisation te combineren en zo een Computational Design Solution aan te bieden.

Voor Antea Group is Parametric Design op zichzelf zeker interessant, maar het zal niet de meerwaarde van een Computational Design Solution opleveren. Antea Group heeft dus een toepassing nodig in lijn van een Computational Design Solution. Daarnaast moet de door Antea Group gekozen toepassing uitstekend aansluiten op BIM, omdat dit zal zorgen voor een optimale ontsluiting van data.

Welk BIM level kan Antea Group door toepassing van de Computational Design Solution bereiken? De Solution die het beste ontwerp aanwijst, levert wijsheid op. Dit zou Post-BIM impliceren. Echter, de verkregen wijsheid beperkt zich tot één model zonder de mogelijkheid daarbij andere modellen te betrekken. De belangrijkste overeenkomst met BIM level 3 is het gebruik van dynamische databases. De Solution is echter nog niet uitgebouwd met integratie van andere disciplines, waardoor het ook niet volledig BIM level 3 is. BIM level 2 is wordt wel bereikt. De stap naar level 3 kan worden gezet door de Solution uit te breiden met input vanuit andere disciplines.

Uit voorgaande blijkt dat de dynamische databases een wezenlijk onderdeel vormen van het Parametrisch Concept in deze studie. Voordelen hiervan zijn flexibiliteit, structuur en eenduidigheid. Verder blijkt uit de studie dat het verstandig is om aanvankelijk met een laag LOD niveau te werken. Dit komt de snelheid ten goede en er kan gebruik worden gemaakt van minder complexe software. Door te streven naar hogere LOD niveaus kan in de toekomst de beste keuze op meer data worden gebaseerd.

5 Conclusie

Hierna komen eerst de diverse deelvragen aan bod. Daarna wordt de hoofdvraag beantwoord en volgen aanbevelingen.

1) a. Wat zijn de ontwikkelingen in de Architecture, Engineering & Construction industrie?

De afgelopen anderhalve eeuw laten een verschuiving van onderscheidend vermogen zien: eerst kracht, daarna kennis en de mate en snelheid waarmee men de digitale wereld kan betreden. De belangrijkste uitdagingen voor de AEC industrie in de komende periode zijn de noodzaak om een inhaalslag op productiviteit te maken en de overstap van Digitaal naar Digitaal 2.0. Het creëren van meerwaarde voor de opdrachtgever heeft een centrale rol in het proces.

b. Waarin moet Antea Group gaan investeren om aan te sluiten bij deze ontwikkelingen?

Om meerwaarde voor hun opdrachtgevers te kunnen realiseren moet Antea Group investeren in de digitale benadering van het engineeringsproces. Kenmerken daarvan zijn automatisering, efficiëntere omgang met data en actief aansluiting zoeken op digitale werkwijzen, in het bijzonder BIM.

Voor de langere termijn moet worden geïnvesteerd in een toepassing van de Computational Design Solution. Daarmee zal een verdere verhoging van de efficiëntie en kwaliteit worden bereikt en de meerwaarde voor opdrachtgevers verder worden vergroot. Onderdelen van deze investeringen zijn Parametric Design, tools voor Analysis – Optimisation en streven naar hogere BIM levels.

2) a. Wat is Parametric Design?

Parametric Design is een onderdeel van Computational Design. De belangrijkste kenmerken zijn het algoritmisch proces en het beïnvloeden van de output door parameters. Parametric Design richt zich op het geometrisch deel van ontwerpen. Computational Thinking vormt de basis, wat zal betekenen dat de engineer op een andere manier met de computer moet gaan (samen)werken. Tevens zal hiervoor een verschuiving van het denken nodig zijn: van objecten naar concepten.

b. Welke mogelijkheden zijn er om Parametric Design toe te passen?

De software om het digitale gedeelte van het ontwerpproces te programmeren is voorhanden. Parametric Design heeft daardoor zijn intrede gedaan in diverse werkvelden binnen de AEC industrie. Architecten passen het toe voor het creëren van expressie met vormvrijheid. Diverse ingenieursbureaus hebben aanpasbare modellen geprogrammeerd voor het modelleren van bepaalde objecten, waarmee (een deel van) het ontwerpproces is geautomatiseerd. MT Højgaard gaat met 'the parking garage configurator' een stap verder en integreert meerdere fases van het ontwerp- en bouwproces tot één digitale workflow.

3) a. Welke toepassing van Parametric Design sluit het beste aan bij Antea Group?

Antea Group kan Parametric Design het beste toepassen binnen het grote geheel van een Computational Design Solution. De toepassing moet minder gericht zijn op automatisering, maar meer op het creëren van de mogelijkheid om tot de best mogelijke ontwerpkeuze te komen. Dan wordt namelijk de meerwaarde gecreëerd die Antea Group aan hun opdrachtgevers wil leveren. Daarnaast zal Antea Group gebaat zijn bij een toepassing van Parametric Design die zo goed mogelijk aansluit op BIM.

b. Hoe ziet de toepassing eruit in de praktijk?

In bijlage B is te zien hoe de toepassing eruit ziet. Het is een procesdiagram voor de Computational Design Solution, toegespitst op Parametric Design. Dit diagram bestaat uit databases, standaarden en processtappen, waarbij elementen uit Computational Thinking worden toegepast.

Hoe kan Antea Group Parametric Design toepassen om aan te sluiten bij de ontwikkelingen in de Architecture, Engineering & Construction industrie?

De toepassing voor Antea Group is tweeledig: toepassing met effect op korte termijn en toepassing om de uitdagingen voor de langere termijn het hoofd te bieden.

Toepassingen voor Parametric Design kunnen voor Antea Group direct voordelen opleveren. Evenals de andere ingenieursbureaus kan een automatisering worden ingezet, wat leidt tot hogere productiviteit. Daarnaast vraagt de omgeving waarin Antea Group opereert om een toenemende mate van digitalisering. De uitvoering wordt steeds digitaler en daarmee meer flexibel en zal dit ook van engineering gaan vragen. Hierop kunnen inspelen kan Antea Group een voorsprong ten opzichte van de markt geven. Tot slot is het van groot belang om de beschikbare data goed op orde te hebben: toegankelijk en toepasbaar. De gestructureerde werkwijze achter Parametric Design geeft Antea Group handvatten de datastromen binnen het bedrijf beter te gaan gebruiken en databases op te bouwen.

Voor de langere termijn vormt Parametric Design een eerste stap op weg naar de Computational Design Solution. Dit is voor Antea Group de manier om meerwaarde te creëren. Tevens is geconstateerd dat om naar hogere BIM levels te komen een hogere mate van Computational Design benodigd is. Met oog op het verwachte toenemende belang van BIM voor Antea Group, moeten hiertoe de skills worden ontwikkeld. Ofwel: door toepassing van Computational Design kan Antea Group de stap maken van Digitaal naar Digitaal 2.0.

5.1 Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden gedaan aan Antea Group en geven weer waar deze studie nog verder aangevuld kan worden.

- Door het toenemende gebruik van algoritmes, neemt het risico van onopgemerkte fouten daarin toe. 'Debugging' (het opsporen van programmeerfouten) is een belangrijke component van het proces (Berry, 2015, p. 17) waarmee de kwaliteit gewaarborgd kan worden. Dit moet nog verder worden geïmplementeerd.
- Richt een integraal team op (constructeurs, modelleurs, programmeurs en projectleiders) om verder met deze studie aan de slag te gaan: niets lijkt onmogelijk, maar hoever wil Antea Group hierin gaan en wat heeft het bedrijf ervoor over?
- De in deze studie besproken onderwerpen kunnen Antea Group aantrekkelijk maken voor opdrachtgevers en getalenteerd personeel. Antea Group kan zich hiermee meer profileren, mensen informeren (zichtbaarheid creëren) en visie uitdragen;
- Bij verder uitwerken van deze studie is het van belang te bedenken hoe het concept toekomstbestendig gemaakt kan worden;
- Het is in de studie zelf al benoemd, maar het beschikken over data is van doorslaggevend belang: start zo snel mogelijk met het vullen van databases en onderzoek daarbij de mogelijkheden voor standaardisatie.

Het is een groot en veelzijdig onderwerp, wat jong is en dus wisselend: de enige manier om er wegwijs in te worden, is gewoon beginnen en je eigen mening en vaardigheden ontwikkelen, rekening houdend met de wereld om je heen.

Bronnenlijst

- ABT. (2018, februari 12). *Inzicht door simulatie*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.abt.eu: https://www.abt.eu/actueel/blog/inzicht-door-simulatie.aspx](http://www.abt.eu/actueel/blog/inzicht-door-simulatie.aspx)
- Antea Group. (2017, februari). Voortgang Doelstellingen. *500 Dagenkrant*, p. 20.
- Antea Group afd. Kunstwerken. (2018). Jaarplan 2018 Kunstwerken.
- Areo. (2016, december 3). *Level of Development - LOD - as Lifecycle BIM-tool*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.blog.areo.io: http://blog.areo.io/level-of-development/](http://blog.areo.io/level-of-development/)
- Autodesk. (2018). *Building performance analysis software*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.autodesk.com: https://www.autodesk.com/products/insight/overview](https://www.autodesk.com/products/insight/overview)
- Autodesk. (2018). *Generative Design*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.autodesk.com: https://www.autodesk.com/solutions/generative-design](https://www.autodesk.com/solutions/generative-design)
- Autodesk. (2018). *The Dynamo Primer*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.dynamoprimer.com: http://dynamoprimer.com/en/index.html](http://dynamoprimer.com/en/index.html)
- Autodesk. (2018). *The Dynamo Primer*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.dynamoprimer.com: http://dynamoprimer.com/en/](http://dynamoprimer.com/en/)
- Beach, D. (2017). *Connecting FormIt and Dynamo for Predesign Formal Thinking*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.au.autodesk.com: http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/classes/year-2017/formit/as124787#chapter=0](http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/classes/year-2017/formit/as124787#chapter=0)
- Beliën, M., & Serra, P. (2017). *Design Automation by Parametric Design of a Viaduct with Dynamo and Revit in 20 minutes*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.au.autodesk.com: http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/classes/year-2017/dynamo-studio/ci124452](http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/classes/year-2017/dynamo-studio/ci124452)
- Bergshoeff, G. (2018, januari 9). *Technologische ontwikkelingen bieden ongekende kansen voor bouwsector*. Opgeroepen op juni 12, 2018, van [www.linkedin.com: https://www.linkedin.com/pulse/technologische-ontwikkelingen-bieden-ongekende-kansen-bergshoeff/](https://www.linkedin.com/pulse/technologische-ontwikkelingen-bieden-ongekende-kansen-bergshoeff/)
- Berry, M. (2015). *Quickstart Primary Handbook*. Bedford: BCS. Opgehaald van <https://community.computingschool.org.uk/resources/3042/single>
- BIM Loket. (2018). *Standaarden*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.bimloket.nl: https://www.bimloket.nl/standaarden](https://www.bimloket.nl/standaarden)
- Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2017, augustus). *Industrie 4.0*. Opgeroepen op juni 12, 2018, van [www.hightech-strategie.de: https://www.hightech-strategie.de/https://www.hightech-strategie.de/de/Industrie-4-0-59.php](https://www.hightech-strategie.de/https://www.hightech-strategie.de/de/Industrie-4-0-59.php)
- Cambridge Dictionary. (2018). *Meaning of "computation" in the English Dictionary*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.dictionary.cambridge.org: https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/computation](https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/computation)
- Cambridge Dictionary. (2018). *Meaning of "computational" in the English Dictionary*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.dictionary.cambridge.org: https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/computational](https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/computational)
- CB-NL. (2018). *Over de CB-NL*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.public.cbnl.org: http://public.cbnl.org/over-cb-nl](http://public.cbnl.org/over-cb-nl)
- De Ingenieur. (2015, mei 12). *Fabrieksrevolutie*. Opgeroepen op juni 12, 2018, van [www.deingenieur.nl: https://www.deingenieur.nl/artikel/fabrieksrevolutie](https://www.deingenieur.nl/artikel/fabrieksrevolutie)
- Doodeman, M. (2017, oktober 19). *Google-zus bouwt stad van de toekomst*. Opgeroepen op juni 12, 2018, van [www.cobouw.nl: https://www.cobouw.nl](http://www.cobouw.nl)

- <https://www.cobouw.nl/bouwbreed/nieuws/2017/10/google-zus-bouwt-stad-van-de-toekomst-101253774>
- Groot, J. d. (2018, maart 7). *Het BIM automation tijdperk*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.linkedin.com](https://www.linkedin.com/pulse/het-bim-automation-tijdperk-johan-de-groot/?articleId=6376793238430449665#comments-6376793238430449665&trk=prof-post): <https://www.linkedin.com/pulse/het-bim-automation-tijdperk-johan-de-groot/?articleId=6376793238430449665#comments-6376793238430449665&trk=prof-post>
- Heester, B. (2018, januari 10). KES stepping stone 001.
- InfoNu. (2016, mei 17). *De hersencapaciteit kan een informatie blokkade opleggen*. Opgeroepen op juni 12, 2018, van www.mens-en-samenleving.infonu.nl: <https://mens-en-samenleving.infonu.nl/diversen/110170-de-hersencapaciteit-kan-een-informatie-blokkade-opleggen.html>
- ING Economisch Bureau. (2016, februari 16). *Technologie in de bouw*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van www.ing.nl: <https://www.ing.nl/zakelijk/kennis-over-de-economie/uw-sector/building-and-construction/technologie-in-de-bouw.html>
- Jeffries, P. (2016, december 1). *What is Computational Design?* Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.blog.ramboll.com](http://blog.ramboll.com): <http://blog.ramboll.com/rcd/articles/what-is-computational-design.html>
- Kernerman Dictionaries. (2014). *Algoritme*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van www.woorden.org: <http://www.woorden.org/woord/algoritme>
- Kilkelly, M. (2016, april 5). *5 Ways Computational Design Will Change the Way You Work*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.archsmarter.com](http://archsmarter.com): <http://archsmarter.com/computational-design/>
- Lintsen, H. (1993). *Geschiedenis van de techniek in Nederland. De wording van een moderne samenleving 1800-1890. Deel II. Gezondheid en openbare hygiëne. Waterstaat en infrastructuur. Papier, druk en communicatie*. Zutphen: Walburg Pers. Opgehaald van http://www.dbnl.org/tekst/lint011gesc02_01/index.php
- Lintsen, H. (1993). *Geschiedenis van de techniek in Nederland. De wording van een moderne samenleving 1800-1890. Deel III. Textiel. Gas, licht en elektriciteit. Bouw*. Zutphen: Walburg Pers. Opgehaald van http://www.dbnl.org/tekst/lint011gesc03_01/
- Mackenzie, D. (2016, februari 25). *Parametric + algorithmic design*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.architecturenow.co.nz](http://architecturenow.co.nz): <http://architecturenow.co.nz/articles/parametric-algorithmic-design/#img=8>
- McCaffrey, T. (2017, april 24). *There Will Always Be Limits to How Creative a Computer Can Be*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.hbr.org](https://hbr.org): <https://hbr.org/2017/04/there-will-always-be-limits-to-how-creative-a-computer-can-be>
- MOA. (2018). *Wat elke marketeer moet weten over Big Data*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van www.moaweb.nl: <https://www.moaweb.nl/moagenda/item/882-wat-elke-marketeer-moet-weten-over-big-data.html>
- Nelissen, M. (2014, november 28). *Wat is eigenlijk data, informatie en kennis?* Opgeroepen op juni 10, 2018, van www.ithappens.nu: <http://www.ithappens.nu/wat-eigenlijk-data-informatie-en-kennis/>
- NEN. (2018). *Methodiek*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van www.nen2767-4.nl: <https://www.nen2767-4.nl/pagina/methodiek.html>
- Ploeg, C. v. (2018, maart 13). *Parametrisch Ontwerpen: Bewust uitgaan van variatie*. Opgeroepen op juni 12, 2018, van <http://www.vnconstructeurs.nl>: http://www.vnconstructeurs.nl/Nieuws_detail.aspx?item=355

- Rethinking The Future. (2018). *Need for parametric design*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.re-thinkingthefuture.com](https://www.re-thinkingthefuture.com/need-for-parametric-design/): <https://www.re-thinkingthefuture.com/need-for-parametric-design/>
- Rijksoverheid. (2018). *Wat doet IenW*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.rijksoverheid.nl](https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-infrastructuur-en-waterstaat/wat-doet-ienw): <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-infrastructuur-en-waterstaat/wat-doet-ienw>
- Rijkswaterstaat. (2018). *BIM-producten en standaarden*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.rijkswaterstaat.nl](https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/efficienter-werken/bouwwerk-informatie-model/producten-en-standaarden.aspx): <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/efficienter-werken/bouwwerk-informatie-model/producten-en-standaarden.aspx>
- Rijkswaterstaat. (2018). *Bouwrichtlijnen infrastructuur*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.rijkswaterstaat.nl](https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/index.aspx): <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/index.aspx>
- Rijkswaterstaat. (2018). *DBFM*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.rijkswaterstaat.nl](https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/zakendoen-met-rijkswaterstaat/werkwijzen/werkwijze-in-gww/contracten-gww/dbfm.aspx): <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/zakendoen-met-rijkswaterstaat/werkwijzen/werkwijze-in-gww/contracten-gww/dbfm.aspx>
- Rijkswaterstaat. (2018). *Introductie RWS Publicatieomgeving Objecttypenbibliotheek*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.otl.rws.nl](https://otl.rws.nl/publicatieomgeving/#/): <https://otl.rws.nl/publicatieomgeving/#/>
- Schot, J., Lintsen, H., Rip, A., & Bruhèze, A. d. (1998). *Techniek in Nederland in de twintigste eeuw. Deel 1. Techniek in ontwikkeling, waterstaat, kantoor en informatietechnologie*. Eindhoven / Zutphen: Stichting Historie der Techniek / Walburg Pers. Opgehaald van http://www.dbnl.org/tekst/lint011tech01_01/index.php
- Somerville, D. (2014, april 28). *Information Isn't Power*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.random-blather.com](https://random-blather.com/2014/04/28/information-isnt-power/): <https://random-blather.com/2014/04/28/information-isnt-power/>
- Stark, M., & Secerbegovic, L. (2015). *REVITalize Bridge Design*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.au.autodesk.com](http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/2015/revit-for-construction/ci11198#chapter=0): <http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/2015/revit-for-construction/ci11198#chapter=0>
- Succar, B. (2015, september 9). *EPISODE 24: UNDERSTANDING MODEL USES*. Opgeroepen op juni 12, 2018, van [www.bimthinkspace.com](http://www.bimthinkspace.com/#_edn15): http://www.bimthinkspace.com/#_edn15
- The BIM Framework blog. (2013, december 1). *3. BIM Stages*. Opgeroepen op juni 12, 2018, van [www.bimframework.info](http://www.bimframework.info/2013/12/bim-stages.html): <http://www.bimframework.info/2013/12/bim-stages.html>
- The Economist. (2017, augustus 17). *Efficiency eludes the construction industry*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.economist.com](https://www.economist.com/business/2017/08/17/efficiency-eludes-the-construction-industry): <https://www.economist.com/business/2017/08/17/efficiency-eludes-the-construction-industry>
- UNStudio. (2015). *Essay: Arnhem Central Station Roof Cladding*. Opgeroepen op juni 12, 2018, van [www.unstudio.com](https://www.unstudio.com/en/page/5876/essay-arnhem-central-station-roof-cladding): <https://www.unstudio.com/en/page/5876/essay-arnhem-central-station-roof-cladding>
- Viegen, K. v. (2018, maart 13). *Parametrisch Ontwerpen*. Opgeroepen op juni 12, 2018, van [www.vnconstructeurs.nl](http://www.vnconstructeurs.nl/Nieuws_detail.aspx?item=355): http://www.vnconstructeurs.nl/Nieuws_detail.aspx?item=355
- Wallaert, J., & Knudsen, S. (2017). *Applying Generative AEC Dynamics to a Parking Garage*. Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.au.autodesk.com](http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/classes/year-2017/dynamo-studio/bld124387#chapter=0): <http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/classes/year-2017/dynamo-studio/bld124387#chapter=0>

Zuiderman, D. (2015, april 19). *Wat is computational thinking?* Opgeroepen op juni 10, 2018, van [www.donzuiderman.blogspot.com](http://donzuiderman.blogspot.com): <http://donzuiderman.blogspot.com/2015/04/wat-is-computational-thinking.html>

Bijlage A Transcriptie interview Cadac Group

Bijlage A Transcriptie interview Cadac Group

Transcriptie interview Cadac Group

Omschrijving	Interview Cadac Group d.d. 28 februari 2018
Tijdsduur	57 minuten
Bestandsnaam	20180228 Interview Cadac Group.m4a
Soort transcriptie	Woordelijk
Geïnterviewde	Cadac Group AEC Josha van Reij (JR) IT Consultant
Interviewer	Antea Group – Avans Hogeschool Mylan van de Flier (MF) Afstudeerstudent
Locatie	Laanakkerweg 6, 4131 PA Vianen

00:47 MF: Wat is jouw mening over industrie 4.0 en dat dit eraan komt?

00:53 JR: Daar geloof ik zeker wel in, bij de Summit werd het ook benoemd. Het wordt een hele andere manier van werken. Het komt er sowieso aan, laat ik dat vooropstellen. Ik denk ook nog sneller dan de meesten voorspellen. Als je nu kijkt hoe snel de ontwikkelingen gaan is het echt absurd te noemen! Wij als IT-bedrijf merken eigenlijk al dat je dit bijna niet kan bijhouden, laat staan de andere sectoren.

01:24 MF: Zie je dan ook dat vanaf het moment dat de computer zijn intrede deed in de jaren '80 en wij met de computer gingen werken we nu de computer voor ons laten werken?

01:35 JR: Zeker, helemaal mee eens. Tuurlijk blijft het wel dat we het eerst zelf moeten aansturen. Als je hem eenmaal goed aangestuurd hebt, wat een computer voor jou vervolgens kan doen is gigantisch.

01:52 MF: Wat zal het teweegbrengen in onze industrie en dan meer specifiek voor de engineering?

02:17 JR: Dan laat ik de uitvoering even buiten beschouwing. In de engineering zit een heel groot verschil tussen de modellers en wat zij nu doen. Je hebt erbij die nu heel veel moduleren en veel werk verzetten. Bij alle klanten waar wij komen zie je eigenlijk dat ze van de tijd die ze nu besteden ongeveer 50% daarvan overbodig is. Dit kan zijn omdat het dubbel werk is of omdat ze een tool hebben die niet wordt gebruikt. Soms hebben ze de tool dus wel, maar dan gebruiken ze hem niet of niet goed. Bijvoorbeeld Revit kan gigantisch veel, maar is dus veel onkundigheid of beter gezegd, onwetendheid. Ik krijg vaak de vraag: "kan dit?". Vaak kan het dan wel en zou de vraag moeten zijn: "Wil je dit

en heb je het ervoor over?" Want het kan meestal wel, maar het kost dan mogelijk wel meer geld. Daarmee zou veel tijd bespaard kunnen worden. Zoals mijn directeur zei: als je 50% tijd kunt besparen, hoeft je niet de helft van je mensen de laan uit te sturen. Vaak zou men namelijk liefst drie of vier ontwerpen willen hebben om uit te kiezen, maar ze krijgen er maar één, omdat er niet meer tijd is. Als je 50% van je tijd over hebt, kun je in ieder geval twee ontwerpen maken.

04:00 MF: Denk je dat de huidige partijen (aannemers, ingenieursbureaus) hier klaar voor zijn en deze verandering gaan overleven?

04:15 JR: De tekenbureaus gaan het wel redden. Ze hebben veel slimme medewerkers en veel jonge mensen komen bij hun terecht. De bouwers gaan het wel moeilijker krijgen, want die doen nog heel veel werk wat redelijk 'ouderwets' is. De ingenieursbureaus zijn juist weer heel technisch bezig. Tussen deze twee moeten een connectie maken. De bouwkundige bedrijven moeten de engineering helemaal loslaten of ze moeten flink investeren om dit binnen hun bedrijf ook goed te krijgen. De mogelijkheden van digitalisering gaan namelijk ook doorwerken in hoe dingen geproduceerd gaan worden. Denk bijvoorbeeld aan 3D printing. Dit staat nu nog in de beginfase, maar bij de ingenieursbureaus en architecten zijn ze er zelfs al verder mee. Dit zal verder doorzetten en zal uiteindelijk ook de uitvoerende kant steeds meer gaan raken. Nu al zie je in toenemende mate prefab, omdat men geen vakbekwaam personeel meer kan vinden en dus noodgedwongen over gaat op productiewerk. Er zijn al aannemers die zich daarop gaan richten. (05:58-06:47 Gerechtsgebouw Breda m.b.t. prefab) Het gaat dus veel te weeg brengen.

06:49 MF: Van welke industrieën kan de AEC industrie veel leren?

07:06 JR: Officieel val ik onder de AEC, omdat Dynamo en 3D-printing daarbij horen, maar ik zit feitelijk in alle divisies. De overheid is nog behoorlijk ouderwets en veelal 2D. Pas bij bedrijven als een civiele aannemer zie je 3D in bijvoorbeeld pakketten als Infracore. Wij halen veel informatie bij de manufacturing, want die lopen mijlenver op de bouw voor. Zij hebben hun processen veel slimmer ingericht. Als zij een product gaan maken, dan hebben ze in 'Inventor' alle onderdelen al klaar staan. Er worden keuzes gemaakt en onderdelen samengevoegd en het product is klaar. In Revit tekenen wij bij elk gebouw altijd alles opnieuw, terwijl daar natuurlijk ook standaard elementen in zitten. Die zouden we moeten hergebruiken, maar dat wordt te nog te weinig gedaan. De bouw ziet dat intussen overigens wel in en de eerste flinke stappen hierin worden gezet. (08:37-09:23 boek Legalisering) Het wordt nog wel een uitdaging om partijen hierin mee te krijgen.

09:28 MF: Denk je dat de overheid een belemmering zou kunnen worden voor de ontwikkelingen die gaande zijn?

09:35 JR: Ik denk van wel. Je ziet nu dat sommige bouwbedrijven, die al wat verder zijn in deze ontwikkelingen, weer moeten downgraden om goedkeuring voor de omgevingsvergunning te kunnen krijgen. Laatst bijvoorbeeld moest ten behoeve van de omgevingsvergunning weer worden geëxporteerd naar een platte DWG. Dat is natuurlijk erg jammer.

10:05 MF: Wat zal hiervoor de oplossing zijn? Moet dit vanuit de bouw komen of moeten overheden zelf dit inzicht gaan krijgen?

10:16 JR: Ik denk dat men zelf dit inzicht zal moeten krijgen. Steeds meer bouwers zullen namelijk gaan zeggen: "hier werk ik mee en hier betaal je me voor, het is zonde om te gaan downgraden." Vooralsnog heeft de overheid helaas nog vaak de overhand en wordt DWG geëist, maar op termijn moeten ze mee.

10:58 MF: Zie je nog grote verschillen tussen woningbouw, utiliteitsbouw en civiele techniek?

11:04 JR: Met civiel heb ik me eerlijk gezegd niet heel veel bezig gehouden. Utiliteit kan ik vooral via bedrijven als grote aannemers en die lopen hierin heel erg voorop (en profileren zich hiermee ook). De woningbouw loopt (als je de grote bedrijven even buiten beschouwing laat) hierin wel achter. Hierin zijn veel kleine bedrijven actief en daar zie je nog vaak AutoCAD of vergelijkbare pakketten.

11:59 MF: Denk je dat de utiliteitsbouw voorloopt op de civiele techniek als het gaat om engineering technieken?

12:13 JR: Dat is lastig te zeggen. Je ziet wel dat men bij civiel hele nieuwe technieken toepast. Zo is laatst voor dijkverbetering bij met een drone de hele dijk gescand en ingeladen in Civil 3D, dus heel veel Hi-Tech. Maar als je dan vervolgens kijkt wat voor objecten men gaat gebruiken, dan is dit echt niet parametrisch. Aan de ene kant is men dus heel innovatief bezig, maar aan de andere kant is het nog geheel niet doorgedrongen. Op dit punt kan men zeker wat leren van de bouw.

13:00 MF: Is het dan zo dat de civiele techniek nog zit op level 1 – 1,5 (dus het 3D-modelleren in Revit) terwijl de bouw al verder is?

13:19 JR: Inderdaad, de meeste bouwbedrijven zijn al veel verder. Zij zitten intussen op de data: "hoe zorg ik ervoor dat als ik mijn Revit bestand heb, dat ik dit ook naar IFC krijg met de juiste data?" Dat is nu een hot item.

13:37 MF: Waarom zou de bouw voorlopen?

13:43 JR: De crisis heeft hierin een belangrijke rol gespeeld. Deze heeft de civiele sector ook wel geraakt, maar die liep toch wel door en hij kwam daar later. Voor de bouw was hij echt vervelend, maar had het wel een sterk positief effect op innovatie. De bedrijfjes die niet innoveerden zijn veelal failliet gegaan en veel grotere bedrijven hebben hun buffers ingezet om te investeren in nieuwe techniek. Die lopen nu dus voor en doen het goed.

14:17 MF: Kan het aantal partijen waarmee moet worden samengewerkt ook van invloed zijn?

14:21-15:50 MF: Hele discussie over een en weer, komt erop neer dat JR niet echt een verband ziet.

15:50 MF: Welke technieken zullen binnen ongeveer vijf jaar volwassen worden en veel gebruikt gaan worden?

16:16 JR: Revit sowieso, met 3D-modelleren en parametrisch ontwerpen. Autodesk heeft Revit als 'centraal platform' gepresenteerd, waaraan alle andere pakketten gelinkt

kunnen worden. Ook Civil 3D en Infraworks moeten dus met Revit kunnen communiceren Binnen Autodesk is AEC met Revit de belangrijkste tak. Daarnaast heeft men nog manufacturing (Inventor) en Media & Entertainment. (17:00-17:40 M&E). Verder zal blijken dat qua technieken AR (Augmented Reality, met Hololens o.a.) grote voordelen heeft en dat VR een grote impact heeft gehad en nog altijd heeft.

17:56 MF: Is dat op de engineering of ook op de uitvoering? Of vooral op ontwerp?

18:01 JR: Vooral op de uitvoering. Engineering ook wel, vooral als je met grote partijen samenwerkt zoals een groot ingenieurbureau. Die hebben projecten over heel de wereld. Met de Hololens kunnen ze hetzelfde 3D-model bekijken. Ideaal natuurlijk!

18:44 JR: En dan nog 3D-printing natuurlijk. Daar ben ik een twee jaar geleden op afgestudeerd en er is heel veel gebeurd sinds die tijd. Wij hebben sinds kort ook een eigen lab in Heerlen met een printer, een CSV/CNC (?), een robotarm en een scanarm.

19:24 MF: Zal dit zich nog gaan door ontwikkelen in robotisering/robot manufacturing of blijft het bij 3D-printing?

19:42 JR: Robotisering met 3D-printing. Een voorbeeld nu al is MX3D die bezig zijn met een stalen brug in Amsterdam, ook een Autodesk project overigens. Het is uiteindelijk een veredelde lasrobot, maar toch. Zo'n brug bouwen in het midden van een drukke stad kost normaal enkele 100.000 euro en dat kan (als het eenmaal ontwikkeld is) heel goedkoop.

20:15 MF: Je zegt: "project van Autodesk", hoe zit dit?

20:20 JR: Het wordt ondersteund door Autodesk. Zij kiezen een aantal projecten uit waarmee ze een volledige samenwerking aangaan: software, uitleg, ondersteuning en heel veel marketing natuurlijk. Ze doen dit behoorlijk veel. De betonbrug in Eindhoven (van de BAM en de TU) is ook zo'n project.

21:13 MF: En generatief design?

21:20 JR: Vooral omdat het mooi is natuurlijk, maar daarnaast ook gewicht- en materiaalbesparing. Daarin is nog veel winst te behalen, maar het zit nog in een vroeg stadium. Je merkt dat het nu vanuit de manufacturing de bouwkant opkomt. Software uit de manufacturing, waarbij door te genereren de materialen wordt geoptimaliseerd, worden nu ook al een beetje in de bouw toegepast. Bij Autodesk komen deze technieken dus uit de manufacturing.

22:07 MF: Je noemde ook parametrisch ontwerpen: wat is jouw definitie van een parametrisch ontwerp/model?

22:25 JR: Ik houd het vrij simpel. Elk model wat je maakt waarin je koppelingen met data aanmaakt. Bijvoorbeeld hoogte of breedte die je kunt aansturen. In theorie is dat al een parametrisch model. Een family is dat dus ook, zolang er maar maatvoeringen inzitten die je groter en kleiner kunt maken. Er zijn echter wel niveaus te onderscheiden: een vierkant blokje met een paar maatvoeringen is niveau 0,1. Een hele complexe brug ineens van enkel- naar dubbelbaans omzetten vereist natuurlijk een veel complexer model. Maar in feite is Revit hier dus al mee begonnen toen zij met family's gingen werken.

23:31 MF: In alle topics en trending lijstjes komt het voor en diverse grote bedrijven, waaronder BAM, werken ermee. Maar wat is de stand van zaken nu?

24:10 JR: Met de BAM werken we al heel lang samen en we zijn nu met een nieuw project bezig. Ik kan daarover nog niet teveel zeggen, maar dat gaat nog een heel stuk verder. Het heet Modules en het is feitelijk een configurator voor elk product. We hebben al een Modulesproduct voor kozijnen, installaties en zelfs voor de Hololens. Dat werkt zo: je hebt je model in Revit, volledig parametrisch. Die stuur je dan met Modules naar de Hololens met een directe koppeling. Als jij dan de Hololens opzet, zie je het 3D-model en kun je een object aanklikken en de grote daarvan veranderen. Wat dan weer wordt terug gestuurd naar Revit.

25:12 MF: En Modules functioneert dan feitelijk als vertalingsprogramma, heel simpel gezegd?

25:28 JF: Zoiets ja, we maken daarvoor gebruik van Forge, een ontwikkelplatform van Autodesk. Het is een platform waarop je open kunt programmeren en wat werkt met credits. En je kunt er eigenlijk alles mee doen. Bijvoorbeeld: ik heb Revit en ik wil daarvoor een eigen interface. Met Forge kun je die aan elkaar koppelen. Dus je kunt eigen productontwikkeling doen, die je koppelt aan bepaalde programma's. Wij gebruiken het bijvoorbeeld voor onze AR-module. Er bestond nog geen button "Revit export naar Hololens". In onze Modules zit dat nu wel. We gebruiken daarvoor een aantal autodeskprogramma's die niemand ziet, die exporteren van Revit naar een ander programma, Forge gaat dat vervolgens allemaal voor ons oplossen en stuurt dat door.

26:34 MF: Wat is dan het grote verschil tussen bijvoorbeeld Dynamo en Forge?

26:42 JR: Dynamo kan niet met alle programma's communiceren. Dat werkt voor Revit en dacht ik voor Infracore, FormIt en SketchUp zelfs, dus op een aantal programma's is het aangesloten maar niet op alles. En je kunt ook niet naar Azure service bus gaan, dus iets wat volledig niet van Autodesk is. Met Forge kan dat wel, die kan ook met andere platformen communiceren.

27:15 MF: Kun je dus beter Forge gebruiken dan Dynamo?

27:20 JR: Nee, het is echt totaal anders.

27:22 MF: Dus hele andere functie? Forge is meer een koppeling tussen [programma's] waarmee je iets automatisch wilt laten gebeuren, terwijl Dynamo in feite een aansturing is voor je grafisch model.

27:38 JR: Exact. Forge is echt een softwareontwikkeling. Als je Revit kan, kun je daarom echt nog geen Forge, dat is meer programmeren.

27:50 MF: Dynamo is heel visueel opgebouwd, met visuele programmeertaal. Hoe zit dat bij Forge?

28:00 JR: Forge is niet simpel, maar wel heel duidelijk. Neem bijvoorbeeld BIM 360, dat heeft een API omgeving, een bepaald type code. Forge geeft daarbij aan wat hun code is en wat de code van het derde pakket is. Vervolgens hoef jij alleen maar de koppeling te leggen. Je moet dus wel kunnen programmeren, maar als je dat eenmaal onder de knie hebt ben je geen maand meer bezig, dan is het veel sneller af.

28:35 MF: Dit is dus zeker een interessante om naar te kijken.

28:48 JR: Het is wel heel breed hoor. Je zult voorbeelden vinden hoe Forge te gebruiken puur als viewer, maar ik heb laatst meegebouwd aan een Forge koppeling voor BIM 360 en Power BI. Dat is dus echt datavisualisatie.

29:16 MF: Is dat dan vergelijkbaar met Project Fractal?

29:22 JR: Ik laat het je zien. Het heeft eigenlijk niets meer met het bouwen te maken. Het is van Microsoft. Je hebt tegenwoordig zoveel data. Als je een Revit Family neerzet, heb je al zo'n 100 parameters aan data gecreëerd. Power BI is niets meer dan de visualisaties van data. Hierachter zit een enorme databond, dat kan live zijn vanuit Revit, live vanuit een Azure omgeving of gewoon vanuit een Excel bestand. Die data worden gestructureerd door Power BI en vervolgens gevisualiseerd. Bijvoorbeeld: hoeveel betonwerk zit er in je project? Dingen die je eerst niet snel inzichtelijk kon krijgen zijn dat nu wel.

31:04 MF: Je kunt hiermee dus ook de productiviteit of efficiëntie van je project of je object in beeld brengen?

31:15 JR: Zolang de data maar geregistreerd worden, kun je het op deze manier duidelijk inzichtelijk krijgen.

31:20 MF: Heb je hier persé een parametrisch model voor nodig of is dat geen noodzaak?

31:26 JR: Een parametrisch model is geen noodzaak, maar wel een voordeel. Hoe meer je model parametrisch is, hoe meer datavelden je hebt en dus meer data die je kunt uitlezen en gebruiken in Power BI.

31:43 MF: Denk je dat een parametrisch model noodzakelijk is om bepaalde ontwikkelingen, zoals 3D printing, big data en sensing, te laten slagen?

31:55 JR: Het zal niet nodig zijn om dit te doen, maar het is wel overduidelijk dat het nodig is. In theorie kun je een simpel object maken en 3D printen, zonder aansturen. Maar je wilt dit juist vaker doen. Het is dus een must om een parametrisch model te hebben, want dat scheelt je heel veel tijd en werk.

32:24 MF: Wat is het voornaamste nut of doel van een parametrisch model?

32:30 JR: Hergebruik is een heel belangrijk punt, alsmede toepasbaarheid voor meerdere doeleinden. Je moet het model voor 5 of 10 projecten kunnen gebruiken, waar je vroeger elke keer opnieuw een nieuwe zou maken. Dat is de grootste winst.

32:58 MF: Denk je dat kennis de kwaliteit zal gaan verbeteren, omdat je door toenemende kennis niet telkens vooraan hoeft te beginnen en er zo dus een toenemende kwaliteit zal ontstaan?

33:34 JR: Eens. Je merkt dat er nu parametrische modellen zijn die met eisen zijn vastgesteld. Bijvoorbeeld een Dyka bocht van PVC. De leverancier levert een stuk of 10 varianten, maar daar zit dan bijvoorbeeld 11,5 diameter weer niet bij. Dus hebben wij die Family zo gebouwd dat hij wel parametrisch is, waardoor je hem kunt toepassen voor allerlei verschillende leveranciers en verschillende types, maar op het moment dat jij een Dyka sona binnen laat, wordt het geheel zo aangestuurd dat het overeenkomt met de

leveranciersdata. Je voorkomt dan dat je varianten krijgt die niet besteld kunnen worden. Het model creëert zo dus ook uitsluitingen. Het 'even uittekenen' is vaak zo gebeurd, maar bij het bestellen gaat het dan mis. Met als gevolg dat je het hele model weer moet aanpassen. Die eisen zijn dus wel belangrijk.

34:44 MF: Je moet dus eigenlijk heel je ontwerp ontleden en de computer hierop aansturen?

34:59 JR: Eigenlijk wel, inderdaad.

35:12 MF: Wat is dat stand van zaken van de techniek en denk je dat het al voorbeelden van zijn die voor een complex kunstwerk toepasbaar zijn, technieken die voor een groter, complexer geheel een parametrisch ontwerp kunnen maken?

35:38 JR: Zeker. Een klant van ons is bijvoorbeeld met een station bezig. Daarvoor gebruiken zo onder andere Dynamo, met Project Fractal (de life gang/the cloud). Daar hebben ze een aantal parameters ingebouwd met sliders. En dan zeggen ze tegen de opdrachtgever: "dit is het model, pas het met de sliders maar aan je wensen aan" (bijvoorbeeld het aantal personen per dag, dat soort eisen) en zo wordt een heel groot station met hele complexe vormen life aangepast.

36:24 MF: Is dit feitelijk niet een nieuwe dienstverlening die je kunt aanbieden? Nu werk je drie mogelijkheden uit (en dat is dan al veel) maar zo kun je dus eigenlijk alle mogelijkheden laten zien.

36:34 JR: Een ander voorbeeld van Project Fractal is een voetbalstadion, van Autodesk zelf.

36:46 MF: En ABT heeft hetzelfde gedaan bij de parkeergarage van Schiphol.

37:06 JR: MT Højgaard (een Hongaars of Noors bedrijf) is tot op heden degene die Project Fractal het beste heeft gebruikt, ook bij een parkeergarage. Die hebben een parkeergarage configurator gebouwd. Het begint bij een aantal parametrische prefab family's. Die hebben ze naar FormIt gestuurd, het SketchUp van Autodesk. Daar kun je ook weer Dynamo op aansturen en het heeft een live link met Revit en FormIt. Vervolgens geef je in wat de omtrek is van je garage, hoeveel parkeerplekken je nodig hebt en tot welke hoogte je maximaal mag bouwen. En met al de prefab elementen (denk aan kolommen, vloeren, alles van een parkeergarage eigenlijk) bouwt dat pakket de hele parkeergarage voor je. Wat normaal tien weken modelleertijd kost, doen zij nu met één druk op de knop.

38:26 MF: De voorbereiding vergt natuurlijk veel tijd, maar als je het kunt hergebruiken en als dienst kunt aanbieden is het rendabel.

38:33 JR: Precies: zij zijn een parkeergaragebouwer, dus voor hun is het belang hiervan gigantisch.

38:38 MF: En de koppeling met FormIt: is dat bedoelt het 'licht' en verzendklaar te maken voor verzending naar Revit, waar het vervolgens weer een heel 'zwaar' databestand wordt?

38:55 JR: FormIt is vergelijkbaar met SketchUp. Er is makkelijk mee te werken, waardoor je makkelijker aanpassingen kunt doen. Bij Revit loop je wel eens tegen beperkingen aan, omdat dit bedoeld is voor oplevering van producten en daarmee heel parametrisch

gestuurd is. Als je 'rare' dingen wilt gaan doen, krijg je foutmeldingen. FormIt is, net als SketchUp, wat vrijer in vorm en simpeler.

39:30 MF: Wat is dan de reden om daarna toch weer terug naar Revit te gaan?

39:35 JR: Tekenwerk voornamelijk, het doen van de aanpassingen en extra data te genereren.

39:53 MF: De conclusie is dus dat het wel mogelijk moet zijn om een compleet kunstwerk op deze wijze te ontwerpen.

40:06 MF: Zie je dat hierdoor nu ook ongebruikelijkere vormen, zoals dubbel gekromd, vaker worden toegepast en als functie worden beschouwd?

40:24 JR: Het kan wel, maar je komt ze niet veel tegen. Het is een selecte branche en vooral architecten vinden complexe vormen leuk. Maar dan komt de aannemer... [40:50 – 41:40 Kaan Architecten]. Al met al zijn er maar heel weinig bedrijven die complexe vormen aansturen met parameters en dan kom je al snel terecht bij Project Fractal. In Dynamo kun je hele complexe vormen maken. Die zet je in Project Fractal en met de sliders daar stuur je dan als het ware weer Dynamo aan. [42:11 – 42:34 ABT/Naturalis]

42:35 MF: Software: ik heb een vraag in mijn onderzoek zitten: "wat is de beste software?" Ik moet daar iets over gaan zeggen en ik heb al een aantal programma's waarvan ik denk dat ze wat kunnen, bijvoorbeeld: Dynamo, Dynamo plus Revit, Dynamo Tekla (ik heb gehoord dat dit kennelijk werkt), SolidWorks, Bentley, Archicad en Grashopper Rhino, en Inventor. Van welke programma's denk jij dat ze mogelijkheden bieden voor toepassingen in de bouw?

43:20 JR: Alleen met SolidWorks heb ik nog nooit gewerkt, de rest ken ik wel. Omdat ik zelf Autodesk reseller ben, vind ik Revit met Dynamo gigantisch sterk. Je merkt ook dat aannemers dat vrijwel allemaal gebruiken. Architecten van ons die zitten vooral op Revit, Grashopper Rhino. Tot het moment dat het op het project zelf aankomt, want dan converteren ze (of dat proberen ze in ieder geval) het naar Revit en gaan ze daarin verder. Dus eigenlijk komt het in alle gevallen op Revit aan, puur omdat Grashopper en Rhino niet kan wat Revit kan. Met Grashopper en Rhino kun je wel makkelijker de meest mooie en complexe ontwerpen maken, dat kost in Revit wat meer tijd. Je kunt met Revit in combinatie met Dynamo wel hetzelfde bereiken (en meer).

44:31 MF: Is er denk je een reden aan te wijzen waarom dit in Dynamo nog niet kan?

44:35 JR: Ze waren eerder, ze lopen gewoonweg wat voor. Het leuke aan Dynamo is dat het open source is. Als je het opent zie je aan je linkerkant een bibliotheek. Als jij met een complexe zaak zit, kun je zo een volledig script van een ander inzien en ermee aan de slag gaan. Je moet natuurlijk wel even controleren of het goed werkt/de goede dingen doet, maar toch. Dit alles maakt dat naar mijn mening dat Revit met Dynamo de sterkste combo is.

45:15 MF: Voor eerder genoemde vraag wil ik natuurlijk wel een vergelijking maken, dus ik ga ook naar Grashopper kijken. En Inventor: dat wordt natuurlijk gemaakt voor de manufacturing, maar je hoort ook dat het bij Infracore wordt gebruikt voor het inbouwen van parametrische elementen. Heb jij daar meer inzicht in?

45:39 JR: Ik heb er Webinar over gezien, geen live ervaring mee. Inderdaad kun je in Infraworks eigenlijk geen complexe parametrische vormen maken en Inventor is precies het tegenovergestelde. De manufacturing loopt daarin gewoon echt ver voor. Je kunt in Inventor hele complexe parametrische vormen maken en deze vervolgens 'doorsluizen' naar bijvoorbeeld Infraworks. Dat is dus een goede combo, maar toch denk ik dat dit bij Inventor nooit tot de doelen gaat horen. Het moet uiteindelijk toch aan Infraworks of Civil 3D worden toegevoegd, zodat het ook daarin makkelijk kan.

46:16 MF: Ik wil van een aantal dingen kijken wat de mogelijkheden zijn. Wat weet jij van Bentley?

46:28 JR: We verkopen het (volgens mij) maar daar blijft het bij, ik heb er mee helemaal niet in verdiept.

46:35 MF: En Archicad kan gezien worden als tegenhanger van Autodesk?

46:39 JR: Archicad ken ik (helaas) heel goed, daar heb ik op school vier jaar les in gehad. Belangrijkste verschil: je wordt aangestuurd. In vergelijking met Revit – wat veel meer kan met data omdat er veel meer gebruikers zijn – bijvoorbeeld: als je daar een kozijn wilt maken, moet je eerst een hele complexe parametrische family opstellen, die ook nog eens aangestuurd moet worden, en dat is natuurlijk een hele klus. Als datzelfde kozijn in Archicad wilt plaatsen, krijg je van Archicad zelf een leuke interfase waarin je zaken als onderdorpels en maten kunt ingeven. In het systeem zit dus al heel veel 'ingebakken' en dat is een groot voordeel. Daarom gebruiken veel architecten het ook. Echter missen in ArchiCAD veel functies of aanvullende mogelijkheden (als je verder wilt in BIM).

47:23 MF: Het is dus wel gericht op bouwkundige elementen?

47:25 JR: Juist.

47:26 MF: Dat merken we in de civiele techniek al met Revit. Wij gebruiken het architectuurmapje eigenlijk helemaal niet, alles gebeurt eigenlijk met 'Model In-Place' (JR: diverse verbaasde reacties als 'sow' en 'wow' tussendoor). Het wordt zelfs als irritant ervaren: wat is bijvoorbeeld een wand? Bij jullie is dat best wel duidelijk, maar bij ons: is een smal, hoog element van beton nu een wand of niet? Dat is dan vaak de vraag.

48:02 JR: Als je 'Model In-Place' maakt en je zet hem onder de categorie 'wall' dan is het in feite toch nog steeds een wand, data technisch gezien dan. Maar ik snap het punt.

48:15 MF: Daarin zie je dus een belangrijk verschil. Wij kunnen weinig doen met die architecten tab en werken dus heel veel met eigen vormen. Archicad, met al die vooraf ingebakken bouwkundige vormen, heeft voor ons dus minder voordeel. Het heeft niet echt een tool om zelf...[dingen te ontwerpen]

48:48 JR: Laatst had ik een kozijn nodig dat niet via die scripting tool te maken was, dus ik dacht: "ik maak zelf wel ff een kozijntje." Maar het is dus niet zoals in Revit dat je de family opent en even een family gaat bouwen. In Archicad is het echt GDL-scripting, dus je moet echt gaan programmeren: absurd eigenlijk. Voor architecten dus een geweldig pakket, want die willen het zo simpel mogelijk zien te houden, maar aannemers die specifieke maatwerkoplossingen zoeken lopen vast.

49:24 MF: Denk je dat je voor het parametrisch ontwerpen een standaardisatie of een veranderende mindset doorgevoerd zal moeten worden, of zal het vrij blijven zoals het nu ook gebeurd?

49:45 JR: Het zal wel vrij blijven, maar je zult zien dat er op zeker moment toch gestandaardiseerd zal gaan worden. In de bouw merk je dat ook. Wij zijn daar bezig met installatie technische parametrische content en wij hebben nu al met heel veel bedrijven afgesproken dat aan de ETIM-norm voldaan moet worden. Die regelt bijvoorbeeld minimaal afmetingen, zodat het allemaal in de family zit. Dus je merkt dat het een structuur krijgt. Zodra echter de bouw zelf parametrische modellen gaat maken, zullen die weer niet zo snel voldoen aan dat soort eisen.

50:18 MF: Dat is dan op het eisengebied, maar stel dat je zegt: “we werken alleen met die stopcontacten en we pakken alleen dit soort wanden,” zal dat ook gaan gebeuren en blijft dit vrij?

50:32 JR: Ik hoop dat het vrij blijft, en dat denk ik ook wel. Steeds meer klanten willen generieke content, niet alleen parametrisch. Wij noemen dat een UOB: “Universele Objecten Bibliotheek.” Daarin zitten parametrische objecten, maar zonder merknaam waardoor ze universeel toepasbaar zijn. De aannemer blijft zo vrij in zijn keuzes bij wat hij nu echt gaat doen. Ik weet vrijwel zeker dat dit doorgezet wordt.

52:00 MF: Denk jij dat een compleet kunstwerk uiteindelijk in één parametrisch model zal zit of creëer je uit diverse losse parametrische onderdelen een geheel?

52:33 JR: Ik weet wel dat bouwelementen steeds een parametrische family zijn en dat het nooit echt zal gebeuren dat je een compleet pand in één parametrisch model krijgt. Bij conceptual messing, dus in een heel vroeg stadium, kan dat wel. Dan ga je met een parametrisch model het ontwerp samenstellen en daarna plak je er allemaal nieuwe parametrische modelletjes tegenaan om het ontwerp te finetunen. En Nested parametrische family's zijn heel sterk: je hebt een parametrische family voor een onderdorpel van een kozijn bijvoorbeeld, en je hebt je hoofd parametrische family. En die kun je daarin laden. Dan heb je een Nested parametrische family in een parametrische family. Het grote voordeel daarvan is, naast data, dat je als je (in dit geval) het hoofdkozijn in je Revit project laadt, je een vrij overzichtelijk geheel hebt. En dan kun je gaan switchen: Ik doe TAB en ik selecteer de onderdorpel, en vervolgens ga je naar de parameters van de geneste family veranderen naar die van een stalen of betonnen onderdorpel. Zo kun je dan switchen naar verschillende types, waardoor je met één parametrische family alle kozijnen kan ondersteunen die er zijn, bij wijze van spreken.

54:12 MF: Laatste vraag: kun je mij nog iets meegeven wat niet aan bod is gekomen of heb je misschien nog opmerkingen?

54:21 JR: Je hebt een goede vragenlijst, verbazingwekkend! Kom je niet vaak tegen en het zijn hele actuele vragen.

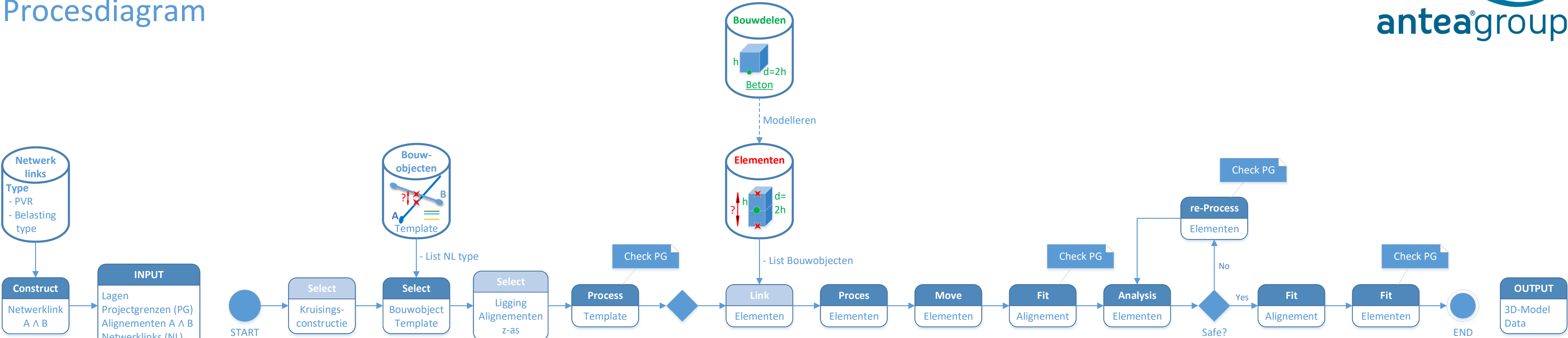
54:48 MF: Afsluiting.

Bijlage B Concept Kruisingsconstructie

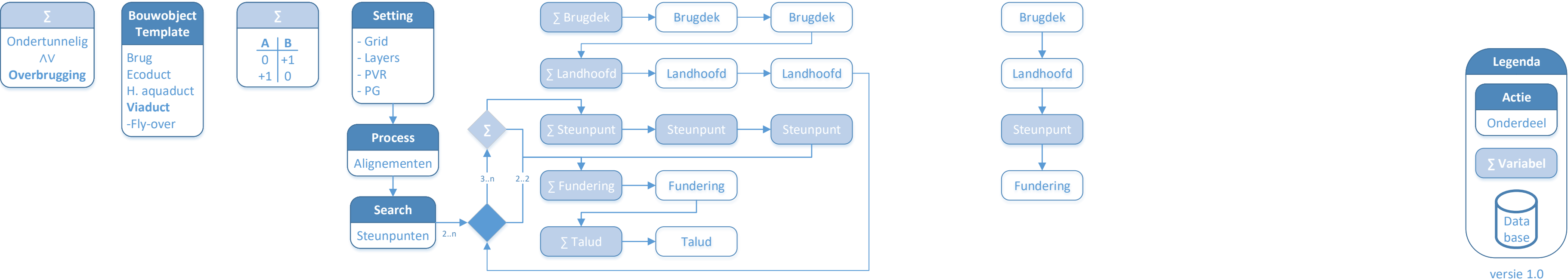
Bijlage B Concept Kruisingsconstructie

Concept Kruisingsconstructie

Procesdiagram



Viaduct



Bijlage C Ontwikkeling Concept Kruisingsconstructie

Bijlage C Ontwikkeling Concept Kruisingsconstructie

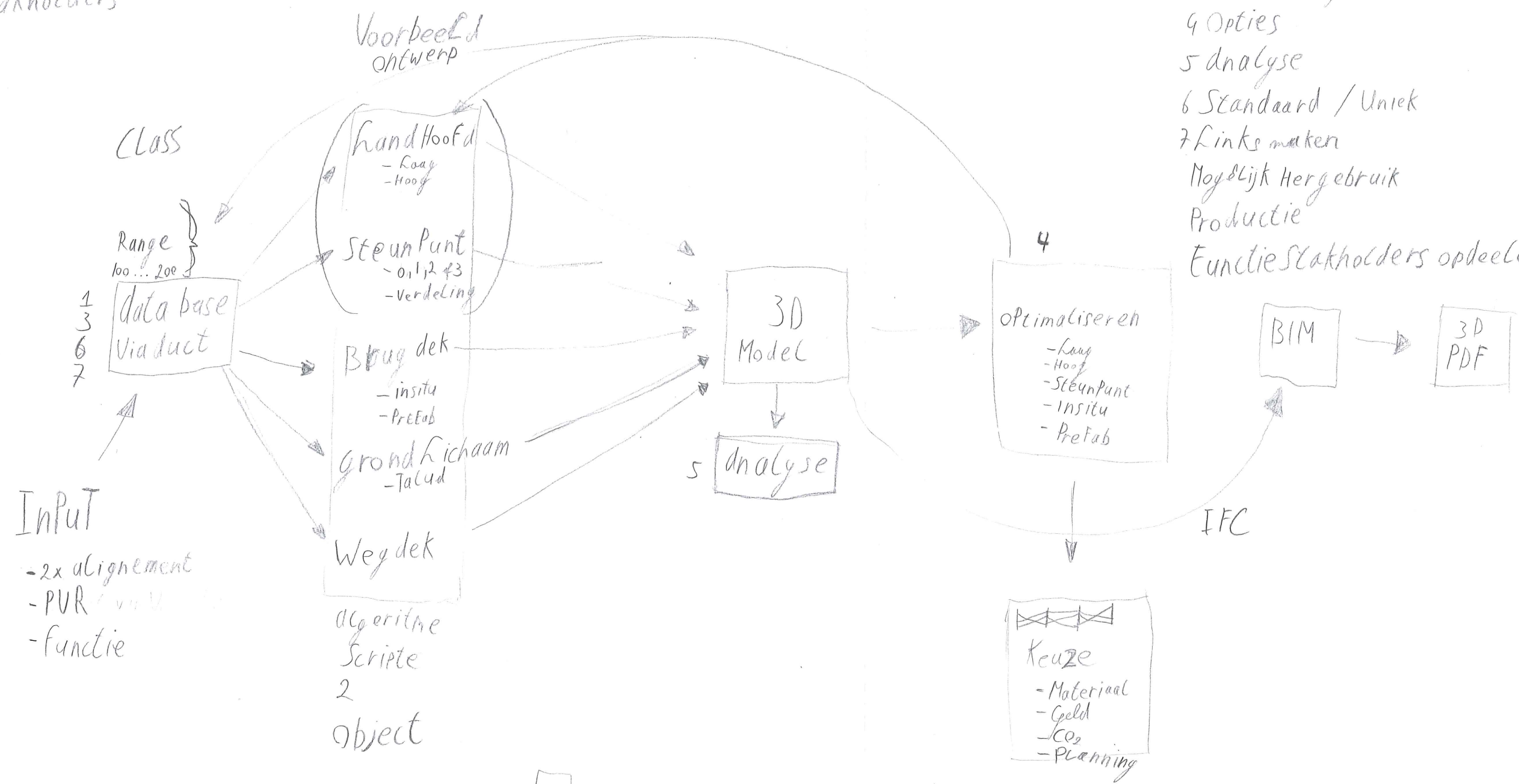
- data base gedreven
- object - onderdeel
- stakeholders

generiek-modulair
opsplitsen

Q.1

- 1 Vaistregels
- 2 Vorm Vrijheid Architect
- 3 In & Uit Voegen onderdelen
- 4 Opties
- 5 analyse
- 6 Standaard / Uniek
- 7 Links maken

Mogelijk Hergebruik
Productie
Functie Stakeholders opdoelen



Input

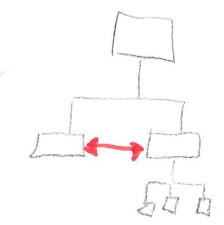
- 2x alignment
- PUR
- functie

SE

- Connectie onderdelen
- Eigenschappen onderdelen
- Connectie Parameters
- Benaming CB-NL

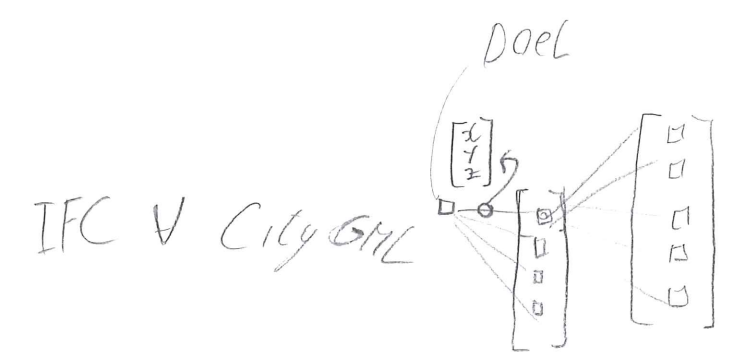
OTL-Middel

Locatie
Reol
Productie



Data

- CoINS data overdracht
- VISI afspraken



0.5

0.3 0.4

Welke Variabelen zijn vast

Kennis

versie 0.3

- Connecties
- Bouwbeelden/geometrie
- Parameters

Veiligheid Capaciteit

Kruisings Constructie

min

AL
max Con. m Tou MV

V

P. Kruisingshoek
OLg
P. MV GV DK6 Tou NAP

Keuze

PVR

Keuze Per Grid

PVR

Network Links

-PVR
-Belasting

Soort

Overbrugging

Selectie Door Range &

Doelvoer gegevens

+List

Parameters Ingevuld Elementen

Onder-tunneling

--- < 1m Tou GW

+ Project Range Kadastrale grens

3D-Model

I Coördinatie

3D Model

IFC CITY GML

BIM

Wand Balk

grote OverSpanning

Bouwdeel/Component

Belasting

Teek-Alt Grid

Samenstellen

EL

BD

+ Primitive

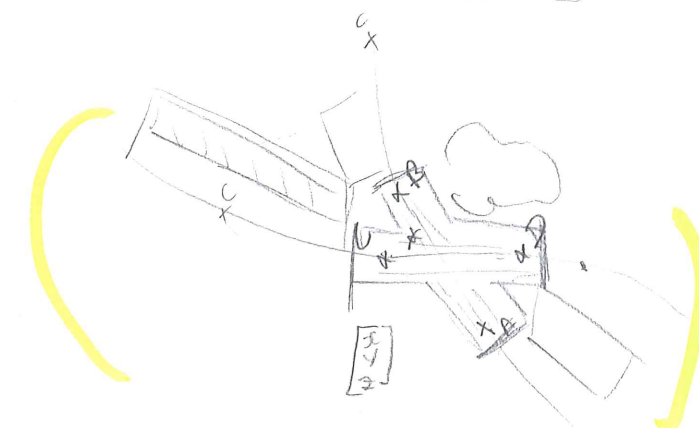
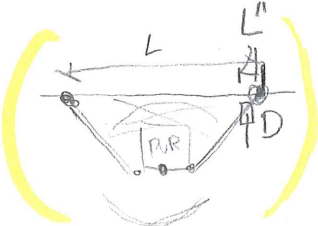
-Materiaal
-Unieken/architectonies

-Productie Variant
-Flex. Geometrie
-Range
-Vuistregels

Keuze/Simulatie

+ Abstract Parameters

+ Fout



V1 span V2



$$R(0,8) = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,8 \\ 0,10 \\ 0,100 \end{bmatrix}$$

Procesdiagram 0.1

Scan
As-Built

Start

Create
NL

$\sum$ OT
1/4
OB

Start
Invoer

— " —
— 0 —
— -1 —

List
NL's

$\sum$ A/B
0 +1
+1 0

Laden
INPUT

OT
1/4
OB

Select
BO

Z
Ligging
AL

Proces
INPUT
Template

Select
type
EL

Berekenen

Aanpassen
AL

Aanpassen
EL

Create
LOD 200
Model

Analyse

Keuze
opties

Create
LOD 400
Models

Analyse

Select
1
Model

Einde

Proces
AL ↑

AL ↓

of
v
waar

Calculate
steunpun
ten

Select
LOD200

Setting
PVR

List
BO

Setting
Layers

Bouw
 $\sum$ systeem

Setting
Grid

Dek
Steun Punten
Fundering
Talud

Belasting
NL's

Koppel
aan
Template
Parameters
EL
overnemen
Template

Speci.
Punt

Dek
SteunPunten
Fundering

Elementen
Volgen

Connecties
Ufhankelijk
EL

Select
3x Model

Verschuiven
EL
Tot PVR

Setting
Dek

Select
nidden
Steun
Punt

Min
→
Max

Midden
 $\sum$ Steun
Punt(en)

Link
MV
Dek

List
Range

Over Antea Group

Van stad tot land, van water tot lucht; de adviseurs en ingenieurs van Antea Group dragen in Nederland sinds jaar en dag bij aan onze leefomgeving. We ontwerpen bruggen en wegen, realiseren woonwijken en waterwerken. Maar we zijn ook betrokken bij thema's zoals milieu, veiligheid, assetmanagement en energie. Onder de naam Oranjewoud groeiden we uit tot een allround en onafhankelijk partner voor bedrijfsleven en overheden. Als Antea Group zetten we deze expertise ook mondiaal in. Door hoogwaardige kennis te combineren met een pragmatische aanpak maken we oplossingen haalbaar én uitvoerbaar. Doelgericht, met oog voor duurzaamheid. Op deze manier anticiperen we op de vragen van vandaag en de oplossingen van de toekomst. Al meer dan 60 jaar.

Contactgegevens

Rivium Westlaan 72
2909 LD CAPELLE A/D IJSSEL
Postbus 8590
3009 AN ROTTERDAM
T. +31 (0)6 - 158 512 36
E. mylan.vandeflier@anteagroup.com

www.anteagroup.nl

Copyright © 2018

Niets uit deze uitgave mag worden
verveelvoudigd en/of openbaar worden
gemaakt door middel van druk, fotokopie,
elektronisch of op welke wijze dan ook,
zonder schriftelijke toestemming van de
auteurs.