



OPTIMALISATIE VAN HET WERKVOOR- BEREIDINGSPROCES

Onderzoek naar de mogelijkheden, door toepassing van het 3D-model, om het werkproces van de werkvoorbereider te optimaliseren.

“There are no saints without devils.”

Willem Kymell

*“Not everything that is faced can be changed, but
nothing can be changed until it is faced.”*

James Arthur Baldwin, 1924 – 1987

*“Knowledge is of no value unless you put it into
practice.”*

Anton Chekhov, 1860 – 1904

Optimalisatie van het werkvoorbereidingsproces

Onderzoek naar de mogelijkheden, door toepassing van het 3D-model, om het werkproces van de werkvoorbereider te optimaliseren.

Naam

R.H.J. Punte
Van Beethovenlaan 14
7582 EM Losser
Tel. 06-22188677

Studentnummer

s1023004

Opleiding

Construction Management and Engineering

Afstudeerrichting

Bouwprocesmanagement

Afstudeercommissie intern

Prof. Dr. Ir. A.G. Dorée
Dr. Ir. T. Hartmann

Afstudeercommissie extern

Ing. W.M. Vlug

UNIVERSITEIT TWENTE.
UNIVERSITEIT TWENTE



Oktober, 2012

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie van mijn afstudeeronderzoek, waarmee ik mijn Masteropleiding Construction Management & Engineering aan de Universiteit Twente afrond. Dit rapport geeft een beschrijving weer van de toepassing van *Virtueel Bouwen* bij de werkvoorbereider.

Ondanks dat ik tijdens het afstudeertraject een aantal lastige en moeilijke momenten heb gekend, heb ik het afgelopen jaar met veel plezier gewerkt aan dit onderzoek. Daarbij wil ik graag een aantal personen bedanken. Natuurlijk mijn begeleiders op de universiteit: André Dorée en Timo Hartmann. Ik ben hen dankbaar voor de kritische noot op mijn geschreven stukken en de constructieve begeleiding.

Daarnaast mijn bedrijfsbegeleider William Vlug, hem wil ik bedanken voor de inspiraties, openheid en contactlegging met vaktechnische collega's. Mede door toedoen van deze inbreng ben ik gekomen tot dit eindproduct. Dit geldt ook voor de vrijheid die ik heb gekregen voor de invulling van het onderzoek. Verder wil ik mijn studiegenoten en collega's bij Van Wijnen bedanken voor de gezellige tijd en ondersteuning gedurende mijn studie en afstuderen. Ter afsluiting mogen de mensen niet ontbreken waar ik dit alles mede aan te danken heb: mijn familie.

Verder wens ik u veel leesplezier toe. Hopelijk leidt dit verslag tot inspiratie voor een brede toepassing van het *Virtueel Bouwen*, want alleen gezamenlijk kunnen de gewenste verbeteringen worden bereikt.

Ruud Punte,
Losser, oktober 2012.

Samenvatting

Op dit moment is *Virtueel Bouwen* een hot item in de bouwsector. Het wordt gezien als een belangrijke pijler voor de toekomst van de bouwsector in Nederland. De verwachtingen zijn hoog; het leidt tot sneller, goedkoper en kwalitatief betere bouwwerken. Dit onderzoek focust zich op de ontwikkeling van *Virtueel Bouwen* bij de werkvoorbereider. Daarbij is de centrale vraag:

Welke verbetervoorstellen kunnen Virtueel Bouwen optimaliseren om bij te dragen aan de doorlooptijdverkorting?

De werkvoorbereider is verantwoordelijk voor de omzetting van het ontwerp van een bouwproject naar een Uitvoeringsgereed Ontwerp, zodat het uitgevoerd kan worden. Om te kijken waar het *Virtueel Bouwen* kan bijdragen aan de doorlooptijdverkorting is een vergelijking gemaakt tussen het huidige werkproces en *Virtueel Bouwen*. Aan de hand van de case studie over de toepassing van het *Virtueel Bouwen* in de praktijk is geconcludeerd of het bijdraagt aan de doorlooptijdverkorting. Naar aanleiding van de problemen die bij de toepassing zijn ontstaan, zijn verbetervoorstellen geformuleerd.

Huidig werkproces

Bij het huidige werkproces wordt veelal gebruik gemaakt van 2D-tekenwerk. Dit wordt door meerdere onderzoekers (Arayici, Coates, Koskela, Kagioglou, Usher & O'Reilly (2011), Taylor (2007), Naai-Jung (1996)) als inefficiënt bestempeld. Het 2D-tekenwerk is een kostenbepalende zaak, waarbij een wijziging van het ontwerp leidt tot het aanpassen van meerdere tekeningen. Hierdoor ontstaan vaak lange doorlooptijden.

Daarnaast worden de werktekeningen van het Uitvoeringsgereed Ontwerp vaak gegenereerd door ontwerpende partijen (architect en constructeur). Het betreft de overgang van het ontwerp van de ontwerpende naar de uitvoerende partijen (aannemer en onderaannemers). Vanwege de verschillende gedachtegangen en kennis, wordt deze overgang door meerdere onderzoekers (Lam, Wong & Chan (2006), Taylor (2007)) aangeduid als lastig.

Bij het genereren van een Uitvoeringsgereed Ontwerp werkt de werkvoorbereider samen met de onderaannemers, die gefaseerd in het huidige werkproces worden betrokken. Door deze gefaseerde selectie kunnen aannames ontstaan die onvolledig zijn, wat leidt tot iteraties en een lange doorlooptijd ontstaat.

Er zijn mogelijkheden om het huidige werkproces van de werkvoorbereider te optimaliseren. Hiervoor is een nieuw werkproces bedacht, namelijk *Virtueel Bouwen*.

Virtueel Bouwen

Virtueel Bouwen tracht bij te dragen aan de verkorting van de doorlooptijden, onder meer door het gebruik van het 3D-model. De tekeningen die uit het model worden gehaald zijn op elkaar afgestemd en een wijziging hoeft slechts één keer te worden doorgevoerd voor meerdere tekeningen. Daarnaast

biedt het model mogelijkheden tot visualisaties en *clash controles* om het ontwerp te optimaliseren. Hierdoor is men in een vroegtijdig stadium in staat het ontwerp op meerdere vlakken te bekijken, waardoor sneller beslissingen kunnen worden genomen (Hartman en Fischer, 2007).

Bij *Virtueel Bouwen* worden de onderaannemers gelijktijdig geselecteerd om gezamenlijk het ontwerp uitvoeringsgereed te maken. Dit verschilt met het huidige werkproces, waar een gefaseerde selectie is. De verwachting is dat de afstemming tussen de onderaannemers in één keer geregeld kan worden, waarmee onvolledige aannames worden voorkomen.

Case studie

Bij een nieuw werkproces met hoge verwachtingen is men in de praktijk nieuwsgierig of het werkt. Bij dit onderzoek is een case studie uitgevoerd gericht op de toepassing van *Virtueel Bouwen*.

Uit de case studie blijkt dat het gebruik van het 3D-model, ten opzichte van 2D-tekenwerk, tot meer inzicht heeft geleid bij het projectteam. Daarbij zijn de tekeningen die vanuit het model zijn gegenereerd op elkaar afgestemd. Tevens heeft het 3D-model zijn dienst bewezen op het gebied van visualisaties en *clash controles*.

Naar aanleiding van de case studie van het *Virtueel Bouwen* problemen te vermelden. Het blijkt dat het betrekken van meerdere onderaannemers bij de start van het Uitvoeringsgereed Ontwerp niet loont. Het heeft geleid tot problemen met de coördinatie en de totale doorlooptijd is niet verkort. Daarnaast heeft het 3D-model een belangrijke belemmering. Het omzetten van de modellen naar IFC als uitwisselbestand leidt tot dataverlies, waarmee de samenwerking met andere onderaannemers gehinderd wordt. Tijdens de case studie bleek verder dat het ontwerp nog niet op voldoende niveau was, wat heeft geleid tot herontwerpen van meerdere onderaannemers.

Verbetervoorstellen

Ten eerste kan de problematiek van teveel onderaannemers, die betrokken zijn bij de start, verbeterd worden door te zorgen voor koppelvorming. Veenstra, Halman & Voordijk (2006) delen een project in producten (onderaannemers) en kijken naar relaties tussen de producten. Door deze relaties in beeld te brengen kunnen aan elkaar gerelateerde de producten bij elkaar worden gezet.

Ten tweede dient het ontwerp op niveau te zijn voor de samenwerking met de onderaannemers om de doorlooptijden te verkorten. Dit houdt in dat de tegenstrijdigheden uitgehaald dienen te worden en het installatiemodel gereed dient te zijn.

Lange weg tot Virtueel Bouwen

Naast de beperking van het IFC uitwisselbestand heeft het *Virtueel Bouwen* nog een lange weg te gaan. Ondanks de potentie die *Virtueel Bouwen* heeft, wordt het nog niet breed gedragen binnen de bouwsector. Tijdens de case is gebleken dat partijen het 3D-model nog niet volledig ondersteunen en toepassen, waardoor de samenwerking tussen partijen nog in de kinderschoenen staat.

Summary

Virtual Construction is a hot item in the construction industry nowadays. It is viewed as an important development for the future of the Dutch construction industry. The expectations are high; it leads to faster, cheaper and better quality of buildings. This research focuses on the development of the *Virtual Construction* of the project preparer. The research has the following central question:

Which proposals can improve Virtual Construction to contribute to shorten the process time?

The project preparer is responsible to convert the design of a construction project to a *Uitvoeringsgereed Ontwerp*, which the execution of the project can start. To identify the contribution of *Virtual Building* to shorten the process time, it is compared with the current process. By holding a case study about the practical application of *Virtual Construction*, the conclusion has been made whether it contributes to shorten the process time. Based on the problems that have arisen in practice the proposals have been developed to improve *Virtual Construction*.

Current process

In the current process the project preparer use 2D-drawing. This is concluded by several researchers (Arayici, et al (2011), Taylor (2007) and Sewing Jung (1996)) as an inefficient process. The 2D-drawing is a cost-determining process where a design change leads to changing of multiple drawings.

In addition, the work drawings of the *Uitvoeringsgereed Ontwerp* are frequently generated by architectural parties. This means that there is a transition of the design from the architectural parties to the executing parties (contractors and subcontractors). This is according to several researchers (Lam, et al (2006) and Taylor (2007)) a difficult transition, due to the different ideas and knowledge of the design by the parties.

When generating a *Uitvoeringsgereed Ontwerp* the project preparer works together with subcontractors. They are involved in phases, partly due the time constraints. This may occur in an incomplete assumption of a subcontractor. This leads to iterations, which results in a long process time. There are opportunities to optimize the current process of the project preparer, which has led to a developing of a new process called *Virtual Construction*.

Virtual Construction

On the one hand *Virtual Construction* contributes to shorten the process time with the use of the 3D-model. The drawings, which are generated from the model, are matched and for a design change only one adjustment have to be made for multiple drawings. Additionally the 3D-model offers opportunities like visualization and clash controls to optimize the design. With these tools one is able to make decisions at an early stage, by viewing the design in multiple ways (Hartman, et al, 2007).

On the other hand the selection of the subcontractors is at the same time, this makes it possible to develop and finish the design together. This differs from the current process, where the subcontractors

are selected separately. The expectation is that the coordination between the subcontractors can be made at one time, whereby incomplete assumptions will be prevented.

Case study

With an introduction of a new process with high expectations, people in practice are curious if it works. In this research is a case study has been held with the focus on the application of *Virtual Construction* in practice.

The case study shows that the use of the 3D-model has led to more insight of the project. Besides the drawings, which are generated from the model, are matched. Also, the 3D-model served its purpose in the field of visualization and clash controls.

Nevertheless, there are problems to mention of *Virtual Construction*. It appears that the involvement of multiple subcontractors at the start of the *Uitvoeringsgereed Ontwerpfase* was not successful. It has led to problems of coordination and the total process time was not reduced. In addition, the 3D-model has a hindrance. Converting the model to IFC (data model) leads to data loss, this hindered the cooperation with other subcontractors. At last the design was not at a sufficient level, which has led to a redesign for several subcontractors.

Proposals to improve Virtual Construction

First, the problem of too many subcontractors involved by the start can be improved by making couples of the subcontractors. Veenstra, et al (2006) divides a project into products (subcontractors) and looks for the relationships between the products. By generating an overview of these relations, the products can be put together, which has relations to each other.

Second, the design needs to have a certain level before the cooperation with subcontractors can start to reduce the process time. This means that the contradictions should be extracted and the installation model should be generated.

Long way to go to Virtual Construction

Besides the hindrance of the IFC data model *Virtual Construction* has still a long way to go. Despite the potential that *Virtual Construction* has, it is still not widely accepted within the construction industry. During the case appears that the parties do not fully support the 3D-model, which means that the cooperation between the parties is still in its infancy.

Inhoudsopgave

Voorwoord	IV
Samenvatting.....	V
Summary	VII
Inhoudsopgave	IX
Hoofdstuk 1: Onderzoeksontwerp	1
1.1 Achtergrond	2
1.2 Begrippenlijst	3
1.3 Figuren- en tabellenlijst	4
1.4 Onderzoeksontwerp	5
1.5 Onderzoeksmethodiek.....	6
1.6 Bijdrage.....	8
1.7 Leeswijzer	8
Hoofdstuk 2: Huidig werkproces werkvoorbereider.....	9
2.1 Het bouwproces en de werkvoorbereider.....	10
2.2 Uitvoeringsgereed Ontwerpfase.....	12
2.3 Huidig werkproces werkvoorbereider	13
2.3.1 Oorzaken van een te lange doorlooptijd.....	14
2.4 Samenvatting.....	19
Hoofdstuk 3: Het nieuwe werkproces <i>Virtueel Bouwen</i>	20
3.1 <i>Virtueel Bouwen</i>	21
3.2 Werkproces <i>Virtueel bouwen</i>	21
3.3 3D-model ter ondersteuning	25
3.4 Verschil huidig werkproces en <i>Virtueel Bouwen</i>	27
3.5 Bijdrage aan doorlooptijdverkorting	29
3.5.1 Verwachte bijdrage doorlooptijdverkorting	29
3.6 Samenvatting.....	33

Hoofdstuk 4: Case studie	34
4.1 Project: 19 woningen te Drachten	35
4.2 Virtueel Bouwen bij project: 19 woningen te Drachten.....	36
4.3 Vergelijking Virtueel Bouwen met verwachte verbeteringen	38
4.4 3D-model ter ondersteuning van het Virtueel Bouwen.....	40
4.5 Samenvatting.....	42
Hoofdstuk 5: Reflectie onderzoek	43
5.1 Verschillen Virtueel Bouwen en case studie	44
5.2 Beperkingen.....	45
5.2.1 Beperkingen van het onderzoek.....	45
5.3 Interpretatie van de onderzoeksresultaten	46
Hoofdstuk 6: Verbeterd ontwerp Virtueel Bouwen	48
6.1 Mogelijke verbeteringen Virtueel Bouwen.....	49
6.2 Nieuw verbeterd ontwerp Virtueel Bouwen	51
6.2.1 Toelichting herontwerp Virtueel Bouwen:.....	51
6.3 Samenvatting.....	55
Hoofdstuk 7: Conclusies en aanbevelingen	56
7.1. Conclusie	57
7.2. Aanbevelingen	58
7.2.1 Aanbevelingen aan de bouwsector	58
7.2.2 Aanbevelingen aan Van Wijnen	59
7.3 Virtueel Bouwen	60
Bibliografie	63
Bijlagen	66

Hoofdstuk 1: Onderzoeksontwerp

In dit hoofdstuk wordt het onderzoeksontwerp toegelicht. Eerst komen de achtergrond van het onderzoek en de begripsbepalingen aan bod, waarna de probleem-, doel- en vraagstellingen volgen. Tot slot wordt de wetenschappelijke en praktische bijdrage uitgewerkt. Afsluitend wordt de leeswijzer van de scriptie toegelicht.

1.1 Achtergrond

De laatste jaren zijn bouwbedrijven steeds meer bezig met de toepassingen van 3D-modellen in haar organisatie. Naar aanleiding van het onderzoek van RRBouw (2007) wordt verwacht dat het toepassen van dergelijke modellen in het bouwproces tot vele voordelen kan leiden op het gebied van tekenwerk. Dit blijkt tevens uit het onderzoek van Barlish & Sullivan (2012) waar is gekeken naar de efficiency van het gebruik van 3D-modellen. Daaruit wordt geconcludeerd dat deze modellen de potentie hebben tot verbeteringen in de bouwsector. De laatste jaren is Van Wijnen Deventer B.V. (in vervolg Van Wijnen) bezig met de toepassing van 3D-modellen binnen haar organisatie. Zij zien bij deze toepassingen, vooral op het gebied van het tekenwerk, de voordelen.

Doordat de verwachtingen zijn dat het 3D-model zal kunnen bijdragen tot verbeteringen van het bouwproces, zijn organisaties vaak nieuwsgierig naar het toepassen van een dergelijk model. Dit model wordt, ter ondersteuning van projectmanagement taken, steeds meer gebruikt binnen de aannemerij, in verband met de toegenomen complexiteit van bouwwerken en de tijdsdruk. Ondanks dat de techniek al jaren bestaat en onderzocht is, zijn er op dit moment nog steeds problemen met de toepassingen en wordt het slechts mondjesmaat toegepast (Hartmann & Fischer, 2007). Dit blijkt tevens uit het onderzoek van Singh, Gu & Wang (2011) waar geconcludeerd is dat bedrijven wel in 3D ontwerpen maar in de praktijk 2D communiceren en samenwerken.

De geringe toepassing komt doordat er nog vele vragen bestaan over de toepassing van het 3D-model bij bouwbedrijven. Li, Huang, Kong, Guo, Baldwin, Chan & Wong (2008) constateren dat de bouw vraagt om een beter beeld en toepassing van het 3D-model. Tevens stellen zij dat momenteel te weinig kennis aanwezig is over de functionaliteit van dergelijke modellen. Uit het onderzoek van Wikforss & Löfgren (2007) blijkt dat de tools van 3D-modellen alleen gebruikt worden wanneer het de bouwbedrijven uitkomt.

Om de mogelijkheden van het 3D-model meer te benutten binnen de bouwsector is een nieuw werkproces bedacht: *Virtueel Bouwen*. Bij dit werkproces ziet Van Wijnen mogelijkheden om het werkvoorbereidersproces te optimaliseren. Op dit moment bestaan nog vele vragen en onduidelijkheden over het nieuwe werkproces, onder andere:

- Wat zijn de verwachtingen?
- Hoe dient het werkproces ingevuld te worden?
- Welke middelen en kennis zijn daarbij nodig?

Dit onderzoek richt zich op de toepassing van het *Virtueel Bouwen* bij de werkvoorbereider. Het onderzoek richt zich niet op de toepassing van het nieuwe werkproces in het gehele bouwproces, maar legt de nadruk op de toepassing in het werkvoorbereidingsproces.

1.2 Begrippenlijst

Bestek	Document waar tekstueel is weergegeven wat gemaakt dient te worden en onder welke voorwaarden (Flapper, 2005).
Doorlooptijd	Het aantal iteraties van de werkvoorbereider bij het genereren van de werken en productietekeningen. Deze wordt op basis van ervaring in tijd uitgedrukt.
Onderaannemer	Is verantwoordelijk voor de productietekening en het product. Hij tekent de productietekening en zorgt dat het afgestemd is op het ontwerp.
Productietekening	Onderdeel van het UO. De productietekening wordt gebruikt bij de productie van één product (onder andere kozijn en vloer) van het werk en wordt door de onderaannemer gegenereerd (Pijpers & van der Woude, 2004). Hierbij gaat het niet om een tijdelijke constructie (onder andere steigers).
Productmodel	Een ontwerp van een product in 3D. Hieruit wordt de productietekening gehaald.
Technisch Ontwerp (TO)	Het ontwerp waarop het contract en de prijs voor de uitvoering is gebaseerd. Het is het contractstuk van het ontwerp (DNR-STB, 2009).
Technisch Ontwerp Bouwkundig	Dit is het ontwerp wat vaak door de architect wordt gemaakt, die aangeeft hoe de gevels en de afbouw van het gebouw eruit ziet (Flapper, 2005).
Technisch Ontwerp Constructief	Onderdeel van het TO. Dit wordt veelal door de constructeur gemaakt, die aangeeft hoe de draagstructuur van het gebouw eruit ziet (Flapper, 2005).
Uitvoeringsgereed Ontwerp (UO)	Het ontwerp, gereed voor uitvoering van het bouwproject (DNR-STB, 2009).
Virtueel Bouwen	Een nieuw werkproces, waarbij het 3D-model wordt toegepast, dat moet leiden tot verkorting van de doorlooptijden bij de werkvoorbereider.
Werktekening	De tekening waarmee het werk uitgevoerd wordt. Het dient derhalve voldoende en duidelijk inzicht te geven voor de uitvoering van het project (Pijpers, et al, 2004).
Werkvoorbereider	Is verantwoordelijk voor het omzetten van het TO naar het UO. Dit houdt in het vertalen van het ontwerp naar concrete producten voor de uitvoering.
3D-model	Een model waaruit de tekeningen worden gegenereerd van een ontwerp.

Tabel 1: Begrippenlijst

1.3 Figuren- en tabellenlijst

Figurenlijst:

Figuur 1: Onderzoeksmodel	7
Figuur 2: Huidig werkproces werkvoorbereider	11
Figuur 3: Werkproces werkvoorbereider	13
Figuur 4: Gefaseerde selectie onderaannemers	16
Figuur 5: 2D-tekenwerk (Taylor, 2007).....	18
Figuur 6: Schema <i>Virtueel Bouwen</i>	22
Figuur 7: Voorbeeld aantekening 3D.....	25
Figuur 8: <i>Virtueel Bouwen</i> bij werkvoorbereider.....	27
Figuur 9: 2D-tekenwerk en 3D-model (Taylor, 2007)	30
Figuur 10: Gelijktijdige selectie onderaannemers	31
Figuur 11: <i>Clash controles</i>	40
Figuur 12: IFC-dataverlies.....	41
Figuur 13: Productrelaties	49
Figuur 14: Herontwerp <i>Virtueel Bouwen</i>	52
Figuur 15: Detail productrelatie (Veenstra, Halman & Voordijk, 2006)	54
Figuur 16: Ontwerpniveau	60
Figuur 17: Prefabricatie bouw	61

Tabellenlijst:

Tabel 1: Begrippenlijst	3
Tabel 2: Oorzaken langere doorlooptijden huidig werkproces	19
Tabel 3: Besluitenlijst.....	24
Tabel 4: Verschil Huidig werkproces en <i>Virtueel Bouwen</i>	28
Tabel 5: Verwachte verbeteringen	33
Tabel 6: Besluitenlijst: 19 woningen te Drachten	37
Tabel 7: Vergelijking case met verwachte verbeteringen.....	39
Tabel 8: Problemen uit de case.....	42
Tabel 9: Verschillen <i>Virtueel Bouwen</i> en case studie	44
Tabel 10: Oorzaken problemen voor herontwerp.....	47
Tabel 11: Verbetervoorstellen <i>Virtueel Bouwen</i>	50
Tabel 12: Verschillen <i>Virtueel Bouwen</i> en herontwerp	55

1.4 Onderzoeksontwerp

Op basis van het voorgaande is een probleem- en doelstelling geformuleerd voor dit onderzoek. Uit de probleem- en doelstelling zijn vervolgens, de vragen geformuleerd, waarna het onderzoeksmodel aan de orde komt.

Probleemstelling

Het ontbreken van een efficiënt werkproces voor de werkvoorbereider dat wordt ondersteund door de toepassing van het 3D-model.

Een nieuw efficiënter werkproces wordt *Virtueel Bouwen* genoemd en is in samenwerking met *Balance & Result* tot stand gekomen. Dit onderzoek leidt tot verbetervoorstellen van dit werkproces.

Doelstelling

Het doel van het onderzoek is het geven van aanbevelingen aan Van Wijnen over de mogelijkheden om de doorlooptijd van het werkproces van de werkvoorbereider te verkorten. Dit door het huidig werkproces van de werkvoorbereider in detail te beschrijven en verbetervoorstellen te maken voor een nieuw werkproces om met toepassing van het 3D-model de doorlooptijden van verschillende deelstappen van het werkproces te verkorten.

Vragen

Het onderzoeksmodel bestaat uit vier delen, gebaseerd op vier vragen. Per deel wordt een vraag behandeld. De uitwerking leidt tot aanbevelingen en verbetervoorstellen van het *Virtueel Bouwen*.

1. Wat zijn de oorzaken van een te lange doorlooptijd bij het huidige werkproces van de werkvoorbereider?
2. Waar zal het nieuwe werkproces *Virtueel Bouwen* kunnen bijdragen aan de verkorting van de doorlooptijden van de werkvoorbereider?
3. Welke voordelen, problemen en belemmeringen komen naar voren bij de toepassing van het *Virtueel Bouwen* bij het project *19 woningen te Drachten*?
4. Hoe kan het vernieuwde werkproces *Virtueel Bouwen* verbeterd worden om te kunnen bijdragen aan het wegnemen van de oorzaken van de (te lange) doorlooptijden?

1.5 Onderzoeksmethodiek

De onderzoeksmethodiek is gebaseerd op Verschuren & Doorewaard (2007). Daarbij is een methodiek opgesteld om te komen tot de antwoorden op de vragen. Deze methodiek wordt samengevat in figuur 1. Het onderzoek bestaat uit vier delen, waarbij in elk deel een vraagstelling wordt behandeld.

Deel 1: Huidig werkproces

De beschrijving van het huidig werkproces vindt plaats aan de hand van een literatuurstudie naar het traditionele bouwproces (Pijpers, et al, 2004) met betrekking tot de werkvoorbereider. Daarnaast wordt een aantal voorbereidingsschema's bestudeerd om de aanpak van de werkvoorbereider met betrekking tot het genereren van de werk- en productietekeningen te beoordelen en om zodoende een doorlooptijd van de werkvoorbereider te kunnen bepalen.

Om te komen tot de oorzaken van een te lange doorlooptijd bij de werkvoorbereider in een traditioneel bouwproces, wordt met tenminste zeven personen gesprekken gevoerd die ervaring hebben in de werkvoorbereiding bij een aannemer. De aantekeningen van de gesprekken worden met elkaar vergeleken, waarbij wordt gekeken naar overeenkomsten op het gebied van de oorzaken van een te lange doorlooptijd bij het genereren van de werk- en productietekening.

Deel 2: Virtueel Bouwen

Om te kunnen kijken naar de verwachte bijdrage van het nieuwe werkproces, worden de verschillen bepaald tussen het huidig werkproces en *Virtueel Bouwen*. De aanpak van *Virtueel Bouwen* wordt onderzocht door het voorbereidingsschema te bestuderen en een gesprek met de adviseur (*Balance en Result*) van het werkproces te houden.

Vervolgens worden de verschillen bepaald door de beide werkprocessen met elkaar te vergelijken. Vanuit de verschillen worden mogelijke verbeteringen vanuit een literatuurstudie geformuleerd.

Deel 3: Case studie: 19 woningen te Drachten

De vanuit de literatuurstudie geformuleerde verbeteringen worden toegepast in de praktijk om te kijken of deze daadwerkelijk blijken. Bij dit onderzoek wordt het project *19 woningen te Drachten* onderzocht, waarbij het *Virtueel Bouwen* wordt toegepast. Om een goed beeld van deze enkelvoudige case te verkrijgen moeten volgens Eisenhardt (1989) meerdere documenten worden bestudeerd, observaties worden gehouden en gesprekken met deelnemers worden gevoerd.

Van het project worden de bouwvergaderingen bijgewoond. Van deze vergaderingen worden notities gemaakt van de discussies die door de aanwezige partijen gevoerd worden en van werkzaamheden die verricht worden. Tevens worden verschillende documenten (onder andere tekeningen, *clash controles* en voorbereidingsschema) bestudeerd en wordt de voorbereidingstijd bijgehouden om te kunnen concluderen of *Virtueel Bouwen* bijdraagt aan de verkorting van de doorlooptijd. Door het

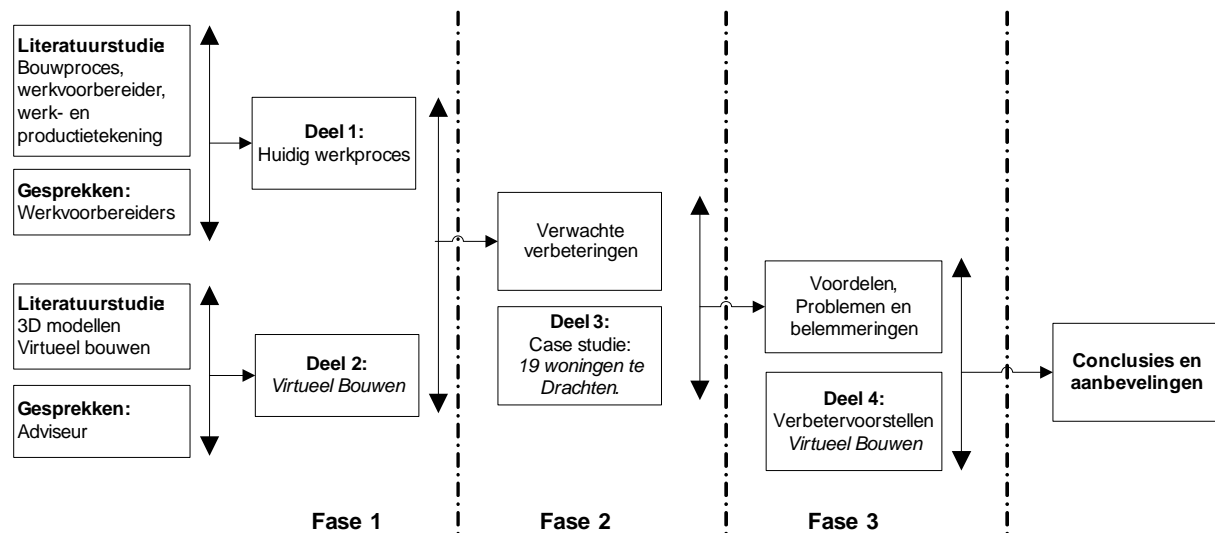
bijwonen van de vergaderingen, bestuderen van documenten en het voeren van gesprekken met het projectteam worden daarnaast ook enkele observaties gemaakt van het werkproces.

Bij deze studie wordt gekeken of *Virtueel Bouwen* heeft bijgedragen aan de geformuleerde verbeteringen die zijn geschetst in het tweede deel van het onderzoek. De eventuele problemen en belemmeringen worden geanalyseerd en geconcludeerd vanuit de case studie. Tijdens deze case worden gesprekken gevoerd met het projectteam om een goed beeld te kunnen verkrijgen van de case en de toepassing van het *Virtueel Bouwen* tijdens het project *19 woningen te Drachten* en te zorgen dat de geanalyseerde problemen en belemmeringen geverifieerd worden.

Deel 4: Verbetervoorstellen Virtueel Bouwen

Bij de case studie worden de voordelen, problemen en belemmeringen van *Virtueel Bouwen* geformuleerd. Op basis van de problemen en belemmeringen, die worden geconstateerd, wordt in dit deel een literatuurstudie gehouden naar verbetervoorstellen. Deze verbetervoorstellen leiden uiteindelijk tot een herontwerp van het *Virtueel Bouwen*. Dit herontwerp leidt tot de conclusies van het onderzoek.

De vier delen van het onderzoek met hun onderlinge samenhang is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1: Onderzoeksmodel

1.6 Bijdrage

Wetenschappelijke bijdrage

Dit onderzoek levert een bijdrage aan de toepassingsmogelijkheden van het 3D-model binnen een specifiek deelproces van het bouwproces. Het betreft de toepassing van het model binnen de Uitvoeringsgereed Ontwerpfase. Hoe kan het 3D-model worden toegepast en welke belemmeringen of problemen treden hierbij op? De technische mogelijkheden van dergelijke modellen zijn breed en geavanceerd, maar niet alle toepassingen zijn bruikbaar voor een specifiek deelproces. Uit ervaringen is gebleken dat de modellen die gecreëerd zijn voor een specifieke fase van het bouwproces vaak niet eenvoudig bruikbaar zijn voor een ander fase van het bouwproces. Dit onderzoek draagt bij aan een beter inzicht in de vraag hoe de aannemer dient om te gaan met het 3D-model.

Daarnaast blijkt uit het onderzoek van RRBouw (2007) dat aanvullend onderzoek op het gebied van 3D-modelleren aan te bevelen is. Het onderzoek geeft aan dat door het toepassen van modelleertechnieken vooral de tegenstrijdigheid in de tekeningen van de verschillende disciplines aangepakt kan worden. Er wordt gesteld dat een brede implementatie van 3D-modellen naar verwachting veel voordelen zal opleveren op het gebied van ontwerp en tekeningen. Het onderzoek in dit rapport kijkt naar de toepassing van de modellen binnen een specifiek deelproces van het bouwproces, namelijk het werkvoorbereidingsproces.

Praktische bijdrage

De bouwsector heeft behoefte aan een beter beeld over de toepassingen van het 3D-model binnen specifieke deelprocessen van het bouwproces. De sector ziet in deze modellen voordelen om processen te optimaliseren. Echter, er zijn vragen over de mogelijkheden van toepassingen van het 3D-model. Dit onderzoek levert een praktische bijdrage voor de toepassing van het 3D-model binnen het werkproces van de werkvoorbereider.

1.7 Leeswijzer

Eerst wordt in hoofdstuk 2 het huidige werkproces van de werkvoorbereider beschreven om vervolgens de oorzaken van een te lange doorlooptijd te definiëren. In hoofdstuk 3 wordt het nieuwe werkproces *Virtueel Bouwen* toegelicht. Vervolgens worden de verschillen met het huidige werkproces beschreven om daarna in te gaan op de vanuit de literatuurstudie verwachte verbeteringen van *Virtueel Bouwen*.

In hoofdstuk 4 staat de case van het nieuwe werkproces centraal. Daar wordt ingegaan op de vraag in hoeverre het nieuwe werkproces bijdraagt aan de doorlooptijdverkorting voor de werkvoorbereider. Bij de case studie zijn beperkingen naar voren gekomen die in hoofdstuk 5 behandeld worden. De verbetervoorstellen komen in hoofdstuk 6 aan bod, met een verbeterd herontwerp van het *Virtueel Bouwen*. Afgesloten wordt met conclusies en aanbevelingen.

Hoofdstuk 2: Huidig werkproces werkvoorbereider

In dit hoofdstuk wordt het huidig werkproces van de werkvoorbereider beschreven. Daarmee wordt bedoeld het werkproces voordat het 3D-model en het nieuwe werkproces *Virtueel Bouwen* is toegepast. Het doel hiervan is om de oorzaken van een te lange doorlooptijd bij de werkvoorbereider te bepalen. Deze oorzaken van de doorlooptijden zijn van belang in het kader van het onderzoek, omdat op deze manier gekeken kan worden waar en hoe de doorlooptijden verkort kunnen worden met betrekking tot het nieuwe werkproces: *Virtueel Bouwen*.

Eerst wordt het bouwproces met de plaats van de werkvoorbereider beschreven. Ten tweede wordt de fase van het bouwproces waarin de werkvoorbereider zijn werkzaamheden verricht verder toegelicht. Ten derde worden de oorzaken beschreven die een te lange doorlooptijd veroorzaken in het huidig proces van de werkvoorbereider.

2.1 Het bouwproces en de werkvoorbereider

Figuur 2 geeft het bouwproces weer in fasen rond de werkvoorbereider. Het gaat hier om de fasen: Technisch Ontwerpfase (TO-fase), Prijs- en Contractvormingsfase, Uitvoeringsgereed Ontwerpfase (UO-fase) en Uitvoeringsfase. De fasen zijn gebaseerd op de Standaardtaakbeschrijving 2009 (DNR-STB, 2009), een beschrijving van het bouwproces met de taken die bij de genoemde fasen horen. Iedere fase wordt toegelicht om vervolgens dieper in te gaan op de Uitvoeringsgereed Ontwerpfase, waar de werkvoorbereider zijn taken verricht. Hierbij is uitgegaan van een aanbestedingsvorm volgens een traditioneel ontwerpproces, aangezien deze vorm is toegepast bij de case studie.

Technisch Ontwerpfase

In de TO-fase is de architect vaak verantwoordelijk voor het ontwerp. Naast de architect speelt ook de constructeur een grote rol: zij maken samen een ontwerp van het project. Bij het afronden van het TO-fase is er een Technisch Ontwerp (TO), waarmee het voor de aannemer mogelijk moet zijn om een prijsopgave te maken voor de opdrachtgever. Dit bestaat in de meeste gevallen uit een TO Bouwkundig, TO Constructief en een bestek. Het TO is het contractstuk, waarmee de aannemer het project moet uitvoeren (RRBouw, 2007).

Prijs- en contractvormingsfase

Tijdens de Prijs- en contractvormingsfase maken de aannemer en de architect (of opdrachtgever) afspraken over de prijs en uitvoeringsvoorwaarden. De prijs en het contract zijn gebaseerd op het TO.

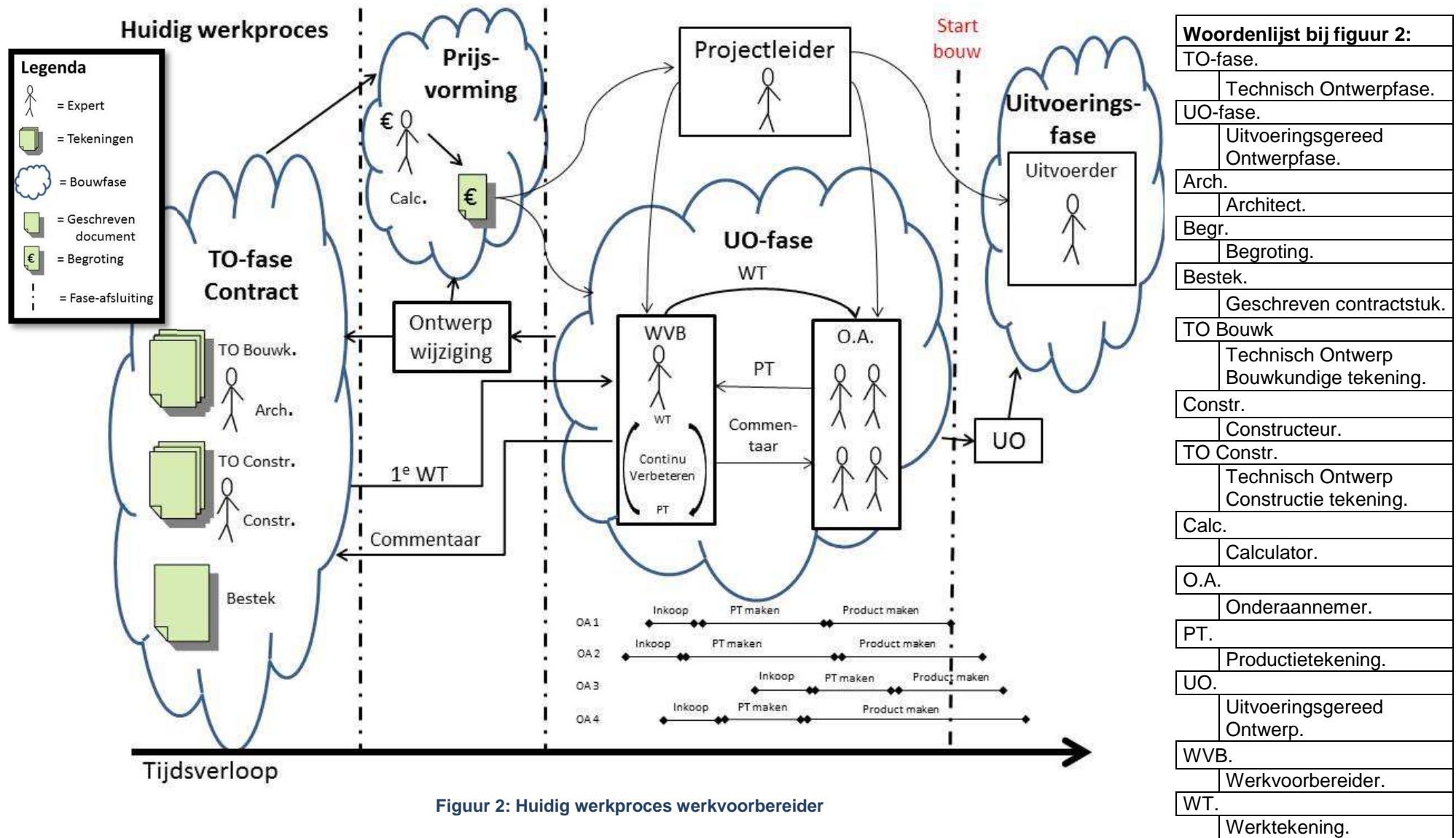
Uitvoeringsgereed Ontwerpfase

In de UO-fase spelen de taken van de werkvoorbereider zich af. Het is omschreven als de nadere uitwerking ten behoeve van de uitvoering van het project (RRBouw, 2007). In deze fase worden de werk- en productietekeningen geproduceerd, waarbij de onderaannemers in het bouwproces worden betrokken. Vanwege de rol van de werkvoorbereider tijdens deze fase, wordt hierop in de volgende paragraaf dieper ingegaan.

Uitvoeringsfase

Als de UO-fase is afgerond start de Uitvoeringsfase (figuur 2). In deze fase wordt het ontwerp uitgevoerd. Met andere woorden dan start de bouw van het project.

In de volgende paragrafen zal meerdere keren naar figuur 2 worden verwezen.



Figuur 2: Huidig werkproces werkvoorbereider

2.2 Uitvoeringsgereed Ontwerpfase

De werkzaamheden van de werkvoorbereider spelen zich af in de Uitvoeringsgereed Ontwerpfase. Dit is de fase na de TO-fase en de Prijs- en contractvormingsfase en voor de Uitvoeringsfase (figuur 2). Daarbij is de werkvoorbereider verantwoordelijk voor het UO. Hij is daarmee betrokken bij de overgang van het TO naar het UO.

Input Uitvoeringsgereed Ontwerpfase

De input van de UO-fase is het TO. Het TO bestaat uit meerdere documenten, die vaak door meerdere partijen gecreëerd worden. Het TO bestaat uit de volgende documenten (Pijpers, et al, 2004):

- *Technisch Ontwerp Bouwkundig:*
 - o Onderdeel van het TO, dat door de architect gemaakt wordt. Hier wordt aangegeven hoe de gevels en de afbouw van het gebouw eruit zien.
- *Technisch Ontwerp Constructief:*
 - o Onderdeel van het TO, dat door de constructeur gemaakt wordt. Hier wordt aangegeven hoe de draagstructuur van het gebouw eruit ziet.
- *Bestek:*
 - o Geschreven document. Tekstueel is weergegeven wat gemaakt dient te worden en onder welke voorwaarden.

Een kanttekening dient te worden gemaakt. De input van de UO-fase verschilt per project, omdat vaak niet bekend is hoe de zaken in de TO-fase zijn geregeld. Voor dit onderzoek zal de voornoemde beschrijving van de input worden aangehouden. In de UO-fase is het de bedoeling dat het ontwerp vanuit het TO uitvoeringsgereed wordt gemaakt.

Output Uitvoeringsgereed Ontwerpfase

De output van de UO-fase is het UO. Dit bestaat tevens uit meerdere documenten, namelijk uit werk- en productietekeningen. Deze tekeningen worden door verschillende partijen gecreëerd. In dit onderzoek wordt het volgende verstaan onder deze begrippen (Flapper, 2005):

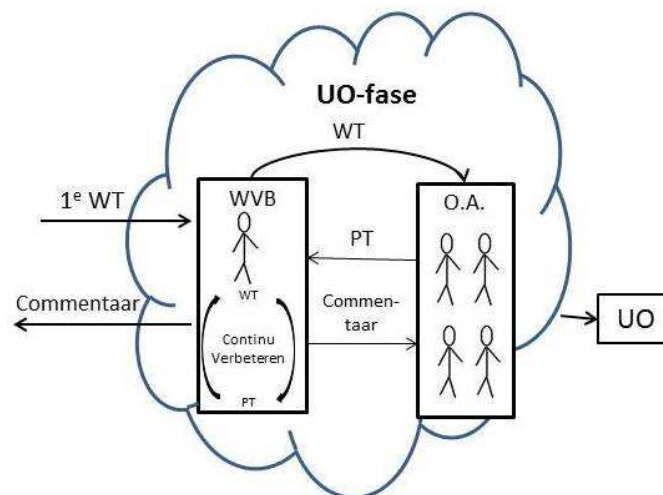
- *Werktekening:*
 - o De tekening waarmee het werk uitgevoerd wordt. Het dient derhalve voldoende en duidelijk inzicht te geven voor de uitvoering van het project (Pijpers, et al, 2004).
- *Productietekening:*
 - o De productietekening wordt gebruikt bij de productie van één van de onderdelen van het werk. Deze tekeningen worden door de onderaannemer gegenereerd. Het gaat in dit onderzoek om een productietekening van een blijvend product (bijvoorbeeld kozijn, vloer en wand) en niet om een tijdelijke constructie (onder andere steigers en stempels).

De onderaannemers genereren de productietekeningen, omdat het voor de ontwerper (architect, constructeur) niet haalbaar is om het ontwerp van een project tot in detail te specificeren (Epstein, 2007).

Na de beschrijving van de in- en output van de UO-fase, is het van belang om te kijken naar het werkproces van de werkvoorbereider. In de volgende paragraaf wordt het huidig werkproces beschreven.

2.3 Huidig werkproces werkvoorbereider

Om te komen tot een omschrijving van de oorzaken van een te lange doorlooptijd bij de werkvoorbereider, wordt eerst het huidig werkproces beschreven. In figuur 3 (deel van figuur 2) is weergegeven hoe de werkvoorbereider zijn werkzaamheden verricht. De ontwerpende partijen (architect en constructeur) van het TO maken de eerste werktekeningen, waarna de werkvoorbereider zorgt, door middel van controle en commentaar, dat de werktekeningen op niveau komen. Een werktekening is op niveau als duidelijk is wat er gebeuren moet en als het uitvoerbaar is. Ondertussen schakelt de werkvoorbereider de onderaannemers in die de productietekeningen maken van één product. Daarmee is de werkvoorbereider betrokken bij een continu verbeterproces tussen de werk- en productietekeningen. Als afsluiting ontstaat een UO, in de vorm van werk- en productietekeningen.



Figuur 3: Werkproces werkvoorbereider

Dit werkproces is gebonden aan doorlooptijden om uiteindelijk te komen tot een afgerond UO. De doorlooptijden worden bepaald door het verwachte aantal iteraties tussen de werk- en productietekeningen. Deze verwachting wordt op basis van ervaring uitgedrukt in tijd. In de

gesprekken geven de werkvoorbereiders aan dat voor een gemiddeld project 12 weken wordt aangehouden.

De doelstelling van *Virtueel Bouwen* is de verkorting van de voorbereidingstijd. Bij de presentatie van het nieuwe werkproces heeft Van Wijnen als doelstelling gegenereerd om de voorbereidingstijd te halveren. Daaronder wordt in dit onderzoek verstaan de doorlooptijden.

Hierna wordt eerst gekeken naar de oorzaken van een te lange doorlooptijd bij het huidige werkproces van de werkvoorbereider. Deze oorzaken worden gebruikt bij het verdere onderzoek om te beoordelen of het nieuwe werkproces bijdraagt aan de verkorting van de doorlooptijd.

2.3.1 Oorzaken van een te lange doorlooptijd

Bij de overgang van de TO-fase naar de UO-fase ontstaan vaak problemen. De meeste van deze problemen ontstaan veelal door de verschillende gedachtegangen van de personen die betrokken zijn bij het ontwerp van architect en aannemer. Uit het onderzoek van Chao-Duivis (2009) blijkt dat de architect vooral vanuit een esthetische en ontwerpende visie werkt, terwijl een aannemer vanuit een uitvoerende visie werkt. Dit blijkt tevens uit het rapport van RRBouw (2007), waar naar voren komt dat er vaak sprake is van onbegrip tussen de betreffende partijen.

In deze paragraaf worden een viertal oorzaken beschreven die leiden tot een te lange doorlooptijd voor de werkvoorbereider. Deze oorzaken zijn bepaald aan de hand van een zevental gesprekken met werkvoorbereiders en projectleiders met een werkvoorbereidersachtergrond. Bij de gesprekken is uitgegaan van een project in de traditionele vorm. De aannemer speelt geen rol in de TO-fase en de ontwerpende partijen (architect en constructeur) genereren de werktekeningen (figuur 2). Hiervoor is gekozen omdat deze vorm tevens bij de case studie van toepassing is.

Tegenstrijdigheden tussen onderlinge tekeningen vanuit Technisch Ontwerp

Tegenstrijdigheden vanuit het TO blijken veelvuldig voor te komen. Dit wordt duidelijk uit de gesprekken met de werkvoorbereiders, waarbij alle zeven hebben aangegeven dat dit bij hun projecten voorkomt. Uit slechts enkele projecten blijken de tegenstrijdigheden niet naar voren te komen. De tegenstrijdigheden zitten onder andere in de maatvoering, materiaalsoort en soort aansluitingen.

Dat tegenstrijdigheden kunnen ontstaan, blijkt tevens uit het onderzoek van RRBouw (2007), waarbij een veldonderzoek bij verschillende bouwbedrijven in Nederland is gehouden. Daaruit blijkt dat vanuit de TO-fase vaak meerdere tekenaars aan één ontwerp werken, waarbij de consistentie tussen de verschillende tekeningen niet altijd even zorgvuldig wordt bewaakt. Dit blijkt tevens uit het onderzoek van RRBouw (2007) waar naar voren komt dat de eerste werktekeningen vaak gecreëerd worden tijdens de Prijs- en Contractvormingsfase door de ontwerpende partijen. Er wordt door RRBouw (2007) geconcludeerd dat er geen sprake is van een duidelijke faseafsluiting, waardoor nog ontworpen wordt door de ontwerpende partijen na de overgang van de TO-fase naar de UO-fase.

Enkele praktijkvoorbeelden die in de gesprekken zijn benoemd:

- *“Een gevelopening staat op de TO Bouwkundig aangegeven op de kopse wand, deze komt in de TO Constructief niet naar voren.”*
- *“De afschotconstructie van het dak staat op drie verschillende manieren beschreven, namelijk in het bestek staat dat er een afschotlaag moet komen, op de TO Bouwkundig isolatieafschotplaten en een afschotlaag en op de TO Constructief staat dat er isolatieafschotplaten moet komen.”*
- *“De kolommen van de begane grond bij het TO Bouwkundig komt niet overeen met TO Constructief. Dit kan leiden tot een andere indeling van de begane grond.”*

Uit de gesprekken blijkt dat tegenstrijdigheden een veelvoorkomend probleem is voor de werkvoorbereider. Het wordt daardoor niet duidelijk wat er bedoeld wordt of gebeuren moet. Doordat de tegenstrijdigheden in het TO zitten ontstaan de iteraties, waardoor de doorlooptijden langer worden.

De werktekeningen worden gegenereerd door de ontwerpende partijen

Dat de werktekeningen gegenereerd worden door de ontwerpende partijen kan als problematisch worden ervaren. Deze problematiek kan ontstaan wanneer de gedachtegangen bij de partijen (architect en aannemer) verschillend zijn. Uit het onderzoek van Lam, et al (2006) blijkt dat het voor de aannemers lastig is wanneer de architecten ontwerpen met weinig uitvoeringskennis en -ervaringen en daarmee de maakbaarheid niet voldoende in acht nemen als belangrijke ontwerpoverweging.

Dat de ontwerp- en aannemersbedrijven moeite hebben om elkaars interesse te begrijpen blijkt tevens uit het onderzoek van Taylor (2007), waar het verschil tussen de aannemer en de architect in het volgende voorbeeld duidelijk naar voren komt bij een ontmoeting, waarbij de architect verrast aangeeft:

- *“Wij denken normaal niet na over de aansluiting van het plafond en de wand, terwijl de aannemer zich afvraagt wat voor soort wand het is en hoe het aansluit.”*

Uit de zeven, door mij gevoerde, gesprekken blijkt dat de werktekeningen vanuit de ontwerpende partijen vaak leiden tot onuitvoerbare details en ontwerp. Daarbij geven alle respondenten aan dat de onuitvoerbare details en ontwerp bij de projecten voorkomt. Tijdens de gesprekken zijn de volgende praktijkvoorbeelden benoemd:

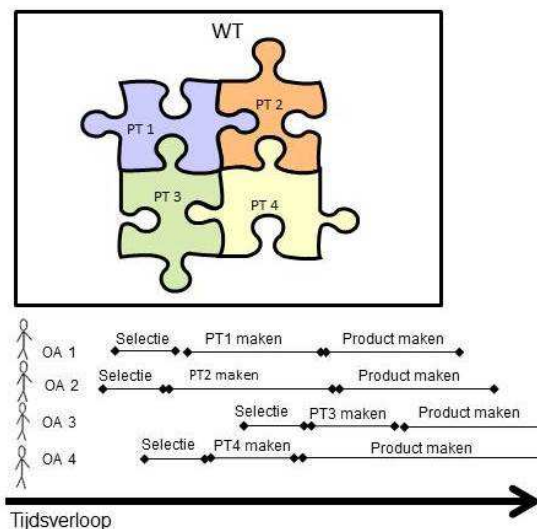
- *“Bij een vliesgevelconstructie is de keuze gemaakt voor een houten stelkozijn. Deze constructie kan niet voldoen aan de garantiebepalingen en draagkracht, daarvoor dient een andere constructie in plaats te komen.”*
- *“De HSB-wand aansluiting met de constructie kan op deze manier niet plaatsvinden. De HSB-wand moet namelijk iets voor de constructie uitsteken om het vast te maken aan de constructie.”*

- “Bij de aansluiting van het kunststof kozijn staat dat het door middel van een multiplexlat dient te gebeuren. Dit kan niet voldoen aan de garantiebepalingen van de constructie. Hiervoor dient een stelkozijn te komen met een stellat.”

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de overdracht lastig is en er iteraties optreden bij het genereren van de werktekeningen. De kennis van deze ontwerp oplossingen ligt vaak bij de aannemer of bij de onderaannemer. Doordat de architect de werktekeningen genereert ontstaan iteraties en daarmee langere doorlooptijden om het ontwerp op het juiste niveau voor de uitvoering van het werk te krijgen.

Gefaseerde selectie van de onderaannemers

Bij het genereren van de productietekeningen worden de onderaannemers geselecteerd. Figuur 2 geeft middels een voorbereidingsplanning weer wanneer de onderaannemers worden betrokken. Figuur 4 verduidelijkt deze selectie van de onderaannemers.



Figuur 4: Gefaseerde selectie onderaannemers

Uit de analyse van de voorbereidingsplanningen van een drietal projecten blijkt dat de selectie van de onderaannemers in de meeste gevallen gefaseerd verloopt. De selectie van de verschillende onderaannemers is gebaseerd op de uitvoeringsplanning. Vanuit de uitvoeringsplanning wordt er teruggerekend door de productietijd, tijd voor productietekening (PT) en selectie (figuur 4). Uit de gesprekken komt naar voren dat deze tijden gebaseerd zijn op ervaringen omtrent de productietijd bij eerdere projecten. Hierdoor worden de verschillende productietekeningen op verschillende momenten gemaakt, waaronder de productietekeningen die afhankelijk van elkaar zijn. Wel blijkt uit de gesprekken dat de afstemming zoveel mogelijk wordt gezocht tussen de productietekeningen, maar vaak op basis van tijdsdruk niet altijd wordt verzorgd.

Daarnaast blijkt uit de gesprekken dat bij de meeste projecten al is gestart met de uitvoering, terwijl gerelateerde productietekeningen nog niet gereed zijn. Uit de voorbereidingsplanningen blijkt dat de gefaseerde selectie van de onderaannemers hieraan ten grondslag ligt. Deze werkwijze kan leiden tot langere doorlooptijden, omdat de productietekeningen onderling informatie van elkaar nodig hebben. De werkvoorbereider is betrokken bij het continu verbeterproces tussen de werk- en productietekeningen. Doordat de afstemming geregeld moet worden tussen de productietekeningen onderling en tussen de werk- en productietekeningen ontstaan er iteraties. De werkvoorbereider is daarmee een doorgeefluik, omdat de productietekeningen onderling informatie van elkaar vragen voor de afstemming.

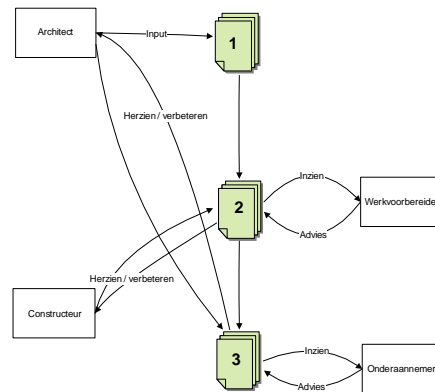
Bij de gefaseerde selectie worden aannames gemaakt van producten die afhankelijk van elkaar zijn. Dit wordt voornamelijk gedaan op basis van ervaring, waarbij een aanname wordt gemaakt van een ander product, om van het ene product alvast een productietekening te genereren.

Uit vier van de zeven gesprekken blijkt dat het voorkomt dat een aanname die gemaakt is niet volledig is of verkeerd wordt geïnterpreteerd. Hierdoor ontstaan iteraties bij het aanpassen van de productietekening. Bijvoorbeeld een aanslag van een kunststof kozijn op het stelkozijn. Het stelkozijn dient eerder op de bouwplaats te komen, waardoor een aanname wordt gemaakt van de aanslag, deze kan bij het bestellen van de kozijnen veranderen. Uit drie van de zeven gesprekken blijkt dat op basis van ervaring verwacht wordt dat de aannames achteraf wel blijken te kloppen. Deze verwachting blijkt echter in de praktijk niet altijd te kloppen.

Als bij het ontwerpen in de TO-fase rekening wordt gehouden met de maakbaarheid, kan de gefaseerde selectie goed verlopen. Echter, uit de gesprekken blijkt dat de ervaring leert dat vaak niet voldoende rekening wordt gehouden met de maakbaarheid. Wanneer de productietekeningen om de nodige wijzigingen vragen, ondervindt de werkvoorbereider in dit proces veel problemen.

Het gebruik van 2D-tekenwerk tijdens het werkproces

Bij het huidige werkproces wordt gebruik gemaakt van 2D-tekenwerk om opmerkingen en aanvullingen te geven en het ontwerp te wijzigen. Het 2D-tekenwerk bestaat uit meerdere tekeningen, namelijk; plattegronden, details, doorsnedes en gevels. 2D-tekenwerk is foutgevoelig doordat het wijzigen van één tekening grote gevolgen kan hebben voor de andere tekeningen. Bij 2D-tekenwerk zijn de verschillende tekeningen onderling gerelateerd. Voor het doorvoeren van één wijziging moeten meerdere tekeningen worden gewijzigd (Taylor, 2007). Een wijziging in bijvoorbeeld een plattegrond kan betekenen dat de doorsnedes, gevels en eventueel details aangepast dienen te worden.



Figuur 5: 2D-tekenwerk (Taylor, 2007)

Daarnaast concluderen Arayici, et al (2011) en Naai-Jung (1996) dat het gebruik van 2D tekenwerk ineffectief is. De werkzaamheden moeten vaak opnieuw gedaan worden, met als gevolg een verdubbeling van het werk en een gebrek aan continuïteit. Ook vanuit onderzoek van Arayici, et al (2011) en Naai-Jung (1996) is naar voren gekomen dat het gebruik van 2D-tekenwerk leidt tot een ineffectief ontwerpproces en tot mindere communicatie.

Tijdens de gesprekken blijkt dat bij het huidige werkproces met 2D-tekenwerk voor komt dat wijzigingen niet altijd wordt meegenomen in alle tekeningen. Dit is een storende factor, omdat hierdoor iteraties ontstaan aangezien tekeningen opnieuw aangepast dienen te worden. Dit komt doordat bij het doorvoeren van één wijziging meerdere tekeningen aangepast dienen te worden. Het kan voorkomen dat een wijziging niet wordt meegenomen op alle tekeningen. Dit kan er toe leiden dat de tekeningen niet onderling op elkaar afgestemd zijn. Er ontstaan tegenstrijdigheden tussen gerelateerde tekeningen. Dit leidt weer tot meer iteraties en uiteindelijk tot langere doorlooptijden voor de werkvoorbereider.

2.4 Samenvatting

In dit hoofdstuk is het huidige werkproces van de werkvoorbereider beschreven. Bij deze beschrijving zijn een viertal oorzaken genoemd die tot langere doorlooptijden kunnen leiden. Deze worden kort samengevat weergegeven in tabel 2. Deze tabel wordt hierna gebruikt voor een vergelijking met het nieuwe werkproces waarbij een andere aanpak wordt gehanteerd.

Huidig werkproces	
<i>Aanpak, tools, enzovoorts</i>	<i>Gevolg langere doorlooptijden</i>
Het gebruik van 2D-tekenwerk	Wijzigingen leiden tot het aanpassen van meerdere tekeningen. Het risico is aanwezig dat de wijzigingen niet consistent worden doorgevoerd.
Gefaseerde selectie van de onderaannemers	De afstemming wordt vaak op basis van ervaring geregeld en daarbij worden aannames gemaakt. Uit de praktijk blijkt dat deze aannames niet volledig zijn of verkeerd geïnterpreteerde worden.
De ontwerpende partijen genereren de werktekeningen	Dit leidt vaak tot onuitvoerbare details en ontwerpen, waardoor iteraties ontstaan om het ontwerp op niveau te krijgen.
TO als input van het werkproces	Het TO bestaat in veel gevallen uit tegenstrijdigheden in de documenten.

Tabel 2: Oorzaken langere doorlooptijden huidig werkproces

In het nieuwe werkproces *Virtueel Bouwen*, welke in hoofdstuk 3 wordt besproken, wordt gekeken of het nieuwe werkproces deze oorzaken kan verminderen. Van Wijnen is van mening dat met het *Virtueel Bouwen* het werkproces van de werkvoorbereider kan worden verkort. Het is toegepast op het pilotproject *19 woningen te Drachten*.

In het volgende hoofdstuk wordt het nieuwe werkproces *Virtueel Bouwen* beschreven met daarbij de mogelijke verbeteringen die op basis van de literatuurstudie mogelijk zijn.

Hoofdstuk 3: Het nieuwe werkproces *Virtueel Bouwen*

Het eerste deel van het onderzoek heeft geleid tot de identificatie van de mogelijke oorzaken van de te lange doorlooptijden bij het huidige werkproces van de werkvoorbereider. In dit hoofdstuk wordt het nieuwe werkproces *Virtueel Bouwen* beschreven. Met het nieuwe proces verwacht Van Wijnen de voorbereidingstijd te verkorten (de voorbereidingstijd betreft in dit onderzoek de doorlooptijden van de werkvoorbereider). Daarbij heeft Van Wijnen de doelstelling om de voorbereidingstijd te halveren.

In dit hoofdstuk wordt eerst *Virtueel Bouwen* beschreven. Vervolgens wordt ingegaan op de verschillen tussen het *Virtueel Bouwen* en het huidige werkproces voor wat betreft de werkzaamheden van de werkvoorbereider. Het hoofdstuk wordt afgesloten met de te verwachte bijdrage van het nieuwe werkproces op de doorlooptijden/voorbereidingstijd.

3.1 *Virtueel Bouwen*

De laatste jaren is *Virtueel Bouwen* een “hot item” en veel besproken onderwerp binnen de bouwsector. *Virtueel Bouwen* staat volgens Bouwend Nederland (www.bouwendnederland.nl, 2012) voor:

- *Virtueel Bouwen is het zodanig ontwikkelen, ontwerpen, bouwen en exploiteren dat de betrokken partijen gebruik maken van een centraal bouwwerkinformatiemodel (BIM). In het BIM wordt de informatie over het bouwobject en –proces over de gehele levenscyclus vastgelegd. Deze informatie kan gebruikt worden als enkelvoudige bron voor het ondersteunen van de samenwerkende partijen in het primaire bouwproces.*

Dit is een brede uitleg over wat *Virtueel Bouwen* inhoudt voor de gehele bouwsector. Bij deze uitleg worden namelijk enkele termen gebruikt (BIM, bouwobject, levenscyclus, primair bouwproces) die tot verwarring en onduidelijkheden kunnen leiden. Om deze verwarring en onduidelijkheden verder te voorkomen, is voor dit onderzoek gekozen om *Virtueel Bouwen* specifiek toe te lichten.

- *Virtueel Bouwen is een nieuw werkproces, waarbij het 3D-model wordt toegepast, die zou moeten leiden tot verkorting van de doorlooptijden bij de werkvoorbereider.*

Deze omschrijving past binnen het kader van het onderzoek van deze scriptie. Het 3D-model wordt namelijk toegepast in het nieuwe werkproces, waarbij het de verwachting is dat deze toepassing leidt tot een verkorting van de doorlooptijden van de werkvoorbereider. In de volgende paragraaf wordt het werkproces *Virtueel Bouwen* behandeld, door de input, output en het werkproces te beschrijven.

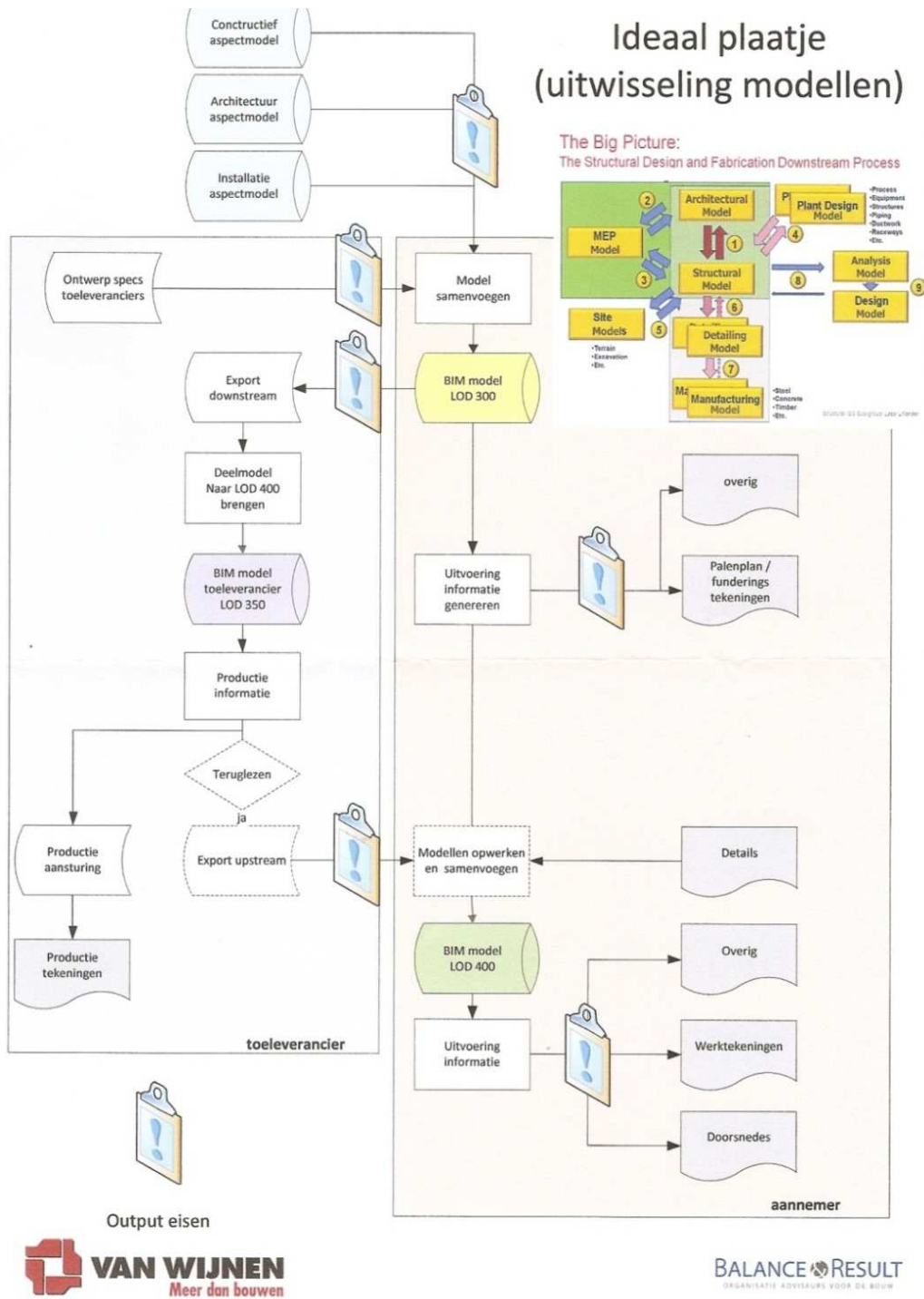
3.2 *Werkproces Virtueel bouwen*

Om te kijken hoe *Virtueel Bouwen* wordt toegepast, wordt het beschreven aan de hand van de input, output en werkproces. De verwachting is dat dit werkproces leidt tot een verkorting van de doorlooptijden. Dit onderzoek richt zich op de doorlooptijden bij het genereren van de werk- en productietekeningen.

Input

Het werkproces *Virtueel Bouwen* is weergegeven in figuur 6, zoals deze is opgesteld door Van Wijnen in samenwerking met *Balance & Result* (adviesorganisatie). In dit figuur zijn de documenten en de processtappen weergegeven. De input is:

- Constructief aspectmodel (TO Constructief)
- Architectuur aspectmodel (TO Bouwkundig)
- Installatie aspectmodel (Installatie ontwerp)



Figuur 6: Schema Virtueel Bouwen

Output

De output is de werk- en productietekeningen. De bedoeling is dat de doorlooptijden verkort worden voor het genereren van deze tekeningen. Daarnaast dienen ze voor de start van de uitvoering gereed te zijn.

Werkproces

De in- en output zijn hiervoor beschreven. Hierna komt het werkproces aan de orde. Om het werkproces te verduidelijken zullen de volgende zaken behandeld worden; de experts, de eerste stap Model Samenvoegen, het vervolg na Model Samenvoegen en de tools.

De experts:

In elk proces zijn personen aanwezig die de expertise hebben om te zorgen dat een proces goed verloopt en de juiste output genereerd wordt. Bij het *Virtueel Bouwen* worden de volgende experts ingeschakeld, waarbij een omschrijving wordt gegeven van hun respectievelijke taken.

- *De modelleur:*
 - o Is verantwoordelijk voor het 3D-model.
- *De werkvoorbereider:*
 - o De werkvoorbereider overziet het geheel en merkt daardoor knelpunten op.
 - o Hij kan een verbetervoorstel in het ontwerp brengen (uitvoeringslimheid). Bij een verbetervoorstel kan een ontwerpwijziging plaatsvinden.
- *De projectleider:*
 - o Maakt de definitieve keuze met betrekking tot de ontwerpwijzigingen en zal deze doorgeven aan de verantwoordelijken van het Technisch Ontwerp (contractstuk) voor goedkeuring.
 - o Stelt het team samen (werkvoorbereider, modelleur en onderaannemers).
- *Onderaannemer:*
 - o Brengt zijn productkennis in het proces, door aan te geven of het product gemaakt kan worden. Dit kan inhouden dat er een ontwerpwijziging plaatsvindt als hij niet kan maken wat gevraagd wordt en/of een aanpassing nodig is.
 - o Genereert het ontwerp van zijn product in 3D (productmodel).

Op welke wijze de partijen bij elkaar worden gebracht, wordt hierna toegelicht bij de eerste stap Model Samenvoegen en het vervolg na het Model Samenvoegen.

De eerste stap Model Samenvoegen:

Eerst worden de drie aspectmodellen (Bouwkundig, Constructief en Installatie) op elkaar afgestemd en worden de eventuele tegenstrijdigheden uit het ontwerp gehaald. Dit gebeurt door middel van een aantal vergaderingen, waarin de experts bij elkaar gebracht worden. Tijdens deze vergaderingen wordt de input besproken. Daarbij wordt het project geanalyseerd en worden vragen gesteld over wat niet duidelijk of zelfs niet uitvoerbaar is. Met deze informatie wordt het ontwerp aangepast en op een hoger niveau gebracht. De input van de onderaannemers is in het schema (figuur 6) aangegeven als de ontwerpspecificaties van de toeleveranciers. Onder de toeleveranciers wordt hetzelfde verstaan als onderaannemers. In deze scriptie zal verder de term onderaannemers gebruikt worden.

De vragen/problemen die naar voren komen worden bijgehouden door middel van een besluitenlijst (tabel 3). Bij het afronden van het Model Samenvoegen (in het ideale geval, zoals het schema laat zien) zijn er geen vragen/problemen meer. De besluitenlijst bewaakt de voortgang van het Model Samenvoegen.

Nr.	In behandeling	Actie	Bestek	Onderwerp
10	Ja	VW	33.30	Kozijn in kopgevels 440 mm (koppenmaat) opschuiven conform advies constructeur, zodat de kalkzandsteenwand in 100mm dikte kan worden uitgevoerd.

Tabel 3: Besluitenlijst

Bij het beantwoorden van de vragen en/of problemen is het de bedoeling dat het 3D-model wordt opgebouwd volgens deze informatie. Vanuit het 3D-model zal in de volgende stappen van het *Virtueel Bouwen* de werk- en productietekeningen gegenereerd kunnen worden. Het resultaat is een ontwerp, waarmee de onderaannemers hun eigen productmodellen dienen te genereren. Ze produceren hun eigen productietekening om het productieproces van het product aan te kunnen sturen.

Het vervolg na het Model Samenvoegen:

Na het Model Samenvoegen genereren de onderaannemers van hun eigen product een ontwerp in 3D. Dit wordt in het vervolg het productmodel genoemd, waarmee de onderaannemers vanuit het productmodel de eigen productietekeningen genereren en hun productieproces aansturen.

Dit productmodel wordt gecontroleerd door het 3D-model (Bouwkundig, Constructief en Installatie) en met andere productmodellen. Bij het afronden van de controles is het 3D-model gereed om werktekeningen te genereren en zijn de productmodellen gereed om de productietekeningen te genereren.

Doordat het 3D-model een belangrijke rol speelt tijdens het *Virtueel Bouwen*, wordt het in de volgende paragraaf apart toegelicht als ondersteuning voor het proces.

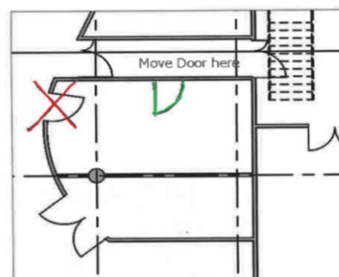
3.3 3D-model ter ondersteuning

Het 3D-model heeft vele mogelijkheden ter ondersteuning aan de projectmanagementtaken (Hartmann, Gao & Fischer, 2008). Daarbij zijn niet alle mogelijkheden interessant voor elke fase van het bouwproces. Zo kan bijvoorbeeld met het 3D-model een koppeling gemaakt worden met de planning en kosten, wat ook 4D en/of 5D genoemd wordt (Love, Edward, Han & Goh, 2011). Dit kan interessant zijn voor de calculatie en bij het genereren van de planning (meestal een taak voor de werkvoorbereider). Dit onderzoek legt de focus op het genereren van werk- en productietekeningen. Daarbij zijn de koppelingen tussen de planning en kosten op het eerste gezicht niet direct waardevol, aangezien het gaat om het ontwerp zelf. In deze paragraaf wordt een toelichting gegeven op de tools van het 3D-model, die gebruikt worden bij het *Virtueel Bouwen*. Dit is tot stand gekomen middels een literatuurstudie inzake de toepassing van het 3D-model.

Visualisatie en communicatie

Het 3D-model biedt meer inzicht door middel van visualisaties op knooppunten van het project (Hartman & Fischer, 2007). In het onderzoek van Huang, Li, Guo, Chan, Kong, Chan & Skitmore (2009) is geconcludeerd dat het via het model mogelijk is om sneller en betere beslissingen te nemen. Dit kan tijdens het *Virtueel Bouwen* de nodige inzichten geven om beslissingen te nemen over de problemen, knooppunten en of andere zaken.

Daarnaast concluderen Li, et al (2008) dat door het gebruik van het 3D-model de samenwerking tussen de aannemer en onderaannemer wordt verbeterd, doordat er beter inzicht is in het project. Bouchlaghem, Shang, Whyte & Ganah (2005) hebben door middel van een case studie aangetoond dat visualisatie de kloof tussen de partijen kan doen verkleinen door de problemen van maakbaarheid van het ontwerp te overbruggen.



Figuur 7: Voorbeeld aantekening 3D

Tevens kan er met het 3D-model gecommuniceerd worden (Mao, Zhu & Ahmad, 2007). Dit gebeurt middels zogenoemde aantekeningen (figuur 7). Een aantekening kan in het model geplaatst worden en geeft daarmee gelijk een visualisatie bij de geplaatste opmerking. Hieruit kan geconcludeerd

worden dat de visualisatie van het 3D-model een bijdrage kan leveren aan de vermindering van de foutkansen en daardoor een verkorting van de doorlooptijden.

Clash controles

Het model wordt tijdens het *Virtueel Bouwen* niet alleen verder ontwikkeld, het wordt zelf ook gecontroleerd om het niveau te bewaken. Dit gebeurt door *clash controles*. Bij *clash controle* wordt het model gecontroleerd en worden verschillende modellen met elkaar vergeleken op onvolkomenheden.

De *clash controles* zijn ter ondersteuning van het *Virtueel Bouwen* zeer bruikbaar, omdat inzichtelijk wordt of de verschillende ontwerpen met elkaar *clashen*. Uit het onderzoek van Riese (2008) blijkt dat de *clash controles* zeer bruikbaar zijn bij het installatie ontwerp. Bij een case studie van het project One Island East, zijn voor de start van de bouw van het gebouw, verschillende clashes van het ontwerp eruit gehaald. Daarbij zijn *clash controles* toegepast tussen de elektriciteitsleidingen, draagstructuur en de ventilatiekanalen (Riese, 2008). Daarnaast worden de productmodellen van de onderaannemers (onderling en met het 3D-model) tevens gecontroleerd. Het onderzoek van Grilo & Jardim-Goncalves (2010) laat zien dat het effectiever is om ontwerpen te coördineren met behulp van een visuele aanpak met een 3D-model, zodat de locatie en de relaties van alle producten zichtbaar worden (HVAC, elektrische installaties, loodgieterij, enz.) en de potentiële conflicten opgelost worden.

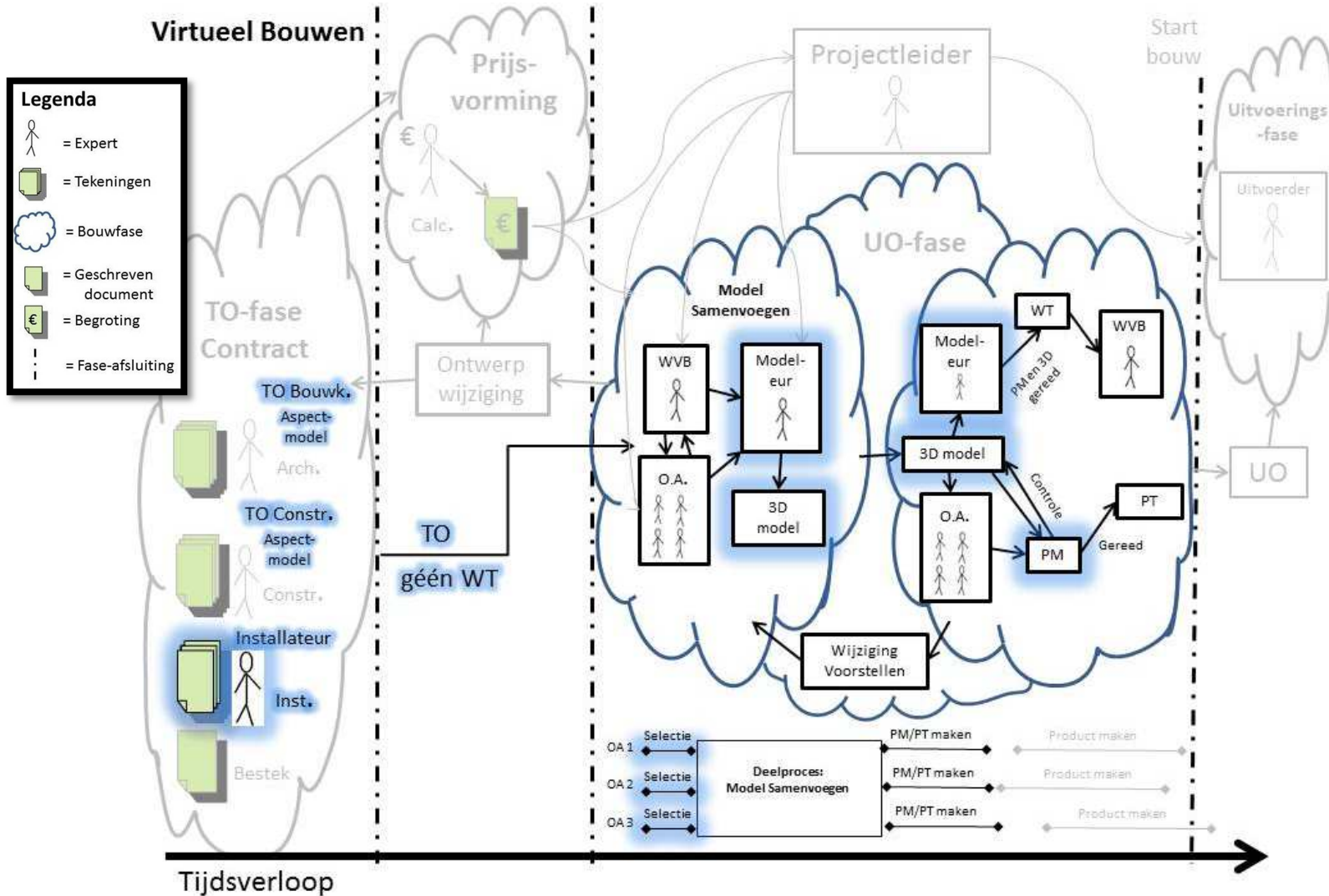
Uitwisseling modellen door middel van IFC

Om het 3D-model op een goed niveau te krijgen tijdens het *Virtueel Bouwen*, is ook de expertise nodig van onderaannemers. Er worden zijn eisen gesteld aan de onderaannemers; onder andere dat het ontwerp van hun product in een 3D-model dient te worden aangeleverd. Doordat er geen eisen gesteld worden aan het gebruik van bepaalde software en onderaannemers vaak verschillende software gebruiken, is er een uitwisselingsbestand nodig. Dit kan door middel van IFC (Lee & Sexton, 2007), een uitwisselbestand dat door verschillende software gebruikt kan worden.

Doordat een onderaannemer zijn ontwerp van het product in 3D aanlevert kan door middel van het overkoepelende 3D-model gekeken worden welke gevolgen dit heeft voor het ontwerp. Tevens wordt door middel van *clash controles* en visualisatie inzichtelijk welke aspecten door de onderaannemer zijn ingebracht. Om verwarring in deze scriptie verder te voorkomen, zal het 3D-model als het basismodel van de Bouwkundig, Constructief en Installatie ontwerp worden bedoeld. Het ontwerp van de onderaannemer van het product, zal het productmodel worden genoemd.

3.4 Verschil huidig werkproces en Virtueel Bouwen

Om een vergelijking te maken met het huidig werkproces geeft het schema (figuur 6) niet voldoende inzicht waar het zich afspeelt en welke partijen erbij betrokken zijn. Om deze reden is het *Virtueel Bouwen* in figuur 8 weergegeven met het oog op het bouwproces, meer specifiek bij het proces van de werkvoorbereider.



Woordenlijst figuur 8:	
TO-fase	Technisch Ontwerpfase
UO-fase	Uitvoeringsgereed Ontwerpfase
Arch.	Architect
Begr.	Begroting
Bestek	Geschreven contractstuk
TO Bouwk.	Bouwkundig TO
Constr.	Constructeur
TO Constr.	Constructief TO
O.A.	Onderaannemer
Calc.	Calculator
PM	Productmodel (3D)
PT	Productietekening
UO	Uitvoeringsgereed Ontwerp
WVB	Werkvoorbereider
WT	Werktekening
Inst.	Installatie Ontwerp

Figuur 8: Virtueel Bouwen bij werkvoorbereider

Vershil huidig werkproces en Virtueel Bouwen

Om te kijken waar het *Virtueel Bouwen* kan bijdragen aan een doorlooptijdverkorting, worden eerst de verschillen in onder andere de aanpak en tools beschreven. In tabel 4 worden de verschillen van beide werkprocessen weergegeven. Deze verschillen blijken uit een analyse van de twee werkprocessen. Deze verschillen zijn in figuur 8 door “uitspringen” (blauw) visueel weergegeven.

	Huidig werkproces	<i>Virtueel Bouwen</i>
<i>Tool</i>	2D tekenwerk	3D-model
<i>Selectie onderaannemers</i>	Gefaseerde selectie onderaannemers	Gelijktijdige selectie onderaannemers
<i>Genereren werktekeningen</i>	Werktekeningen worden gegenereerd door ontwerpende partijen	Werktekeningen worden gegenereerd door aannemer en onderaannemers
<i>Input TO</i>	TO Bouwkundig en Constructief in 2D als input	Bouwkundig, Constructief en Installatiemodel als input in 3D

Tabel 4: Verschil Huidig werkproces en *Virtueel Bouwen*

De verschillen van beide werkprocessen zijn onder andere te verklaren door het gebruik van 2D-tekenwerk en het 3D-model. Bij het genereren van de werk- en productietekeningen wordt bij *Virtueel Bouwen* gebruik gemaakt van het 3D-model. Hierbij verschilt de input van het huidig werkproces tot de term aspectmodel. Dit houdt in dat het TO (Bouwkundig en Constructief) in een 3D-model geleverd zal worden in plaats van in een 2D-tekenwerk.

De input verschilt verder ten opzichte van het huidig proces, ten aanzien van het installatie ontwerp. Dit is zo bedacht, omdat de installaties een belangrijke rol spelen in het ontwerp. Onder installaties worden verstaan; luchtkanalen, waterleidingen, verwarmingsbuizen, enz. Doordat het installatie ontwerp wordt gezien als de input van het werkproces betekent dit dat de installaties al vroegtijdig bekend moeten zijn en ontworpen dienen te worden. Dit vanwege het feit dat de installaties, in de meeste projecten, door het gehele project (gebouw) lopen. Daarmee hebben de installaties veel gevolgen voor de productietekeningen die daarop afgestemd dienen te worden.

Een laatste verschil is de selectie van de onderaannemers. Het huidig werkproces maakt gebruik van een gefaseerde selectie, terwijl bij *Virtueel Bouwen* een gelijktijdige selectie plaatsvindt. Tevens blijkt uit de vergelijking dat de werktekeningen door andere partijen worden gegenereerd (ontwerpende partijen bij het huidig werkproces en de aannemer en onderaannemers bij *Virtueel Bouwen*).

Hiervoor zijn de verschillen in beeld gebracht. Thans kan gekeken worden waar het *Virtueel Bouwen* kan bijdragen aan de doorlooptijdsverkortings voor de werkvoorbereider. Dit wordt in de volgende paragraaf toegelicht.

3.5 Bijdrage aan doorlooptijdverkortings

Het nieuwe werkproces *Virtueel Bouwen* scheidt bij Van Wijnen de verwachting dat de doorlooptijden bij de werkvoorbereider kunnen worden verkort. In deze paragraaf wordt de verwachte bijdrage aan de verkortings van de doorlooptijden toegelicht.

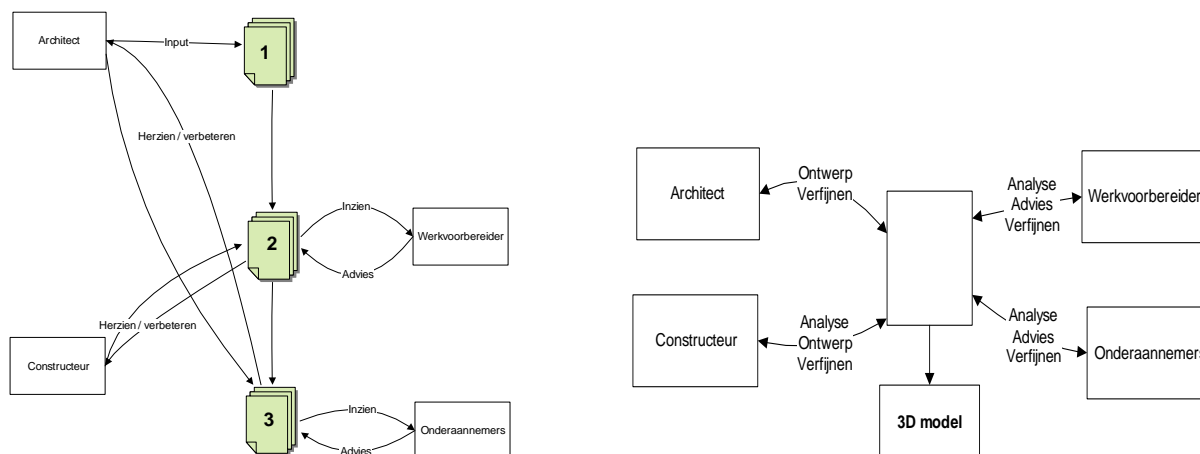
3.5.1 Verwachte bijdrage doorlooptijdverkortings

De verwachting is dat de toepassing van *Virtueel Bouwen* de doorlooptijd van de werkvoorbereider kan verkorten. Dit blijkt uit een analyse van de verschillen van beide werkprocessen, een literatuurstudie op de toepassing van het 3D-model en generatie van productietekeningen. De verwachtingen zijn geformuleerd door middel van een logische redenering vanuit de literatuur.

Afstemming tekenwerk onderling:

Het tekenwerk dat uit het 3D-model wordt gegenereerd is op elkaar afgestemd. Het betreft de plattgronden, gevels, details, enz. Dit is een groot voordeel ten opzichte van het 2D-tekenwerk, dat gevoelig is voor wijzigingen. Dit wordt bevestigd in het onderzoek van Arayici, et al (2011), waar geconcludeerd is dat het afgestemde tekenwerk bij het 3D-model een groot voordeel is.

Taylor (2007) heeft in zijn onderzoek geconcludeerd dat het gebruik van 2D-tekenwerk foutgevoelig en inefficiënt is. Dit komt doordat het aanbrengen van wijzigingen in het 2D-tekenwerk een arbeidsintensieve en kostenbepalende taak is. Bij een wijziging in het ontwerp dienen vaak meerdere tekeningen te worden aangepast. Aangezien het *Virtueel Bouwen* vraagt om continue verbetering van het ontwerp, komen er vele wijzigingen. Bij het 2D-tekenwerk betekent dit het continue vernieuwen van tekeningen en tekeningen die elkaar opvolgen. Daarnaast zijn de gevolgen van een wijziging niet direct zichtbaar in 2D-tekenwerk, men moet daarvoor vaak meerdere tekeningen bekijken. Zoals ook Azhar, Hein & Sketo (2008) beweren, zijn bij het 3D-model de gevolgen van wijzigingen direct zichtbaar, waardoor meer inzicht wordt verkregen in het ontwerp.



Figuur 9: 2D-tekenwerk en 3D-model (Taylor, 2007)

Figuur 9 geeft het verschil tussen 2D-tekenwerk en het 3D-model weer (Taylor, 2007). Om de doorlooptijden te verkorten in het vervolgtraject is het een voordeel om het 3D-model te gebruiken, omdat er geen onduidelijkheden zijn en het tekenwerk onderling op elkaar afgestemd is. Daarnaast is de kans op fouten in het opvolgen van de verschillende documenten in het 2D traject groter, dan wanneer er vanuit één bron wordt gewerkt. Bij het onderzoek van Li, et al (2008) is eveneens gebleken dat het 3D-model zorgt voor een effectief management van wijzigingen met betrekking tot het ontwerp. Dit blijkt uit de consistentie van de tekeningen en het ontwerp.

Uit het onderzoek Grilo, et al (2010) blijkt dat het effectiever is om de verschillende ontwerpen op elkaar af te stemmen met behulp van een visuele aanpak die het 3D-model biedt. Daarbij geven ze aan dat de traditionele manier, door middel van 2D-tekenwerk (lagen vellen papier over elkaar heen), tekort schiet ten opzichte van de *clash controles* van het 3D-model.

De consistentie en afstemming bij het ontwerp van het 3D-model is tevens bij het onderzoek van Naai-Jung (1996) een groot voordeel gebleken in vergelijking met het 2D-tekenwerk. Bij het traject met 2D-tekenwerk kan het voorkomen dat de onderaannemer tekenwerk krijgt, die niet consistent aan elkaar zijn. Daarmee kunnen onduidelijkheden ontstaan, waardoor vragen/problemen ontstaan bij de onderaannemer om zijn productietekening te genereren. De tekeningen die uit het 3D-model worden gegenereerd zijn onderling op elkaar afgestemd en daarmee consistent, waardoor de kans op onduidelijkheden sterk wordt verkleind of zelfs verdwijnt.

De werktekeningen worden gegenereerd door de aannemer en onderaannemers

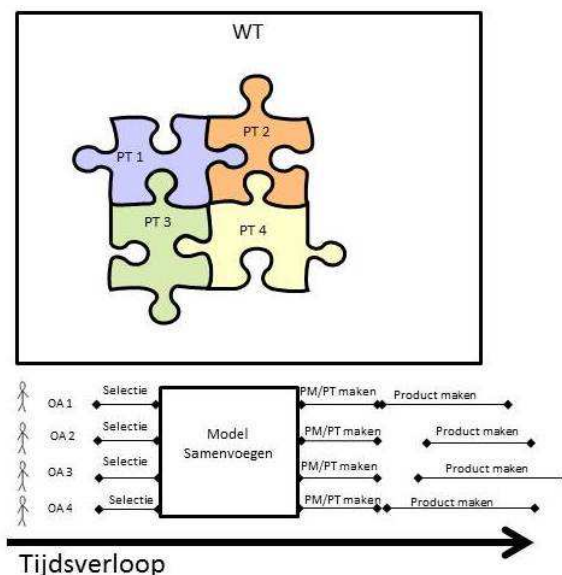
Bij het *Virtueel Bouwen* worden de werktekeningen door de aannemer in samenwerking met de onderaannemers gegenereerd. Naar verwachting zal dit doorlooptijden verkorten, doordat de architect geen werktekeningen genereert. Hierbij wordt het TO overgedragen van de architect naar de aannemer en onderaannemers voor het genereren van werk- en productietekeningen (UO). Dit kan

iteraties verminderen, omdat in het eerste deel van het onderzoek is gebleken dat de werktekeningen die de architect genereert vaak leiden tot een onuitvoerbaar ontwerp.

Dit blijkt ook bij het project Camino Medical Office Building (Eastman, Teicholz, Sacks & Liston, 2008), waarbij de aanpak is gevolgd om de werktekeningen te laten genereren door de aannemers en onderaannemers en niet door de architect. De architect heeft geen inspanningen verricht tot een gedetailleerd ontwerp voor de uitvoering, waarmee tijd is bespaard tijdens het uitwerken van het Uitvoeringsgereed Ontwerp. Naar voren is gekomen dat tijdens het bouwproces verschillende eisen worden gesteld aan het ontwerp. Het is daarom lastig om hetzelfde ontwerp en daarmee tevens het 3D-model te behouden gedurende het proces. Daarom is het van belang dat de aannemer zelf het 3D-model opbouwt en de aanpassingen verwerkt gedurende het werkproces om het gewenste niveau te verkrijgen in het model (Kymell, 2008).

Alle onderaannemers in het begin bij het nieuwe proces betrokken

Bij het *Virtueel Bouwen* worden alle onderaannemers in één keer betrokken bij de ontwikkeling van de werk- en productietekeningen. Dit verschilt met het huidig werkproces, waar de onderaannemers gefaseerd betrokken worden bij het proces. Door ze tegelijk te betrekken in de ontwikkeling van de werk- en productietekeningen, kunnen de doorlooptijden worden verkort. De informatie die van elkaar nodig kan namelijk in één keer op elkaar afgestemd worden, in plaats van het doorschuiven van informatie door de werkvoorbereider. Figuur 10 geeft dit visueel weer.



Figuur 10: Gelijktijdige selectie onderaannemers

Huang (2005) concludeert in zijn onderzoek dat doorlooptijden verkort worden door meer in één keer te tekenen en door meer in één keer te bepalen (niet alleen één product, maar bijvoorbeeld ook de afstemming met andere producten).

Bij het project van Camino Medical Office Building (Eastman, et al, 2008) is ervoor gekozen om de onderaannemers vroegtijdig in te schakelen. Bij dit project is gebleken dat er sprake is van een betere samenwerking wanneer alle partijen in één keer bij het project worden betrokken. Bij dit project heeft deze aanpak tijd bespaard bij het ontwerpen van de werk- en productietekeningen. Daarnaast heeft de betreffende opdrachtgever aangegeven verder te gaan met de ontwikkeling van deze procesaanpak en hebben de meeste projectdeelnemers het gevoel gehad dat de inspanningen en de samenwerking succesvol zijn verlopen en hebben geleid tot een aanzienlijke tijdsverkortung.

Tegenstrijdigheden van het tekenwerk vanuit TO worden aangepakt

Doordat het TO een input is waarvoor in de meeste gevallen de architect verantwoordelijk is, kan er weinig aan veranderd worden voor de werkvoorbereider. Dit houdt in dat de tegenstrijdigheden vanuit de TO buiten de invloed van de werkvoorbereider vallen, zowel in het huidig werkproces als bij het *Virtueel Bouwen*. In de eerste stap Model Samenvoegen worden de tegenstrijdigheden vanuit het TO aangepakt. Dit kan mede doordat de verschillende partijen (werkvoorbereider, projectleider, modelleur en onderaannemers) betrokken zijn bij het Model Samenvoegen. Daarbij wordt er een 3D-model opgebouwd voor het genereren van de werk- en productietekeningen. Hierdoor worden de verschillen tijdig gesignaleerd en aangepakt door de experts.

3.6 Samenvatting

Uit de literatuurstudie van *Virtueel Bouwen* kan geconcludeerd worden dat *Virtueel Bouwen* leidt tot verbeteringen ten opzichte van het huidig werkproces (tabel 5). Deze verbeteringen leiden tot een doorlooptijdverkorting voor de werkvoorbereider.

Huidig werkproces		Virtueel Bouwen	
<i>Aanpak, tools</i>	<i>Problemen</i>	<i>Aanpak, tools</i>	<i>Verwachte verbeteringen</i>
<i>Het gebruik van 2D-tekenwerk.</i>	Bij wijzigingen leidt het tot meerdere tekeningen die gewijzigd moeten worden.	<i>Het gebruik van 3D-model.</i>	De tekeningen die uit het 3D-model worden gegenereerd zijn op elkaar afgestemd en bevatten derhalve geen tegenstrijdigheden.
<i>Gefaseerde selectie van de onderaannemers.</i>	De afstemming wordt vaak op basis van ervaring geregeld en daarbij worden aannames gemaakt, die niet altijd blijken te kloppen.	<i>Alle onderaannemers gelijktijdig geselecteerd.</i>	Hierdoor kan de afstemming in één keer worden geregeld en worden geen aannames gemaakt. Dit leidt tot een foutenreductie.
<i>Ontwerpde partijen genereren de werktekeningen.</i>	Dit leidt vaak tot onuitvoerbaar details en een onuitvoerbaar ontwerp.	<i>De aannemer en onderaannemers genereren de werktekeningen.</i>	Hierdoor worden de partijen betrokken bij de werktekeningen die de kennis hebben met betrekking tot het uitvoeren van het ontwerp.
<i>TO als input van het werkproces.</i>	Het TO bestaat in vele gevallen uit tegenstrijdigheden in de documenten.	<i>TO als input van het werkproces.</i>	De tegenstrijdigheden zullen niet veranderd kunnen worden en moeten aangepakt worden tijdens het werkproces.

Tabel 5: Verwachte verbeteringen

In het volgend hoofdstuk wordt de case behandeld. De case studie betreft het pilotproject *19 woningen te Drachten* van Van Wijnen Gorredijk B.V. in samenwerking met Van Wijnen Deventer B.V. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen beide vestigingen. In deze scriptie zal hierna derhalve Van Wijnen worden genoemd, waarmee beide vestigingen worden bedoeld. Bij deze case studie is gekeken of en welke verbeteringen genoemd in tabel 5 zich in de praktijk daadwerkelijk voordoen.

Hoofdstuk 4: Case studie

In dit hoofdstuk wordt de case *19 woningen te Drachten* behandeld. Bij dit project is het nieuwe werkproces *Virtueel Bouwen* toegepast en is onderzocht of de verwachte verbeteringen, zoals is benoemd in hoofdstuk 3 van het werkproces *Virtueel Bouwen*, daadwerkelijk blijken. Om te komen tot de resultaten zijn vergaderingen van het *Virtueel Bouwen* bijgewoond, documenten bestudeerd en gesprekken gevoerd met het projectteam.

Het hoofdstuk begint met een beschrijving van het project en vervolgens gaat het in op de vergelijking met de verwachte verbeteringen. Afsluitend worden de problemen en belemmeringen vanuit de case met betrekking tot het *Virtueel Bouwen* behandeld.

4.1 Project: 19 woningen te Drachten

Het project *19 woningen te Drachten* is één van de drie projecten die als pilotproject door Van Wijnen is gebruikt voor het werkproces *Virtueel Bouwen*. Het gaat om een project van een 19-tal huurwoningen. Het project bestaat uit drie blokken, waarvan twee blokken van vijf woningen en één blok van negen woningen. Om een goed beeld te kunnen vormen van het project wordt hierna het projectteam, de doelen en de focus van het onderzoek beschreven.

Het projectteam

Bij de start van het genereren van de werk- en productietekeningen is een projectteam samengesteld. Daarbij zijn de volgende experts betrokken (alleen de functie wordt benoemd):

<i>Aanwezig bij de start:</i>	<i>Later stadium aanwezig:</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Werkvoorbereider (Aannemer) - Modelleur (Aannemer) - Projectleider (Aannemer) - Onderaannemers: <ul style="list-style-type: none"> • Fundering • Vloeren • Kozijnen • Constructieve binnenwanden • Installatie 	<ul style="list-style-type: none"> - HSB-wanden - Trappen

Doelen van pilotproject

In het *Virtueel Bouwen* ziet Van Wijnen een belangrijke pijler om een optimale concurrentie- en rendementspositie te bewerkstelligen. Daarbij zijn de volgende doelstellingen gesteld:

- “50% vermindering van bouw- en voorbereidingstijd”
- “15% lagere kosten van deel- en eindproducten”

Om het nieuwe werkproces te testen en toe te passen zijn een drietal projecten als pilot aangemerkt. De bedoeling van de pilotprojecten is om te leren omgaan met het nieuwe werkproces en het verder te optimaliseren. Voor deze scriptie is één van de pilotprojecten onderzocht, namelijk *19 woningen te Drachten*. Dit in verband met de tijdsperiode waarin het onderzoek heeft plaatsgevonden. In de volgende paragraaf wordt het verloop van *Virtueel Bouwen* toegelicht.

In het onderzoek voor deze scriptie wordt voor Van Wijnen gekeken naar de mogelijkheden van het werkproces *Virtueel Bouwen* op de verkorting van de voorbereidingstijd (de doorlooptijden bij het genereren van de werk- en productietekeningen).

Focus onderzoek:

De focus van het onderzoek dat ten grondslag ligt aan deze scriptie, ligt op de mate van realisatie van de verwachte verbeteringen van het *Virtueel Bouwen*, zoals weergegeven in tabel 5 (paragraaf 3.6.).

4.2 Virtueel Bouwen bij project: 19 woningen te Drachten

In deze paragraaf wordt het verloop van het *Virtueel Bouwen* bij het project *19 woningen te Drachten* toegelicht. Het verloop wordt beschreven door een omschrijving te geven van de input, het proces en de output. Deze omschrijvingen zijn gebaseerd op de vergaderingen van de onderaannemers met het projectteam.

Input

De input van het project bestaat uit het Technisch Ontwerp, namelijk uit TO Bouwkundig, TO Constructief en het bestek. Het TO Bouwkundig en TO Constructief bestaan uit 2D-tekenwerk. Het installatie ontwerp was niet aanwezig als input bij het project.

Proces:

Doordat de input van het *Virtueel Bouwen* niet bestond uit aspectmodellen, maar uit 2D-tekeningen vanuit de ontwerpende partijen, is er voor gekozen om zelf een 3D-model te genereren. Vanuit het 3D-model dienen de werk- en productietekeningen gegenereerd te worden. Om het proces verder toe te lichten zal het verloop aan de hand van het schema (figuur 6) beschreven worden (Model Samenvoegen, het verloop tijdens en na Model Samenvoegen).

Model Samenvoegen:

De eerste stap Model Samenvoegen is uitgevoerd door het houden van vergaderingen om het ontwerp te coördineren, daarbij is een besluitenlijst gecreëerd om het ontwerp van het TO te optimaliseren en de tegenstrijdigheden eruit te halen. De besluitenlijst (tabel 6) in deze scriptie is gefilterd met betrekking tot het ontwerp.

Een voorbeeld van een ontwerpwijziging is nummer 36 van de besluitenlijst waar de onderaannemer van het kozijn aangeeft dat het stelkozijn, zoals is bedacht, niet kan worden geleverd met de gestelde garanties. Een spouwlat moet worden toegevoegd om te kunnen voldoen aan de gestelde garanties. Tevens is er een tegenstrijdigheid met betrekking tot de dakconstructie vastgesteld. Deze staat op drie verschillende manieren beschreven in het TO, namelijk op de TO Bouwkundig staat een afschotisolatieplaat getekend, terwijl op de TO Constructief een druklaag met afschotisolatieplaat staat getekend en uiteindelijk staat in het bestek een afschotsmeerlaag op afschot en een vlakke isolatieplaat.

Besluitenlijst: 19 woningen te Drachten			
Nr.	Actie	Bestek	Onderwerp
10	VW	33.30	Kozijn in kopgevels 440 mm (koppenmaat) opschuiven conform advies constructeur, zodat de kalkzandsteenwand in 100mm dikte kan worden uitgevoerd.
17			Zo weinig mogelijk HWA toepassen, dus afschot bovenste dak naar voorgevel laten lopen, nood overstorten dan in voorgevel.
19		33.33	Afschot ter plaatse van dakterras is 12 mm / m1, op het bovenste dak is het afschot 16 mm / m1.
20			Negge = 65 mm.
31		24.41.51	Dagkant betimmering uitvoeren in Progé type C7 (120X12mm) rest van kalkzandsteen stukadoren.
34		24.52	HSB wand 30 mm dikker maken (naar buiten), metselwerk op kopgevel een kop groter maken.
36		30.31	Stelkozijn bestaat uit vurenhout (inclusief spouwlat), niet van multiplex zoals getekend, dikte conform detail onderaannemer Kozijn.

Tabel 6: Besluitenlijst: 19 woningen te Drachten

Verloop tijdens Model Samenvoegen en na Model Samenvoegen:

Tijdens het Model Samenvoegen hebben de onderaannemers van de fundering, vloeren en binnenwanden al een productmodel (3D-model van een product) ontworpen en ter beoordeling ingebracht in de vergadering. Dit is gebeurd op het moment dat het installatiemodel nog niet gereed was. Daarbij zijn er aannames gemaakt van de installaties. Deze productmodellen (fundering, vloeren en binnenwanden) moesten na het Model Samenvoegen gewijzigd worden in verband met installaties ten opzichte van de aannames.

Daarnaast is gebleken dat een tegenstrijdigheid uit het TO met betrekking tot de binnenwand er niet is uitgehaald voor het ontwikkelen van het productmodel. Het verplaatsen van een raamsparing in een binnenwand stond namelijk op twee verschillende manieren beschreven in het TO (Bouwkundig en Constructief). Dit heeft later geleid tot een punt in de besluitenlijst, maar deze tegenstrijdigheid is niet voor het genereren van het productmodel eruit gehaald. In een later stadium heeft dit geleid tot een herontwerp van de binnenwand.

Bij het genereren van de productmodellen is gebleken dat enkele onderaannemers (installatie, binnenwanden en vloeren) niet in staat zijn om de eigen productietekening (waarmee het productieproces wordt aangestuurd) te genereren vanuit het productmodel. Dit hebben de onderaannemers aangegeven tijdens de vergaderingen. Het gevolg van deze belemmering is dat de

vloeren niet vanuit het 3D-model konden worden gecontroleerd en uiteindelijk het 2D-tekenwerk gecontroleerd en verbeterd moest worden.

Doordat de onderaannemers vroegtijdig in het proces zijn betrokken, zijn de werk- en productietekeningen gereed voor de start van de bouw. Dit komt door de keuze om het genereren van de werk- en productietekeningen onafhankelijk van de uitvoeringsplanning te laten afronden, waardoor voor de start van de bouw het ontwerp gereed was voor de uitvoering. Daarnaast hebben de *clash controles* gezorgd voor de afstemming tussen de productmodellen en het 3D-model. Dit bleek een meerwaarde, vooral op het gebied van visualisatie en afstemming (praktijk 1 en 2).

Praktijk 1, vergadering 7:

De discussie over de leidingen door de funderingsbalk leidt tot een aanpassing van de leidingen. Deze moeten recht door de balk en niet schuin. Door de visualisatie van het 3D-model zagen de projectmedewerkers het in één oogopslag.

Praktijk 2, vergadering 6:

Bij de *clash controle* tussen het leidingwerk en de vloeren, zag men gelijk waar het ontwerp niet voldeed. In het 2D-tekenwerk moet men normaal zoeken tussen meerdere tekeningen om te controleren.

De tijd dat het *Virtueel Bouwen* in beslag heeft genomen heeft niet geleid tot de verwachte verkorting van de voorbereidingstijd met 50%. De voorbereidingstijd heeft 13 weken (begin april t/m 20 juni 2012) in beslag genomen, in het huidig werkproces bestaat het uit 12 weken. De start van het traject is lastig te bepalen, mede doordat er verschillende onderaannemers al gestart waren met het ontwikkelen van het productmodel en doordat het installatiemodel nog niet gereed was. Het einde van het traject is bepaald aan de hand van de datum van de definitieve werktekening (20 juni 2012).

Output:

De output van het *Virtueel Bouwen* heeft werk- en productietekeningen opgeleverd. Deze tekeningen bleken van een hoog niveau, vanwege het feit dat het tekenwerk op elkaar is afgestemd en geen tegenstrijdigheden kent. Daarnaast heeft het projectteam het niveau beoordeeld en goed bevonden, er zijn namelijk geen vernieuwde werktekeningen gegenereerd.

4.3 Vergelijking *Virtueel Bouwen* met verwachte verbeteringen

Bij het bestuderen van *Virtueel Bouwen* zijn de verwachte verbeteringen ten opzichte van het huidig werkproces bekeken. Tijdens de case is gekeken of deze verwachte verbeteringen daadwerkelijk blijken. Door het bijwonen van de vergaderingen, gesprekken met het projectteam en het bestuderen van de documenten is dit geconcludeerd. De resultaten uit de case zijn vergeleken met de verwachte verbeteringen van *Virtueel Bouwen*. Tabel 7 geeft deze vergelijking weer.

Virtueel Bouwen		Case Studie
<i>Aanpak en tools</i>	<i>Verwachte verbeteringen</i>	<i>Verbeteringen?</i>
<i>Het gebruik van 3D-model</i>	De tekeningen die uit het 3D-model worden gegenereerd zijn op elkaar afgestemd en er zijn geen tegenstrijdigheden.	-De werktekeningen die uit het 3D-model zijn gegenereerd zijn op elkaar afgestemd.
<i>Alle onderaannemers gelijktijdig geselecteerd</i>	Hierdoor kan de afstemming in één keer worden geregeld en worden er geen aannames gemaakt.	Overleg was chaotisch en vaak was er sprake van teveel partijen aan tafel.
<i>De werktekeningen gegenereerd door de aannemer en onderaannemers</i>	De partijen die de kennis hebben met betrekking tot het uitvoeren van het ontwerp worden betrokken bij het genereren van de werktekeningen.	-De werktekeningen die uiteindelijk uit het 3D-model zijn gegenereerd zijn van een hoog niveau gebleken. -Werk- en productietekeningen zijn gereed voor de start van de uitvoering.
<i>TO als input van het werkproces</i>	De tegenstrijdigheden zullen niet veranderd kunnen worden en moeten aangepakt worden tijdens het werkproces.	-De TO heeft tegenstrijdigheden in het ontwerp zitten. -Deze zijn aangepakt gedurende het <i>Virtueel Bouwen</i> aan de hand van een besluitenlijst.

Tabel 7: Vergelijking case met verwachte verbeteringen

Als eerste valt uit de case op dat de voorbereidingstijd niet is verkort (13 om 12 weken). Het doel was om de voorbereidingstijd (doorlooptijden) te halveren. Om te kijken naar de oorzaken waarom de voorbereidingstijd niet is verkort valt uit de vergelijking een belangrijke oorzaak te halen.

In de bijlage I van het verslag is van elke vergadering weergegeven welke partijen bij elkaar zaten en wat er besproken is tijdens de vergadering. Daar valt uit te concluderen dat tijdens de vergaderingen regelmatig partijen aan tafel zaten die niets met het onderwerp of probleem te maken hadden. Hierdoor waren de vergaderingen niet effectief en hebben ze niets bijgedragen aan de verkorting van de doorlooptijden.

Een ander punt is dat enkele tegenstrijdigheden van het TO in een later stadium er uit zijn gehaald dan tijdens Model Samenvoegen. Dit heeft onder meer geleid tot een herontwerp van de binnenwand. De tekeningen die uit het 3D-model zijn gegenereerd zijn van een hoog niveau, dat blijkt uit dat de onderlinge afstemming en uit het gesprek met het projectteam. Dit blijkt ook uit het feit dat er geen vernieuwde versie is gekomen van de werktekeningen. Daarnaast waren de werk- en productietekeningen voor de start van de bouw gereed.

In de volgende paragraaf wordt het 3D-model ter ondersteuning aan het werkproces *Virtueel Bouwen* afzonderlijk toegelicht.

4.4 3D-model ter ondersteuning van het *Virtueel Bouwen*

Tijdens het *Virtueel Bouwen* is gekeken naar het 3D-model ter ondersteuning aan het proces. Uit de vergaderingen en gesprekken met het projectteam blijkt het 3D-model ook andere belangrijke voordelen en ook beperkingen biedt ten opzichte van het 2D-tekenwerk.

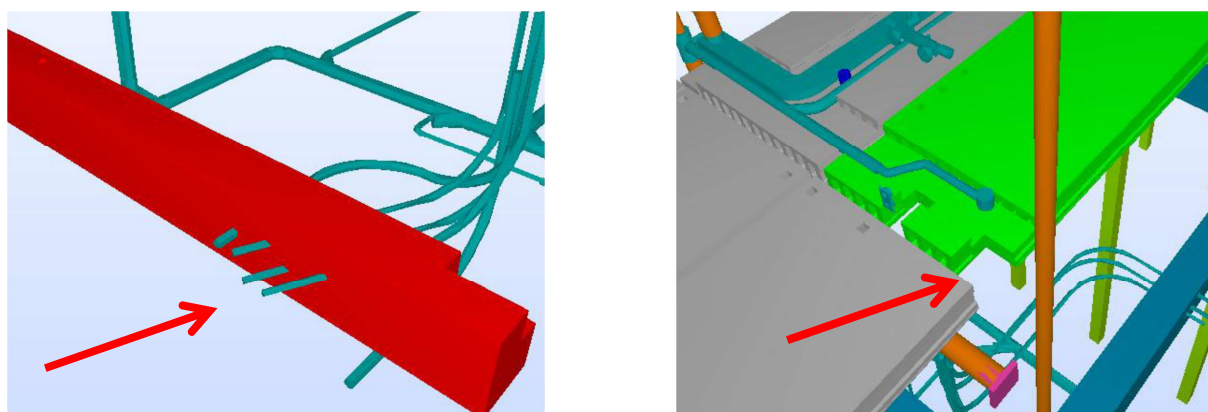
Visualisatie en communicatie

Bij het uitwisselen van de productmodellen bleken de gevolgen van een product direct en goed zichtbaar. Men zag snel wat een probleem of knooppunt was. Aan de hand van de visualisatie is gebleken dat men duidelijker kon overleggen wat een probleem is en hoe het knooppunt in elkaar zit.

Clash controles

De *clash controles* van het 3D-model en de productmodellen, bleken een grote toegevoegde waarde. Hierdoor werd het inzichtelijker waar het model niet aan voldoet, de gevolgen konden worden gezien van een ontwerp en er kon worden aangegeven wat er mogelijk gebeuren moet. Dit is tevens gebleken bij de ontmoetingen, waarbij de modellen werden gecontroleerd.

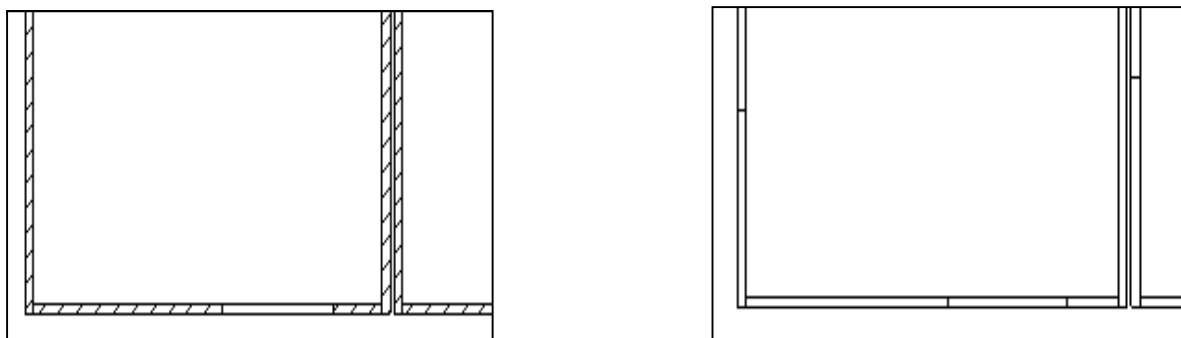
Naast de toegevoegde waarde blijken de *clash controles* alleen een beperkt deel te kunnen laten zien van de onvolkomenheden. Uit de ontmoetingen, waar de *clash controles* zijn toegepast, blijkt dat naast de *clash controle* er ook nog zelfstandig in het model moet worden gekeken. Bijvoorbeeld een overbodige sparing leidt niet tot een clash, maar is wel een onvolkomenheid. Dit kan alleen gezien worden door in het 3D-model te kijken. De *clash controles* leveren alleen geografische clashes. In figuur 11 is weergegeven dat een overbodige sparing niet tot een clash leidt, terwijl een leiding door de fundering wel leidt tot een clash bij de *clash controles*. In bijlage III zijn meerdere voorbeelden van *clash controles* te vinden van de case.



Figuur 11: Links clash tussen leiding en fundering, wordt door *clash controles* aangegeven. Rechts een overbodige sparing, wordt niet aangegeven door *clash controles*.

Uitwisseling modellen door middel van IFC

Bij de uitwisseling van de modellen is gebleken dat data-verlies optreedt door het omzetten van het model naar een IFC-bestand. Dit blijkt uit het inladen van een productmodel van de vloeren en wanden waar de arceringen alsmede de wandnummers en -sterktes wegvallen. Hierdoor zijn extra handelingen nodig om ervoor te zorgen dat de arceringen terug in het model komen. Dit is nadelig gebleken omdat het productmodel van de onderaannemer niet in zijn geheel kan worden overgenomen in het 3D-model. Figuur 12 geeft dit weer.



**Figuur 12: Links basismodel met arceringen en geen producteigenschappen.
Rechts IFC-productmodel met verlies arceringen, maar wel dilatatievoegen als producteigenschap.**

Het overzetten naar het IFC uitwisselbestand is noodzakelijk omdat de verschillende partijen (aannemer en onderaannemers) werken met verschillende softwareprogramma's. Hierdoor kunnen de onderaannemers met hun eigen software het productmodel maken. Daardoor zijn de onderaannemers in staat om vanuit het productmodel het eigen productieproces aan te sturen. Wanneer ze moeten omschakelen naar een andere software (zelfde als projectteam) is dit niet het geval.

Echter de omschakeling naar een andere software is een dermate kostbare aangelegenheid dat dit in de praktijk niet mogelijk is.

4.5 Samenvatting

In deze paragraaf worden de positieve punten, de problemen en de belemmeringen van het *Virtueel Bouwen* samengevat. Deze punten worden meegenomen in het ontwerp van het verbeterde werkproces. Gekozen is om deze samenvatting puntsgewijs neer te zetten, omdat dit een duidelijk overzicht weergeeft.

De positieve punten van Virtueel Bouwen

- De werktekeningen zijn door de aannemer en de onderaannemers gegenereerd, wat heeft geleid tot een uitvoerbaar ontwerp.
- Het 3D-model heeft bij het genereren van de tekeningen ervoor gezorgd dat het tekenwerk op elkaar afgestemd is. Hierdoor ontstonden er geen verschillen bij bijvoorbeeld materialen en maatvoering tussen de verschillende tekeningen.
- Het 3D-model heeft tevens als visualisatietechniek zijn dienst bewezen. De gevolgen van een beslissing of een ontwerp is zichtbaar waarbij men meer inzicht van het knooppunt krijgt.

Tabel 8 geeft de problemen en belemmeringen met de oorzaken weer.

<i>Virtueel Bouwen</i>		
	<i>Problemen</i>	<i>Oorzaak</i>
<i>Proces:</i>	Overleg was bij enkele vergaderingen chaotisch en vaak zaten er partijen bij die niets met het probleem of knooppunt te maken hebben.	Er zijn teveel partijen in één keer betrokken bij het project.
<i>Ontwerp:</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Installatiemodel was nog niet gereed, wat leidde tot herontwerpen van de vloeren, fundering en binnenwanden. - Tegenstrijdigheden zaten nog in het ontwerp, wat leidde tot herontwerp van de binnenwanden. 	Ontwerp niet voldoende gereed voor samenwerking met onderaannemers.
<i>3D-model</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Niet alle productmodellen konden vanuit het 3D-model worden gecontroleerd. Er zijn producten via 2D tekenwerk gecontroleerd en verder ontwikkeld. - Bij het inladen van het productmodel ontbreken arceringen en andere gegevens. 	<ul style="list-style-type: none"> - Enkele onderaannemers geven aan niet hun eigen PT in het 3D-model te kunnen verwerken. - Data uitwisseling via IFC leidt tot dataverlies.

Tabel 8: Problemen uit de case

Tijdens de case is gebleken dat zaken anders zijn uitpakkt dan vooraf was geprognostiseerd. Het werkproces *Virtueel Bouwen* heeft de doorlooptijden niet verkort, tevens is het niet helemaal uitgevoerd zoals gepland. Doordat een andere aanpak is gehanteerd kunnen de conclusies niet hard gesteld worden. Om toch te komen tot het doel van het onderzoek, herontwerp *Virtueel Bouwen*, wordt in het volgende hoofdstuk een reflectie van de case studie besproken.

Hoofdstuk 5: Reflectie onderzoek

Tijdens het uitvoeren van de case studie is geconstateerd dat het *Virtueel Bouwen* in de praktijk op een andere manier is toegepast. Wel is het 3D-model de basis gebleven en zijn de meeste onderaannemers bij de start geselecteerd. In dit hoofdstuk wordt de case gereflecteerd.

Doordat het *Virtueel Bouwen* tijdens de case studie anders is toegepast dan vooraf gepland, heeft het gevolgen voor de resultaten van het onderzoek, welke in dit hoofdstuk behandeld zullen worden. Eerst worden de verschillen van het *Virtueel Bouwen* en de case studie beschreven, waarna de gevolgen van de verschillen besproken worden.

5.1 Verschillen *Virtueel Bouwen* en case studie

Om te kunnen kijken welke gevolgen de case *19 woningen te Drachten* heeft voor het onderzoek, worden eerst de verschillen tussen het *Virtueel Bouwen* en de case beschreven (Tabel 9).

	<i>Virtueel Bouwen</i>	Case Studie
<i>Input:</i>	<ul style="list-style-type: none"> - 3D-aspectmodellen. - Bouwkundig, Constructief en Installatie. 	<ul style="list-style-type: none"> - 2D tekenwerk. - Bouwkundig en Constructief. - Installatiemodel bleek geen input.
<i>Proces:</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Onderaannemers in staat om PT in een 3D-model te verwerken. - Alle onderaannemers die productietekeningen genereren bij de start betrekken. - Geen iteraties in het schema. 	<ul style="list-style-type: none"> - Enkele onderaannemers niet in staat om PT in het 3D-model te verwerken. - HSB-wand en trap waren niet aanwezig bij de start van het ontwikkelen van de werk- en productietekeningen. - Er zijn iteraties nodig om productmodellen op elkaar te laten afstemmen.
<i>Output</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Werk- en productietekeningen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Werk- en productietekeningen.
<i>Tool:</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Het gebruik van 3D-model. 	<ul style="list-style-type: none"> - Het gebruik van 3D-model.

Tabel 9: Verschillen *Virtueel Bouwen* en case studie

Bij het bedachte schema (figuur 6) staat het installatie ontwerp als input van het proces. Doordat blijkt dat de overige onderaannemers al gestart waren met het ontwerpen van de producten voordat het ontwerp van de installaties gereed was, kon het installatiemodel niet als input dienen. Uiteindelijk wordt door het projectteam geconcludeerd, dat de overige onderaannemers te vroeg zijn begonnen met het ontwerpen van hun product.

Daarnaast bleek dat niet alle onderaannemers geselecteerd waren bij de start van het werkproces en dat enkele onderaannemers niet in staat waren de productietekeningen in het productmodel te verwerken. Dit is wel een basisgedachte bij het *Virtueel Bouwen*. Iteraties blijken toch nodig te zijn, onder andere bij de afstemming tussen de installaties met de vloeren en fundering. Dit is in praktijk 3 en 4 weergegeven. Een overzicht van de iteraties tijdens de case is in bijlage II te vinden.

Praktijk 3:

De onderaannemer van de vloer heeft zijn ontwerp moeten aanpassen na een wijziging van het leidingverloop. Wel moet het leidingverloop voldoen aan de ontwerpregels van de vloeren. Hierdoor zijn er iteraties nodig om de juiste afstemming te vinden.

Praktijk 4:

De kozijnonderaannemer kon zijn ontwerp van kozijnen niet afmaken, omdat hij informatie nodig heeft van de HSB-wand. Het gaat hier om de aansluiting van het stelkozijn met de HSB-wand. De dikte van de wand is bepalend voor de maat van de stelkozijn en uiteindelijk het kozijn.

5.2 Beperkingen

Doordat de aanpak anders is gebleken tijdens het project *19 woningen te Drachten*, heeft het gevolgen voor de uitkomsten van het onderzoek. Bij het beschrijven van de verschillen tussen *Virtueel Bouwen* en het project, zijn een aantal beperkingen gebleken ten aanzien van het onderzoek.

5.2.1 Beperkingen van het onderzoek

De belangrijkste beperking is dat het lastig is om te concluderen of *Virtueel Bouwen* bijdraagt aan de doorlooptijdverkorting bij de werkvoorbereider.

Het ontbreken van aspectmodellen als input

De input van het *Virtueel Bouwen* bestond uit 2D-tekenwerk, waardoor een andere aanpak is ontstaan voor het Model Samenvoegen. Tevens is gebleken dat het installatiemodel geen input was bij het werkproces, hierdoor is de conclusie of *Virtueel Bouwen* bijdraagt aan de doorlooptijdverkorting niet hard te stellen, omdat onder andere de *clash controle* van het 3D-model niet toegepast kon worden bij het coördineren van Bouwkundig, Constructief en Installatie aspectmodel. Tijdens de case studie is gebleken dat vooral het ontbreken van het installatiemodel een storende factor is geweest. Hierdoor hebben meerdere onderaannemers niet het ontwerp van het desbetreffende product kunnen afronden.

Niet alle onderaannemers bij de start betrokken

Niet alle onderaannemers zijn betrokken bij de start. Dit heeft mede gevolgen voor de conclusie met betrekking tot de doorlooptijdverkorting, die daardoor niet hard te stellen is.

Naast dit verschil met betrekking tot de selectie van de onderaannemers, is gebleken dat meerdere onderaannemers niet in staat waren om de productietekening in het productmodel te verwerken. Dit is een beperking van de case studie voor het onderzoek, omdat verwacht werd dat *clash controle*, als tool van het 3D-model, een bijdrage levert door visualisatie en eliminatie van onvolkomenheden. Hierdoor is het lastig te bepalen of *Virtueel Bouwen* bijdraagt aan een doorlooptijdverkorting.

Doorlooptijden (voorbereidingstijd)

Bij het bestuderen van het huidig werkproces blijkt dat de voorbereidingstijd lastig te bepalen is, omdat dit op ervaring is gebaseerd. Het hangt vaak nauw samen met het soort project, de samenwerking en andere zaken. Hierdoor is het vergelijken van de voorbereidingstijd met andere projecten lastig en arbitrair (op basis van ervaring). Uit de gesprekken is gebleken dat verschillende voorbereidingstijden worden aangehouden. Voor het onderzoek is gekozen om twaalf weken aan te houden, omdat dit uit meerdere gesprekken is gebleken als richtlijn voor de voorbereidingstijd.

Bij de analyse met betrekking tot de doorlooptijdverkorting is op detailniveau (per onderaannemer) bekeken of sprake is van verkorting. Doordat tijdens de case studie is gebleken dat een andere aanpak is gehanteerd, zijn deze resultaten niet betrouwbaar gebleken. Om een conclusie te trekken met betrekking tot de voorbereidingstijd is gekeken naar het geheel, met als kanttekening dat de start lastig te bepalen is.

5.3 Interpretatie van de onderzoeksresultaten

In de reflectie van de case studie over het project *19 woningen te Drachten* is gebleken dat enkele conclusies niet hard te stellen zijn, omdat de vooraf geplande aanpak veranderd is tijdens het project. Deze verandering heeft gevolgen gehad voor de conclusies van de problemen die zijn ontstaan tijdens het uitvoeren van het werkproces *Virtueel Bouwen*.

Om te komen tot conclusies vanuit de case, worden de onderzoeksresultaten doorgenomen en gereflecteerd. Uiteindelijk zijn de oorzaken van de problemen geconcludeerd. In het volgende hoofdstuk zal worden gekeken naar het herontwerp van *Virtueel Bouwen*.

Teveel onderaannemers in het begin betrokken en aan één tafel

Gebaseerd op de vergaderingen is het gebleken dat het betrekken van de meeste onderaannemers bij de start niet veel heeft opgeleverd en vaak onduidelijkheid heeft gecreëerd. Hieruit valt te concluderen dat alle partijen bij de start, niet bijdraagt aan een doorlooptijdverkorting. Uit de vergaderingen blijkt dat het betrekken van meerdere partijen aan tafel zaten die niets met het probleem of oorzaak te maken hebben. Dit heeft ertoe geleid dat sommige onderaannemers op elkaar moesten wachten of zelfs geen inbreng hadden tijdens de vergaderingen. In praktijk 5 en 6 worden bespreekpunten vanuit de vergaderingen weergegeven. De overige vergaderingen zijn in de bijlage I verwerkt, waaruit blijkt dat bij vijf van de zeven vergaderingen er onderaannemers aanwezig waren die geen of weinig invloed hadden.

Praktijk 5, vergadering 2:

Tijdens deze vergadering gingen de discussies (4 van de 5) over de kozijnen en de binnenwanden. Slechts één punt had betrekking op de overige partijen die tevens aanwezig waren (vloeren, fundering en installateur).

Praktijk 6, vergadering 6:

Bij deze vergadering hadden de onderaannemers van de kozijnen en binnenwanden geen inbreng. De bespreekpunten gingen voornamelijk over de installaties met de vloer en fundering.

Ontwerp niet op niveau voor samenwerking met de onderaannemers

Bij het geplande *Virtueel Bouwen* wordt in de eerste stap (Model Samenvoegen) de input gecoördineerd, waarna de onderaannemers starten met het ontwikkelen van de productmodellen. Tijdens de case is gebleken dat de onderaannemers al gestart waren met de productmodellen wat heeft geleid tot herontwerpen in een later stadium. Hierdoor kan wel geconcludeerd worden dat het ontwerp op niveau moet worden gebracht vóór de samenwerking met de onderaannemers. Eerst dienen de tegenstrijdigheden (Bouwkundig en Constructief) eruit gehaald te worden en dient het installatiemodel gereed te zijn. Uit de conclusie van het projectteam blijkt eveneens dat de overige onderaannemers te vroeg zijn begonnen met ontwerpen van hun product.

O.A. niet in staat om productietekening in productmodel (3D) te verwerken

Doordat is gebleken dat enkele onderaannemers niet in staat waren om de productietekening in het productmodel te verwerken, valt slechts gedeeltelijk te concluderen of de *clash controles* en visualisaties hebben bijgedragen om de onvolkomenheden eruit te halen. Bij de overige onderaannemers, die wel in staat bleken om de productietekening in het model te verwerken, hebben de *clash controle* en visualisaties bijgedragen aan het opsporen van de onvolkomenheden.

De conclusie luidt dat het van belang is dat de onderaannemers in staat zijn om de productietekeningen in het productmodel te verwerken. Hierdoor worden de voordelen van het *Virtueel Bouwen* beter benut.

Om te kijken naar de mogelijke verbeteringen van het *Virtueel Bouwen* zijn de oorzaken van de problemen weergegeven in tabel 10. Op basis van deze oorzaken wordt in het volgende hoofdstuk gekeken naar mogelijke verbeteringen.

	Case studie		Herontwerp
	<i>Aanpak met conclusie probleem case studie</i>	<i>Beperking conclusie probleem vanuit case studie</i>	<i>Oorzaak meegenomen naar het herontwerp</i>
<i>Proces:</i>	Alle onderaannemers gelijktijdig betrekken heeft geleid tot een chaotisch overleg en het bij elkaar brengen van verkeerde partijen.	Twee onderaannemers zijn niet direct bij het begin betrokken.	De problematiek van teveel onderaannemers aan tafel.
<i>Ontwerp:</i>	Installatiemodel en de coördinatie waren nog niet gereed bij de start van het ontwerpen door de onderaannemers.	Installatiemodel bleek geen input, daarmee valt niet te concluderen of in de situatie het wel een input is de doorlooptijden worden verkort.	Ontwerp nog niet gereed voor de ontwikkeling met de onderaannemers.
<i>3D-model:</i>	Onderaannemers dienen de productietekeningen in het 3D-model te verwerken. Dit bleek bij enkele niet mogelijk, waardoor er een 2D traject ontstond.	Hierdoor valt niet te concluderen of de doorlooptijden bij <i>Virtueel Bouwen</i> verkort worden.	Onderaannemers die de PT niet in het 3D-model kunnen verwerken zorgen voor een extra traject (2D).

Tabel 10: Oorzaken problemen voor herontwerp

Hoofdstuk 6: Verbeterd ontwerp *Virtueel Bouwen*

In dit hoofdstuk wordt een verbeterd ontwerp behandeld van het *Virtueel Bouwen*. In het voorgaande hoofdstuk is besproken hoe het werkproces in het project *19 woningen te Drachten* is verlopen. Bij de case is er een analyse gemaakt van de problemen en de verbeteringen van *Virtueel Bouwen*. Daarnaast zijn de beperkingen van het onderzoek aangegeven en is vanuit de problemen gekeken naar een vernieuwd ontwerp. De voorstellen om de problemen op te lossen komen vanuit een literatuurstudie, waarbij specifiek is gekeken naar productrelaties en samenwerking met het 3D-model.

6.1 Mogelijke verbeteringen *Virtueel Bouwen*

Vanuit de case studie zijn de problemen vermeld in tabel 10 met de daarbij behorende oorzaken. Vanuit de oorzaken zijn mogelijke verbeteringen vanuit een literatuurstudie beredeneerd. Deze verbeteringen zullen in deze paragraaf behandeld worden.

Bij de problematiek van teveel onderaannemers aan één tafel is als mogelijke verbetering gekeken naar koppelvorming. Hierbij is het onderzoek van Veenstra, et al (2006) en Martin & Ishii (2002) relevant. In deze onderzoeken komen productrelaties naar voren om te kijken op welke manier gestandaardiseerd kan worden. *Virtueel Bouwen* heeft te maken met unieke projecten, waardoor het niet interessant is om te gaan standaardiseren, maar de productrelaties kunnen helpen om de juiste producten bij elkaar te zetten.

In het onderzoek van Veenstra, et al (2006) wordt een project in producten ingedeeld door middel van NL-SfB codering, wat een codering is voor bouwproducten. Daarbij worden de producten geclassificeerd in hoofdgroepen (onder andere onderbouw en bovenbouw). Bij het indelen van een gebouw in producten, kan een matrix worden opgebouwd om te kijken welke producten informatie van elkaar nodig hebben.

		NL-SfB elementen								
		Levert informatie aan								
		Onderbouw				Bovenbouw				
NL-SfB elementen hoofdgroepen	Onderbouw	Funderingspalen	Funderingsbalken	Installaties	Beg. Vloer	Binnenwand Beg. Grond	Stelkozijn beg. Grond	Kozijnen beg. Grond	Buitenwand beg. Grond	
		Funderingspalen	x							
		Funderingsbalken	x	x	x	x				
		Installaties	x	x	x					
	Beg. Vloer	x	x			x				
	Bovenbouw	Binnenwand beg. grond				x				
	Stelkozijn beg. grond					x	x	x		
	Kozijnen beg. grond					x		x		
	Buitenwand beg. grond					x	x			

Figuur 13: Productrelaties

Figuur 13 geeft een voorbeeld van een matrix weer. Hierin staat aangegeven welke producten informatie leveren aan andere producten. Bij het invullen van een dergelijke matrix kan men afleiden welke producten raakvlakken met elkaar hebben, waarmee inzichtelijk wordt welke producten

informatie van elkaar nodig hebben. Op deze manier kan bekeken worden welke producten bij elkaar gezet moeten worden.

Naast de problematiek van teveel onderaannemers, bleek het ontwerp niet op voldoende niveau. De tegenstrijdigheden van het TO werden niet gelijk uitgethaald en het installatiemodel bleek niet gereed. Dit heeft geleid tot herontwerpen van enkele onderaannemers. Het installatiemodel is geen input vanuit het TO, wat nog ontwikkelt dient te worden. Voor de ontwikkeling met de onderaannemers dienen eerst de tegenstrijdigheden uit het TO gehaald te worden en dient het installatiemodel gereed te zijn.

Een ander belangrijk onderdeel is dat enkele onderaannemers niet in staat blijken om de eigen productietekening in het 3D-model te verwerken. Dit kan bij de selectie van de onderaannemers worden meegenomen, door op basis van ervaring met betrekking tot het 3D-model te selecteren.

Iteraties zijn nodig om te komen tot een goede afstemming van de producten onderling en met het voorgaande (TO en installaties). Dit blijkt tevens uit het project Camino Medical Office Building (Eastman, et al, 2008), waar elke onderaannemer een ontwerp van een product in 3D genereert. Het 3D-ontwerp van een product wordt door middel van een wekelijkse ontmoeting, samen met de 3D-ontwerpen van andere onderaannemers, gecontroleerd door middel van een *clash controles*. Dit is een iteratief proces tot een 3D-model ontstaat dat goedgekeurd wordt.

De verbetervoorstellen zijn in tabel 11 weergegeven. Aan de hand van deze mogelijke verbeteringen is een herontwerp ontwikkeld, wat in de volgende paragraaf toegelicht wordt.

Case studie: Virtueel Bouwen		Mogelijke verbeteringen
	<i>Problemen</i>	<i>Oorzaak</i>
		<i>Verbetervoorstel</i>
<i>Proces:</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Vaak zaten er partijen bij die niets met het probleem of knooppunt te maken hebben. - Er blijkt afstemming nodig te zijn, waarbij iteraties ontstaan. 	<ul style="list-style-type: none"> - Teveel partijen in één keer betrokken. - Geen iteraties bij het schema van <i>Virtueel Bouwen</i>.
<i>Ontwerp:</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Tegenstrijdigheden zaten nog in het ontwerp. - Installatiemodel was nog niet gereed. 	<ul style="list-style-type: none"> - De onderaannemers bij elkaar zetten die afhankelijk van elkaar zijn. - Iteraties zijn nodig tijdens <i>Virtueel Bouwen</i>.
<i>3D-model:</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bij enkele onderaannemers kon niet vanuit het 3D-model gewerkt worden. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwerp niet gereed voor samenwerking met onderaannemers. - Eerst de tegenstrijdigheden uithalen. - Vervolgens installatiemodel in het 3D-model. - Selecteren van onderaannemers moet op het 3D-model.

Tabel 11: Verbetervoorstellen Virtueel Bouwen

6.2 Nieuw verbeterd ontwerp *Virtueel Bouwen*

In figuur 14 is het herontwerp van *Virtueel Bouwen* weergegeven. Dit is tot stand gekomen vanuit de analyse van de verbetervoorstellen. Eerst wordt het herontwerp toegelicht, gevolgd door de verschillen met het oorspronkelijke *Virtueel Bouwen*.

6.2.1 Toelichting herontwerp *Virtueel Bouwen*:

Het herontwerp is onderverdeeld in drie stappen. De tegenstrijdigheden dienen eerst uit het TO te worden gehaald, waarna het installatiemodel toegevoegd dient te worden. Het is namelijk bij de case gebleken dat het ontwerp nog niet gereed was voor de ontwikkeling met de onderaannemers. Het 3D-model als tool wordt eerst kort toegelicht, vervolgens worden de verschillende functies met de rollen beschreven en uiteindelijk worden de drie processtappen verder toegelicht.

Tool 3D-model:

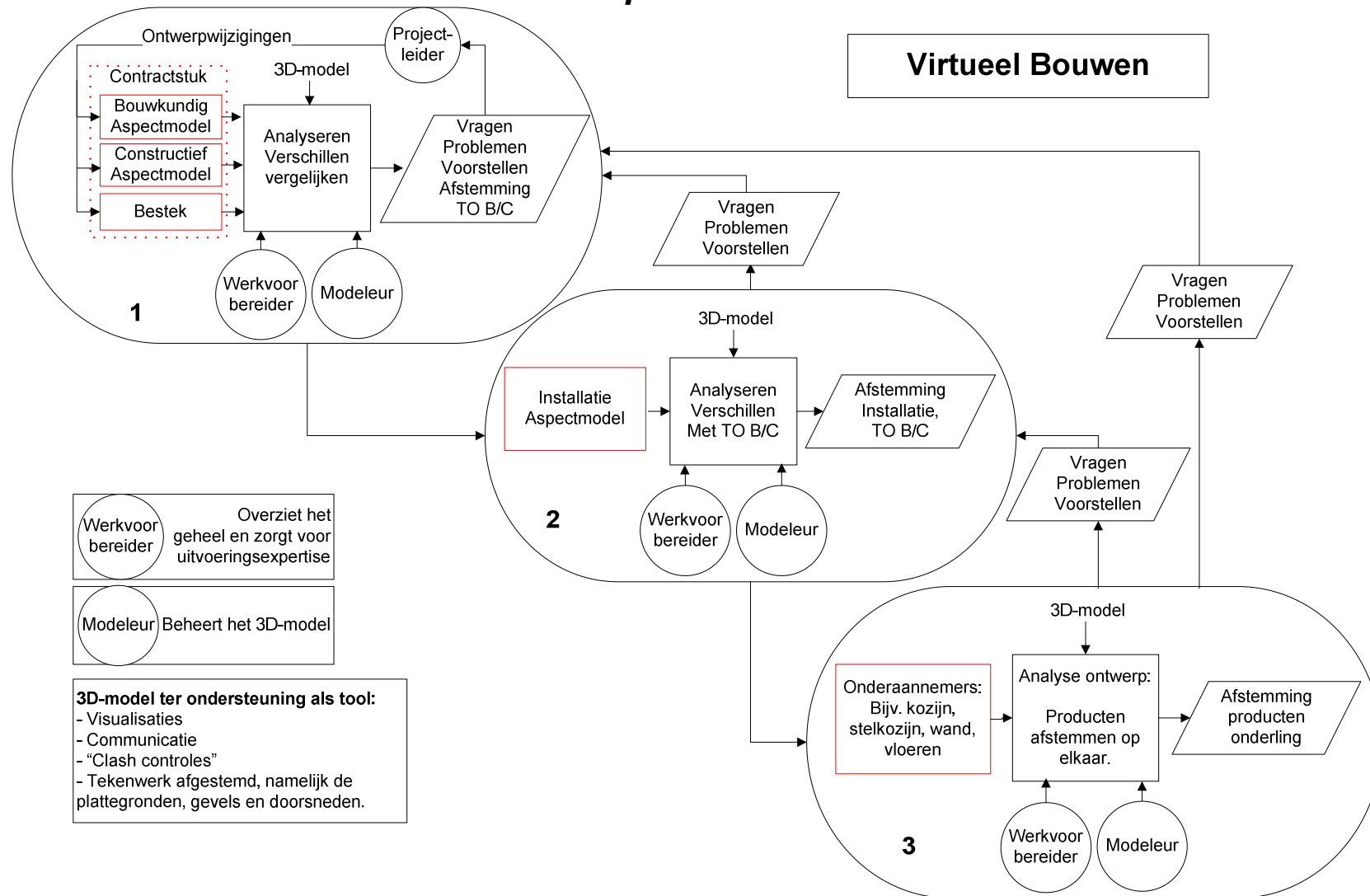
Bij het *Virtueel Bouwen* wordt het 3D-model gebruikt als tool, namelijk voor visualisaties, communicatie en *clash controles*. Daarnaast heeft het 3D-model het voordeel dat de tekeningen die worden gegenereerd op elkaar zijn afgestemd, waardoor er geen tegenstrijdigheden aanwezig zijn in de verschillende tekeningen. Dit gebeurt onder meer door *clash controles* uit te voeren. Ten opzichte van het 2D-tekenwerk is dit een voordeel, aangezien bij 2D-tekenwerk meerdere tekeningen gewijzigd moeten worden bij één wijziging.

Functies en rollen:

De functies en rollen veranderen niet ten opzichte van het oorspronkelijke *Virtueel Bouwen*. Voor de duidelijkheid worden ze hieronder toegelicht.

- *De modelleur:*
 - o Is verantwoordelijk voor het 3D-model.
- *De werkvoorbereider:*
 - o De werkvoorbereider overziet het geheel en merkt daardoor knelpunten op.
 - o Hij kan een verbetervoorstel in het ontwerp brengen (uitvoeringslimheid). Bij een verbetervoorstel kan een ontwerpwijziging plaatsvinden.
- *De projectleider:*
 - o Maakt de definitieve keuze met betrekking tot de ontwerpwijzigingen en zal deze doorgeven aan de verantwoordelijken van het Technisch Ontwerp (contractstuk) voor goedkeuring.
 - o Stelt het team samen (werkvoorbereider, modelleur en onderaannemers).
- *Onderaannemer:*
 - o Brengt zijn productkennis in, door aan te geven of het product gemaakt kan worden. Dit kan betekenen dat er een ontwerpwijziging plaatsvindt als hij niet kan maken wat gevraagd wordt en/of een aanpassing nodig is.
 - o Genereert het ontwerp van zijn product in 3D (productmodel).

Herontwerp Virtueel Bouwen:



Figuur 14: Herontwerp Virtueel Bouwen

Stap 1: Analyse TO Bouwkundig en Constructief en Bestek.

Bij de eerste stap van *Virtueel Bouwen*, wordt het TO (contractstuk) geanalyseerd. Hierbij kan het 3D-model ter ondersteuning dienen door middel van *clash controles*. Bij het analyseren van het project, kan het project worden opgedeeld in producten.

In deze stap is het van belang om de tegenstrijdigheden uit het ontwerp te halen. De tegenstrijdigheden kunnen naar voren komen bij het analyseren en vergelijken van de verschillende stukken en *clash controles*. Bij onduidelijkheden en vragen dient terug te worden gekeken. Tevens is het voor de werkvoorbereider in deze stap mogelijk om, door ontwerpwijzigingen aan te dragen, zijn uitvoeringsexpertise in het ontwerp in te brengen.

Door het project in te delen in producten kan er een matrix worden opgesteld om de relaties tussen de producten in beeld te brengen. Immers de werkvoorbereider wil uiteindelijk de producten gaan bestellen en is verantwoordelijk voor de onderlinge afstemming ervan. Na het invullen van de matrix (figuur 13) kunnen de producten bij elkaar worden gezet. Het is namelijk bekend welke producten relaties hebben met andere producten en in welke vorm (levert/ontvangt). Hierdoor is geïdentificeerd welke producten op elkaar afgestemd moeten worden. Dit wordt bij stap 3 verder toegelicht.

Stap 2: Installatieontwerp in het TO.

Na de eerste stap, waar het project in beeld gebracht is en ingedeeld is in producten, wordt een installatieontwerp toegevoegd. Het is belangrijk dat dit gebeurt voordat de andere onderaannemers met hun producten gaan kijken naar het ontwerp, omdat de leidingen van de installaties door het gehele project (gebouw) lopen en vaak door de verschillende producten heen. Deze processtap kan door het 3D-model goed ondersteund worden met behulp van *clash controles*. In deze fase kan het voorkomen dat er te weinig of onvoldoende informatie is om het installatieontwerp goed af te ronden, in dat geval dient er naar de eerste processtap gekeken te worden. Ook kan er een verbetervoorstel komen in deze fase, dan is er een terugkoppeling met de eerste processtap. Daarna wordt de ontwerpwijziging voorgelegd aan het contractstuk.

Stap 3: Producten afstemmen.

Om de doorlooptijden te verkorten bij het genereren van de werk- en productietekeningen, dient gekeken te worden naar de producten in het project. Het gaat hier om de onderlinge afstemming van de producten. De onderaannemers brengen hier de productkennis in het ontwerp en leveren een ontwerp van een product in 3D aan (productmodel). Dit kan tevens leiden tot een ontwerpwijziging, omdat de onderaannemers aangeven of het product gemaakt kan worden volgens de eisen die gesteld worden.

In de eerste processtap is aangegeven welke producten relaties hebben elkaar. In deze fase moeten deze producten op elkaar afgestemd worden. Deze stap is anders dan het huidig werkproces, waar de afstemming via de werkvoorbereider verliep en niet onderling tussen de onderaannemers. Doordat

tijdens de case studie is gebleken dat het betrekken van alle onderaannemers in één keer bij het proces niet heeft geleid tot een doorlooptijdverkortung, is het niet interessant om alle producten gelijktijdig onderling af te stemmen. In deze stap moeten de producten, die relaties met elkaar hebben, bij elkaar worden gezet om op elkaar te worden afgestemd.

		Levert informatie					
		Bovenbouw			Afbouw		
		Binnenwand	Buitenwand	Gevel latei	Stelkozijn	Kozijn	
Ontvangt informatie	Bovenbouw	Binnenwand				- Locatie - Afmetingen - Positie - Verbinding	- Locatie - Afmetingen - Positie
	Buitenwand	- Verbinding		- Dikte - Afmetingen	- Positie	- Positie	
	Gevel latei		- Locatie - Afmetingen - Positie - Verbinding		- Lengte - Afmetingen	- Lengte - Afmetingen	
Afbouw	Stelkozijn	- Positie	- Locatie - Afmetingen - Positie	- Afmetingen		- Afmetingen - Aanslag - Verbinding	
	Kozijn	- Positie	- Locatie - Afmetingen - Positie	- Dikte - Afmetingen	- Afmetingen		

Figuur 15: Detail productrelatie (Veenstra, Halman & Voordijk, 2006)

Figuur 15 geeft een voorbeeld weer over de informatie tussen de producten van de binnenwand, buitenwand, stelkozijn en kozijn. Hierdoor kan aangegeven worden hoever men is met het afstemmen, voordat het gereed is. Op deze manier is er een "tool" om de voortgang van het afstemmen te bewaken. Het afstemmen van de productmodellen kan door middel van *clash controles*. Dit is tijdens de case een meerwaarde gebleken. Wel is het de noodzaak dat de onderaannemers in staat moeten worden geacht om de productietekening in het productmodel te verwerken.

Door het *Virtueel Bouwen* in te delen in deze drie processtappen, is het mogelijk om tot werk- en productietekeningen (als output van het proces) te komen. Uiteindelijk moet er tijd bespaard worden op de doorlooptijden bij het genereren van de werk- en productietekeningen (controle en wijzigingen).

6.3 Samenvatting

Het herontwerp heeft tot een aantal verschillen geleid ten opzichte van het originele werkproces *Virtueel Bouwen*. Deze worden in de volgende paragraaf behandeld. Daarnaast is er met betrekking tot het 3D-model een belemmering onderkend.

Verskil aanpak Virtueel Bouwen

Tabel 12 geeft de verschillen weer tussen het *Virtueel Bouwen* en het herontwerp. Door de verschillen in beeld te brengen worden de conclusies en aanbevelingen van het onderzoek geformuleerd.

<i>Virtueel Bouwen</i>	Herontwerp
De input in drie aspectmodellen (Bouwkundig, Constructief en Installatie).	<ul style="list-style-type: none"> - Input uit 2 aspectmodellen (Bouwkundig en Constructief). - Installatiemodel wordt als een opvolgende stap gezien.
Geen iteraties tijdens het proces.	Er zijn iteraties nodig voor de afstemming en de mogelijkheid voor de experts om het ontwerp te verbeteren.
Het betrekken van alle onderaannemers bij de start van het ontwikkelen van de werken productietekeningen.	Het werken in groepjes van onderaannemers die informatie van elkaar nodig hebben.

Tabel 12: Verschillen *Virtueel Bouwen* en herontwerp

Belemmeringen van het 3D-model

Naast de voordelen van het 3D-model, is tijdens de case studie een belangrijk onderdeel als een storende factor gebleken, namelijk het uitwisselen van de modellen door middel van IFC. Deze uitwisseling leidt tot dataverlies. Tijdens de vergaderingen en gesprekken met het projectteam is dit als een storende factor ervaren. Het is meerdere malen voorgekomen dat bij het omzetten van een productmodel naar een IFC bestand data verloren is gegaan. Dit is nadelig wanneer een onderaannemer een ontwerp genereerd die niet volledig kan worden gebruikt.

De problematiek van dataverlies blijkt tevens uit het project Penn National Parking Structure (Eastman, et al, 2008). Het IFC uitwisselbestand blijkt nog niet geschikt om alle data over te zetten van het ene software pakket naar het andere software pakket. Dit komt doordat er verschillen aanwezig zijn tussen de manieren waarop elke softwareleverancier hun export en import routines implementeren.

Dit dataverlies dat ontstaat door IFC is een belemmering voor het toepassen van het werkproces *Virtueel Bouwen*. Hierdoor kent het werkproces een zwak punt voor de brede toepassing (meerdere partijen) binnen de bouwsector.

Hoofdstuk 7: Conclusies en aanbevelingen

Dit hoofdstuk geeft de conclusies en aanbevelingen van het onderzoek weer. Hierbij worden eerst de conclusies van het onderzoek behandeld door een koppeling met het eerste hoofdstuk te maken. Vervolgens worden de aanbevelingen geformuleerd voor Van Wijnen en voor verder onderzoek.

7.1. Conclusie

De belangrijkste conclusie is dat *Virtueel Bouwen* nog niet heeft bijgedragen aan een doorlooptijdverkorting van de werkvoorbereider. Het heeft wel de potentie, wat blijkt uit de literatuur en de case. Om te komen tot de conclusies van het onderzoek wordt in deze conclusie één centrale vraag beantwoord:

Welke verbetervoorstellen kunnen Virtueel Bouwen optimaliseren om bij te dragen aan een doorlooptijdverkorting?

Start de ontwikkeling met de onderaannemers wanneer het ontwerp op het juiste niveau is

Tijdens de case is gebleken dat het ontwerp niet op het juiste niveau was voordat de onderaannemers zijn gestart met het ontwerpen, waardoor het geleid heeft tot extra herontwerpen en daarmee langere doorlooptijden. Hieruit valt te concluderen dat het ontwerp eerst op niveau moet worden gebracht alvorens de samenwerking met onderaannemers wordt gestart. De tegenstrijdigheden dienen uit het ontwerp te worden gehaald en het installatiemodel dient gereed te zijn.

Koppelvorming met onderaannemers

Het bij elkaar zetten van meerdere onderaannemers is niet succesvol gebleken. Koppelvorming van onderaannemers kan een verbetering zijn van het *Virtueel Bouwen*. Hierbij betreft koppelvormingen die informatie van elkaar nodig hebben, waardoor de afstemming beter geregeld kan worden. Hierdoor kan in kleinere groepen worden gewerkt, waardoor het coördineren als aannemer overzichtelijker wordt en de afstemming gelijktijdig wordt geregeld. Aannames van producten is niet meer nodig en het ontwerp wordt sneller uitvoeringsgereed gemaakt.

Selectie onderaannemers met betrekking tot het 3D-model

Het *Virtueel Bouwen* heeft geen toegevoegde waarde als de onderaannemers niet in staat zijn om hun eigen productietekening in het 3D-productmodel te verwerken. Tijdens de case is gebleken dat onder andere de onderaannemer van de vloeren niet in staat waren om de productietekening in het productmodel te verwerken. Door tijdens de selectie van de onderaannemers rekening te houden met het feit dat gewerkt wordt met een 3D-model, kan dit verbeterd worden. Dit blijkt bij het project Camino Medical Office Building (Eastman, et al, 2008) waar bij de selectie specifiek is gekeken naar de onderaannemers die ervaring hebben met het 3D-model. Bij dit project wordt uiteindelijk geconcludeerd dat de samenwerking positief en goed is verlopen.

7.2. Aanbevelingen

Het 3D-model heeft grote potentie, wat blijkt uit de literatuurstudie en de case. Tot op het heden wordt het model nog steeds mondjesmaat toegepast, ondanks het feit dat het 3D-model vooral op het gebied van het ontwerp grote voordelen biedt. Alleen al om deze redenen is het voor zowel de bouwsector als Van Wijnen aan te bevelen om het onderzoek naar 3D-modellen en *Virtueel Bouwen* voort te zetten. In deze paragraaf worden eerst de aanbevelingen voor de bouwsector beschreven en vervolgens voor Van Wijnen.

7.2.1 Aanbevelingen aan de bouwsector

In deze subparagraaf komen de aanbevelingen van de bouwsector aan orde.

Onderzoek naar uitwisselingen van modellen door middel van IFC

Om de samenwerking met onderaannemers met betrekking tot het 3D-model succesvol te laten verlopen, dient gekeken te worden naar het dataverlies dat optreedt bij het uitwisselen van de verschillende modellen. Dit is vooral tijdens de case als een storende factor gebleken. De data uitwisseling is een belangrijke factor in de samenwerking met andere partijen.

Een mogelijke oplossing kan zijn om dezelfde softwareprogramma's te gebruiken, maar dit kan gevolgen hebben voor de samenwerking. Als bijvoorbeeld Revit als basis wordt gebruikt, kun je als aannemer dit verplichten richting de onderaannemers. Het gevolg kan zijn dat de onderaannemer niet in staat is om door middel van Revit zijn eigen productieproces aan te sturen. Dan heeft het traject niet de gewenste uitkomst, omdat het 3D-model wordt gecontroleerd en het van belang is dat het productieproces wordt aangestuurd door het 3D-model.

Er dient een brede ontwikkeling met betrekking tot het 3D-model te komen

De bouw is de laatste jaren versnipperd over vele partijen, onder andere adviesbureaus en onderaannemers. Bij het uitvoeren van een project komen meerdere partijen bij elkaar om het gebouw uiteindelijk te bouwen. Door deze versnippering zijn aannemers altijd afhankelijk van andere partijen om een bouwproject succesvol te laten verlopen. Daarom is het van belang dat het 3D-model breed in de bouwsector wordt toegepast. Op deze manier is het mogelijk om de voordelen van het 3D-model te realiseren en toe te passen in de bouw. Daarbij dient meer onderzoek te worden gedaan in samenwerking met andere partijen met betrekking tot het 3D-model. Dit onderzoek kan daarvoor een aanleiding geven.

7.2.2 Aanbevelingen aan Van Wijnen

In deze subparagraaf worden de aanbevelingen aan Van Wijnen beschreven.

Kijk bij de toepassing van Virtueel Bouwen naar de input en onderaannemers

Om goed te kunnen beoordelen of *Virtueel Bouwen* een voordeel is, moet er worden gekeken naar de input (aspectmodellen) en de onderaannemers. Doordat tijdens de case is gebleken dat het niet helemaal is toegepast zoals bedacht, kan er geen uitspraak worden gedaan of het daadwerkelijk doorlooptijden kan verkorten. Wel heeft het tijdens het proces diverse voordelen opgeleverd en is men zich van de voordelen bewust.

Om te kijken of het *Virtueel Bouwen* een succes kan worden, dient gekeken te worden naar de input van het proces welke bestaan uit aspectmodellen. Hierdoor kunnen bij de start *clash controles* worden toegepast. Tevens dient men ervoor te zorgen het installatiemodel gereed is voordat de ontwikkeling met de overige onderaannemers wordt gestart.

Tot slot dient bij de selectie van de onderaannemers rekening te worden gehouden met de mogelijkheden van het 3D-model. Het *Virtueel Bouwen* wordt niet volledig benut wanneer niet alle onderaannemers in staat zijn het 3D-model te kunnen gebruiken om hun eigen productieproces mee aan te sturen.

De ontwikkeling van Virtueel Bouwen dient voortgezet te worden

Ondanks het feit dat tijdens het project nog niet is gebleken dat *Virtueel Bouwen* de doorlooptijden heeft verkort, heeft het wel de potentie om bij te dragen aan een doorlooptijdverkortung. Ook tijdens het project is gebleken dat het 3D-model vooral op gebied van inzicht, dat door middel van visualisaties en *clash controles* wordt bereikt, een meerwaarde heeft ten opzichte van 2D-tekenwerk.

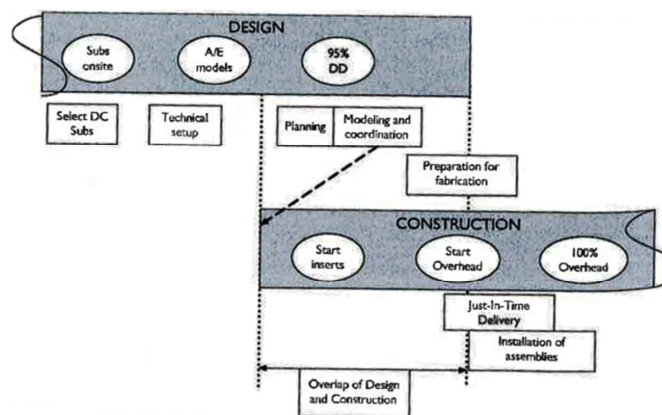
Tot slot is gebleken dat het tekenwerk, dat uit het 3D-model is gegenereerd, op elkaar is afgestemd en van een hoog niveau is. De bouw is voorspoedig verlopen, aangezien de producten op elkaar zijn aangepast en tijdens de bouw weinig problemen zijn ondervonden.

7.3 Virtueel Bouwen

In dit laatste deel van deze scriptie wordt een persoonlijke visie gegeven over de mogelijke toekomst van *Virtueel Bouwen*. Deze is opgesteld op basis van ideeën die opgekomen zijn tijdens het onderzoek en heeft geen wetenschappelijke achtergrond. Het dient als inspiratiebron voor het *Virtueel Bouwen*.

Virtueel Bouwen

Uit een case studie van Eastman, et al (2008), blijkt dat het *Virtueel Bouwen* in samenwerking met de onderaannemers een grote meerwaarde heeft. Tijdens de case studie van het onderzoek zijn de voordelen gebleken, maar heeft het voorlopig nog niet geleid tot het behalen van de doelstelling. Uit beide case studies komt naar voren dat het ontwerp vóór de samenwerking met de onderaannemers op voldoende niveau dient te zijn, anders is er sprake van extra herontwerpen en werklast. Dit is in figuur 16 visueel weergegeven.

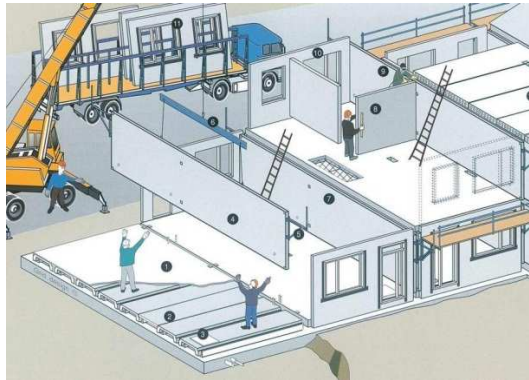


Figuur 16: Ontwerpniveau

Om te kunnen beoordelen waar het *Virtueel Bouwen* vooral van meerwaarde kan zijn, is gekeken naar de soort projecten.

Projecten met de meeste meerwaarde met betrekking tot Virtueel Bouwen

Gaandeweg het onderzoek bleek dat het gebruik van 3D-model kan leiden tot meer prefabricatie. Dit wordt tevens door meerdere onderzoekers bevestigd. Met *Virtueel Bouwen* is men in staat om in een vroegtijdig stadium een beeld te verkrijgen van de uitvoering. Dit is van grote waarde bij prefabricatie van onderdelen, wat voor de start van de productie van de prefab elementen vraagt om een nauwkeurig ontwerp. Het 3D-model biedt mogelijkheden om virtueel te kunnen bouwen, waardoor er mogelijkheden zijn om het ontwerp nauwkeuriger te coördineren. Hierdoor kan *Virtueel Bouwen* bij prefabricatie van projecten van grote meerwaarde zijn.



Figuur 17: Prefabricatie bouw

Aspectmodellen

Op dit moment ontstaat bij 3D-modellen het idee van één centraal model. In theorie klinkt dat goed en lijkt het een oplossing voor vele problemen in de huidige bouwsector op het gebied van communicatie en informatie. Uit de case studie blijkt dat het in de praktijk lastig is en in de meeste gevallen nog niet loont om in één centraal model te werken. Bovendien werken de meeste partijen in de bouwsector met verschillende software en levert het IFC data-uitwisselingen voorlopig nog dataverlies op. Dit zijn beperkingen om in één centraal model te werken. Daarnaast is er tijd nodig om onder andere producten te ontwerpen. Doordat het ontwerpen vaak door meerdere partijen gebeurt is het lastig om in één model te werken. Daarom bieden aspectmodellen een oplossing, waarbij een partij zijn of haar ontwerp ontwikkelt en de aannemer in staat is om via de tools van het 3D-model (*clash controles*, visualisatie) te coördineren.

3D-model met onderaannemers

Bij de samenwerking met de onderaannemers zijn een aantal aandachtspunten aanwezig op het gebied van de aanpak en het 3D-model.

Aanpak

Deel het werk in kleinere delen om de samenwerking te bevorderen en zorg daarbij voor een regelmatige sessie met de betreffende onderaannemers die raakvlakken met elkaar hebben. Daarmee worden de onderaannemers bedoeld die informatie van elkaar nodig hebben. De aannemer zal de coördinatie moeten plannen, maar nu ook voor de 3D-modellen

Verzeker dat de onderaannemers in staat zijn om een 3D-model te gebruiken voor het ontwerp van het product en daarmee het productieproces aan te sturen. Het integreren dient te gebeuren in een integratiesoftware (bijvoorbeeld Navisworks of Solibri), waarmee ook gecoördineerd kan worden.

3D-model:

- Ieder onderaannemer krijgt een product toegewezen die verder uitgewerkt dient te worden.

- Elk 3D-object moet een eigen unieke naam hebben en moet eigenschappen kunnen bevatten (kosten, planning, gewicht, et cetera).
- Een 3D-object zal moeten bestaan uit solids of ware parameters. Dit in verband met de *clash controles*.

Daarnaast dienen de onderaannemers eerder in het werkproces te worden betrokken. In het huidig werkproces worden de onderaannemers regelmatig na de start van de bouw betrokken, waardoor aannames ontstaan om verder te kunnen ontwikkelen. Door koppelvorming kan gekeken worden naar de juiste afstemming en worden er geen aannames gemaakt.

Verwachte verbeteringen

Bij het toepassen van *Virtueel Bouwen* op projecten dient te worden gekeken naar de te verwachte verbeteringen die optreden. Op basis van deze verwachtingen kan bekeken worden of het *Virtueel Bouwen* bijdraagt aan de verbetering voor de samenwerking in de bouw. Hieronder worden een aantal verwachte verbeteringen voor het *Virtueel Bouwen* genoemd (Eastman, et al, 2008):

- De vroegtijdige betrekking van de onderaannemers zal moeten leiden tot het feit dat de belangrijkste ontwerpbeslissingen genomen worden tijdens de ontwerpfase.
- Geen misverstanden tussen de projectmedewerkers.
- Geen conflicten op de bouwplaats.
- Geprefabriceerde onderdelen zullen uitgebreider en nauwkeuriger zijn dan zonder behulp van het 3D-model.

Boodschap bij Virtueel Bouwen

Historisch gezien bestaat er een scheiding tussen de praktijk en wetenschap. Waar de wetenschap zich bezighoudt met het bestuderen van een kennisgebied, wordt deze kennis in de praktijk gebruikt en toegepast binnen de aanwezige beperkingen. De wetenschap vraagt om een volledige uitwerking van het *Virtueel Bouwen* om te kunnen constateren of het een meerwaarde heeft, daar waar de praktijk kijkt naar de toepassing binnen het werkveld en afvraagt of het gaat werken. Ondanks de grote stappen die zijn gezet bij het pilotproject, staat het gebruik van 3D-modellen nog steeds in de kinderschoenen. Volgens een engineer van Penn National (Eastman, et al, 2008) zal de volledige toepassing van *Virtueel Bouwen* worden bereikt als er voldaan wordt aan de volgende condities:

- Alle ontwerpers (incl. onderaannemers) maken gebruik van 3D-tools.
- Data-uitwisseling door middel van IFC is sterk verbeterd.
- De deelnemers van het projectteam zijn bereid om meer samen te werken en informatie te delen en de herhalingen (iteraties) worden verminderd.

Bij het afstuderen ben ik diverse voordelen tegengekomen van het gebruik van 3D-modellering, waarbij het niet de vraag moet zijn of het gaat werken, maar het een kwestie is van niet denken gewoon doen!

Bibliografie

- Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & O'Reilly, K. (2011). Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Automation in Construction* 20, 189-195.
- Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B. (2008). *Building Information Modeling (BIM): Benefits, Risks and Challenges*. Auburn University, Alabama: McWhorter School of Building Science.
- Barlish, K., & Sullivan, K. (2012). How to measure the benefits of BIM — A case study approach. *Automation in Construction* 24, 149-159.
- Bouchlaghem, D., Shang, H., Whyte, J., & Ganah, A. (2005). Visualisation in architecture, engineering and construction (AEC). *Automation in Construction* 14, 287– 295.
- Chao-Duivis, M. (2009). Juridische implicaties van het werken met BIM. *Tijdschrift voor Bouwrecht*, 204-212.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM Handbook (H9)*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Eisenhardt, K. (1989). Building Theories from Case Study Research. *Academy of Management Review*, 532-550.
- Epstein, R. (2007). Liability for Flawed Shop Drawings. *New Jersey Law Journal* no. 13.
- Flapper, H. (2005). *12B Bouwproces: Uitvoeren organisatie*. Utrecht/Zutphen: ThiemeMeulenhoff.
- Grilo, A., & Jardim-Goncalves, R. (2010). Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. *Automation in Construction* 19, 522–530.
- Hartmann, T., & Fischer, M. (2007). Supporting the constructability review with 3D/4D models. *Building Research & Information* 35, 70-80.
- Hartmann, T., Gao, J., & Fischer, M. (2008). Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 776-785.
- Huang, S. (2005). Shop Drawings. *Structural Design of Tall and Special Buildings* 14, 465-471.
- Huang, T., Li, H., Guo, H., Chan, N., Kong, S., Chan, G., et al. (2009). Construction virtual prototyping: a survey of use. *Construction Innovation* Vol. 9 No. 4, 420-433.

- Kymell, W. (2008). *Building Information Modeling. Planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations*. Columbus: McGraw-Hill.
- Lam, P., Wong, F., & Chan, A. (2006). Contributions of designers to improving buildability and constructability. *Design Studies* 27, 457-479.
- Lee, A., & Sexton, M. (2007). nD modelling: industry uptake considerations. *Construction Innovation Vol. 7 No. 3*, 288-302.
- Li, H., Huang, T., Kong, C., Guo, H., Baldwin, A., Chan, N., et al. (2008). Integrating design and construction through virtual prototyping. *Automation in Construction* 17, 915-922.
- Love, P., Edwards, D., Han, S., & Goh, Y. (2011). Design error reduction: towards the effective utilization of building information modeling. *Research Engineering Design* 22, 173-187.
- Mao, W., Zhu, Y., & Ahmad, I. (2007). Applying metadata models to unstructured content of construction documents: A view-based approach. *Automation in construction* 16, 242-252.
- Martin, M., & Ishii, K. (2002). Design for variety: developing standardized and modularized product platform architectures. *Research in Engineering and Design* 13, 213-235.
- Naai-Jung, S. (1996). A study of 2D- and 3D-oriented architectural drawing production methods. *Automation in Construction* 5, 273-283.
- Nederland, B. (sd). www.bouwendnederland.nl/virtueelbouwen/pages/default.aspx. Opgeroepen op 03 25, 2012, van www.bouwendnederland.nl.
- ONRI, B. . (2009). *Standaardtaakbeschrijving DNR-STB 2009*. Amsterdam, Den Haag: BNA - ONRI.
- Pijpers, I., & van der Woude, D. (2004). *1 Inleiding: Bouwnijverheid*. Utrecht/Zutphen: ThiemeMeulenhoff.
- Riese, M. (2008). One Island East, Hong Kong: A case study in construction virtual prototyping. *Virtual Futures for Design, Construction & Procurement*, 59 - 71.
- RRBouw. (2007). *Kwaliteit van tekenwerk in de bouw*. Zoetermeer: Stichting Research Rationalisatie Bouw (RRBouw) 130.
- Singh, V., Gu, N., & Wang, X. (2011). A theoretical framework of a BIM-based multi-disciplinary collaboration platform. *Automation in Construction* 20, 134-144.

Taylor, J. (2007). Antecedents of Successful Three-Dimensional Computer-Aided Design Implementation in Design and Construction Networks. *Journal of Construction Engineering and Management*, 993-1002.

Veenstra, V., Halman, J., & Voordijk, J. (2006). A methodology for developing product platforms in the specific setting of the housebuilding industry. *Research Engineering Design* 17, 157-173.

Verschuren, P., & Doorewaard, H. (2007). *Het ontwerpen van een onderzoek*. Den Haag: LEMMA.

Wikforss, Ö., & Löfgren, A. (2007). Rethinking Communication in Construction. *ITcon* 12, 337-345.

Bijlagen

In het volgende stuk zijn de bijlagen van het verslag te vinden.

- I. Vergaderingen case studie
- II. Iteraties tijdens het project *19 woningen te Drachten*
- III. Verscheidende voorbeelden van *clash controles*

Bijlage I: Vergaderingen case studie

In deze bijlage volgt de toelichting van de vergaderingen die zijn gevolgd, gespitt is op de discussies en welke partijen deelnamen aan de vergaderingen. Daarnaast zijn documenten via een internetmedium uitgewisseld. Van deze documenten zijn voornamelijk de *clash controles* en de modellen uitgewisseld en is het ontwerp verder afgerond. Voorbeelden van deze documenten zijn te vinden in bijlage III.

Vergadering	Partijen aanwezig	Discussie	Partijen betrokken bij discussie	Partijen geen inbreng of ontbreken	Opvallende zaken	
1	Aannemer: - Werkvoorbereider. - Modelleur. - Projectleider. Onderaannemers: - Vloeren. - Kozijn en stelkozijn. - Binnenwand. - Fundering. - Installateur.	1	De binnenwand heeft vragen over de kop- en lagenmaat van de buitenwand, de kozijnen en stelkozijnen. Daarbij vraagt hij om afmetingen, zodat hij zijn sparingmaat kan bepalen.	- Binnenwand. - Kozijn en stelkozijn.	- Vloeren. - Fundering. - Installateur.	
		2	De fundering wil weten welke leidingen door de balk moeten, zodat hij de sparingen kan doorvoeren.	- Installateur. - Fundering.	- Binnenwand. - Kozijn en stelkozijn.	

2	<p>Aannemer: - Werkvoorbereider. - Modelleur. - Projectleider.</p> <p>Onderaannemers: - Vloeren. - Kozijn en stelkozijn. - Binnenwand. - Fundering. - Installateur.</p>	1	De kozijnonderaannemer geeft aan dat hij de draairichting, negge en koppen- en lagenmaat nodig heeft. Tevens heeft hij het houtskeletwanddetail nodig van waar de kozijn komt te staan.	<ul style="list-style-type: none"> - Kozijn. - Binnenwand. 	<ul style="list-style-type: none"> - Houtskeletwand. - Vloeren. - Fundering. - Installateur. 	De houtskeletwand ontbreekt bij deze vergadering en is tevens nog niet bekend.
		2	Bij de detailbespreking komt naar voren dat de architect geen rekening houdt met maattoleranties van de bouw. Dit levert problemen op bij het bestellen van de kozijn. De waterslag komt niet uit met de lagenmaat, dus de maat van de kozijn moet kleiner.	<ul style="list-style-type: none"> - Kozijn. - Binnenwand. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vloeren. - Fundering. - Installateur. 	Technisch Ontwerp voldoet niet aan de verwachtingen, dient aangepast te worden.
		3	De architect levert een detail af van een kozijnaansluiting wat niet wind- en waterdicht is. Dit levert de aannemer problemen op bij het bestellen van het product kozijn. Hij moet wel de garantie geven en moet ervoor zorgen dat het detail voldoet. Dit blijkt uit detail 7, 9 en 10.	<ul style="list-style-type: none"> - Kozijn. - Binnenwand. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vloeren. - Fundering. - Installateur. 	
		4	De vloeronderaannemer wil weten waar het kruipluik, plaats verlichting, enz. Dit komt vanuit de architect en constructeur, maar vooral vanuit de installateur.	<ul style="list-style-type: none"> - Installateur. - Fundering. - Vloer. 	<ul style="list-style-type: none"> - Binnenwand. - Kozijn en stelkozijn. 	

3

<p>Aannemer: - Werkvoorbereider. - Modelleur. - Projectleider.</p> <p>Onderaannemers: - Vloeren. - Kozijn en stelkozijn. - Binnenwand. - Fundering. - Installateur.</p>	1	De keuze van de begane grondvloer wijzigt, dit heeft gevolgen voor de dikte van de vloer. De fundering moet naar beneden en de leidingen worden langer. Het gaat hier om 10 mm.	<ul style="list-style-type: none"> - Installateur. - Fundering. - Vloer. 	<ul style="list-style-type: none"> - Binnenwand. - Kozijn en stelkozijn. 	
	2	Er wordt een ontwerpwijziging gemaakt door de kozijnleverancier. Hij wil een aftimmerlat anders maken dan het Technisch Ontwerp.	<ul style="list-style-type: none"> - Binnenwand. - Kozijn en stelkozijn. 	<ul style="list-style-type: none"> - Installateur. - Fundering. - Vloer. 	
	3	De binnenwanden worden een aantal zaken niet meegenomen bij productmodel, namelijk latei, kozijnen, enz. Deze kan pas in een later stadium worden meegenomen.	<ul style="list-style-type: none"> - Binnenwand. - Kozijn en stelkozijn. 	<ul style="list-style-type: none"> - Installateur. - Fundering. - Vloer. 	Binnenwanden al gestart met genereren van het productmodel.
	4	De fundering is gestart met productmodel, maar moet naderhand tekenwerk aanpassen, omdat hij uitgangspunten van het leidingwerk heeft aangenomen.	<ul style="list-style-type: none"> - Installateur. - Fundering. 	<ul style="list-style-type: none"> - Binnenwand. - Kozijn en stelkozijn. - Vloer. 	Fundering al gestart voordat de installateur zijn werk gereed heeft.

		5	Het verschil in de wanden (100-120) leidt tot verschillen van inzicht. Wat eerst een probleem was in het verschil van C/A is nu een probleem voor de uitvoering. De wand die dikker wordt kan niet zomaar naar buiten. De Rc-Waarde wordt dan niet behaald en de koppenmaat veranderd en de kozijn past niet op de wand, stelkozijn moet worden aangepast enz.	- Binnenwand.	- Installateur - Fundering - Vloer - Kozijn en stelkozijn	Tegenstrijdighed en zijn niet voor het ontwikkelen van het productmodel van de binnenwand eruit gehaald.
4	Aannemer: - Werkvoorbereider. - Modelleur. - Projectleider. Onderaannemers: - Vloeren. - Kozijn en stelkozijn. - Binnenwand. - Fundering. - Installateur.	1	Het model zal voorlopig worden gebruikt om te clashen (geografisch). De dikte, kwaliteit, vorm. Probleem is dat er meerdere zaken moeten worden afgesproken, namelijk de kleur, berekening, enz. Aangegeven wordt dat dit kan door middel van properties. Dit levert problemen op bij het uitwisselen via IFC (dataverlies).	- Installateur. - Fundering. - Binnenwand. - Vloer. - Kozijn en stelkozijn.		IFC levert dataverlies op. Het inladen van het productmodel geeft niet de benodigde data, waarmee er handelingen moet worden verricht.
		2	Tevens is er de roep naar iteraties. De partijen geven aan niet alleen vanuit het 3D model te kunnen werken. Tevens loopt de installaties nog achter op schema. Zij geven niet de benodigde informatie en het proces loopt vertraging op, omdat de onderaannemers vragen om de informatie van het leidingverloop.	- Installateur. - Fundering. - Binnenwand. - Vloer. - Kozijn en stelkozijn.		Partijen niet in staat om vanuit het 3D model het eigen productieproces aansturen.

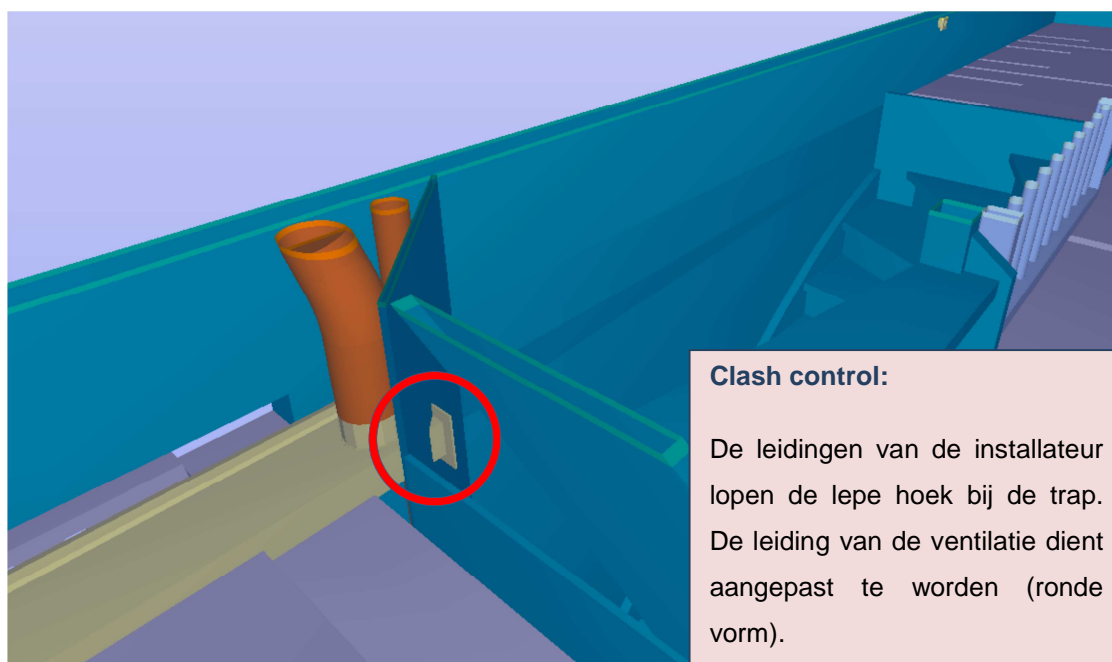
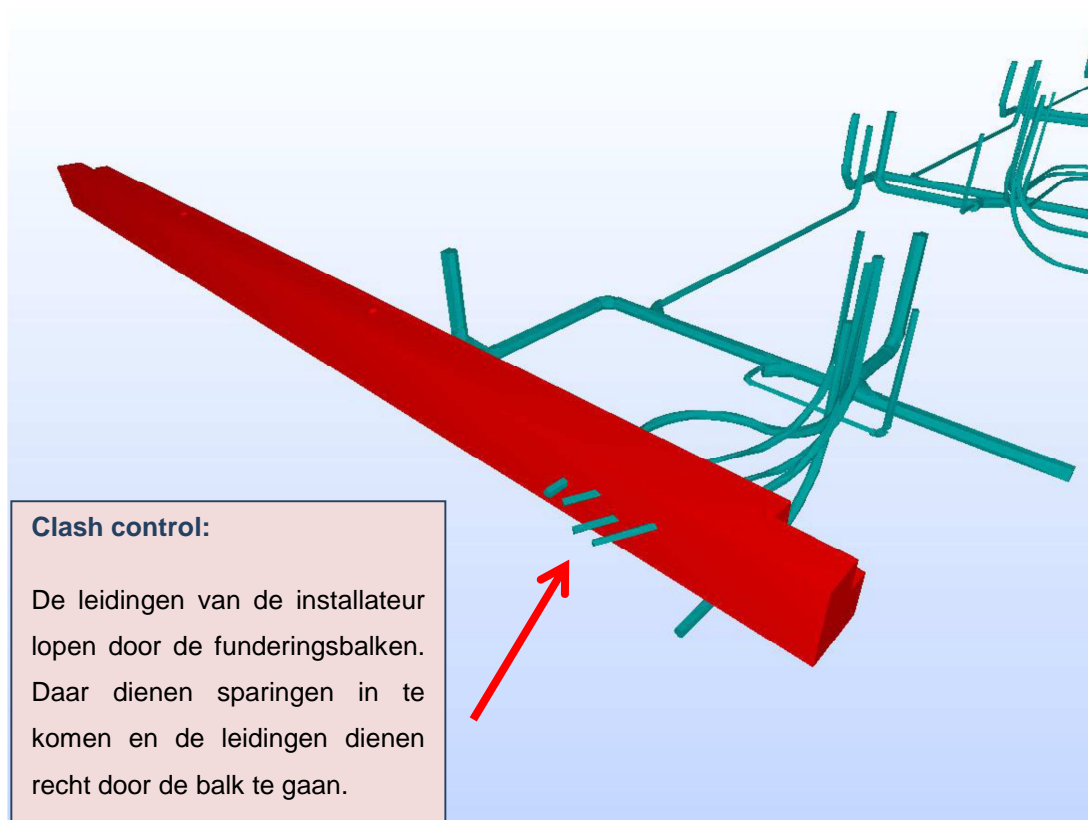
5	<p>Aannemer: - Werkvoorbereider. - Modelleur. - Projectleider.</p> <p>Onderaannemers: - Vloeren. - Kozijn en stelkozijn. - Binnenwand. - Fundering. - Installateur.</p>	1	De vraag heerst tussen de installaties en vloeren. Daar is nog altijd de vraag naar de iteraties tussen de beide partijen. Er moet overleg plaatsvinden. Dit om het ontwerp naar een optimale vorm te verkrijgen.	<ul style="list-style-type: none"> - Installaties. - Vloer. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fundering. - Binnenwand. - Kozijn en stelkozijn. 	Iteraties tussen de vloer en installateur.
		2	De binnenwand komt met een verbeteridee, namelijk voor de hoeklijn ter plaatse van de vloer. Op dit moment levert het geen mooie afwerking op. Er worden drie opties bekeken, hekwerk boven kozijnopening, stalen latei of een zelfdragende prefab latei.	<ul style="list-style-type: none"> - Vloer. - Binnenwand. 	<ul style="list-style-type: none"> - Installateur. - Fundering. - Kozijn en stelkozijn. 	
6	<p>Aannemer: - Werkvoorbereider. - Modelleur. - Projectleider.</p> <p>Onderaannemers: - Vloeren. - Kozijn en stelkozijn. - Binnenwand. - Fundering. - Installateur. - Trap.</p>	1	De installateur geeft aan dat hij niet zomaar de leidingen overal heen kan laten lopen zonder te weten wat de vloer en fundering kan. De vloer geeft aan eerst te weten wat er door moet en zoekt dan naar afstemming. In dit geval is er een iteratie nodig om afstemming te creëren.	<ul style="list-style-type: none"> - Installaties. - Vloer. - Fundering. 	<ul style="list-style-type: none"> - Binnenwand. - Kozijn en stelkozijn. - Trap. 	Iteraties tussen de vloer, fundering en installaties en fundering.
		2	Door het probleem voor te leggen van de lepe hoek in het trapgat, kan hij kijken of de trap nog voldoet aan de eisen van onder andere het bouwbesluit. Hier kan hij zijn expertise van het product inzetten.	<ul style="list-style-type: none"> - Installaties. - Trap. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vloer. - Fundering. - Kozijn en stelkozijn. - Binnenwand. 	

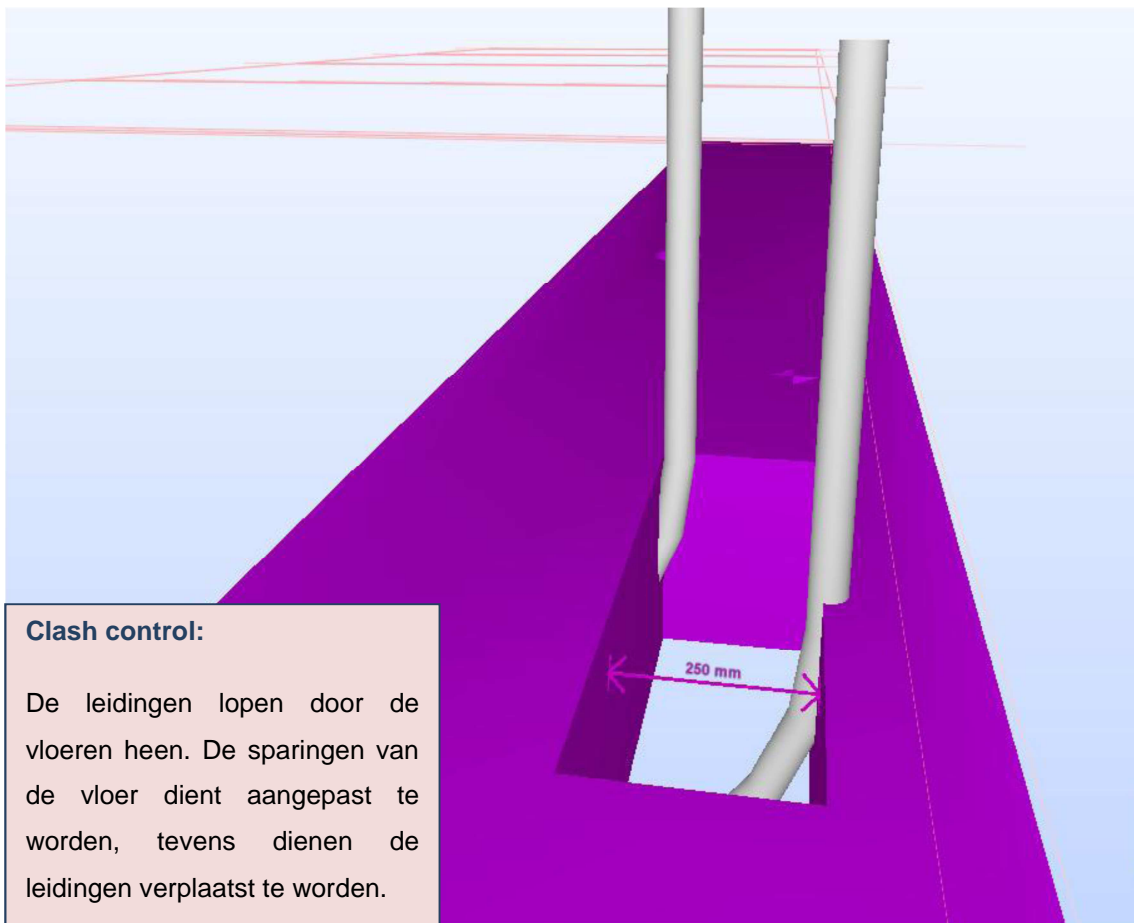
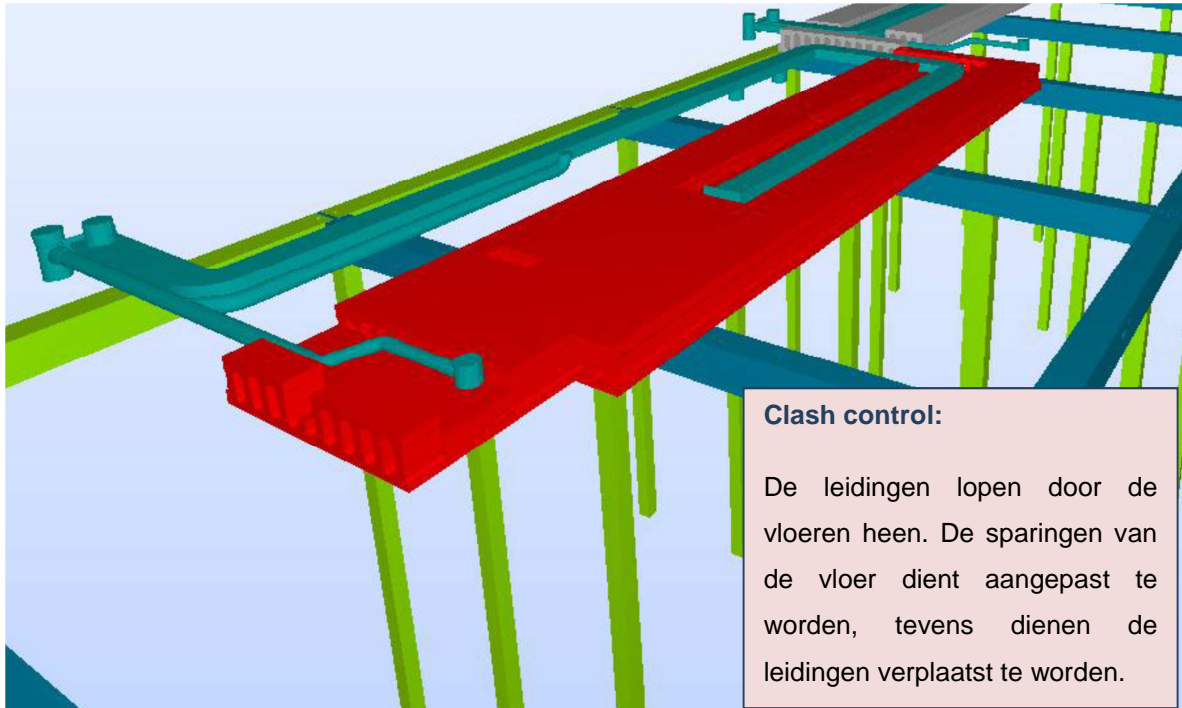
7	<p>Aannemer:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Werkvoorbereider. - Modelleur. - Projectleider. 	1	<p>De pijpen van de installatie gaan door het dak. Deze geven de dakbedekking te weinig ruimte om waterdicht te krijgen. Hiermee is bij de onderaannemers gekeken naar deze problematiek. De leidingen moeten worden verplaatst.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Installaties. - Vloer. - Fundering. 	- Binnenwand.	<p>Installatiemodel zorgt nu voor aanpassingen van de productmodellen fundering en vloeren.</p>
	<p>Onderaannemers:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vloeren. - Binnenwand. - Fundering. - Installateur. 	2	<p>Probleem leidingwerk door de fundering. De leidingen moeten (voorschrift) recht en haaks de funderingsbalk passeren. Tevens is het lastig om de posities van de palen te bepalen. Dit omdat het niet bekend is waar de leidingen moeten komen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Installaties. - Vloer. - Fundering. 	- Binnenwand.	

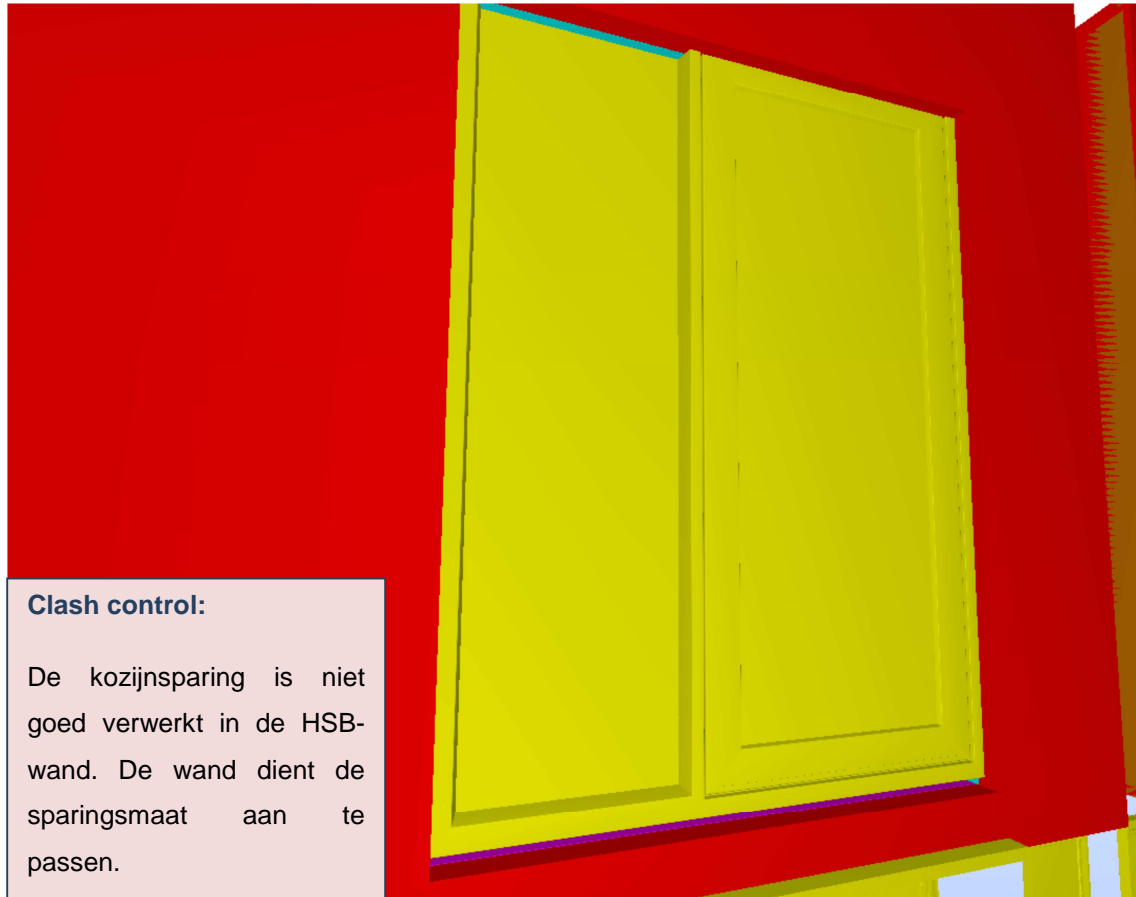
Bijlage II: Iteraties tijdens het project 19 woningen te Drachten

	Vloer	Installateur	Fundering	Kozijn en stelkozijn	Buitenwand	Binnenwand	HSB-wand
Vloeren		Positie van de leidingen.	Hoogte van de funderingsbalk t.o.v. peil.			Oplegging vloer met een stalen latei of betonnen latei.	
Leidingen	Afmetingen en positie van de sparingen.		Afmetingen en positie van de sparingen.				
Funderingen		Positie van de leidingen.					
Kozijnen				Aanslag voor stelkozijn, verbinding kozijn.	Koppenmaat bepaald uiteindelijk de kozijnmaat.	Indirect de afmetingen van de sparingen.	Afmetingen van de sparingen.
Stelkozijnen				Afmetingen en aansluiting kozijn.	Koppenmaat bepaald de stelkozijnmaat.	Afmetingen van de sparingen.	Afmetingen van de sparingen.
Binnenwanden	Oplegging vloer met een stalen latei of betonnen latei.			Aansluitingen stelkozijn.			
Buitenwanden				Afmetingen en posities van de kozijnen en stelkozijnen.		Indirect de posities en afmetingen van de sparingen.	

Bijlage III: Enkele voorbeelden van *clash* controles

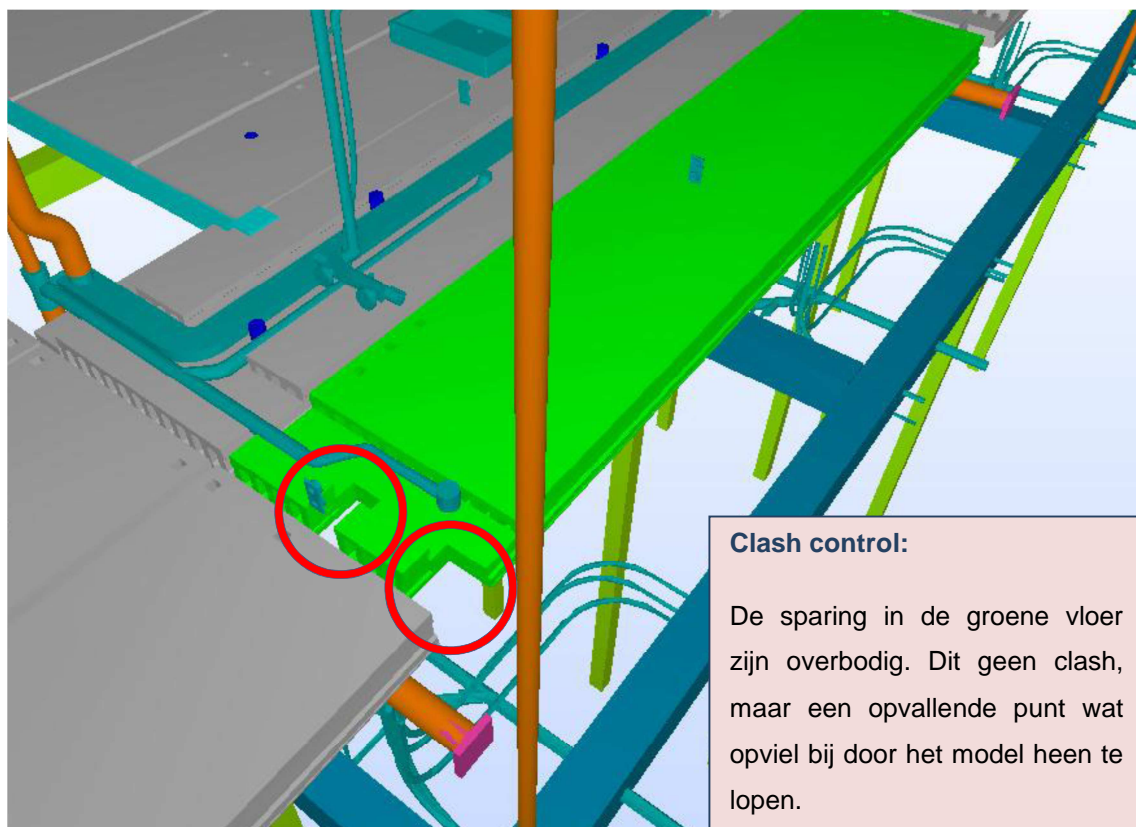






Clash control:

De kozijnsparing is niet goed verwerkt in de HSB-wand. De wand dient de sparingsmaat aan te passen.



Clash control:

De sparing in de groene vloer zijn overbodig. Dit geen clash, maar een opvallende punt wat opviel bij door het model heen te lopen.

OPTIMALISATIE VAN HET WERKVOORBEREIDINGSPROCES

Jarenlang is men in de bouwsector bezig met het toepassen en implementeren van het 3D-model. Door de verwachtingen dat het model bijdraagt tot het verbeteren van het bouwproces, zijn organisaties vaak nieuwsgierig naar het toepassen ervan. Het wordt, ter ondersteuning van projectmanagement taken, steeds meer gebruikt, dit in verband met de toegenomen complexiteit van bouwwerken en de tijdsdruk. Ondanks dat de techniek al jaren bestaat en onderzocht is, zijn er nog steeds problemen met de toepassing en wordt het nog slechts mondjesmaat toegepast.

Om de mogelijkheden van het 3D-model meer te benutten binnen de bouwsector is er een nieuw werkproces: Virtueel Bouwen. Bij dit werkproces zijn naar verwachting mogelijkheden om het bouwproces te optimaliseren. Dit onderzoek richt zich op de toepassing van het Virtueel Bouwen bij de werkvoorbereider. Het brengt naar voren waar Virtueel Bouwen het werkproces kan optimaliseren en of het daadwerkelijk de verbeteringen brengt die verwacht worden.
