
DE MEERWAARDE VAN BIM IN HET SPECIFICATIE EN ONTWERPPROCES VOLGENS SE

HET GEBRUIK VAN EEN BOUWWERK INFORMATIE MODEL VOOR INFORMATIEBEHEER TIJDENS HET SPECIFICEREN EN ONTWERPEN VAN
INFRASTRUCTUUR VOLGENS SYSTEMS ENGINEERING

Rapport: Verslag afstudeeronderzoek
Definitief
18 juni 2012, Arnhem

Auteur: Hans Hoeber, BSc
Master Civil Engineering and Management
Universiteit Twente
Studentnummer 0141879
h.hoeber@royalhaskoning.com

Begeleiders: *Universiteit Twente*
Ir. Robin de Graaf
Dr. Timo Hartmann
Dr. Hans Voordijk

Royal Haskoning
Ir. Daan Alsem
Ing. Nick Elbers
Ir. Robert Schuttinga

UNIVERSITEIT TWENTE.

ROYAL HASKONING
Enhancing Society

VOORWOORD

Met dit onderzoek komt na bijna zes jaar een einde aan mijn studie Civil Engineering and Management aan de Universiteit Twente. Dit onderzoek is het afsluitende werk van deze periode. Tijdens het mastervak Integrated Global Project Management dat ik tegelijk volgde met een ontwerpvak waarin volgens Systems Engineering (SE) gewerkt werd is het idee ontstaan voor dit onderzoek. Kunnen de stappen in het ontwerpproces volgens SE en de informatie die daarbij gebruikt wordt niet beter uitgevoerd worden als gewerkt wordt met een Bouwwerk Informatie Model (BIM)? Vanuit deze vraag, mijn interesse in projectbeheersing/SE en de ontwikkelingen in de sector met het toenemend gebruik van BIM is dit onderzoek ontstaan. Tijdens een kennismaking bij Royal Haskoning in Nijmegen bleek dat deze vraag daar ook speelde waarmee ik een goede omgeving had gevonden om dit onderzoek uit te voeren. In de projecten waar Royal Haskoning aan werkt is dit een erg actueel thema en deze onderzoeksvraag bood mij de kans om mee te kijken bij projecten. Een periode waarin ik veel heb geleerd, zowel op theoretisch gebied als over de praktijk van de Civiele Techniek. Kennis die ik in mijn functie bij Royal Haskoning vanaf 1 juli met veel plezier in de praktijk hoop te brengen.

Er zijn verscheidene personen die met hun inbreng een bijdrage hebben geleverd aan dit onderzoek die ik daarvoor graag wil bedanken. Ten eerste mijn afstudeercommissie; Timo Hartmann, Robin de Graaf en Hans Voordijk. Timo heeft mij vanaf het begin tot het einde inhoudelijk veel goede feedback gegeven en heeft hier altijd de tijd voor genomen. Dit was erg leerzaam en belangrijk voor de kwaliteit van mijn onderzoek. Door Timo zijn kritische blik op mijn onderzoek heb ik veel van hem kunnen leren. Ook de besprekingen met Timo en Robin gezamenlijk waarin we inhoudelijk overleg hebben gevoerd waren erg waardevol. Ten tweede, zeker zobelangrijk, zijn mijn begeleiders/ collega's bij Royal Haskoning: Nick Elbers, Robert Schuttinga en Daan Alsem. Jullie expertise, kennis van de praktijk, enthousiasme en input waren erg waardevol voor mijn onderzoek. Ik heb onze samenwerking als zeer plezierig ervaren en ik zie uit naar onze samenwerking vanaf 1 juli. Daarnaast wil ik mijn ouders, familie en vriendin bedanken voor hun steun, vertrouwen en het mogelijk maken van mijn studie. Ook wil ik mijn vrienden en teamgenoten bedanken voor de nodige afleiding naast dit onderzoek.

Met het afronden van dit onderzoek rond ik ook mijn studententijd af. In mijn studententijd heb ik veel gedaan, meegemaakt en geleerd. Het is een periode die ik nooit vergeet en waar ik met veel plezier op terug kijk.

Hans Hoerber

Arnhem, juni 2012

SAMENVATTING

Opdrachtgevers besteden infrastructurele werken steeds vaker uit op basis van een vraagspecificatie waarin het gewenste systeem functioneel wordt beschreven. Het ontwikkelen van deze specificaties en bijbehorend referentieontwerp kan worden uitbesteed aan een ingenieurbureau, zoals Royal Haskoning (RH). Bij het opstellen van deze vraagspecificatie voor een opdrachtgever (OG) ontstaan vaak een aantal problemen voor het projectteam van RH. De projectteams werken volgens Systems Engineering (SE), de volgende problemen doen zich voor in de processen van deze werkwijze:

- 1) De validatie verloopt niet goed omdat de specificaties en het ontwerp niet duidelijk zijn voor de OG.
- 2) Het configuratiemanagement wordt niet goed uitgevoerd waardoor informatie lastig terug te vinden is.
- 3) Raakvlakken worden niet goed beheerd waardoor ontwerpwijzigingen lang duren.
- 4) De vertaling van de wens van de OG in de vraagspecificatie is niet traceerbaar.

Een oplossing voor deze problemen lijkt te liggen in het gebruik van een 'Bouwwerk Informatie Model' (BIM) bij het opstellen van de vraagspecificatie. Een uitvoering van de betreffende SE processen met het gebruik van BIM door het projectteam zou theoretisch gezien een oplossing voor de problemen kunnen bieden. Op basis van deze mogelijke toepassing van BIM is het volgende onderzoeksdoel geformuleerd: *'Het gebruik van BIM in het iteratieve specificatie en ontwerpproces volgens SE onderzoeken en analyseren of de verwachte verbeteringen bereikt worden.'* Dit doel is nagestreefd door een SE project zonder BIM en een SE project met BIM in casestudy's te analyseren op een aantal criteria die de gewenste situatie beschrijven. Uit de casestudy's blijkt dat aan de gewenste situatie voor de SE processen met het gebruik van een BIM als volgt is voldaan:

- 1) De validatie verloopt beter met BIM dan zonder. De resultaten van het projectteam zijn duidelijker voor de OG en zijn commentaar wordt beter verwerkt. De OG wordt voorzien van een duidelijk beeld van specificaties en ontwerp, maar nog niet in één model. Afwegingen verlopen sneller, maar het is wenselijk dat dit nog sneller kan.
- 2) Het configuratiemanagement is met BIM beter uitgevoerd dan zonder. Informatie van het projectteam en de verschillende systeemonderdelen zijn geïntegreerd in BIM en zo beschikbaar gesteld. Actuele informatie en wijzigingen zijn voor tekstuele informatie goed beschikbaar, voor de informatie in het ontwerp is dit nog lastig. Er zijn baselines met specificaties én ontwerp opgesteld.
- 3) De raakvlakken zijn beter geïdentificeerd en beheerd met BIM dan zonder. De raakvlakken zijn vastgelegd in een dossier en gekoppeld aan objecten in het ontwerp. De ontwerpdelen zijn samengevoegd waarbij beschikbare omgevingsinformatie wordt weergegeven.
- 4) De traceerbaarheid van informatie is beter met BIM dan zonder. De specificaties zijn onderling gekoppeld en ook aan de objecten in het ontwerp. De specificaties hebben een expliciete samenhang met het ontwerp en de objecten structureren de informatie en maken deze traceerbaar.

Er kan worden geconcludeerd dat het SE proces verbetert op de bestudeerde analysecriteria door het gebruik van BIM. De zeven geïnterviewde projectmedewerkers in het project met BIM geven aan dat het werken met een BIM meerwaarde heeft in deze projectfase. Op basis van het inzicht in de wijze waarop het BIM bijdraagt aan de verbeteringen is een richtlijn opgesteld die beschrijft hoe een BIM opgezet en gebruikt moet worden voor het oplossen van de huidige problemen (zie bijlage 1). Voor toekomstige projecten waarbij RH een vraagspecificatie moet opstellen voor een OG worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Zet een project specifiek BIM op, zoals beschreven in de bijgevoegde richtlijn;
- Regel de samenwerking in en rondom BIM met de processchema's in de richtlijn;
- Leg vast in afspraken met de opdrachtgever hoe BIM gebruikt wordt voor de validatie;
- Bepaal welke proces informatie waardevol is op een later moment en leg deze vast tijdens het SE proces;
- Bepaal de objectdefinities zo vroeg mogelijk en gebruik deze om overige informatie te structureren;

INHOUD

AANLEIDING	4
PROBLEEMSTELLING	4
1 THEORETISCH KADER	5
1.1 SYSTEMS ENGINEERING	5
1.2 HET SE PROCES	5
1.3 BIM	6
1.4 BIM EN HET SE PROCES	7
1.5 CONCLUSIE: SE INFORMATIEBEHEER MET BIM	10
2 ONDERZOEKSOPZET	11
2.1 ONDERZOEKSDOEL	11
2.2 AFBAKENING	11
2.3 ONDERZOEKSVRAAG	12
2.4 ONDERZOEKMODEL	12
2.5 ONDERZOEKSSTRATEGIE	12
2.6 DATA VERZAMELING	13
2.7 VALIDITEIT EN BETROUWBAARHEID	14
3 CASESTUDY ENERGIEWEG: SE PROCES ZONDER BIM	15
3.1 HET PROJECT ENERGIEWEG	15
3.2 HET SE PROCES	15
3.3 VALIDATIE	16
3.4 CONFIGURATIEMANAGEMENT	17
3.5 RAAKVLAKEBEHEER	19
3.6 TRACEERBAARHEID	20
4 CASESTUDY DRACHTSTERWEG: SE PROCES MET BIM	22
4.1 HET PROJECT DRACHTSTERWEG	22
4.2 HET SE PROCES	22
4.3 HET GEBRUIKTE BIM	24
4.4 VALIDATIE	26
4.5 CONFIGURATIEMANAGEMENT	28
4.6 RAAKVLAKEBEHEER	29
4.7 TRACEERBAARHEID	31
4.8 ERVARINGEN PROJECTMEDEWERKERS	32
5 VERGELIJKING CASESTUDY'S	33
6 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	35
7 RELEVANTIE	37
7.1 PRAKTISCHE BIJDRAGE: RICHTLIJN	37
7.2 WETENSCHAPPELIJK BELANG	37
8 REFERENTIES	38
BIJLAGE 1: RICHTLIJN VOOR INFORMATIEBEHEER MET BIM IN DE SYSTEEMONTWIKKELING VOLGENS SE	0
BIJLAGE 2: INTERVIEWPROTOCOL	0

AANLEIDING

Dit onderzoek analyseert projecten in de infrastructuur waarbij gewerkt wordt volgens Systems Engineering (SE). SE is het werkproces dat ervoor zorgt dat de vele betrokken partijen bij dergelijke complexe infrastructurele projecten op een expliciete en gestructureerde wijze werken. Het gebruik van SE sluit aan bij het toenemend gebruik van geïntegreerde contractvormen en het functioneel specificeren door opdrachtgevers (Rijkswaterstaat, 2011). Geïntegreerde contracten met functionele specificaties bieden opdrachtnemers de ruimte voor het aandragen en uitvoeren van eigen ideeën. De opdrachtomschrijving moet daarom goed weergeven wat de opdrachtgever (OG) wil en al gemaakte keuzes beschrijven. Om de OG te helpen goed weer te geven wat hij wil en voor beheren van informatie in deze fase kunnen de mogelijkheden die 'Bouwwerk Informatie Modellen' (BIM) bieden mogelijk gebruikt worden. Een BIM is een digitale omgeving waar informatie over het bouwwerk gedeeld wordt tussen de betrokken partijen gedurende de levenscyclus van het bouwwerk (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008). Vaak is deze informatie gekoppeld aan objecten in een digitaal 3D model van het bouwwerk. Een voordeel van BIM is dat informatie, zoals de informatie van het SE werkproces, geïntegreerd kan worden in het model. In dit onderzoek wordt nader ingegaan op het verbeteren van het specificeren en ontwerpen van infrastructurele werken volgens SE met behulp van een BIM. De veronderstelling is dat met het gebruik van een BIM het SE proces beter uitgevoerd kan worden zodat bestaande problemen in dit proces voorkomen worden.

PROBLEEMSTELLING

De OG van infrastructurele projecten heeft vaak weinig ervaring en kennis met het definiëren van het probleem en het ontdekken en vastleggen van de oplossing. In de contactvoorbereidingsfase wordt de OG daarom vaak ondersteund door een team van externe adviseurs aan de hand van de SE werkmethode. De volgende problemen doen zich vaak voor in deze fase:

- De validatie verloopt niet goed: Er is geen eenduidig probleembegrip tussen de OG en het projectteam, de interpretatie van de oplossing die bij de specificaties hoort verschilt en er vinden relatief veel en late scope wijzigingen plaats (Chung, Kumaraswamy, & Palaneeswaran, 2009).
- Raakvlakken worden niet goed beheerd: Ontwerpafwegingen en het bepalen van de impact van wijzigingen op andere delen van het systeem en de omgeving verlopen niet efficiënt (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008).
- Het configuratiemanagement wordt niet goed uitgevoerd. De meest actuele, vigerende informatie, wijzigingen en afwegingen zijn lastig terug te vinden en de impact van een wijziging of afweging kan niet snel bepaald worden (Isaac & Navon, 2008).
- De traceerbaarheid is beperkt. Eisen, functies, objecten en ontwerp hebben geen duidelijke relatie en het is niet duidelijk en navolgbaar hoe de projectdoelen bereikt worden (Ozkaya & Akin, 2006).

Door deze problemen in het informatiebeheer en gebruik in de SE werkmethode is het onduidelijk of de gewenste oplossing voor de OG wordt gedefinieerd. De volgende probleemstelling is daarom geformuleerd: *'Met het huidige beheer en gebruik van informatie doen zich in het SE proces problemen voor met de validatie, het configuratiemanagement, het beheren van raakvlakken en de traceerbaarheid van informatie'*

1 THEORETISCH KADER

In dit hoofdstuk wordt de theoretische achtergrond bij de probleemstelling beschreven. In dit onderzoek wordt gekeken naar projecten waarbij het specificatie en ontwerpproces wordt doorlopen aan de hand van de Systems Engineering (SE) werkmethode; het SE proces. De problemen worden daarom geanalyseerd aan de hand van dit SE proces. Eerst wordt kort toegelicht wat SE en het SE proces inhouden. Vervolgens worden de delen van het SE proces waarmee de beschreven problemen samenhangen, BIM en de verwachte bijdrage van BIM toegelicht.

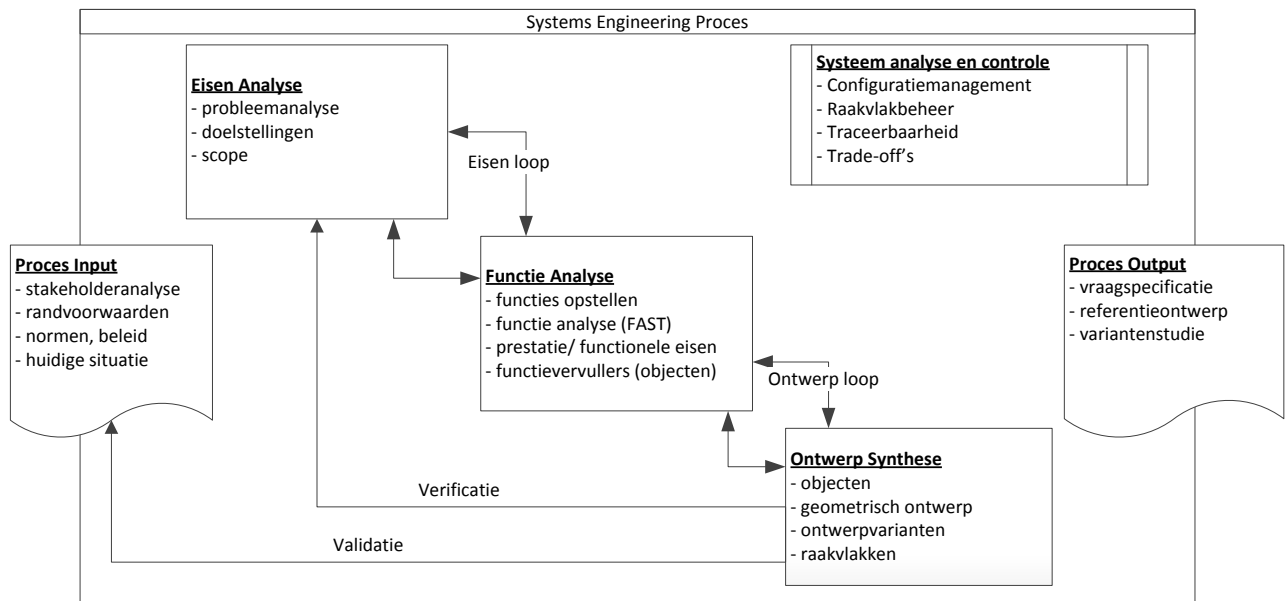
1.1 SYSTEMS ENGINEERING

SE kijkt naar systemen. Een systeem is een geïntegreerde samenstelling van personen, producten en processen welke een specifiek doel bereikt of voorziet in een behoefte (Department of Defense, 2001). De verschillende elementen met een bepaalde interactie voeren functies uit die voortkomen uit de wensen en projectdoelen van een opdrachtgever (OG). De manier waarop SE naar deze systemen kijkt komt voort uit het systeemdenken dat een (deel)systeem in zijn context plaatst en kijkt naar de werking van het geheel. In het systeemdenken wordt veel aandacht gegeven aan de vroege fasen van het proces om te achterhalen wat de achterliggende problemen zijn van de OG, wat de kritische functies zijn van het systeem en hoe deze waarde opleveren voor de OG (Parnell, Driscoll, & Henderson, 2011). Het is zowel een werkwijze voor de technisch inhoudelijke ontwikkeling van een systeem als voor het management van dit ontwikkelingsproces (Parnell, Driscoll, & Henderson, 2011).

In de projecten beschouwd met dit onderzoek wordt op basis van geïntegreerde contracten aanbesteed waarbij een deel van de ontwikkeling van het systeem aan de opdrachtnemer (ON) wordt overgelaten. In tegenstelling tot aanbesteding met een bestek waarin het hele systeem en alle componenten al gedefinieerd zijn bestaat er bij een geïntegreerd contract veel vrijheid voor de opdrachtnemer in het systeemontwerp (Rijkswaterstaat, 2005). Het is belangrijk voor de OG dat er gewerkt wordt met functionele specificaties volgens SE die duidelijk en compleet zijn en er toe leiden dat een systeem met de gewenste functionaliteit gerealiseerd wordt. Door functioneel te specificeren wordt voorkomen dat de OG de ON onnodig beperkt in creatieve en betere oplossingen door bijvoorbeeld technische details te specificeren (Werkgroep Leidraad SE, 2009). In tegenstelling tot bij een meer traditionele gefaseerde manier van werken wordt bij SE niet eerst een compleet en gedetailleerd programma van eisen uitgewerkt voordat de ontwerpfase begint. De eisen worden slechts uitgewerkt op het systeemniveau dat op dat moment beschouwd wordt (Kossiakoff, Seymour, & Biemer, 2011). In de volgende paragraaf wordt verder ingegaan op dit SE proces en de belangrijkste stappen daarin.

1.2 HET SE PROCES

Het SE proces verloopt stap voor stap. In elke stap kan een lager systeemniveau (meer detail) beschouwd worden. Het hoogste niveau wordt vaak het systeemniveau genoemd en het volgende niveau het sub-systeemniveau. Volgens de SE theorie vindt op elk niveau een iteratieve cyclus plaats waarin eisen en wensen van een OG en eventuele andere stakeholders worden omgezet in een beschrijving van het systeemproduct (Department of Defense, 2001). In dit SE proces wordt de vraag van de OG centraal gesteld, de OG specificeert het probleem, de oplossingsruimte (tijd, budget, normen, fysieke begrenzing) en de kwaliteitseisen. In elke iteratieve stap worden dezelfde activiteiten ondernomen, dit proces is weergegeven in Figuur 1. De werkwijze van de personen die deze stappen moeten doorlopen kan worden vastgelegd in een management plan, het Systems Engineering Management Plan (SEMP) (Kossiakoff, Seymour, & Biemer, 2011).



Figuur 1: Het SE proces (gebaseerd op (Department of Defense, 2001))

De verschillende stappen in dit proces zijn (Department of Defense, 2001):

- Eisen Analyse: In deze stap wordt de proces input aan de hand van de probleemanalyse, doelstellingen en scope vertaald in eisen die beschrijven wat het systeem moet doen en in welke mate.
- Functie Analyse: deze stap bestaat uit het analyseren van functies en toedelen van de functies aan functievervullers. Het resultaat bestaat uit een beschrijving van het vereiste functioneren; de functionele structuur. De objecten die de functies vervullen vormen de fysieke structuur. De gedefinieerde functies, eisen en objecten samen vormen de specificaties.
- Ontwerp Synthese: In deze stap wordt de analyse van de eisen heroverwogen met het begrip dat ontstaat door verschillende varianten en configuraties te testen. Uit de gedefinieerde objecten wordt een geometrisch ontwerp gemaakt voor het onderzoeken van varianten en de haalbaarheid van de specificaties; het referentieontwerp. De specificaties en het ontwerp samen vormen de SE producten of de SE proces output.
- Verificatie en Validatie: De proces output wordt geverifieerd om te bepalen of de fysieke structuur die gedefinieerd is voldoet aan de eisen. De functies worden vervuld door objecten die een bepaalde prestatie leveren. De proces output wordt gevalideerd om te bepalen of het overeenkomt met de wensen van de OG en feedback uit de validatie is input voor een nieuwe iteratie in het SE proces.
- Systeemanalyse en controle: Hiertoe behoren beheer activiteiten zoals het bewaken van de voortgang, evalueren en selecteren van alternatieven en het documenteren van informatie en gegevens. De systeemanalyse bestaat o.a. uit trade-off's en de controle activiteiten bestaan o.a. uit configuratiemanagement, raakvlakbeheer en waarborgen van de traceerbaarheid.

Het SE proces kan, afhankelijk van de complexiteit van het systeem, meerdere malen herhaald worden zodat het systeem in meerdere ontwikkelslagen gespecificeerd wordt. Het complete SE proces kan op een bepaald moment weergegeven worden in een baseline waarin de complete stand van zaken op dat moment wordt vastgelegd (Department of Defense, 2001). In de volgende paragraaf wordt toegelicht wat een BIM is.

1.3 BIM

Een BIM is een digitale omgeving waar informatie over het bouwwerk gedeeld kan worden tussen de betrokken partijen gedurende de levenscyclus van het bouwwerk. Vaak is deze informatie gekoppeld aan objecten in een digitaal 3D model van het bouwwerk. De huidige BIM software is gebaseerd op object

gebaseerd modelleren waarbij in plaats van lijnen en punten objecten met bepaalde specificaties ingetekend worden (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008). Vormen en andere eigenschappen van objecten kunnen gedefinieerd en beheerst worden volgens een structuur van parameters. De objecten worden gedefinieerd op basis van eigenschappen zoals afstand en hoek en regels zoals 'verbonden met' of 'parallel aan'. Op deze manier kunnen de verschillende manieren van voorkomen van een type object variëren op basis van de meegegeven parameters en relaties. Dit in tegenstelling tot de tot nu toe veel gebruikte lijn- en punt georiënteerde tekenprogramma's. De stappen van het SE proces kunnen met een centraal model, in dit geval een BIM, ondersteund worden (Baker, Clemente, & Cohen, 2000). In dit onderzoek wordt BIM gebruikt voor het vertalen van de fysieke structuur in een 3D model met betekenisvolle objecten waar specificaties behorende bij deze objecten aan gekoppeld kunnen worden. De term BIM is hierop van toepassing omdat het een model is van het bouwwerk zoals dat gebouwd zal worden gekoppeld aan de SE informatie over dit bouwwerk. Voor het maken van het ontwerp en voor het beheren van de specificaties in een database is verschillende software beschikbaar. In dit theoretisch kader wordt niet uitgegaan van een specifiek software pakket maar worden de mogelijkheden van BIM in het algemeen toegelicht. De problemen in de SE processen en de bijdrage van BIM wordt in de volgende paragraaf per proces nader toegelicht.

1.4 BIM EN HET SE PROCES

De problemen uit de probleemstelling zijn te herleiden naar specifieke SE processen waarin deze problemen zich voordoen. De informatievoorziening naar de OG en het afstemmen van het probleembegrip met de OG met de late scope wijzigingen als gevolg hangen samen met de validatie in het SE proces. De problemen met het beheren van de status van informatie en het bijhouden en doorvoeren van wijzigingen kunnen met de juiste uitvoering van het configuratiemanagement voorkomen worden. Om verschillende varianten (configuraties) te kunnen testen en de impact van wijzigingen te bepalen moeten raakvlakken beheerd worden. Om de samenhang in de informatie te bereiken moet de traceerbaarheid gewaarborgd worden. Op deze SE processen gaan de volgende paragrafen nader in. Per SE proces wordt toegelicht wat het proces inhoudt, waarom dit belangrijk is, welke problemen zich voordoen en hoe BIM kan bijdragen aan het proces.

1.4.1 VALIDATIE

Met de validatie wordt bepaald of het door de ON ontworpen systeem het door de OG gewenste systeem is. De output van het SE proces wordt gevalideerd door de OG en eventueel door andere stakeholders (Department of Defense, 2001). Het commentaar en het vergrootte probleembegrip van de OG uit de validatie is input voor een nieuwe specificatie- en ontwerpronde in het SE proces (Department of Defense, 2001). Het toenemend probleembegrip van de OG is vaak de reden van scope wijzigingen, het project wordt steeds duidelijker afgebakend.

De validatie is belangrijk om er voor te zorgen dat de ON en OG hetzelfde beeld hebben van het te realiseren systeem (Werkgroep Leidraad SE, 2009). Het moment van validatie en de vorm (tekst, tekeningen, simulatie, etc.) zijn bepalend voor het probleembegrip van de OG en belangrijk voor het bepalen van de scope en het gewenste systeem (Christiansson, Svidt, Perderson, & Dybro, 2011). Wijzigingen die voortkomen uit de validatie zijn een belangrijk onderdeel van het SE proces (Kossiakoff, Seymour, & Biemer, 2011).

Een probleem met de validatie is dat de informatievoorziening naar de OG vaak niet goed verloopt. De OG kan alleen valideren als de specificaties en het ontwerp duidelijk en begrijpelijk aan hem worden voorgelegd. In de praktijk gaan het vergroten van het probleembegrip van de betrokken partijen, het afleiden van de eisen, het ontdekken van het ontwerp en het probleembegrip van de OG niet gelijk op zoals bedoeld in het SE proces. Ook wordt de feedback van de OG niet zo verwerkt dat deze navolgbaar is. Het verwerken van de feedback of scope wijzigingen in een nieuwe iteratie in het SE proces wordt als vervelend ervaren in plaats van belangrijk.

Een BIM kan bijdragen aan deze validatie met een virtuele representatie van de SE proces output. Met het samenbrengen van specificaties en het ontwerp in een BIM is een snelle, eenvoudige, continue interactie- en

consistentiecheck tussen eisen en ontwerp mogelijk (Christiansson, Svidt, & Sorensen, 2009). De specificaties uit het SE proces kunnen opgeslagen worden in een database (Hull, Jackson, & Dick, 2005). Met BIM wordt met slimme objecten getekend waar informatie uit de database via de parameters van de objecten aan gekoppeld kan worden (Eastman, Lee, Jeong, & Lee, 2009; Pauwels, et al., 2011). Met de koppeling is het duidelijk hoe functies en eisen zijn vertaald in het ontwerp. Als de eisen en functies bij het geometrisch ontwerp worden weergegeven zijn ze goed te valideren (Shen, Shen, & Sun, 2011). Lange lijsten met eisen bieden geen eenduidig beeld van de oplossing, het ontwerp wel (Hull, Jackson, & Dick, 2005). Daarnaast is het mogelijk om in het 3D model door het 3D ontwerp heen te lopen (Christiansson, Svidt, Pedersen, & Dybro, 2011). De OG kan op basis van dit duidelijke beeld zijn wensen goed uitdrukken. Het meedenken en inbrengen van commentaar door de OG wordt zo gestimuleerd en kan navolgbaar gebruikt worden in een nieuwe iteratie in het SE proces (Koskiakoff, Seymour, & Biemer, 2011).

1.4.2 CONFIGURATIEMANAGEMENT

Verandering is onvermijdelijk in het SE proces, met configuratiemanagement (CM) worden de status en wijzigingen van items bijgehouden. Items zijn de producten die geproduceerd worden tijdens de levenscyclus van het systeem (Department of Defense, 2001). In de context van dit onderzoek zijn de items de specificaties en ontwerpen. De status van een item is de actuele stand van zaken van het item. Volgens de ISO/IEC 15288:2008 moet voor Configuratiemanagement (NEN, 2008):

- Een CM strategie gedefinieerd worden
- Items die CM nodig hebben gedefinieerd worden
- Configuratie baselines opgesteld worden
- Veranderingen aan items onder CM beheerst worden
- De status van items onder CM ten allen tijde duidelijk zijn

CM is belangrijk voor het vaststellen en behouden van controle over items. Met CM wordt de impact van wijzigingen op het systeem beheerst en wordt het proces gestructureerd. Configuraties worden beheerd zodat het afwegen van varianten goed verloopt. Wijzigingen worden met het CM op een handzame manier bijgehouden en aan de betrokken partijen beschikbaar gesteld (NEN, 2008).

Vaak wordt CM niet goed uitgevoerd in de SE projecten waardoor het onduidelijk is wat de meest actuele en vigerende informatie is en waar deze gevonden kan worden. Daarbij worden wijzigingen niet gestructureerd doorgevoerd, bijgehouden en beschikbaar gesteld.

Een BIM kan bijdragen aan het CM door de SE proces output samen te brengen in baselines in een virtuele weergave waarin het ontwerp en specificaties samengebracht worden (Piaszczyk, 2011). Deze baselines geven de actuele stand van zaken van het SE proces weer in het (3D) model van het bouwwerk met de bijbehorende specificaties. De impact van wijzigingen kan dan snel duidelijk gemaakt worden doordat in de baselines de relevante informatie en de relaties daartussen zijn ondergebracht. Bij het wijzigen van een object zijn in een BIM de relaties met de andere objecten duidelijk, evenals de bijbehorende specificaties (Isaac & Navon, 2008). Met het object gebaseerde ontwerp kunnen eenvoudig verschillende varianten opgesteld worden en verschillende configuraties getest worden (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008). Daarnaast kunnen de bevoegdheden voor bewaring, toegang, vrijgave en beheersing van wijzigingen die vastgelegd zijn in de CM strategie ook in een BIM gebruikt worden zodat alleen geautoriseerde personen een object kunnen aanpassen en op de hoogte worden gesteld van wijzigingen aan het object (Isaac & Navon, 2008).

1.4.3 RAAKVLAKBEHEER

Raakvlakken zijn fysieke of functionele eigenschappen van delen van het systeem met andere delen van het systeem of met de omgeving (Werkgroep Leidraad SE, 2009). Het opdelen van het systeem leidt tot interne raakvlakken. Interne raakvlakken zijn raakvlakken binnen de systeemgrenzen tussen verschillende subsystemen, componenten en onderdelen die een bepaalde interactie hebben en samen het systeem vormen

(Department of Defense, 2001). De interne raakvlakken kunnen in kaart gebracht worden met een relatiematrix waarin de object decompositie verticaal en horizontaal wordt uitgezet (Browning, 2001). Interne raakvlakken kunnen ook in het SE proces ontstaan door een decompositie in taken, bijvoorbeeld in een Work Breakdown Structure (Werkgroep Leidraad SE, 2009). Ook kan het gaan om raakvlakken tussen eisen (Hull, Jackson, & Dick, 2005). Externe raakvlakken zijn de fysieke of functionele raakvlakken van het systeem met de omgeving en objecten in deze omgeving (omgevingsobjecten).

Het beheren van interne en externe raakvlakken is belangrijk om te kunnen ontwerpen, verschillende configuraties te testen en om problemen bij het realiseren of het functioneren van het systeem te voorkomen (Department of Defense, 2001). Ook voor wijzigingen moeten de raakvlakken gecontroleerd worden en moeten systeemdelen en werkzaamheden afgestemd worden. De interne en externe raakvlakken moeten daarom zorgvuldig geïdentificeerd en gedocumenteerd worden (NEN, 2008).

Het probleem is dat raakvlakken vaak niet goed in kaart gebracht of vastgelegd zijn waardoor het lastig is om wijzigingen door te voeren en de impact van wijzigingen of afwegingen te bepalen. De in het SE proces voorkomende ontwerpafwegingen, varianten en vereiste afstemming zijn daardoor tijdrovend en iteraties in het SE proces kunnen niet snel uitgevoerd worden.

Met een BIM kunnen raakvlakken beter vastgelegd worden door de raakvlakken net als de functies, eisen en objectdefinities in een database vast te leggen en te koppelen aan de objecten in het ontwerp. Door de raakvlakspecificaties in een BIM onder te brengen zijn ze expliciet duidelijk en kunnen bij wijzigingen of het opstellen van varianten snel gecontroleerd worden. Daarnaast kunnen raakvlakken met een BIM beter geïdentificeerd worden. Met het virtuele 3D model van het bouwwerk, waarin de verschillende ontwerpdelen zijn samengebracht in één model, kunnen de interne raakvlakken in kaart worden gebracht.. Daarnaast kan met het object gebaseerd ontwerp in een BIM kunnen de raakvlakken tussen de objecten goed geïdentificeerd worden (Bharathan, Poe, & Bahill, 1995). De raakvlakken en mogelijke conflicten zijn in het object gebaseerd ontwerp eventueel met speciale 'clash detection' software te identificeren (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008). Door in BIM ook omgevingsinformatie onder te brengen kunnen externe raakvlakken beter in kaart worden gebracht (CUR Bouw & Infra, 2011). Door het gebruik van Geografische Informatie Systemen (GIS) kan geografische informatie en andere informatie, die via GIS beschikbaar komt, gebruikt worden (Isikdag, Underwood, & Aouad, 2008). BIM en GIS software is nog niet goed geïntegreerd maar het 3D model kan worden weergegeven in GIS (Isikdag, Underwood, & Aouad, 2008). De geografische informatie die met GIS beschikbaar komt kan op deze manier onderdeel uit maken van een BIM en gebruikt worden bij het in kaart brengen van externe raakvlakken.

1.4.4 TRACEERBAARHEID

Traceren is het controleren van het vertalen van de doelen en wensen van de OG in de specificaties en het ontwerp. Wanneer het duidelijk is hoe de doelen en de wensen van de OG vertaald zijn is er sprake van een goede traceerbaarheid (Hull, Jackson, & Dick, 2005). Traceren kan voorwaarts of achterwaarts gedaan worden. Voorwaarts traceren begint bij de input van het SE proces. Doelen worden vertaald in functies die het systeem moet vervullen, bijbehorende eisen en het systeemontwerp. Dit laat zien hoe de projectdoelen gerealiseerd worden met de functionele structuur (Swart, 2010). Deze functionele structuur kan gebaseerd worden op een functie-analyse diagram volgens de FAST methode wat bijdraagt aan de traceerbaarheid (Kaufman & Woodhead, 2006). In een FAST diagram wordt de functionaliteit van het systeem vanuit de projectdoelen traceerbaar uitgezet. Achterwaarts traceren legt relaties naar de oorsprong en laat zien hoe een bepaald deel van het systeem bijdraagt aan het behalen van de projectdoelen. Hiertoe kunnen ook ontwerp structuur matrices gebruikt worden waarin de relatie van eisen of functies en objecten of ontwerp expliciet worden weergegeven (Browning, 2001).

De traceerbaarheid is belangrijk omdat het structureren van de informatie, zodat het resultaat navolgbaar tot stand komt, een belangrijk doel is van SE. Zowel de decompositie structuren, het ontwerp als de overige SE

informatie moeten een goede traceerbaarheid hebben (NEN, 2008). Voor de contractdocumenten is een correcte, volledige en duidelijke overdracht van informatie naar de opdrachtnemer erg belangrijk.

Een probleem is dat de samenhang van informatie vaak beperkt is waardoor niet expliciet duidelijk en traceerbaar is hoe de projectdoelen bereikt worden met de oplossing (Ozkaya & Akin, 2006). Het verband tussen functies, eisen, objecten en het ontwerp is dan niet duidelijk (Hull, Jackson, & Dick, 2005).

BIM kan bijdragen aan de traceerbaarheid door de informatie in samenhang te beheren (Ozkaya & Akin, 2006). In een database kunnen de proces input, de functies, de objecten, de eisen en raakvlakken ondergebracht en onderling aan elkaar gerelateerd worden zodat deze informatie een goede traceerbaarheid heeft (Hull, Jackson, & Dick, 2005). Doordat met BIM object-gebaseerd ontworpen wordt kunnen de objecten zoals gedefinieerd in de fysieke structuur gebruikt worden om het ontwerp op te stellen (Bharathan, Poe, & Bahill, 1995). De eisen, functies en raakvlakken kunnen aan de objecten in de database gerelateerd worden en de objecten zijn terug te vinden in het ontwerp via een koppeling aan de parameters van de objecten. De relatie van het geometrisch ontwerp met de overige SE informatie is in een BIM op deze manier expliciet (Ozkaya & Akin, 2007).

1.5 CONCLUSIE: SE INFORMATIEBEHEER MET BIM

Uit de literatuur wordt geconcludeerd dat de toepassing van BIM voor het Informatiebeheer kan bijdragen aan het oplossen van de geïdentificeerde problemen. De relevante SE processen en de problemen die zich daar in voordoen en de verwachte verbetering met een BIM zijn samengevat in onderstaande Tabel 1.

Tabel 1: SE processen, problemen in deze SE processen en de verwachte verbetering met een BIM

SE proces	Problemen in het SE proces	BIM verbetering
Validatie	Informatievoorziening van en naar de OG. Er is geen vroegtijdig probleembegrip en de interpretatie van de oplossing verschilt. De kennis van de OG is impliciet.	Presentatie van informatie. Afleiden eisen aan de hand van ontwerp-kennis. Beter verwerken van de validatie resultaten
CM	Meest actuele, vigerende informatie, wijzigingen en afwegingen moeilijk terug te vinden.	Terugvinden van informatie. Het bijhouden, doorvoeren en beschikbaar stellen van wijzigingen. Complete baselines van de SE proces output
Raakvlakbeheer	Ontwerpafwegingen, varianten en vereiste afstemming tijdrovend.	Vastlegging in specificaties en ontwerp. Omgevingsinformatie met GIS. Het samenvoegen van ontwerpdelen in één model.
Traceerbaarheid	De samenhang van informatie is beperkt. Niet expliciet duidelijk hoe de projectdoelen behaald worden.	Expliciete samenhang van decomposities en van ontwerp en specificaties. De objectstructuur structureert informatie.

De probleemstelling lijkt opgelost te kunnen worden door al in een vroeg stadium van een project een BIM te gebruiken in de genoemde SE processen. Met een BIM kan het iteratieve SE proces beter uitgevoerd worden. In het volgende hoofdstuk wordt beschreven hoe met dit onderzoek bepaald is of de probleemstelling daadwerkelijk opgelost kan worden met de beschreven inzet van BIM.

2 ONDERZOEKSOPZET

Dit hoofdstuk beschrijft de opzet van het onderzoek. In de eerste paragraaf wordt het onderzoeksdoel beschreven, gevolgd door de afbakening en scope van het onderzoek. Vervolgens worden de onderzoeksvragen, het onderzoekmodel en de onderzoeksstrategie beschreven.

2.1 ONDERZOEKSDOEL

Uit het theoretisch kader blijkt dat de toepassing van BIM zou kunnen helpen de relevante SE processen beter uit te voeren. Het geformuleerde onderzoeksdoel is: *'Het gebruik van BIM in het iteratieve specificatie en ontwerpproces volgens SE onderzoeken en analyseren of de verwachte verbeteringen bereikt worden.'*

In het theoretisch kader is bepaald welke aspecten van het SE proces met BIM verbeterd moeten worden. Deze aspecten zijn uitgedrukt in de volgende analyse criteria die de gewenste situatie beschrijven:

- Validatie: De OG wordt tijdig voorzien van een duidelijk beeld van de SE proces output zodat het probleembegrip vergroot wordt en de resultaten van de validatie worden navolgbaar verwerkt in het SE proces.
- Configuratiemanagement: Actuele informatie en baselines met de specificaties én het ontwerp zijn voor het projectteam beschikbaar en wijzigingen worden vastgelegd en beschikbaar gesteld aan het projectteam.
- Raakvlakkenbeheer: Raakvlakken worden vastgelegd in tekst en ontwerp waarbij de verschillende ontwerpdelen worden samengevoegd en beschikbare informatie over omgevingsobjecten wordt weergegeven.
- Traceerbaarheid: De specificaties hebben een expliciete samenhang met de geformuleerde projectdoelen, hoofdfuncties en het ontwerp.

Wanneer met een BIM aan deze gewenste situatie wordt voldaan is een oplossing gevonden voor de problemen in de beschreven SE processen.

2.2 AFBAKENING

2.2.1 SCOPE

De scope van het onderzoek is het SE proces in de fase van de contractvoorbereiding van infrastructurele projecten. In deze fase wordt de klant eis achterhaald en omgezet in een vraagspecificatie met referentieontwerp voor uitbesteding aan een marktpartij voor verdere uitwerking (Rijkswaterstaat, 2011). De richtlijn die ontwikkeld wordt is daarom specifiek gericht op het SE proces en de informatiebehoefte in deze projectfase. In dit onderzoek wordt specifiek gekeken naar de verbeteringen die met BIM bereikt worden in het SE proces op de geformuleerde criteria en in de contractvoorbereidingsfase van infrastructurele projecten.

2.2.2 RESULTATEN

Het resultaat van het onderzoek bestaat uit kennis over de impact van BIM op de bestudeerde SE processen en hoe verbeteringen daarin bereikt kunnen worden met het BIM. Deze kennis is gebruikt voor het opstellen van een richtlijn die toegepast kan worden in toekomstige infrastructurele SE projecten in de contractvoorbereiding voor het opzetten en gebruik van BIM. Deze richtlijn beschrijft hoe een BIM opgezet moet worden en hoe een BIM gebruikt moet worden in de bestudeerde SE processen. Een werkwijze bestaat uit een verzameling van gerelateerde processen, methoden en hulpmiddelen (Estefan, 2008). De richtlijn bestaat uit een aantal processchema's die de werkwijze met BIM beschrijven, deze zijn te vinden in bijlage 1.

2.3 ONDERZOEKSVRAAG

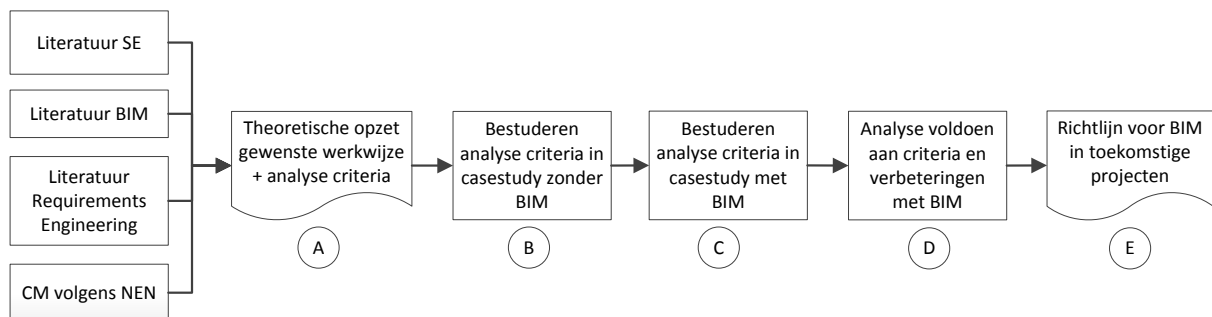
De hoofdvraag in dit onderzoek is: *'Kan met het gebruik van BIM het iteratieve specificatie en ontwerpproces van infrastructurele projecten volgens SE verbeterd worden?'*

De hoofdvraag is opgedeeld in de volgende onderzoeksvragen:

1. Hoe verlopen de SE processen voor de analyse criteria in de praktijk zonder BIM?
2. Hoe verlopen de SE processen voor de analyse criteria in de praktijk met BIM?
3. Wat is het verschil tussen de SE processen op de analyse criteria met BIM en zonder BIM?
4. Hoe zijn de SE processen, op de analyse criteria, beïnvloed met BIM?
5. Hoe moet BIM in toekomstige projecten toegepast worden om de gewenste situatie te bereiken?

2.4 ONDERZOEKMODEL

In deze paragraaf is een schematische weergave van de stappen die genomen zijn in het onderzoek weergegeven (Verschuren & Doorewaard, 2007).



Figuur 2: Onderzoekmodel (gebaseerd op (Verschuren & Doorewaard, 2007))

Stap A is gedaan op basis van de literatuur, het resultaat is het theoretisch kader in hoofdstuk 2. De onderzoekstappen B tot en met E zijn uitgevoerd bij Royal Haskoning. In stap B is van het project Energieweg te Nijmegen beschouwd hoe de SE processen voor de analyse criteria verlopen zijn zonder BIM. In stap C zijn de SE processen met een BIM bij het lopende project Drachtsterweg te Leeuwarden bestudeerd. Het verschil tussen deze cases laat zien of, en zo ja hoe, de analysecriteria beïnvloedt worden met BIM, dit is geanalyseerd in stap D. In stap E is de richtlijn voor de toepassing van BIM in toekomstige projecten opgesteld.

2.5 ONDERZOEKSSTRATEGIE

Het doel van dit onderzoek is bepalen of het complexe probleem waarmee men in de praktijk te maken heeft opgelost kan worden door te werken met een BIM. De in stap A ontwikkelde theoretische opzet is in stap E aangepast aan de praktische context om daadwerkelijke adoptie te bereiken. In elk bouwproject is de werkwijze min of meer uniek en de specifieke projectcontext moet goed begrepen worden (Hartmann, Fischer, & Haymaker, 2009). De ontworpen werkwijze is aan te passen aan deze specifieke context. Er moet een begrip ontstaan van de praktische context in een project om dit te bereiken. Daartoe zijn de middelen en technieken van etnografie gebruikt waarmee het gedrag, de denkwijze en het gevoel van de projectmedewerkers van Royal Haskoning bestudeerd is. Deze informatie is nodig voor de complete verklaring van het geobserveerde gedrag en de gevolgde werkwijze (Yin, 1984). Op basis van dit begrip is in stap E de ontworpen werkwijze aangepast aan de specifieke projectcontext.

2.6 DATA VERZAMELING

Voor de casestudy's zijn twee projecten van Royal Haskoning (RH) geselecteerd op basis van de benodigde kenmerken; allebei volgens SE, één zonder BIM en één met BIM en voor soortgelijke projecten in dezelfde projectfase. Het eerste casestudy project is het project Energieweg te Nijmegen waarbij RH voor de OG de contractdocumenten heeft opgesteld volgens SE zonder met een BIM te werken. De data verzameling in deze case is in retrospectief. Het tweede casestudy project is het project Drachtsterweg te Leeuwarden waar ook volgens SE gewerkt is en wel met een BIM. In dit project is tijdens het onderzoek door het projectteam gewerkt aan de contractdocumenten en is data verzameld in deelname aan het project. Met de data uit deze casestudy's is een vergelijking gemaakt tussen twee contractvoorbereidingen waarbij een binnenstedelijke weg volgens SE ontwikkeld wordt voor een OG. De data die verzameld is bestaat uit alle relevante informatie voor het beoordelen van het SE proces op de analyse criteria. Voor beide casestudy's was de projectdocumentatie beschikbaar en het projectteam van beide projecten was aanwezig op de werkvloer zodat informatie goed verkrijgbaar was. Omdat het project Energieweg tijdens het onderzoek zich in een latere fase dan de contractvoorbereiding bevond zijn hiervoor wel minder overleggen bijgewoond. De relevante verzamelde data is ondergebracht in het kwalitatieve data analyse pakket Atlas.ti en de analyse criteria zijn gebruikt om de data te coderen. In Tabel 2 is een overzicht van de verzamelde data in beide projecten weergegeven. De documenten zijn gegroepeerd in een aantal groepen soortgelijke documenten en het aantal quotes (tekst bij een code) per groep is weergegeven. Bij beide projecten zijn naast de in de tabel genoemde documenten veel ontwerptekeningen beschikbaar in diverse formaten. In de casestudy Drachtsterweg komt de variantenstudie terug in de review resultaten en de ontwerplogboeken.

Tabel 2: Verzamelde data in Atlas.ti in de twee casestudy projecten.

Case 1: Energieweg			Case 2: Drachtsterweg		
Type documenten	# documenten	# quotes	Type documenten	# documenten	# quotes
Projectplannen	3	19	Projectplannen	5	18
Vraagspecificatie	3	18	Vraagspecificatie	2	8
Decomposities	2	2	Decomposities	4	3
Verificatie	2	3	Verificatie	0	0
Interviews	2	16	Interviews	7	112
Review resultaten	4	7	Review resultaten	3	7
Variantenstudie	4	23	Variantenstudie	2	7
Tekeningenlijst	2	7	Tekeningenlijst/ logboek	3	5
Wijzigingenlijst	3	10	Wijzigingenlijst	2	1
Notulen overleg	6	15	Notulen overleg	22	51
			Tekeningen	5	5
			Resultaten enquête	1	10
			BIM opzet	4	8
Totaal	31	118	Totaal	59	237

De bijgewoonde overleggen en de gehouden interviews zijn uitgewerkt in notulen voor de data analyse in Atlas.ti. De gehouden interviews zijn semigestructureerde etnografische interviews met open kwalitatieve vragen (Spradley, 1979). Voor de casestudy Energieweg zijn interviews gehouden met personen uit het projectteam van RH die veel hebben meegekregen van het SE proces, dit zijn de SE adviseur en de projectleider. In het tweede casestudy project zijn voor de interviews alle personen uit het projectteam van RH geselecteerd die met het BIM werken, dit zijn de projectleider, SE adviseur, GIS specialist, technisch manager, projectbeheerser, een wegontwerper en de contract adviseur. Deze personen hebben (een deel van) de bestudeerde processen meegemaakt en uitgevoerd en kunnen het verloop daarom uitgebreid toelichten. In de interviews is gebruik gemaakt van een vaste lijst vragen die echter niet strikt is gevolgd om de geïnterviewde personen de ruimte te geven ervaringen te vertellen en het verloop van de processen uitgebreid toe te lichten. Het gebruikte interviewprotocol is toegevoegd in Bijlage 2. De interviews duurden gemiddeld 45 minuten. Op

deze manier is een goed beeld ontstaan van de problemen in de bestudeerde SE processen en de bijdrage van BIM aan de werkzaamheden van de projectmedewerkers.

De resultaten van de analyse van de data zijn beschreven in deze schriftelijke rapportage. Op deze manier is uit de informatie bij de coderingen de theorie over het verloop van het SE proces in beide projecten gefundeerd in de empirie volgens de gefundeerde theorie (Strauss & Corbin, 1998).

2.7 VALIDITEIT EN BETROUWBAARHEID

In de twee casestudy's is de validiteit op verschillende manieren bewaakt. De validiteit van de opzet is bereikt door in de casestudy's meerdere bronnen te gebruiken om data te verzamelen; de weergegeven projectdocumentatie, het bijwonen van verschillende overleggen zoals overleg met de OG en overleg over de implementatie van BIM, interviews en gesprekken op de werkvloer en het volgen van de dagelijkse werkzaamheden. De validiteit is tevens bereikt doordat het bewijs en de beweringen navolgbaar gerapporteerd zijn en door de belangrijkste actoren in de case de conclusies te laten valideren (Yin, 1984). Daarnaast sluit de opzet aan bij de wetenschappelijke ontwikkelingen uit de geraadpleegde literatuur (zie theoretisch kader) en levert dit onderzoek een bijdrage aan deze literatuur (zie wetenschappelijke bijdrage). De database in Atlati met alle relevante informatie ondersteund met deze rapportage draagt bij aan de betrouwbaarheid (Yin, 1984). In het volgende hoofdstuk worden de resultaten van de casestudy's besproken.

3 CASESTUDY ENERGIEWEG: SE PROCES ZONDER BIM

De resultaten van de casestudy zijn beschreven aan de hand van de vier analyse criteria. De analyse criteria geven de gewenste situatie weer van de bestudeerde SE processen. Het SE proces zoals in het project verlopen is bij elk criterium toegelicht. De resultaten van deze casestudy zijn het antwoord op de eerste onderzoeksvraag.

3.1 HET PROJECT ENERGIEWEG

Het casestudy project betreft de reconstructie van een binnenstedelijke weg in Nijmegen in opdracht van de gemeente Nijmegen. Royal Haskoning (RH) heeft in dit project het team van de gemeente dat de inhoudelijke plannen maakte ondersteund. Het projectteam van RH werkte samen met het projectteam van de gemeente en enkele specialisten bij de gemeente die geraadpleegd konden worden. Het projectteam van RH bestond uit een projectleider, verkeerskundige, een riolering en waterdeskundige, een (algemeen) civiel ingenieur, drie ontwerpers/tekenars en een SE specialist (SE'er). De producten die het team heeft geleverd zijn een inventarisatie van gegevens van de huidige situatie, ontwerp en specificaties op systeemniveau en subsysteemniveau en contractdocumenten voor de aanbesteding. Het projectteam van RH is in september 2009 begonnen en in januari 2011 waren de contractdocumenten klaar. Op basis van de contractdocumenten is het project aanbesteed aan een uitvoerende marktpartij die in samenwerking met de gemeente en RH het ontwerp verder heeft uitgewerkt en op het moment van schrijven is de uitvoering van het werk net begonnen.

3.2 HET SE PROCES

Het systeem Energieweg is een infrastructurele voorziening die:

- snel- en langzaam verkeer afwikkelt
- de uitwisseling van snel- en langzaam verkeer verzorgt
- de uitwisseling van fiets- en voetgangersverkeer verzorgt
- de ontsluiting van individuele, aan de Energieweg gelegen bedrijven, verzorgt

Tot het systeem behoort alles wat nodig is om deze functies te kunnen vervullen, en alles wat nodig is om de objecten die hiervoor nodig zijn in de omgeving ingepast te krijgen. In onderstaande Figuur 3 zijn de systeemgrenzen van het systeem Energieweg ingetekend, dit is de scope van het project.

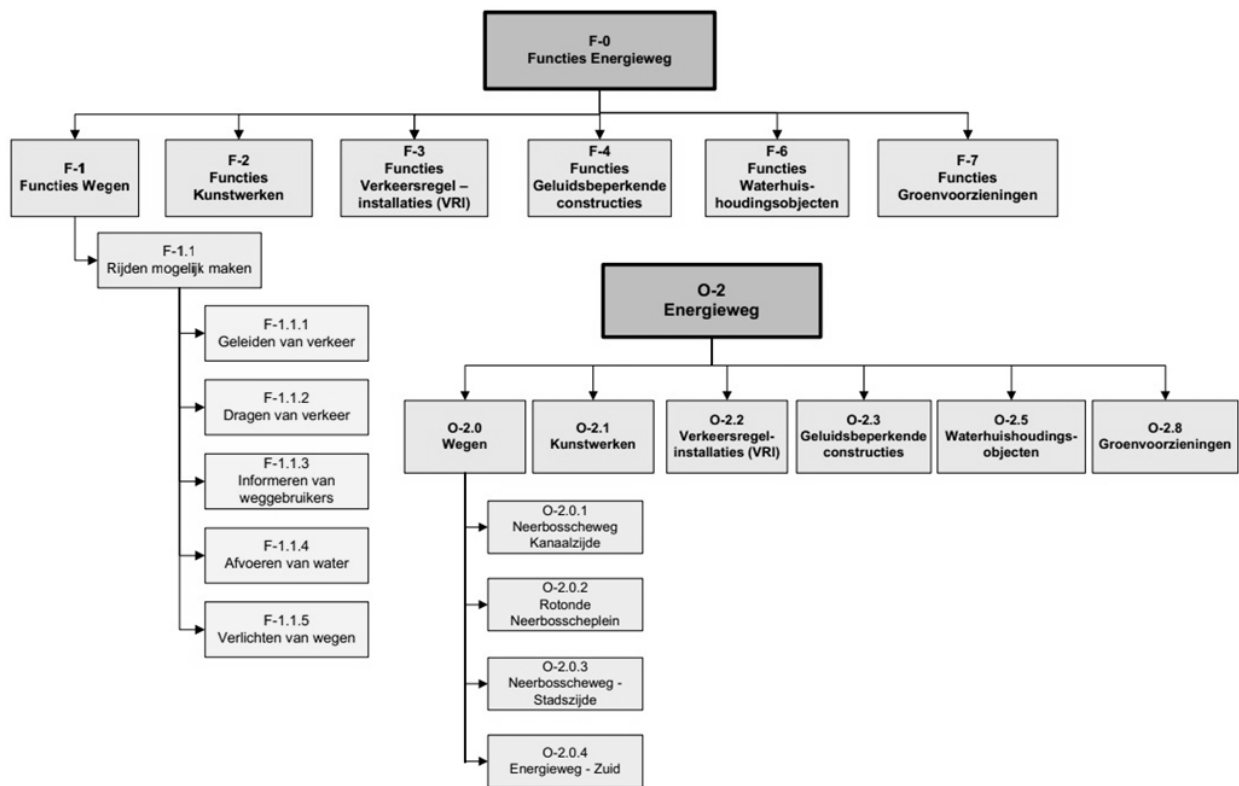


Figuur 3: Systeemgrenzen van het systeem Energieweg aangegeven met de zwarte stippellijn

De doelstellingen van het project Energieweg zijn:

- Het systeem dient bij te dragen aan een verbeterde afwikkeling van verkeer
- Het systeem dient de bereikbaarheid van de gebieden rondom de Energieweg te garanderen
- Het systeem dient te functioneren in de omgeving met behoud van functioneren van de omgeving

De geformuleerde doelen vormen de input voor het begin van het SE proces op systeemniveau. De doelstellingen zijn vertaald in functies. Het systeem is opgedeeld in een objectenstructuur zoals weergegeven in Figuur 4. Van de subsystemen is alleen het subsysteem wegen hier uitgesplitst als voorbeeld. De structuur in de decompositie van de functies is ook weergegeven in onderstaande Figuur 4.



Figuur 4: Decompositie van de functies en objecten van het systeem Energieweg

In de volgende paragrafen wordt het doorlopen SE proces geanalyseerd aan de hand van de analyse criteria.

3.3 VALIDATIE

De gewenste situatie voor de validatie is beschreven in onderstaande analyse criterium:

1. De OG wordt tijdig voorzien van een duidelijk beeld van de SE proces output zodat het probleembegrip vergroot wordt en de resultaten van de validatie worden navolgbaar verwerkt in het SE proces.

Het voldoen van de validatie in het project aan het criterium wordt toegelicht.

Presentatie SE proces output voor vergroten probleembegrip

De specificaties zijn voorgelegd aan de OG in een aantal diagrammen van de decomposities zoals in figuur 4 en daarnaast tekstueel in verschillende documenten met hierin lijsten van eisen, functies en objecten. De gemeente had de intentie om op een andere manier met deze informatie om te gaan door met een database te gaan werken waarin de relaties tussen objecten, eisen en functies aangegeven kunnen worden. RH had geen licentie voor deze database en de database is daarom niet gebruikt.

Het ontwerp is voorgelegd aan de OG in 2D tekeningen. De belangrijkste zaken zoals de weg, erfaansluitingen en de rotondes kunnen afgelezen worden in deze 2D tekeningen. Er is geen sprake van een complexe ruimtelijks situatie waarvoor een 3D model van het ontwerp nodig is.

De SE proces output is echter niet als één geheel met een compleet beeld van de specificaties én het ontwerp gevalideerd. De projectmedewerkers geven ook aan dat in het SE proces er sprake is van een beperkte

samenwerking tussen de personen die specificeren, ontwerpen en de validerende OG. Zo zegt de SE specialist in dit project: *'Er is een duidelijke scheiding zichtbaar tussen de opdrachtgever die samenwerkt met de SE'er en daarnaast de ontwerpers, er is geen sprake van een geïntegreerde werkwijze waarbij opdrachtgever, SE'er en ontwerpers om tafel zitten'* (Schuttinga R. , 2011). De twee geïnterviewde projectmedewerkers geven aan dat het specificeren en ontwerpen in de praktijk gescheiden gebeurt. De ontwerpers hebben beperkte kennis van SE en gebruiken vooral de eisen die voortkomen uit het SE proces dat door de SE'er met de OG doorlopen wordt. De specificaties en het ontwerp zijn wel parallel ontwikkeld maar het onderbouwen en illustreren van de specificaties met het ontwerp volgens het SE proces is niet gebeurd. Dit wordt goed geïllustreerd in een notitie aan de OG die de stand van zaken van het systeemontwerp beschrijft: *'Op basis van het eisendocument dient het ontwerp van de Energieweg gemaakt te worden. Aangezien het opstellen van het ontwerp en het eisendocument parallel hebben gelopen in het voorbereidingstraject moet de verificatie van het ontwerp aan de hand van de eisen uit het eisendocument nog gebeuren.'* Een aantal tekeningen en het eisendocument zijn meegestuurd met deze notitie ter validatie. De specificaties en het ontwerp zijn als aparte producten ontwikkeld en gepresenteerd waarmee geen goed beeld is gegeven van de complete SE proces output.

Verwerken resultaten validatie

De resultaten van de validatie en bijbehorende afwegingen zijn op verschillende manieren bijgehouden:

- Tekeningen met commentaar van de OG
- Documenten (rapportages) met specificaties en commentaar van OG
- Notulen van discussies tijdens overleg met verschillende stakeholders
- Wijzigingenlijsten en ontwerplogboeken met discussiepunten

De resultaten van de validatie zijn niet duidelijk verwerkt en de bijbehorende afwegingen zijn lang blijven spelen. Uit de notulen blijkt dat dezelfde afwegingen in meerdere overleggen besproken zijn waarbij elke keer nieuwe informatie is aangedragen. Een voorbeeld is een voorstel van de OG naar aanleiding van een ontwerp van een kruispuntwaarin een rotonde is ontworpen. In het commentaar op dit ontwerp geeft de OG aan dat dit niet aansluit bij de voorkeursroute waar het kruispunt onderdeel van is. Dit commentaar is onderdeel van een discussie of er rotondes, VRI's of rotondes met VRI toegepast moesten worden. Deze discussie komt in verschillende overleggen terug en is maanden is blijven spelen. Men kon geen besluit nemen. De projectleider zegt hier over: *'De VRI's waren een lastig punt in het ontwerp, hier hebben veel ontwerpveranderingen plaatsgevonden'* (Vogels, 2011). De feedback blijft in meerdere iteraties van het SE proces terugkomen en de resultaten van de validatie worden niet navolgbaar verwerkt in een nieuwe iteratie van het SE proces.

De conclusie is dat de OG niet is voorzien van een samenhangend beeld van de volledige SE proces output, de specificaties en ontwerpen zijn als op zichzelf staande producten ontwikkeld en gepresenteerd. Ook zijn commentaar en afwegingen niet navolgbaar verwerkt in een nieuwe iteratie van het SE proces. Het commentaar en de scope wijzigingen laten zien dat het probleembegrip van de OG wel vergroot is met de validatie.

3.4 CONFIGURATIEMANAGEMENT

De gewenste situatie voor het configuratiemanagement is beschreven in onderstaande analyse criterium:

2. Actuele informatie en baselines met de specificaties én het ontwerp zijn voor het projectteam beschikbaar en wijzigingen worden vastgelegd en beschikbaar gesteld aan het projectteam.

Het voldoen van het configuratiemanagement in het project aan het criterium wordt toegelicht.

Actuele informatie

In het projectplan is een CM strategie geformuleerd waarin staat dat *'te allen tijde de actuele status van het project voor het projectteam te raadplegen moet zijn. De actuele status wordt beschreven door vrijgegeven documenten en statuswijzigingen van documenten moeten daarom beheerd worden'*. Het beschikbaar stellen van wijzigingen is echter niet verlopen zoals zou moeten volgens de standaard ISO/IEC 15288:2008 (NEN, 2008). In het project is in overleg met verkeerskundigen van de OG besloten dat de eisen ten aanzien van een rotonde aangepast moesten worden om deze rotonde groot genoeg te maken voor de te verwerken verkeersklasse. De specificeerders hebben deze eis daartoe aangepast in de documenten maar de wijziging is niet goed beschikbaar gesteld aan de andere projectteamleden. De ontwerpers waren niet op de hoogte van deze wijziging waardoor de rotonde te klein ontworpen is. De opdrachtnemer heeft bij de verdere uitwerking van het ontwerp, waar RH ook bij betrokken is, deze fout geconstateerd. De projectmedewerkers voeren een dergelijke wijziging door in een lokaal opgeslagen bestand dat vervolgens op de juiste plek in de juiste map op de netwerkschijf geplaatst moet worden met een nieuw versie nummer. Vervolgens moet aan de juiste personen doorgegeven worden dat er een wijziging is. Dit geldt voor zowel veranderingen in tekstuele informatie in documenten als voor veranderingen in ontwerp informatie in tekeningen. Zoals het voorbeeld illustreert is het met deze werkwijze lastig om Is het lastig om altijd over een actuele versie te beschikken en iedereen op de hoogte te houden van veranderingen.

Bepalen impact wijzigingen

Naast de status van items moet de configuratie van items in baselines beheerd worden (NEN, 2008). In het project is het systeem volgens SE opgeknipt in subsystemen waar verschillende personen aan werken. Ontwerp wijzigingen en de benodigde afstemming tussen de subsystemen (configuraties) zijn niet altijd goed verlopen in het project. De projectleider zegt hier over: *'SE had het onbedoelde effect dat de verschillende personen die ieder aan een eigen subsysteem werkten onvoldoende afstemming hadden. De duidelijke afbakening van subsystemen en een gebrekkige integratie hier tussen bracht problemen met zich mee'* (Vogels, 2011). Een van deze problemen betrof de geluidsschermen. Doordat het subsysteem geluidsschermen bijvoorbeeld maar tot op systeemniveau is ontworpen (alleen een aantal lijnen in een bovenaanzicht) en de specificaties op subsysteemniveau niet begeleid worden door een referentieontwerp op dat niveau was het benodigde ruimtebeslag van de geluidsschermen onduidelijk. Dit ruimtebeslag heeft echter wel impact op de beschikbare ruimte voor het wegontwerp, groenvoorzieningen, verlichting, de kunstwerken etc. De specificaties en het ontwerp zijn in het SE proces niet samengevoegd in baselines waarin de configuratie van subsystemen en objecten is vastgelegd.

Wijzigingen vastleggen

Uit het voorbeeld besproken bij de validatie, waarin geïllustreerd is dat in het project de afweging tussen rotondes, VRI's of rotondes met VRI lang heeft geduurd, blijkt ook dat de configuraties van deze items niet goed beheerd zijn. De afweging is niet alleen bemoeilijkt doordat nieuwe informatie over de impact in de loop van de tijd beschikbaar kwam maar ook doordat de eerdere informatie bij de afweging beperkt is vastgelegd of niet duidelijk is. Het is niet mogelijk om de ontwerp wijzigingen van de rotondes achteraf in kaart te brengen. In de projectdocumentatie zijn alleen documenten met review lijsten en een tekeningenlijst te vinden. Het is niet terug te vinden hoe commentaar van de OG verwerkt is in een nieuwe iteratie in het SE proces en wanneer en waarom wijzigingen zijn doorgevoerd. Een voorbeeld hiervan is het vastleggen van de breedte van het fietspad langs de weg. Bij reviews van verschillende versies van de specificaties blijkt dat verschillende eisen iets zeggen over de breedte van het fietspad. Er is een doorstromingsberekening waar een breedte uit volgt, verschillende richtlijnen (ASVV2004, CROW publicatie 230) die een breedte voorschrijven en het ontwerp waarin een bepaalde breedte is aangehouden. In een technisch overleg op een eerder moment was echter al een onderbouwde keuze gemaakt voor een bepaalde breedte. Dezelfde afwegingen en argumenten bij de keuze voor een bepaalde breedte blijven terugkomen doordat de keuze niet goed is vastgelegd. Om dit te voorkomen moeten de wijzigingen van items onder CM met een duidelijke onderbouwing vastgelegd worden. Van de gemaakte keuzes is achteraf wel een onderbouwing opgesteld in een ontwerpnota.

De conclusie is dat de status van items, de configuratie van items en wijzigingen niet beheerd en vastgelegd zijn zoals zou moeten volgens het CM.

3.5 RAAKVLAKBEHEER

De gewenste situatie voor het raakvlakbeheer is beschreven in onderstaande analyse criterium:

3. Raakvlakken worden vastgelegd in tekst en ontwerp waarbij de verschillende ontwerpdelen worden samengevoegd en beschikbare informatie over omgevingsobjecten wordt weergegeven.

Het voldoen van het raakvlakbeheer in het project aan het criterium wordt toegelicht.

Ontwerpdelen en interne raakvlakken

De interne raakvlakken van het systeem zijn geïdentificeerd aan de hand van de objecten decompositie. De SE specialist (SE'er) geeft aan: *'De objectenboom is erg belangrijk voor het identificeren van de raakvlakken'* (Schuttinga R. , 2011). Waar de de projectmanager zegt: *'De objecten zijn vooral gebruikt voor de analyse van de raakvlakken'* (Vogels, 2011).

Om de raakvlakken tussen de objecten in de decompositie te analyseren zijn ook de ontwerpen gebruikt. De objecten zoals gehanteerd in de objecten decompositie komen echter niet overeen met de functionele objecten of met de manier waarop ze gerealiseerd zullen worden en herkenbaar zijn op de tekening (zie ook traceerbaarheid). Er is verder geen structurele methode gebruikt voor het identificeren van interne raakvlakken. Omdat het ontwerp gemaakt is in één software pakket was het voor het identificeren van interne raakvlakken niet nodig ontwerpdelen te integreren.

Omgevingsinformatie voor externe raakvlakken

De Energieweg is een binnenstedelijke weg met veel relaties met de omgeving. De SE'er heeft de externe raakvlakken globaal met een contextdiagram in kaart gebracht. In het contextdiagram zijn de objecten en systemen in de omgeving van het systeem Energieweg gedefinieerd, zoals het ondergrondse infra systeem en het groen systeem. Daarnaast is van omgevingspartijen informatie opgevraagd over deze objecten en systemen, bijvoorbeeld informatie over de ligging van kabels en leidingen. De informatie is aangeleverd in 2D AutoCAD tekeningen. Voor het in kaart brengen van de externe raakvlakken is verschillende informatie nodig. Voor de raakvlakken met kabels, leidingen, riolering en hoogspanningsmasten is 3D informatie van deze systemen nodig. Voor de raakvlakken met geluidsschermen, aansluitingen van wegen, erfaansluitingen en het groensysteem is een kaart van de omgeving of, indien beschikbaar, een 2D tekening nodig. Voor het geotechnisch en grondwater onderzoek (functionele raakvlakken) is geografische informatie nodig. In dit project zijn alleen de beschikbare 2D tekeningen gebruikt waarin enkele knelpunten globaal zijn aangegeven. Bijvoorbeeld een knelpunt met kabels en leidingen bij een rotonde. Er is geen beeld beschikbaar waarin de ruimte voor het ontwerp ten opzichte van de ligging van deze kabels en leidingen duidelijk is. Dit gebrek aan informatie en het niet in detail identificeren van de externe raakvlakken leidt tot risico's in het project. Deze risico's zijn niet verkleind door het raakvlak beter te bestuderen maar doorgeschoven naar een volgende fase van het project.

Vastleggen van raakvlakken

Raakvlakken van objecten zijn niet zo vastgelegd in het ontwerp of bij de objectdefinitie dat ontwerpers er op geattendeerd worden. Bij het aanpassen van de fietstunnel in het ontwerp wordt het raakvlak met een naastgelegen kabel niet weergegeven. Bij het vastgelegde object in de decompositie wordt dit raakvlak ook niet vermeld. De objecten uit de decompositie zijn wel gebruikt bij de identificatie van raakvlakken maar de raakvlakken zijn dus niet zo vastgelegd dat ze duidelijk zijn bij het ontwerpen of controleren van deze objecten. Alleen voor het subsysteem kunstwerken en voor het subsysteem geluidsschermen, die beide tot op

systeemniveau zijn ontworpen en tot op subsysteemniveau gespecificeerd, is een ontwerpnota meegeleverd met de vraagspecificatie. De ontwerpnota's zijn de enige documenten waarin de raakvlakken toegelicht worden. De raakvlakken van de andere subsystemen zijn alleen vastgelegd in eisen. Voor een groot deel van het systeem zijn de raakvlakken dus niet op een structurele manier vastgelegd in een raakvlakspecificatie of het ontwerp.

De conclusie is dat raakvlakken niet op een gestructureerde manier zijn geïdentificeerd. Er is alleen een contextdiagram gebruikt. De raakvlakken zijn voornamelijk vastgelegd in de eisen en van twee subsystemen zijn de raakvlakken beschreven in een ontwerpnota. Raakvlakken zijn niet duidelijk in het ontwerp en een ruimtelijk beeld met omgevingsinformatie is niet gemaakt.

3.6 TRACEERBAARHEID

De gewenste situatie voor de traceerbaarheid is beschreven in onderstaande analyse criterium:

4. De specificaties hebben een expliciete samenhang met de geformuleerde projectdoelen, hoofdfuncties en het ontwerp.

Het voldoen van de traceerbaarheid in het project aan het criterium wordt toegelicht.

Samenhang specificaties met projectdoelen en hoofdfuncties

In het SE proces zijn de doelen van het project vertaald in functies en eisen die via objecten vertaald zijn in het geometrisch ontwerp. De objecten zijn daarom belangrijk, ze relateren de specificaties aan het ontwerp. In het project vervullen de gedefinieerde objecten deze rol niet. Een geformuleerd projectdoel is dat de verkeersafwikkeling verbeterd moet worden, dit doel is vertaald in de hoofdfunctie 'verbeteren verkeersafwikkeling'. Voor de functie 'afwikkelen verkeer' is het subsysteem wegen gedefinieerd als object in de object decompositie. Dit subsysteem wegen is opgesplitst in de functies 'geleiden verkeer', 'dragen verkeer', 'informereren weggebruikers', 'afvoeren hemelwater' en 'verlichten wegen'. Bij elk van deze functies zijn objecten gedefinieerd zoals rijbanen, fietspaden, bermen, bushaltes, bewegwijzering en verlichting. De gedefinieerde objecten in de object decompositie in het subsysteem wegen wijken echter af van deze objecten bij de functies. Het zijn objecten die een deel van de weg vormen zoals Energieweg Zuid, Industrieplein en rotonde Ambachtsweg. De genoemde functies horen daardoor bij elk gedefinieerd object. De functie 'informereren weggebruikers' wordt bijvoorbeeld vervuld door het object Industrierweg. Bij de eisen is aangegeven bij welk object ze horen. De traceerbaarheid van de vertaling van doelen in functies, met bijbehorende eisen en vervolgens in de objecten is hierdoor niet goed. De manier waarop de informatie beheerd wordt draagt hier ook niet aan bij. De functionele structuur is vastgelegd in FAST diagrammen die voor elk deel van het systeem in aparte documenten zijn vastgelegd. De decompositie van eisen, functies en objecten helpt het systeem opknippen in beheersbare delen, maar de beperkte samenhang is slecht voor de traceerbaarheid.

Samenhang ontwerp en specificaties

In de SE proces output vormt het gedefinieerde object 'Industrierweg' de link van de functie 'informereren weggebruikers' naar het geometrisch ontwerp. De ontwerpers tekenen lijn en punt georiënteerd waardoor het object Industrierweg bestaat uit een tekening met punten en lijnen. De ontwerpers stellen het ontwerp niet op basis van de in de functionele structuur gedefinieerde objecten. De SE'er zegt hier over: *'De ontwerpers kregen de eisen en hebben op basis daarvan ontworpen. Het ontwerp is niet opgesteld op basis van de gespecificeerde objecten in de objectenboom'*(Schuttinga R. , 2011). En de projectleider: *'Er wordt iets getekend waarvan de tekenaar weet dat het voldoet aan de eisen. De objecten zijn niet zozeer als uitgangspunt voor de tekeningen gebruikt'*(Vogels, 2011).

De conclusie is dat de traceerbaarheid in de informatie beperkt is. De objecten zijn geen logische vertaling van de functies en zijn niet gebruikt om het ontwerp op te zetten. De specificaties staan los van de ontwerpen en er is geen compleet beeld van het systeem gegeven.

4 CASESTUDY DRACHTSTERWEG: SE PROCES MET BIM

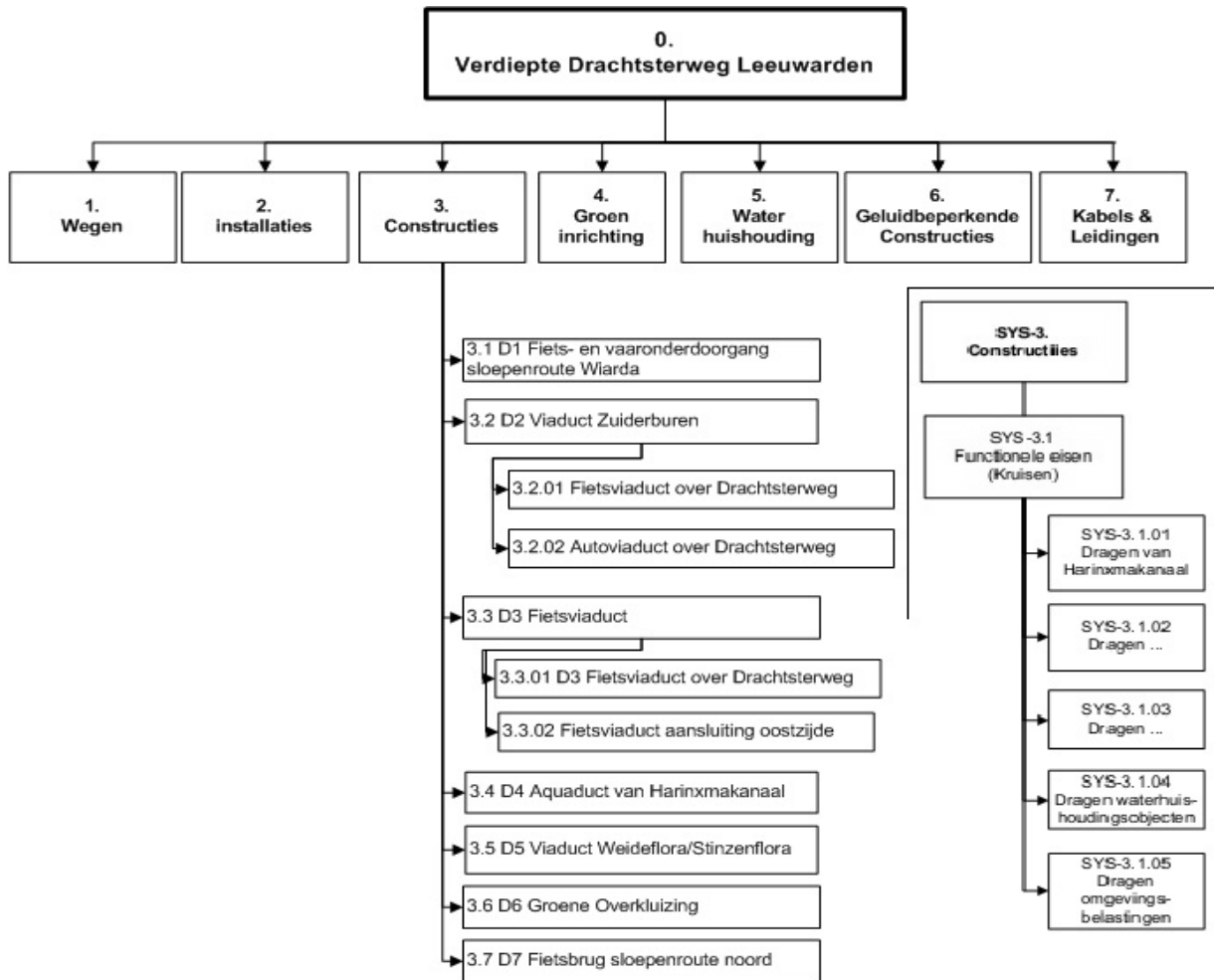
Het tweede casestudy project is het project Drachtsterweg. Het project, het SE proces, het gebruikte Bouwwerk Informatie Model (BIM) en de verwachte bijdrage van dit BIM aan het verbeteren van het SE proces, worden toegelicht. Vervolgens wordt toegelicht of het BIM daadwerkelijk heeft bijgedragen aan de SE processen op de analyse criteria. Ook wordt kort ingegaan op de algemene verwachtingen en bevindingen van de projectmedewerkers. De resultaten van deze casestudy vormen het antwoord op de tweede onderzoeksvraag.

4.1 HET PROJECT DRACHTSTERWEG

Het project bestaat uit de aanleg van de verdiepte Drachtsterweg te Leeuwarden en wordt uitgevoerd in opdracht van de gemeente Leeuwarden en de provincie Friesland. Het projectteam van Royal Haskoning (RH) ondersteunt het projectteam van provincie en gemeente. Het projectteam van RH bestaat uit een projectmanager, projectbeheerser, risicomanager, omgevingsmanager, planner, SE specialist (SE'er), technisch manager, contractmanager, een contractschrijver, GIS adviseur en twee tekenaars/ontwerpers. Het eindproduct dat geleverd wordt is een contract voor de aanbesteding van het project dat bestaat uit een referentieontwerp en specificaties. Het projectteam van RH heeft in juli 2011 de opdracht gekregen en in juli 2012 moeten de contractdocumenten klaar zijn. Vervolgens blijft RH betrokken voor ondersteuning bij de aanbesteding en realisatie tot in 2017. Op het moment van schrijven is het projectteam van RH bezig met het opstellen van contractdocumenten en is het project dus in uitvoering.

4.2 HET SE PROCES

Het systeem verdiepte Drachtsterweg bestaat uit een aquaduct onder een kanaal, een serie ongelijkvloerse kruisingen, de aansluiting op een nieuw te bouwen verkeersplein, een fietsroute en twee sloepenroutes. De scope van dit systeem is gedefinieerd met de objectenboom zoals weergegeven in Figuur 5. De gedefinieerde systeem objecten zijn weergegeven en het subsysteem constructies is volledig weergegeven. De objecten en eisen decompositie is gebaseerd op de functionele structuur en een voorbeeld van de eisen decompositie van de constructies is ook weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: Decompositie van de objecten en eisen van het systeem verdiepte Drachtsterweg

Een overzicht van het systeem is weergegeven in Figuur 6. Het gedeelte boven de rode streep in dit figuur wordt beheerd door de gemeente, het deel onder de rode streep is een provinciale weg.



Figuur 6: Overzicht van het systeem Drachtsterweg

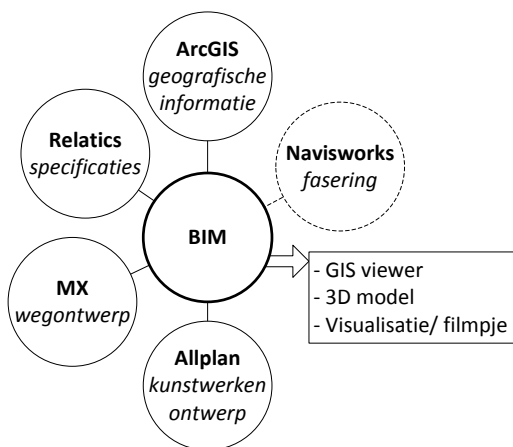
In interactieve SE-sessies zijn specificaties met de projectdoelen, belangrijkste eisen (top-eisen) en de Klant Eis Specificatie (KES) opgesteld. De belangrijkste projectdoelen zijn:

- verbetering van de bereikbaarheid met auto en fiets
- verbetering verkeersdoorstroming en verkeersveiligheid
- oplossen van het conflict scheepvaart – wegverkeer
- realiseren van een mooie stadsentree

In interactieve sessies met de OG is nagedacht over het probleem en de oplossingsrichting. Vervolgens is door het projectteam van RH op basis van de KES de Systeem Eis Specificatie (SES) met bijbehorende Referentie Ontwerp (RO) opgesteld. Het detailniveau in de SES is zodanig dat de eisen van de klant er in geplaatst kunnen worden. In de volgende paragraaf wordt ingegaan op BIM zoals gebruikt in dit project.

4.3 HET GEBRUIKTE BIM

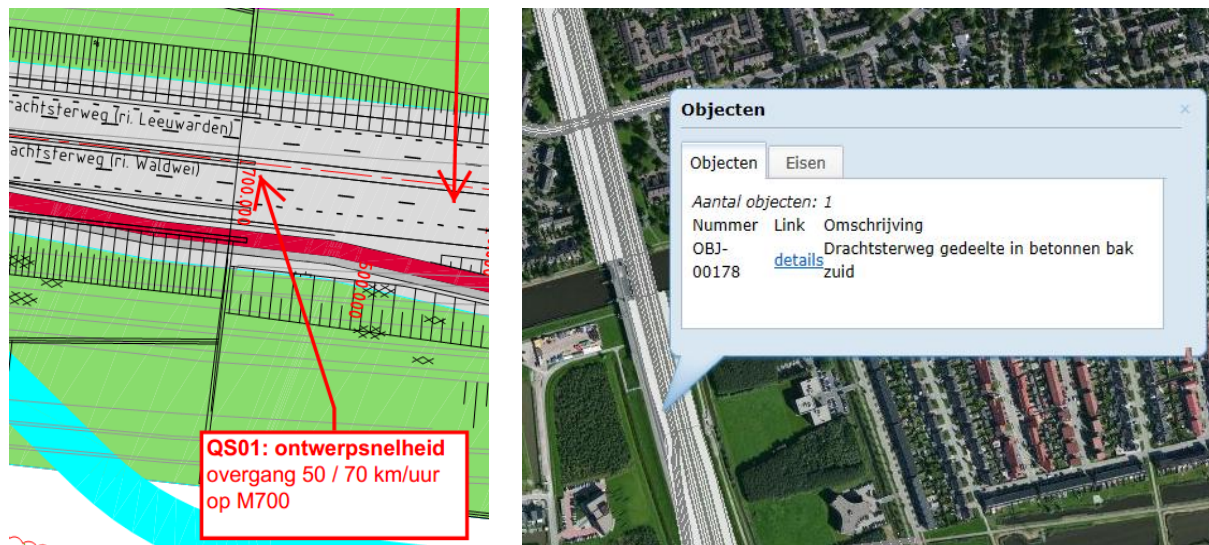
In het project DRW wordt gewerkt met een BIM voor het beheren van informatie en het opstellen van de SE producten. Het ontwerp bestaat uit drie delen; het ontwerp van de weg, het ontwerp van de kunstwerken en een geografisch ontwerp (grondbalans). De specificaties (eisen, functies, object definities, raakvlakspecificaties) zijn in een database ondergebracht. In het BIM zijn de ontwerpdelen en de informatie uit de database samengebracht. Deze delen samen vormen het informatiemodel (het BIM) waar de specificatie en ontwerpinformatie van het systeem verdiepte Drachtsterweg in is ondergebracht. Het gebruikte BIM is weergegeven in onderstaande Figuur 7.



Figuur 7: Het in het project gebruikte BIM

De specificaties bestaan uit tekstuele informatie die is ondergebracht in een relationele (het koppelen van informatie) online database (Relatics). In Relatics zijn de eisen, objecten, functies en raakvlakken opgeslagen. De informatie in deze database is centraal opgeslagen en bereikbaar voor de verschillende projectmedewerkers. De wegas is in 3D ontworpen in het softwarepakket Betnley MXROAD (MX) door de wegonwerper. Deze 3D wegas is gebruikt om in het softwarepakket Netmetschek Allplan in 3D de kunstwerken (viaducten, aquaduct, sloepenroute) te ontwerpen. Deze twee ontwerpdelen samen vormen het 3D model van het systeem. Het 3D model wordt geëxporteerd naar het GIS softwarepakket ArcGIS van Esri waar het in de beschikbare geografische informatie geplaatst wordt. Ook de informatie in de Relatics database is geëxporteerd naar ArcGIS waar deze informatie via de objectdefinities aan het ontwerp gekoppeld is. Mogelijk wordt nog een simulatie gemaakt van de realisatie van het project in Navisworks. De in het BIM samengebrachte informatie is te bekijken via een GIS viewer waarin de informatie van bovenaf (2D) in een kaart wordt weergegeven. In Figuur 8 is een voorbeeld weergegeven van de 2D kaart in de GIS viewer waarin de objecten als vlakken zijn ingetekend en aangeklikt kunnen worden zodat de bijbehorende specificatie

informatie uit de Relatics database weergegeven wordt. In Figuur 8 is ook een voorbeeld weergegeven van informatie uit de Relatics database die handmatig is ingevoerd bij het wegontwerp in MX.



Figuur 8: Links een issue weergegeven in een tekening. Rechts de GIS viewer met koppeling met de Relatics database.

Er wordt kort toegelicht wat de verwachte bijdrage van dit BIM aan het SE proces op de analyse criteria is. In de daar op volgende beschrijving bij de analyse criteria wordt beschreven hoe BIM daadwerkelijk is gebruikt en in hoeverre de verwachte bijdrage is bereikt.

Validatie

Doordat het ontwerp volledig in 3D is gemaakt en er een visualisatie/filmpje van het ontwerp gemaakt wordt moet het systeemontwerp duidelijker zijn voor de OG. Met het beheer van de specificaties in Relatics moeten de relaties van projectdoelen, functies, eisen en objecten duidelijk zijn. Ook wordt de samenhang van de specificaties met het ontwerp (de complete SE proces output) duidelijk door de koppeling aan het ontwerp in ArcGIS en met de ontwerpen waarin tekstuele informatie uit de database handmatig is overgenomen. Ontwerpfwegingen (issues) uit de validatie worden vastgelegd in Relatics en doordat de ontwerpdelen en de specificaties zijn samengebracht kunnen varianten met het SE proces sneller en beter onderbouwd worden.

Configuratiemanagement

De informatie in de Relatics database is centraal beschikbaar en de meest actuele versie wordt altijd weergegeven terwijl oude versies bewaard blijven en wijzigingen worden toegelicht. Hiermee moet het CM van tekstuele informatie goed uitgevoerd worden. Voor de ontwerp informatie worden de drie ontwerpdelen opgeslagen in een project map op een netwerkschijf van RH met een vermelding van de versie. Wijzigingen in de ontwerpen worden door de ontwerpers bijgehouden in een logboek dat ondergebracht wordt in Relatics. Wijzigingen in Relatics zijn direct voor iedereen beschikbaar. Een wijziging in een ontwerp moet door de betreffende ontwerper doorgevoerd worden en vervolgens op de netwerkschijf gezet worden. De ontwerpdelen en de specificaties worden handmatig ingeladen voor het samenbrengen in GIS. Zo worden enkele baselines gemaakt waarin de stand van zaken van het SE proces op dat moment wordt vastgelegd.

Raakvlakkenbeheer

In Relatics is een raakvlakkendossier bijgehouden waarin de raakvlakken gespecificeerd worden en vervolgens worden gekoppeld aan het bijbehorende object. De interne raakvlakken worden beheerd via de objecten in het object gebaseerde ontwerp waarin de verschillende ontwerpdelen zijn samengebracht. De geïdentificeerde raakvlakken van de objecten zijn duidelijk vanuit de bijbehorende informatie in Relatics. De geografische

informatie in GIS is omgevingsinformatie (zoals kabels en leidingen tracés) die bij het ontwerp wordt weergegeven voor het identificeren van externe raakvlakken.

Traceerbaarheid

De specificaties worden in de Relatics database onderling gekoppeld. Voor elk object is het in de database zichtbaar welke eisen, functies en raakvlakken er bij horen, welke personen verantwoordelijk zijn en of er nog issues spelen. In de ontwerpen worden deze objecten aangehouden. Het MX model is standaard niet object-gebaseerd. De objecten worden daarom volgens de objectdefinities in aparte lagen met de naam van deze objecten getekend zodat de objectstructuur duidelijk is in dit ontwerp. De wegontwerper zegt hierover *'Het 3D MX is niet object-georiënteerd, dat maken we er van door het toepassen van een objectcodering, in GIS kunnen deze objecten dan gekoppeld worden.'* (Meurs, 2012). Het kunstwerk ontwerp is wel standaard object-gebaseerd. De specificaties in de database worden via de objectdefinities van de objecten in het BIM gekoppeld aan deze objecten.

In de volgende paragrafen wordt de daadwerkelijke bijdrage van het BIM aan het SE proces op de analyse criteria toegelicht.

4.4 VALIDATIE

De gewenste situatie voor de validatie is beschreven in onderstaande analyse criterium:

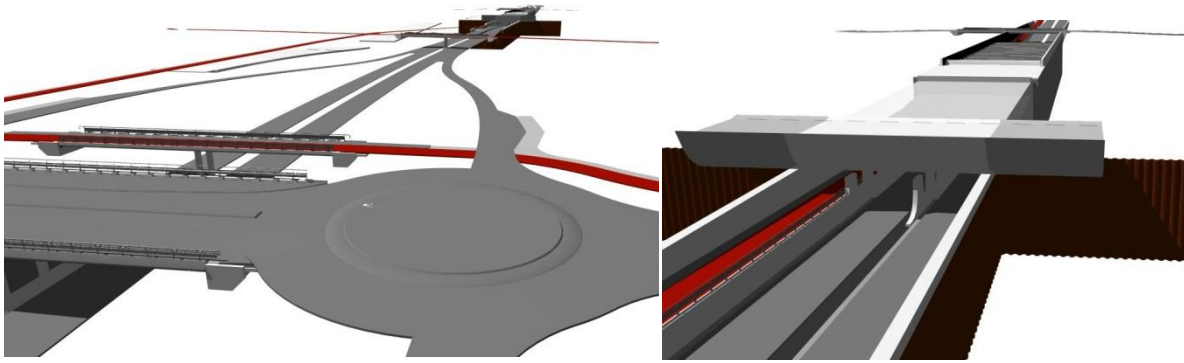
1. De OG wordt tijdig voorzien van een duidelijk beeld van de SE proces output zodat het probleembegrip vergroot wordt en de resultaten van de validatie worden navolgbaar verwerkt in het SE proces.

Het voldoen van de validatie in het project aan het criterium wordt toegelicht.

Presentatie SE proces output voor vergroten probleembegrip

De OG kijkt tijdens een aantal overleggen mee in de Relatics database om de specificaties te valideren. Buiten de overleggen om kijkt de OG niet in Relatics. In de overleggen waarin de specificaties in Relatics zijn besproken zijn ook de functies en gedefinieerde objecten besproken. De OG neemt op deze manier niet alleen deel aan de eisen analyse maar ook aan de functie analyse van het SE proces. Naast de validatie in Relatics bestaat de informatievoorziening naar de OG voor de specificaties uit het beschikbaar stellen van documenten via een dataroom (BOX.net).

Tijdens het SE proces wordt gevalideerd met 2D tekeningen tijdens overleg, de SE-sessies en via 'informele' afstemming tussen verschillende specialisten in het projectteam en bij de OG. De technisch manager geeft aan: *'We koppelen regelmatig dingen terug, met schetsjes, pdf's, tussenontwerpen en oplossingen die wij voor ogen hebben'* (Hergarden, 2012). Het 3D model speelt, doordat het relatief laat klaar is, nog geen rol in het SE proces terwijl dit wel wenselijk is. De SE'er geeft aan: *'Er zijn nu veel ontwerpafwegingen. Dit trade-off proces willen we versnellen. Er kan echt nog een verbeterlag worden gemaakt met de visualisatie van de verschillende ontwerpafwegingen'* (Schuttinga R., 2012). Het is gebleken dat het 3D model een duidelijke meerwaarde heeft t.o.v. 2D in dit project. De weg wordt verdiept en er zijn verschillende kruisingen waarbij de ruimtelijke situatie belangrijk is (viaducten, aquaduct). *'Met het zichtbaar maken van het 3D model op de korte termijn wordt er goed gevalideerd. Het 3D model, en het feit dat je weet dat dit gemaakt is vanuit de eisen, is essentieel voor de validatie.'* (Alsem, 2012). De OG heeft specifiek gevraagd om een 3D model als product om het ontwerp goed te kunnen valideren. Screenshots van het 3D model zijn weergegeven in onderstaande Figuur 9.



Figuur 9: Screenshots van het 3D model en de toerit tot het aquaduct

Tijdens verschillende overleggen wordt gebruik gemaakt van de 2D tekeningen met informatie uit Relatics. Bijvoorbeeld het bespreken van de objecten decompositie, dit gebeurt in een overleg met de OG aan de hand van een overzichtstekening waarin de gedefinieerde objecten zijn aangegeven. Hetzelfde is gedaan met de tekeningen waarin issues zijn weergegeven. De uitkomst van het SE proces wordt als één geheel voorgelegd aan de OG waardoor deze meer inzicht heeft in het hele SE proces. De OG denkt ook mee over functies, raakvlakken en objectdefinities en valideert niet alleen de eisen en het ontwerp. De OG geeft aan deze interactie en betrokkenheid in het project als prettig te ervaren omdat hij ziet dat het project gestructureerd wordt aangepakt. De structuur die met SE is aangebracht blijkt ook duidelijk te zijn voor de OG. De OG geeft aan als validatie nog door het 3D model met de daaraan gekoppelde specificaties heen te willen lopen zodra dit meer definitief is. Tijdens overleg stelt een medewerker van de OG ook voor om in een overleg samen met het projectteam na te gaan welke eisen aan een bepaald object in het model gekoppeld zijn en of deze eisen compleet en correct zijn, daarmee wordt de koppeling van specificaties aan het ontwerp in ArcGIS ook gebruikt bij de validatie.

Verwerken resultaten validatie

De issue lijst in Relatics wordt gebruikt om commentaar, afwegingen, ideeën, actiepunten en andere zaken die aan het licht komen bij te houden in het SE proces. Bij elk overleg wordt de actuele versie van de issue lijst gebruikt om de issues en daaruit volgende acties te bespreken en vervolgens nieuwe issues bij te houden. Op deze manier wordt het commentaar gestructureerd verwerkt in het SE proces en het voorkomt dat discussies blijven spelen. De bijbehorende afwegingen in het SE proces worden snel gedaan. Een goed voorbeeld is de afweging waar de overgang van de betonnen bak van het aquaduct in een polderconstructie met folie het beste kan komen te liggen. Dit is bepalend voor de hoeveelheid grond die afgegraven moet worden. Deze afweging is onderbouwd met het BIM; de wegontwerper heeft in het 3D MX model de grens van de betonnen bak verschoven en het nieuwe MX model opgestuurd naar de GIS ontwerper die met het inladen van het nieuwe MX model direct de impact op de grondbalans heeft laten zien, het resultaat is weergegeven in Figuur 10.



Figuur 10: Bepalen van de grondbalans in GIS met het 3D model, een deel van de grondbalans is weergegeven

Dit voorbeeld illustreert dat afwegingen snel onderbouwd kunnen worden met het BIM zodat ook snel een onderbouwde keuze gemaakt kan worden. Het is wel de wens om dit nog sneller te kunnen. De projectleider zegt hier over: *‘We willen gevolgen van ontwerpkeuzes snel laten zien en aanpassen. Het gaat sneller dankzij het BIM, maar het kan nog sneller. We hebben met BIM meer focus op de wijzigingen en bovendien worden wijzigingen niet meer als lastig ervaren’* (Alsem, 2012).

Geconcludeerd wordt dat de validatie beter verloopt met het BIM. De presentatie van de specificaties is beter met Relatics en de presentatie van het ontwerp is beter met het 3D model. Het BIM is echter nog niet goed gebruikt voor de validatie omdat duidelijke afspraken ontbreken. Wel worden SE producten meer als één geheel gevalideerd dankzij de koppeling tussen deze producten en daarnaast heeft de OG een beter probleembegrip. Het commentaar en de afwegingen zijn gestructureerd met de issues en daarnaast worden bijbehorende afwegingen snel onderbouwd.

4.5 CONFIGURATIEMANAGEMENT

De gewenste situatie voor het configuratiemanagement is beschreven in onderstaande analyse criterium:

2. Actuele informatie en baselines met de specificaties én het ontwerp zijn voor het projectteam beschikbaar en wijzigingen worden vastgelegd en beschikbaar gesteld aan het projectteam.

Het voldoen van het configuratiemanagement in het project aan het criterium wordt toegelicht.

Actuele informatie

Aan het bijhouden van de status van specificaties heeft met name Relatics een bijdrage geleverd. In het begin van het project is Relatics niet goed gebruikt. Informatie die de ontwerpers nodig hadden, zoals brondocumenten, was nog niet in Relatics ondergebracht. Bij het uiteindelijk onderbrengen van alle eisen in Relatics is een koppeling gemaakt naar de vigerende brondocumenten die ondertussen ook in Relatics zijn ondergebracht. Alle geïnterviewde medewerkers geven aan dat Relatics een bijdrage levert aan het bijhouden van de status van informatie. Als de SE'er n.a.v. overleg met de OG de eis aan de metrerings waarbij de folieconstructie over gaat in de betonnen bak wijzigt in Relatics, dan is deze direct beschikbaar voor de ontwerper van het aquaduct. Er is echter nog wel een actie vereist van de persoon die deze wijziging doorvoert om de relevante personen in het projectteam op de hoogte te stellen van de wijziging. Als autorisaties worden aangemaakt in de Relatics database kan dit op de hoogte stellen automatisch gedaan worden door Relatics.

Het bijhouden van de status van ontwerp items is niet veranderd. Wel geven de ontwerpers aan dat ze beter samenwerken door Relatics waardoor wijzigingen beter beschikbaar worden gesteld. De wegontwerper levert de basis voor het kunstwerk ontwerp en de ontwerper van de weg en de ontwerper van de kunstwerken leveren ontwerpen die in GIS gebruikt worden. De GIS ontwerper zegt hierover: *‘Wij krijgen input van de ontwerpers en doen dan onze berekeningen en koppelingen. Stel de grondbalans wijzigt, dan stuurt de tekenaar een berichtje en kunnen wij in het GIS model met een druk op de knop de grondbalans aanpassen’* (Hoogeveen, 2012). Het MX model is gebruikt voor actuele tekeningen met informatie uit Relatics, voor het GIS model en voor de koppeling van GIS met Relatics waardoor actuele ontwerpen constant gedeeld worden. Er vindt samenwerking plaats in het projectteam voor de integratie van informatie in het BIM.

Bepalen impact wijzigingen

De specificaties en ontwerpen worden op verschillende manieren en momenten samengebracht de impact van wijzigingen aan de hand van de specificaties én het ontwerp bepaald wordt. Zo zijn er enkele tekeningen gemaakt waar informatie over objecten en issues uit Relatics op is overgenomen. Daarnaast is er de integratie van de specificaties met het ontwerp in GIS. Het 3D model is relatief laat klaar en daardoor nog niet gekoppeld aan de specificaties, maar dit moet hier ook aan bijdragen.

Ook zorgt de samenwerking voor het integreren van informatie in het BIM er voor dat de afstemming tussen de subsystemen en de personen die daar aan werken is verbeterd. Zo wordt het wegontwerp gebruikt voor het ontwerpen van de kunstwerken en beide worden weer in GIS gebruikt voor het geografisch ontwerp. Een goed voorbeeld van deze samenwerking is de afweging bij de overgang van de betonnen bak in de folieconstructie en de getoonde invloed daarvan op de grondbalans waarvoor de ontwerpers van de verschillende delen goed samenwerken.

Wijzigingen vastleggen

De wijzigingen aan eisen, objecten, functies en raakvlakken worden bijgehouden in Relatics. Eerdere versies van de tekst blijven bewaard met een toelichting op de wijziging. De contractschrijver zegt: *‘Het is voor ieder stukje informatie duidelijk waarom en door wie dit veranderd wordt, punt is dat je dit wel zelf moet invoeren’* (Duijf, 2012). De ontwerpers hebben logboeken waarin ze bijhouden welke werkzaamheden ze verrichten aan het ontwerp en wat de reden van wijzigen is. De gemaakte ontwerpvarianten zijn navolgbaar via deze ontwerplogboeken. Deze varianten bij ontwerpafwegingen zijn afgewogen met een trade-off matrix waarin de varianten gewogen zijn t.o.v. de eisen. Een goed voorbeeld hiervan is de afweging in dit project waarbij er gekozen moest worden of rotondes of VRI's een betere keuze zouden zijn voor het punt waarop de weg over het viaduct de op- en afrit van de Drachtsterweg kruist. De uiteindelijke keuze voor rotondes is onderbouwd met een trade-off matrix. Met deze trade-off matrix is navolgbaar hoe gewogen is. De ontwerplogboeken en trade-off matrices zijn ondergebracht in Relatics. Wijzigingen, afwegingen en issues worden zorgvuldig vastgelegd. De projectmedewerkers geven dit ook aan. De projectbeheerser geeft aan: *‘Dat is ook het voordeel van dit systeem, dat je gedwongen wordt dit soort dingen bij te houden’* (Jeltes, 2012).

Geconcludeerd wordt dat CM beter uitgevoerd wordt met het BIM. Het beheren van de status, wijzigingen en het delen van tekstuele informatie verlopen goed dankzij Relatics. Het delen van informatie in de ontwerpen verloopt beter door de integratie van het kunstwerk ontwerp, weg ontwerp en GIS ontwerp in BIM. Aan het beheren van de status van ontwerp informatie wordt geen duidelijke bijdrage geleverd met het BIM. Ontwerp wijzigingen worden bijgehouden in logboeken. De subsystemen en de werkzaamheden van projectteamleden zijn goed afgestemd door de integratie van informatie.

4.6 RAAKVLAKBEHEER

De gewenste situatie voor het raakvlakbeheer is beschreven in onderstaande analyse criterium:

3. Raakvlakken worden vastgelegd in tekst en ontwerp waarbij de verschillende ontwerpdelen worden samengevoegd en beschikbare informatie over omgevingsobjecten wordt weergegeven.

Het voldoen van het raakvlakbeheer in het project aan het criterium wordt toegelicht.

Ontwerpdelen en interne raakvlakken

Raakvlakken worden op verschillende manieren geïdentificeerd. Net als in de casestudy Energieweg wordt gebruik gemaakt van de object decompositie. Interne raakvlakken zijn raakvlakken tussen de gedefinieerde objecten in de decompositie. De ontwerpers identificeren raakvlakken tijdens het ontwerpen. Daarnaast herkent de SE'er raakvlakken aan de hand van raakvlakmatrices, foto's van de projectomgeving en het 3D model. Het BIM draagt bij aan het identificeren van raakvlakken met het 3D object gebaseerde ontwerp. Het 3D model was relatief laat bruikbaar, maar draagt wel bij aan het identificeren van raakvlakken. Hierover wordt gezegd: *'Identificatie kan vanuit het 3D ontwerp. De 3D ontwerpen zijn bijna klaar en daar kun je raakvlakken in zien, bijvoorbeeld dat er een fiets/voetpad in het aquaduct komt'* (Duijf, 2012). Het aquaduct moet vanwege veiligheidseisen worden voorzien van een voetgangerstrap die van het aquaduct de betonbak inloopt. In het 3D model zijn raakvlakken geïdentificeerd van deze trap met het voetpad in de betonbak, de wand van de betonbak en de rand van het aquaduct. Aan deze voetgangerstrap zijn complexe veiligheidseisen gesteld en de raakvlakken van deze trap met de genoemde objecten worden gecontroleerd in het 3D model. Het is vastgelegd met welke objecten deze trap raakvlakken heeft zodat hier bij het beheren van deze objecten rekening mee gehouden wordt.

Omgevingsinformatie voor externe raakvlakken

Een eerste inventarisatie van externe raakvlakken is gedaan tijdens de tweede SE-sessie met de OG. Op interactieve wijze zijn aan de hand van overzichtstekeningen van de weg raakvlakken benoemd waarvan de OG weet dat ze bestaan. De ontwerpers en SE'er identificeren externe raakvlakken tijdens het SE proces en hebben daarvoor omgevingsinformatie nodig. Via informatie die vanuit GIS in het BIM is ondergebracht is de omgevingsinformatie beter beschikbaar. In GIS is bijvoorbeeld het geotechnisch langprofiel beschikbaar dat gebruikt wordt bij functionele externe raakvlakken. Zo is bijvoorbeeld met de informatie over grondlagen door de constructeurs de grondwater stroming van de polderconstructie met folie bepaald. Dit gebeurt met het 3D model dat in GIS beschikbaar is. Daarnaast is ook het K&L tracé ingeladen in GIS. Deze informatie is echter alleen in 2D beschikbaar.

Vastleggen van raakvlakken

De raakvlakkenmanager krijgt geïdentificeerde raakvlakken door en legt de informatie over de raakvlakken vast in het raakvlakdossier in Relatics. In het dossier is elk raakvlak beschreven, gekoppeld aan een raakvlakhouder en gekoppeld aan één of meerdere objecten. Deze objecten worden gebruikt in het ontwerp en ook weergegeven in het ontwerp in de GIS web viewer. Het BIM draagt zo bij aan het vastleggen van de raakvlakken. Hierover zegt de SE'er: *'De bijdrage is dat de raakvlakken voor iedereen inzichtelijk zijn en beheerd worden door de raakvlakkenmanager. Het helpt bij de communicatie over raakvlakken en het bewust vastleggen en traceerbaar maken daarvan'* (Schuttinga R., 2012). De raakvlakkenmanager en SE'er beheren en controleren de raakvlakken en raakvlakken worden vanuit de database nagelopen in het ontwerp. Daarnaast zijn via het BIM raakvlakken duidelijk voor de ontwerpers bij het aanpassen van een object in het ontwerp omdat daarvoor de objectdefinitie in Relatics gebruikt wordt waar het raakvlak aan gekoppeld is. Als de eerder genoemde voetgangerstrap van het aquaduct wordt aangepast dan worden de raakvlakken van dit object voetgangerstrap weergegeven.

Geconcludeerd wordt dat het identificeren van zowel interne als externe raakvlakken beter verloopt met het object-gebaseerde ontwerp, door het 3D ontwerp en met de omgevingsinformatie in GIS. Het beheer is beter

door het koppelen aan objecten in Relatics en de expliciete link met het ontwerp daarvan. Daarnaast is er door het raakvlakdossier meer focus op raakvlakken.

4.7 TRACEERBAARHEID

De gewenste situatie voor de traceerbaarheid is beschreven in onderstaande analyse criterium:

4. De specificaties hebben een expliciete samenhang met de geformuleerde projectdoelen, hoofdfuncties en het ontwerp.

Het voldoen van de traceerbaarheid in het project aan het criterium wordt toegelicht.

Samenhang specificaties met projectdoelen en hoofdfuncties

In de SE sessies met de OG zijn de doelen, functies en eisen geformuleerd. Deze lijst is bijgehouden en vervolgens in Relatics vertaald in de systeemeisen (SES) met per eis een toelichting uit welke eis van de OG deze voortkomt. De eisen, functies en objecten decompositie zijn gebaseerd op de functionele structuur die is bepaald met een aantal FAST diagrammen. De functies en eisen zijn gekoppeld aan objecten in Relatics waarin de samenhang tussen proces input, functies, objecten en de eisen expliciet duidelijk is. Hierover zegt de projectleider: *'De koppelingen maken de traceerbaarheid goed. We kunnen de klant eis aan de OG laten zien en laten zien wat er mee gebeurt is. We formuleren de eisen vanuit de functies die daar aan gekoppeld worden'* (Alsem, 2012).

In de overleggen later in het project is met de OG gewerkt in Relatics zodat deze koppelingen ook de traceerbaarheid voor de OG verbeteren. In de interviews geven zes van de zeven projectteamleden aan dat de traceerbaarheid van de SE informatie die in tekst is uitgedrukt (de specificaties) voor hun duidelijk beter is. De persoon die deze bijdrage niet expliciet noemt is van mening dat de traceerbaarheid ontstaat door het structureren volgens SE. Hij is van mening dat Relatics niet extra bijdraagt aan het structureren van deze informatie.

Samenhang ontwerp en specificaties

In het ontwerp zijn de objecten uit de decompositie als aparte objecten getekend zodat de relatie tussen specificaties en ontwerp via de objecten duidelijk is. Het gebruik van informatie uit de Relatics database weergegeven bij het wegontwerp in MX is toegelicht bij de validatie. Het projectteam gebruikt de koppeling van informatie uit de Relatics database aan het ontwerp in het BIM (zichtbaar in de GIS viewer) om de specificaties per object na te lopen en om de relatie van specificaties met het ontwerp vast te leggen. De wegontwerper en de GIS specialist geven aan dat zij door het samenbrengen van de informatie meer inzicht hebben in het specificatie gedeelte van het project (doelen, functies, raakvlakken). De GIS specialist geeft aan: *'Met de viewer help je de ontwerper in de informatie van het SE proces te kijken'* (Hoogeveen, 2012). Daarnaast is de wegontwerper van mening: *'Elke vorm van samenwerking en gegevens deling is waardevol, nieuw in dit project is de koppeling met de SE kant met BIM'* (Meurs, 2012). De technisch manager geeft echter aan: *'Ik zie wel het voordeel dat het overzichtelijk is, maar de koppeling van het ontwerp in GIS is nog onvoldoende om goed bruikbaar te zijn'* (Hergarden, 2012). Op het moment van interviewen, toen het project al enkele maanden liep, was de koppeling in GIS pas kort functioneel en voor het werk tot dan toe leverde het nog geen bijdrage. De OG maakt geen gebruik van de GIS viewer. De informatie in Relatics zal ook gekoppeld worden aan het 3D model., Op het moment van schrijven is dit echter nog niet beschikbaar.

Geconcludeerd wordt dat de traceerbaarheid van de doelen naar functies, objecten en eisen goed is en expliciet vast ligt in Relatics. De objecten uit de functionele structuur worden gebruikt in het ontwerp en maken de relatie van het ontwerp met de specificaties duidelijk. Er is een koppeling tussen de specificaties in Relatics en het ontwerp in GIS zodat de vertaling van de specificaties in het ontwerp traceerbaar is, dit is echter nog niet zichtbaar voor de OG.

4.8 ERVARINGEN PROJECTMEDEWERKERS

Het project Drachtsterweg is een pilot project voor RH voor het werken met BIM. In dit project is er veel geleerd voor het gebruik van BIM in toekomstige projecten. In deze paragraaf wordt kort ingegaan op de ervaren meerwaarde van BIM door projectmedewerkers en enkele door hen gedane aanbevelingen. In de interviews hebben alle projectmedewerkers de vraag of het gebruik van BIM meerwaarde heeft in de fase van de contractvoorbereiding van infrastructurele werken positief beantwoord. Twee citaten die de antwoorden goed illustreren:

'Zeer waardevol, in deze vroege fase van contractvoorbereiding maak je veel keuzes en trade-off's. Deze informatie is de start van je ontwerpproces en het ligt voor de hand om dit ook in je BIM op te nemen. Als er gebouwd gaat worden wil je op deze informatie kunnen terugvallen' (Hoogeveen, 2012).

'In ons hoofd maken we impliciet veel afwegingen die navolgbaar moeten zijn in latere fasen. De opdrachtnemer weet soms niet eens waarom we een project doen. Het doel moet je altijd duidelijk voor ogen hebben' (Schuttinga R. , 2012).

Tijdens de overleggen en interviews zijn een aantal problemen, aandachtspunten en aanbevelingen in het huidige BIM proces naar voren gekomen:

- Bij aanvang van de werkzaamheden van het projectteam moet het BIM klaar zijn voor gebruik. Dit betekent dat de gewenste functionaliteit aanwezig is en alle informatie vanaf het begin in het BIM wordt ondergebracht. In dit project is pas in de loop van de tijd een manier gevonden om de Relatics database te koppelen aan het model.
- In het BIM moet ook de bestaande situatie en projectgeschiedenis, die in deze fase erg belangrijk zijn, zo goed mogelijk worden ondergebracht. Daarover was in dit project onduidelijkheid.
- Er moeten duidelijke afspraken gemaakt worden met de OG over de validatie. In dit project was het de bedoeling dat de OG mee zou kijken in het BIM. Doordat dit niet goed is afgesproken gebeurt dit niet zoals bedoeld.
- Het onderbrengen van informatie in en de samenwerking rondom het BIM moet beter vastgelegd worden. Er moeten bijvoorbeeld procedures komen waarin staan wat er moet gebeuren als er een nieuw document binnenkomt en wie wat mag en moet doen in het BIM. In vijf van de zeven interviews geven projectmedewerkers het vastleggen van deze procedures aan als gewenste verbetering.
- Het 'BIM proces' in dit project is vooral één kant op uitgewerkt zodat uiteindelijk een compleet BIM ontstaat. Er moet meer en snelle interactie mogelijk zijn tussen de verschillende delen van de systeemontwikkeling en de software in het BIM.
- De functies, eisen, raakvlakken en objectspecificaties moeten tijdens het ontwerpen duidelijk zijn, bijvoorbeeld in het ontwerpprogramma en bovendien moeten deze elementen daar ook aangepast kunnen worden.
- In vier interviews komt naar voren dat het vastleggen van deze (proces) informatie veel tijd kost en daarom moet hier een balans in worden gezocht. Het voordeel van vastleggen is dat dingen niet dubbel gedaan worden, traceerbaar zijn en daarom bij latere afwegingen van pas kunnen komen zodat er uiteindelijk sneller gewerkt kan worden. Echter, doordat al deze informatie vastgelegd moet worden vergt dit juist weer extra tijd. Ook dit punt komt naar voren in de interviews: *'Dat vastleggen kost ook moeite, hier ligt een zekere paradox'* (Jeltes, 2012).

In het volgende hoofdstuk worden de resultaten van deze casestudy vergeleken met de resultaten van de casestudy Energieweg om te bepalen in hoeverre het SE proces verbeterd is met het gebruik van BIM.

5 VERGELIJKING CASESTUDY'S

Op basis van het voldoen aan de analyse criteria wordt beschouwd hoe de geanalyseerde SE processen in beide cases zijn verlopen en of er een verbetering is bereikt met het BIM. Hiermee wordt een antwoord gegeven op de derde en vierde onderzoeksvraag.

Tabel 3: Deze tabel geeft een overzicht in hoeverre de case zonder BIM en de case met BIM voldoen aan de analyse criteria. Daarnaast is per criterium aangegeven in hoeverre met BIM een verbetering is bereikt.

Criteria	Case zonder BIM	Case met BIM	Bijdrage BIM
De OG wordt tijdig voorzien van een duidelijk beeld van de SE proces output zodat het probleembegrip vergroot wordt en de resultaten van de validatie worden navolgbaar verwerkt in het SE proces.	De OG is niet voorzien van een samenhangend beeld van de SE proces output. De specificaties en ontwerpen zijn als aparte producten gepresenteerd. Commentaar en afwegingen zijn niet navolgbaar verwerkt in een nieuwe iteratie van het SE proces.	De SE producten worden duidelijk en als één geheel gepresenteerd. Commentaar is gestructureerd verwerkt en afwegingen worden met het BIM relatief snel onderbouwd.	Kleine verbetering met BIM. De presentatie van de specificaties is beter met Relatics en de presentatie van het ontwerp met het 3D model. De SE proces output wordt meer als één geheel gepresenteerd. Commentaar is gestructureerd en de afwegingen worden sneller onderbouwd.
Actuele informatie en baselines met de specificaties én het ontwerp zijn voor het projectteam beschikbaar en wijzigingen worden vastgelegd en beschikbaar gesteld aan het projectteam.	Er zijn geen baselines met specificaties én ontwerp gemaakt. De meest actuele informatie is vaak onduidelijk en lastig terug te vinden en wijzigingen zijn niet altijd goed beschikbaar gesteld. Het CM is niet uitgevoerd zoals zou moeten.	Er worden baselines met specificaties én ontwerp gebruikt. Voor alle tekstuele informatie is het CM goed uitgevoerd. Van de ontwerpen zijn de meest actuele versie en wijzigingen niet altijd duidelijk en beschikbaar.	Kleine verbetering met BIM. Het CM van tekst verloopt goed met Relatics. Ontwerpen worden beter gedeeld door de integratie van de delen in BIM, de status is niet duidelijker. De subsystemen en taken zijn goed afgestemd dankzij de integratie in BIM.
Raakvlakken worden vastgelegd in tekst en ontwerp waarbij de verschillende ontwerpdelen worden samengevoegd en beschikbare informatie over omgevingsobjecten wordt weergegeven.	Raakvlakken zijn niet op een gestructureerde manier geïdentificeerd en alleen vastgelegd in de eisen (enkele in een ontwerpnota). Raakvlakken zijn niet duidelijk bij de objecten of in het ontwerp. Omgevingsinformatie is beperkt gebruikt.	Het identificeren van raakvlakken verloopt goed. Raakvlakken zijn vastgelegd in een dossier en zijn zichtbaar bij de objecten die weer worden weergegeven in het ontwerp. Omgevingsinformatie wordt goed gebruikt.	Duidelijke verbetering met BIM. Identificeren gaat beter met het object-gebaseerde 3D ontwerp en de omgevingsinformatie in GIS. Het beheer is beter door het koppelen aan objecten in Relatics en de link met het ontwerp in GIS. Er is meer aandacht voor raakvlakken dankzij het dossier.
De specificaties hebben een expliciete samenhang met de geformuleerde projectdoelen, hoofdfuncties en het ontwerp.	De traceerbaarheid van informatie is beperkt. De objecten volgen niet logisch uit de functies en bovendien zijn ze niet duidelijk vertaald in het ontwerp. Er is geen samenhangend beeld van specificaties én ontwerp.	De traceerbaarheid van de doelen naar functies, objecten en eisen is goed. De relatie van het ontwerp met de specificaties is duidelijk en de vertaling van specificaties in het ontwerp traceerbaar.	Duidelijke verbetering met BIM. De samenhang van doelen functies, objecten en eisen ligt vast in Relatics. Gedefinieerde objecten zijn ook als object getekend en er is een koppeling tussen de specificaties in Relatics en het ontwerp in GIS.

Bij alle vier de bestudeerde SE processen is een verbetering zichtbaar met BIM. Bij CM is de verbetering met BIM klein. Dan wordt niet meegenomen dat met Relatics wel een grote verbetering bereikt is in het beheren van tekstuele informatie. De verbetering van de traceerbaarheid van doelen naar functies, objecten en eisen is bereikt met Relatics. De kleine verbeteringen die zijn waargenomen bij de validatie en het configuratiemanagement zijn niet zozeer toe te schrijven aan een beperking in de functionaliteit van BIM maar aan de manier waarop BIM gebruikt is. Bij de validatie ontbreken afspraken met de OG over het gebruik van BIM. Voor het configuratiemanagement ontbreken afspraken over het gebruik van BIM in het projectteam. Het project met BIM is een pilot project voor RH waarin voor het projectteam veel dingen nieuw zijn. Het is daarom te verwachten dat deze verbeteringen bij vervolprojecten wel bereikt worden als de omgang met BIM beter

geregeld is. Dit geldt niet voor het versnellen van ontwerpafwegingen, op dat punt is wel extra functionaliteit nodig om een grote verbetering te bereiken. Een voorbeeld is de overgang van de betonnen bak in de folieconstructie. Bij een wijziging daarin moet eerst het wegontwerp aangepast worden, dit wordt opgestuurd naar de kunstwerkontwerper die het aanpast. Het 3D model kan dan in GIS weergegeven worden en gekoppeld worden aan de specificaties. De wens is om snel, bijvoorbeeld in een interactieve sessie met de OG, een dergelijke afweging te kunnen maken.

Met het inzicht in de wijze waarop BIM wel of niet bijdraagt aan de verbeteringen is een richtlijn opgesteld. De richtlijn beschrijft hoe een BIM opgezet en gebruikt moet worden zodat de verbeteringen van het proces op de bestudeerde criteria ermee bereikt worden. Met de richtlijn wordt de vijfde onderzoeksvraag beantwoord. De richtlijn is bijgevoegd in bijlage 1.

6 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Het doel van het onderzoek is: *‘Het gebruik van BIM in het iteratieve specificatie en ontwerpproces volgens SE onderzoeken en analyseren of de verwachte verbeteringen bereikt worden’.*

De conclusie is dat het SE proces waarin het projectteam een systeem namens de OG ontwikkelt verbetert op de bestudeerde criteria met BIM. De validatie is beter doordat de resultaten van het projectteam duidelijker zijn voor de OG en zijn commentaar beter verwerkt wordt. De opdrachtgever wordt voorzien van een duidelijk beeld van specificaties en ontwerp, maar nog niet in één model waarin beide goed gevalideerd kunnen worden. Afwegingen verlopen sneller maar het is wenselijk dat dit nog sneller kan, bijvoorbeeld in de interactieve sessies met de OG. Het configuratiemanagement is met BIM beter uitgevoerd doordat informatie van het projectteam en de verschillende systeemonderdelen geïntegreerd is in een centraal model en op deze manier beschikbaar gesteld en bijgehouden worden. In de case met BIM zijn actuele informatie en wijzigingen voor tekstuele informatie goed beschikbaar. Echter is dit voor de informatie in het ontwerp nog lastig. Er zijn wel baselines met specificaties én ontwerp opgesteld. Raakvlakken worden beter geïdentificeerd en beheerd. De raakvlakken zijn vastgelegd in een dossier en via de objecten en met een koppeling ook in het ontwerp. De ontwerpdelen zijn samengevoegd en de (beperkt) beschikbare omgevingsinformatie wordt goed weergegeven. Tot slot verbetert de traceerbaarheid van informatie door specificaties onderling te koppelen en de expliciete link met het complete ontwerp. De specificaties hebben een expliciete samenhang met het ontwerp en de objecten structureren de informatie en maken deze traceerbaar.

De hoofdvraag in dit onderzoek is: *‘Kan met het gebruik van BIM het iteratieve specificatie en ontwerpproces van infrastructurale projecten volgens SE verbeterd worden?’*

Deze vraag wordt positief beantwoord. Echter, niet alle verwachte verbeteringen zijn behaald. Het gebruik van BIM bij RH is nieuw, de samenwerking rond BIM was niet duidelijk geregeld en BIM kon niet direct vanaf het begin van het project ingezet worden. Op basis van de verbeteringen die met BIM bereikt worden en de knelpunten bij de verbeteringen die niet bereikt zijn worden de volgende aanbevelingen gedaan aan Royal Haskoning:

- Zet een project specifiek BIM op, zoals beschreven in de bijgevoegde richtlijn (zie bijlage 1)
- Regel de samenwerking in en rondom BIM met de processchema's in de richtlijn (zie bijlage 1)
- Leg vast in afspraken met de opdrachtgever hoe BIM gebruikt wordt voor de validatie
- Bepaal welke proces informatie waardevol is op een later moment en leg deze vast tijdens het SE proces
- Bepaal de objectdefinities zo vroeg mogelijk en gebruik deze om overige informatie te structureren

Een project specifiek BIM opzetten is belangrijk omdat er per project andere doelen zijn, andere producten geleverd moeten worden en er een andere OG is. De samenwerking met BIM volgens de opgestelde processchema's is gericht op het verbeteren van het SE proces op de analyse criteria, deze samenwerking kan vastgelegd worden in de CM strategie. Het afstemmen van het probleembegrip met de OG moet vastgelegd worden omdat dit bepalend is voor de manier en het moment waarop SE producten gevalideerd worden. Dit is bepalend voor het probleembegrip van de OG en (scope) wijzigingen. Het vastleggen van procesinformatie, zoals de toelichting bij een ontwerpwijziging, kan erg nuttig zijn maar kost ook tijd. Met BIM hoeft niet al deze informatie per definitie vastgelegd te worden. Het zo vroeg mogelijk bepalen van objectdefinities is belangrijk voor het SE proces en voor het integreren van informatie in een BIM.

Naast bovengenoemde aanbevelingen voor de praktijk zijn er een aantal aanbevelingen voor nader onderzoek:

- Het aanvullen en verder onderbouwen van de opgestelde richtlijn door meer casestudy's te doen van projecten waarbij gewerkt wordt met BIM waarbij het SE proces op de analyse criteria bestudeerd wordt

- Het aanvullen en verder onderbouwen van de opgestelde richtlijn door het toepassen van deze richtlijn voor het opzetten en gebruiken van een project specifiek BIM in projecten en het evalueren van de behaalde resultaten
- Bepalen hoe het probleembegrip met de OG het beste afgestemd kan worden (validatie) zodat input gestructureerd binnenkomt en de optimale waarde voor de OG geleverd wordt
- Bepalen wat de waarde van het vastleggen van (proces) informatie is en bepalen waar in een project de balans ligt tussen het vastleggen van deze informatie tegenover het snel bereiken van het resultaat

7 RELEVANTIE

7.1 PRAKTISCHE BIJDRAGE: RICHTLIJN

De belangrijkste praktische bijdrage van dit onderzoek is de richtlijn. Deze richtlijn kan in toekomstige projecten waarin een vraagspecificatie volgens SE opgesteld moet worden toegepast worden om een BIM op te zetten en te gebruiken. De richtlijn is geschreven voor het projectteam dat het systeem ontwikkeld namens een OG. De omgang met deze OG is ook beschreven in de richtlijn. De richtlijn is opgesteld op basis van het inzicht in de wijze waarop het BIM in het SE proces bijdraagt aan de verbeteringen en de lessen die getrokken worden uit de verbeteringen die niet volledig bereikt zijn, zoals beschreven in hoofdstuk 4. De richtlijn beschrijft aan de hand van stappen in processchema's hoe het BIM opgezet moet worden en gebruikt moet worden zodat de verbeteringen van het proces op de bestudeerde criteria bereikt worden. De complete richtlijn is bijgevoegd in bijlage 1. In deze bijlage is ook een beschrijving te vinden per criterium hoe het bereiken daarvan gewaarborgd is in de richtlijn.

7.2 WETENSCHAPPELIJK BELANG

Het gebruik van BIM in infrastructurele projecten zoals onderzocht is relatief nieuw, BIM wordt tot nog toe vooral in de Bouw en Utiliteitsbouw (B&U) gebruikt. Ook is het gebruik van BIM in deze vroege conceptuele ontwerpfasen zoals de contractvoorbereiding relatief nieuw. Met dit onderzoek ontstaat inzicht in de mogelijke toepassingen en meerwaarde van BIM in dergelijke projecten. Het onderzoek sluit aan bij het gebruik van een geïntegreerde ontwerpomgeving, in dit geval gevormd met het BIM (Christiansson, Svidt, & Sorensen, 2009). Dit sluit aan bij de literatuur die pleit voor een beter geïntegreerde virtuele organisatie door een gedeelde digitale werkplek (Chung, Kumaraswamy, & Palaneeswaran, 2009). Dit onderzoek levert ook een bijdrage met aanbevelingen en een richtlijn voor het gebruik van een BIM waarmee de SE werkwijze in de praktijk beter werkbaar is. De notie dat met een modelgebaseerde manier van werken problemen in de uitvoering van het SE proces verholpen kunnen worden bestaat al in de opkomende literatuur over model gedreven uitvoering van het SE proces (Baker, Clemente, & Cohen, 2000; Piaszczyk, 2011).

8 REFERENTIES

- Alsem, D. (2012, maart 5). Interview SE proces met BIM Drachtsterweg. (J. Hoeber, Interviewer)
- Baker, L., Clemente, P., & Cohen, B. (2000). *Foundational Concepts for Model Driven Systems Design*. Group, INCOSE Model Driven System Design Interest.
- Bharathan, K., Poe, G., & Bahill, A. (1995). Object Oriented Systems Engineering. *IEEE*, 69-76.
- Browning, T. (2001). Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions. *IEEE Transactions on Engineering Management* 3, 292-307.
- Christiansson, P., Svidt, K., & Sorensen, K. (2009). Future Intergated Design Environments. *Journal of Information Technology in Construction* 14, 445-461.
- Christiansson, P., Svidt, K., Perderson, K., & Dybro, U. (2011). User participation in the building process. *Journal of Information Technology in Construction* 16, 309-336.
- Chung, J., Kumaraswamy, M., & Palaneeswaran, E. (2009). Improving megaproject briefing through enhanced collaboration with ICT. *Automation in Construction* 18, 966-974.
- CUR Bouw & Infra. (2011). *Bouwen met Omgevingsinformatie*. Gouda: CURNET.
- Department of Defense. (2001). *Systems Engineering Fundamentals*. Virginia: Defense Acquisition University Press.
- Duijf, S. (2012, maart 1). Interview SE proces met BIM Drachtsterweg. (J. Hoeber, Interviewer)
- Eastman, C., Lee, J.-m., Jeong, Y.-S., & Lee, J.-k. (2009). Automatic Rule Based Checking of Building Designs. *Automation in Construction* 18, 1011-1033.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modelling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Estefan, A. (2008, mei 23). Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE). *INCOSE MBSE Initiative*, p. 70.
- Hartmann, T., Fischer, M., & Haymaker, J. (2009). Implementing information systems with project teams using ethnographic-action research. *Advanced Engineering Informatics* 23, 57-67.
- Hergarden, R. (2012, maart 1). Interview SE proces met BIM Drachtsterweg. (J. Hoeber, Interviewer)
- Hoogeveen, A. (2012, maart 15). Interview SE proces met BIM Drachtsterweg. (J. Hoeber, Interviewer)
- Hull, E., Jackson, K., & Dick, J. (2005). *Requirements Engineering*. Londen: Springer.
- Isaac, S., & Navon, R. (2008). Feasibility study of an automated tool for identifying the implications of changes in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management* 134, 139-145.
- Isikdag, U., Underwood, J., & Aouad, G. (2008). An investigation into the applicability of building information models in geospatial environment in support of site selection and fire response management processes. *Advanced Engineering Informatics* 22, 504-519.
- Jeltes, R. (2012, maart 8). Interview SE proces met BIM Drachtsterweg. (J. Hoeber, Interviewer)

- Kaufman, J., & Woodhead, R. (2006). Functional Analysis System Technique. In *Stimulating Innovation in Products and Services: With Function Analysis and Mapping*. Wiley.
- Kossiakoff, A. S., Seymour, S., & Biemer, S. (2011). *Systems Engineering Principles and Practice*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Meurs, T. (2012, Februari 29). Interview SE proces met BIM Drachtsterweg. (J. Hoeber, Interviewer)
- NEN. (2008). *ISO/IEC 15288:2008*. Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.
- Ozkaya, I., & Akin, O. (2006). Requirement-driven design: assistance for information traceability in design computing. *Design Studies* 27, 381-398.
- Ozkaya, I., & Akin, Ö. (2007). Tool support for computer-aided requirement traceability in architectural design: The case of DesignTrack. *Automation in Construction* 16, 674-684.
- Parnell, G., Driscoll, P., & Henderson, D. (2011). *Decision Making in Systems Engineering and Management*. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons.
- Pauwels, P., Deursen, D. v., Verstreten, R., Roo, J. d., Meyer, R. d., Walle, R. v., & Campenhout, J. v. (2011). A semantic rule checking environment for building performance checking. *Automation in Construction* 20, 506-518.
- Piaszczyk, C. (2011). Model Based Systems Engineering with Department of Defense Architectural Framework. *Systems Engineering Vol. 14*, 305-326.
- Rijkswaterstaat. (2005). *Handreiking functioneel specificeren*. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2011). *Stappenplan van projectopdracht tot Vraagspecificatie: SE voor RWS projecten*. Rijkswaterstaat.
- Schuttinga, R. (2011, November 3). Interview SE proces Energieweg. (J. Hoeber, Interviewer)
- Schuttinga, R. (2012, maart 1). Interview SE proces met BIM Drachtsterweg. (J. Hoeber, Interviewer)
- Shen, W., Shen, Q., & Sun, Q. (2011). Building Information Modeling-based user activity simulation and evaluation method for improving designer–user communications. *Automation in Construction*.
- Spradley, J. (1979). *The Ethnographic Interview*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1998). *Basics of qualitative research: techniques and procedures for developing grounded theory*. SAGE.
- Swart, N. d. (2010). *Handboek Requirements: Brug tussen business en ICT*. Delft: Eburon.
- Tribelsky, E., & Sacks, R. (2010). Measuring Information flow in the detailed design of construction projects. *Research in Engineering and Design* 21, 189-206.
- Verschuren, P., & Doorewaard, H. (2007). *Het Ontwerpen van een onderzoek*. Den Haag: LEMMA.
- Vogels, S. (2011, November 11). Interview SE proces Energieweg. (J.G.Hoeber, Interviewer)
- Werkgroep Leidraad SE. (2009). *Leidraad SE in de GWW*. Den Haag: MVA communicatie.
- Yin, R. (1984). *Case Study Research: Design and Methods*. Beverly Hills: SAGE Publications.

BIJLAGE 1: RICHTLIJN VOOR INFORMATIEBEHEER MET BIM IN DE SYSTEEMONTWIKKELING VOLGENS SE

Met het BIM opgesteld volgens de richtlijn en de werkwijze volgens richtlijn worden de huidige problemen in het SE proces voorkomen. Voor het oplossen van deze problemen zijn een aantal analysecriteria geformuleerd die de gewenste situatie beschrijven, in onderstaande Tabel 4 is per criterium beschreven hoe dit met de richtlijn gewaarborgd wordt.

Tabel 4: Toelichting hoe met de richtlijn voldaan wordt aan de analyse criteria

Analyse criterium	Waarborging met richtlijn
Validatie: De OG wordt tijdig voorzien van een volledig beeld van de SE proces output zodat het probleembegrip vergroot wordt en het commentaar daarop wordt navolgbaar verwerkt in het SE proces.	Bij het maken van de SE producten volgens de richtlijn worden functies, eisen en objecten gekoppeld en worden alle ontwerpdelen samengebracht. Het complete (3D) ontwerp en de specificaties worden geïntegreerd in een totaalbeeld voor de validatie. Met de OG worden afspraken gemaakt over de validatie. In het validatieproces wordt het probleembegrip afgestemd met een BIM en dit BIM afgestemd op de wensen van het projectteam en de OG. Het resultaat van de stappen bestaat uit goedgekeurde of te wijzigen SE producten of een keuze in een voorgelegde afweging <i>Diagram: A1, A2 en A2.1</i>
Configuratiemanagement: Actuele informatie en baselines met de specificaties én het ontwerp zijn voor het projectteam beschikbaar en wijzigingen worden vastgelegd en beschikbaar gesteld aan het projectteam.	Een BIM moet de functionaliteit hebben voor het uitvoeren van de CM strategie en de CM strategie wordt afgestemd op het gebruik van BIM. In de richtlijn wordt een BIM opgezet volgens de CM strategie zodat bijvoorbeeld wijzigingen automatisch beschikbaar worden gesteld aan de relevante personen. De verschillende SE producten worden samengebracht in baselines waardoor de impact van een wijziging snel te bepalen is. Varianten kunnen met deze informatie snel afgewogen worden en voorgelegd worden aan de stakeholders. De CM strategie schrijft voor hoe het BIM gebruikt wordt en deze impact bepaald wordt. <i>Diagram: A1, A2 en A2.1</i>
Raakvlakkenbeheer: Raakvlakken worden vastgelegd in tekst en ontwerp waarbij de verschillende ontwerpdelen worden samengevoegd en beschikbare informatie over omgevingsobjecten wordt weergegeven.	Door volgens de richtlijn de SE producten op te stellen en de raakvlakken daarin te identificeren en bij te houden in een dossier wordt dit criterium gewaarborgd. <i>Diagram: A2 en A2.1</i>
Traceerbaarheid: De specificaties hebben een expliciete samenhang met de geformuleerde projectdoelen, hoofdfuncties en het ontwerp.	Volgens de richtlijn worden functies, eisen, objecten en eventuele andere specificatie informatie (zoals issues) aan elkaar gekoppeld. Volgens de richtlijn wordt het complete ontwerp gekoppeld aan de (database met) alle specificaties en overige SE informatie. <i>Diagram: A2.1</i>

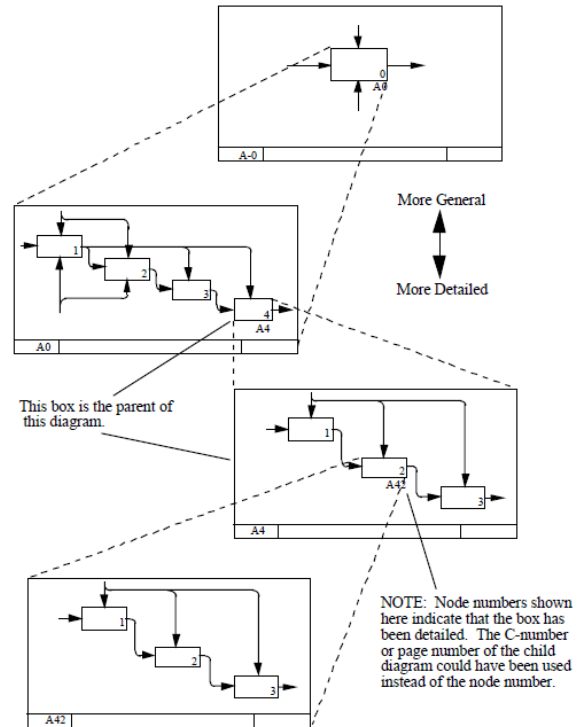
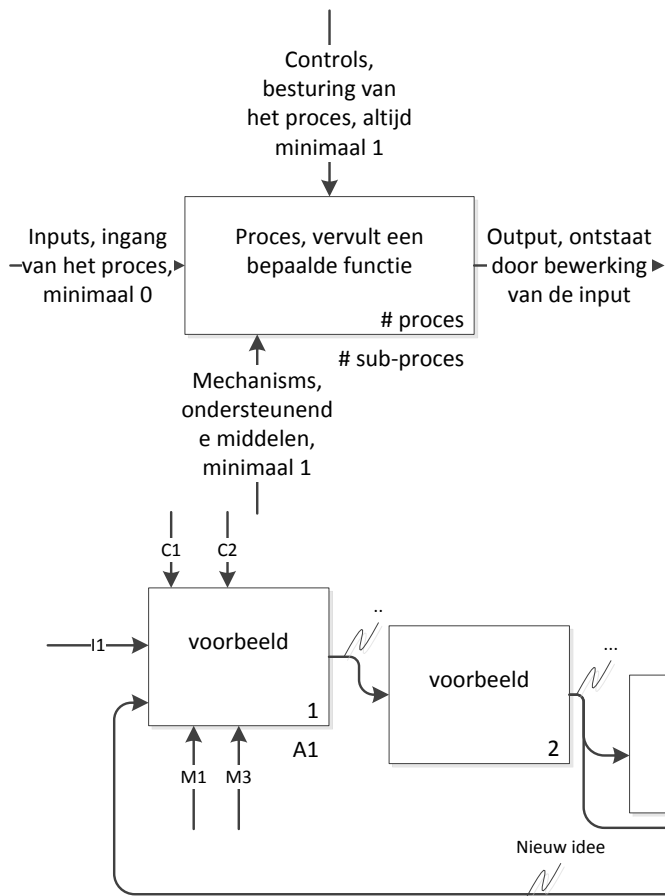
De scope van de richtlijn is het projectteam dat het systeem specificeert en ontwerpt volgens SE voor de relevante stakeholders. De processchema's zijn ontworpen volgens de IDEFQ standaard om interpretatiefouten te voorkomen. Voordat de richtlijn wordt gepresenteerd wordt een korte toelichting gegeven op IDEFQ.

Korte toelichting op IDEF0

Integration Definition for Function Modeling (IDEF0: Integration DEFINition language 0)
 (volgens de 'Draft Federal Information Processing Standards Publication 183, 1993)

IDEF0 wordt gebruikt voor het maken van een 'functie model', dit model is een gestructureerde weergave van de functies, activiteiten en processen van het gemodelleerde systeem of onderwerp. Systeemonderdelen kunnen elke combinatie van dingen, inclusief mensen, informatie, software, processen, equipment, producten of ruwe materialen zijn. Het resultaat van het toepassen van IDEF0 is een model dat bestaat uit een hiërarchische serie van diagrammen die onderling gelinkt zijn. Het model is een blauwdruk van functies en interfaces die begrepen moeten worden voor het maken van Systems Engineering besluiten die logisch, betaalbaar, integreerbaar en haalbaar zijn. De twee hoofdcomponenten zijn functies (weergegeven als diagram box) en de data en objecten die deze functies verbinden (weergegeven als pijlen). Elke pijl en elke box heeft een tekst. Deze en andere regels voor het opstellen van IDEF0 diagrammen zijn vastgelegd in bovengenoemde standaard.

- Inputs: Data die door de functie wordt bewerkt tot output
- Controls: Vereiste condities voor het uitvoeren van de functie
- Outputs: Data geproduceerd met de functie
- Mechanisms: De middelen voor het uitvoeren van de functie



Informatie in bovenstaande voorbeeld diagram:

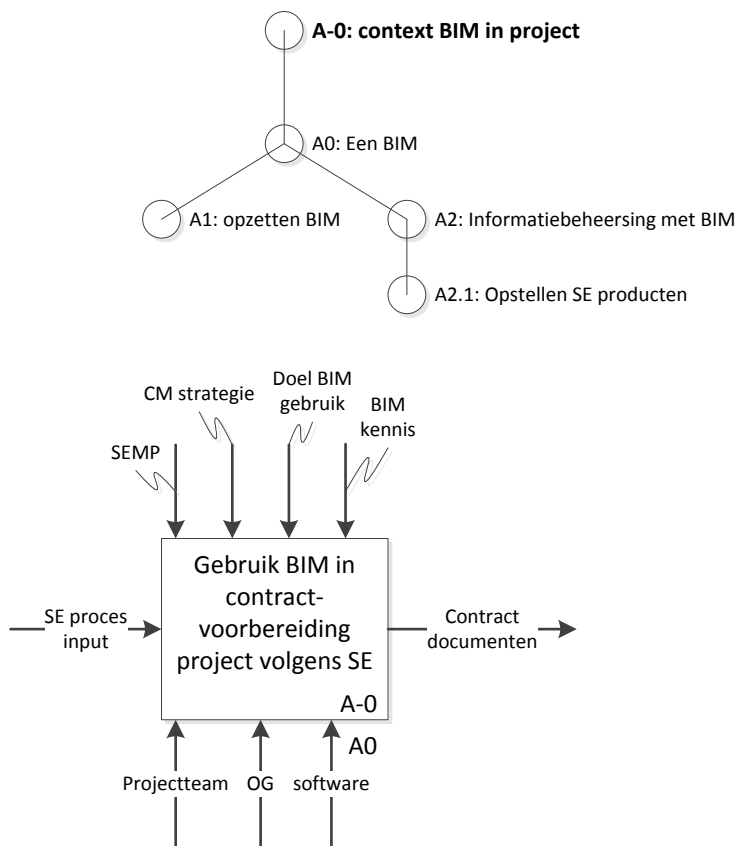
In bovenstaand voorbeeld worden 4 activiteiten uitgevoerd, proces 1 t/m 4. De pijlen die slechts aan 1 zijde zijn verbonden zijn 'boundary arrows' die voortkomen uit het bovenliggende 'parent' proces. Proces 1 heeft een onderliggend proces A1

Proces 2 volgt na proces 1, aangegeven door de pijl. Na proces 2 volgen proces 3 en 4. Proces 3 en 4 starten tegelijk na proces 2, weergegeven door de gesplitste pijl na proces 2.

Proces 1 heeft 1 input uit het bijbehorende bovenliggende diagram (I1). Proces 1 heeft 2 controls (C1 en C2), dit zijn de eerst twee genoemde controls van het bovenliggende diagram. Proces 1 heeft 1 output (...). Proces 1 heeft 2 ondersteunende mechanismen, M1 en M3, dit zijn het eerste en derde genoemde mechanisme in het bovenliggende diagram.

Proces 4 heeft 2 outputs. De eerste output bestaat uit de hoofdcategorie 'eisen' waar 'eistekst' en de tweede weergegeven output in bovenliggend diagram (O2) onderdeel van uitmaken. De tweede output van proces 4 is een nieuw idee. Dit idee is feedback output en vormt input voor proces 1. De eistekst is feedback voor een control voor proces 3.

Richtlijn voor het opzetten en gebruik van een projectspecifiek BIM voor het specificatie- en ontwerpproces tijdens de contractvoorbereiding



A-0: Contextdiagram BIM gebruik

Geen enkel project is hetzelfde; de stakeholders, te leveren producten, het projectteam en de projectopgave verschillen per project. Daarom moet per project een specifiek BIM opgezet worden. Ook moet duidelijk zijn hoe dit BIM gebruikt moet worden. De rol van de opdrachtgever bij een BIM kan bestaan uit het valideren, doen van afwegingen, gebruik bij overleg of het aanleveren van informatie, in de schema's is aangegeven (als ondersteunend mechanisme) waar de opdrachtgever een rol kan spelen. Het opzetten van een BIM wordt door iemand of enkele personen van het projectteam of een specialist gedaan, het hele projectteam zal er mee werken. De verschillende disciplines, zoals ze nu ook bestaan, leveren hun input/ producten die de informatie in het BIM vormt.

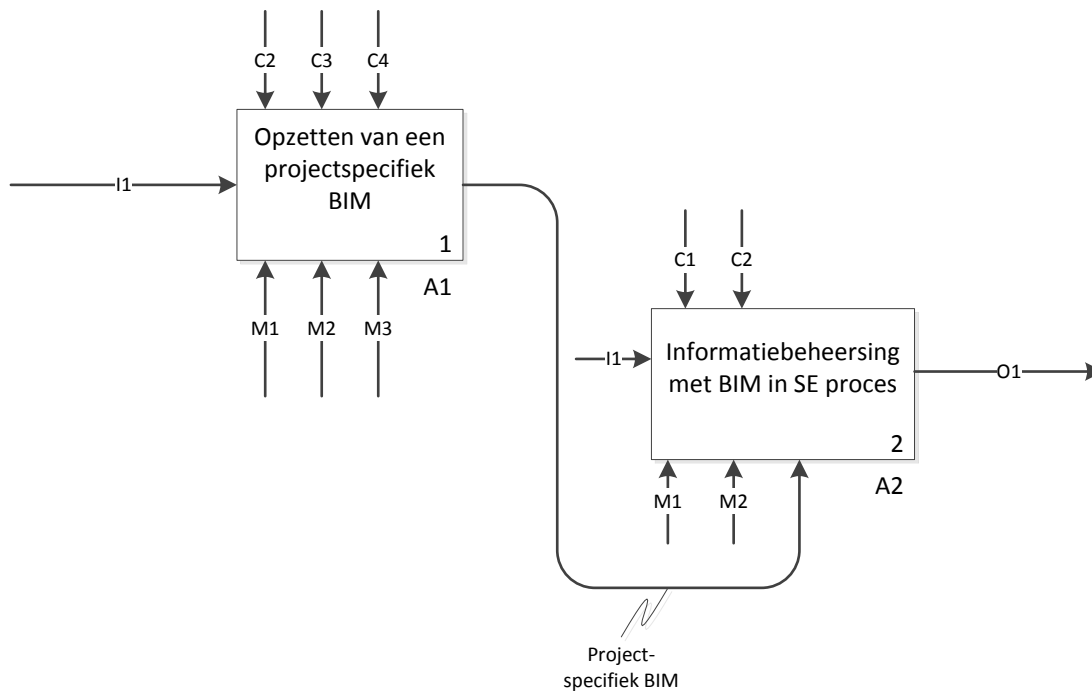
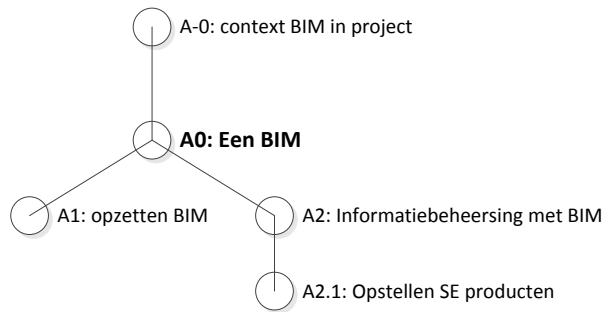
Er zijn vier controls die als uitgangspunt dienen bij deze processen:

C1 - Het Systems Engineering Management Plan (SEMP) voor het beschrijven van de relevante stakeholders en de te leveren producten voor deze stakeholders. Ook moet het projectteam onderverdeeld worden bij de te maken producten zodat duidelijk is wie welk product maakt. Ook moeten afspraken gemaakt worden met de OG over de validatie waarbij wordt afgesproken welke baselines gevalideerd worden. Dit sluit aan bij de functie van de projectmanager en/ of SE specialist en gebeurt in overleg met de OG.

C2 - De configuratiemanagement (CM) strategie voor het informatiebeheer in de stappen waarbij CM strategie controle proces is en voor het bepalen van de verantwoordelijkheden en autorisaties voor het doorvoeren van wijzigingen. Dit sluit aan bij de functie van de projectbeheerser.

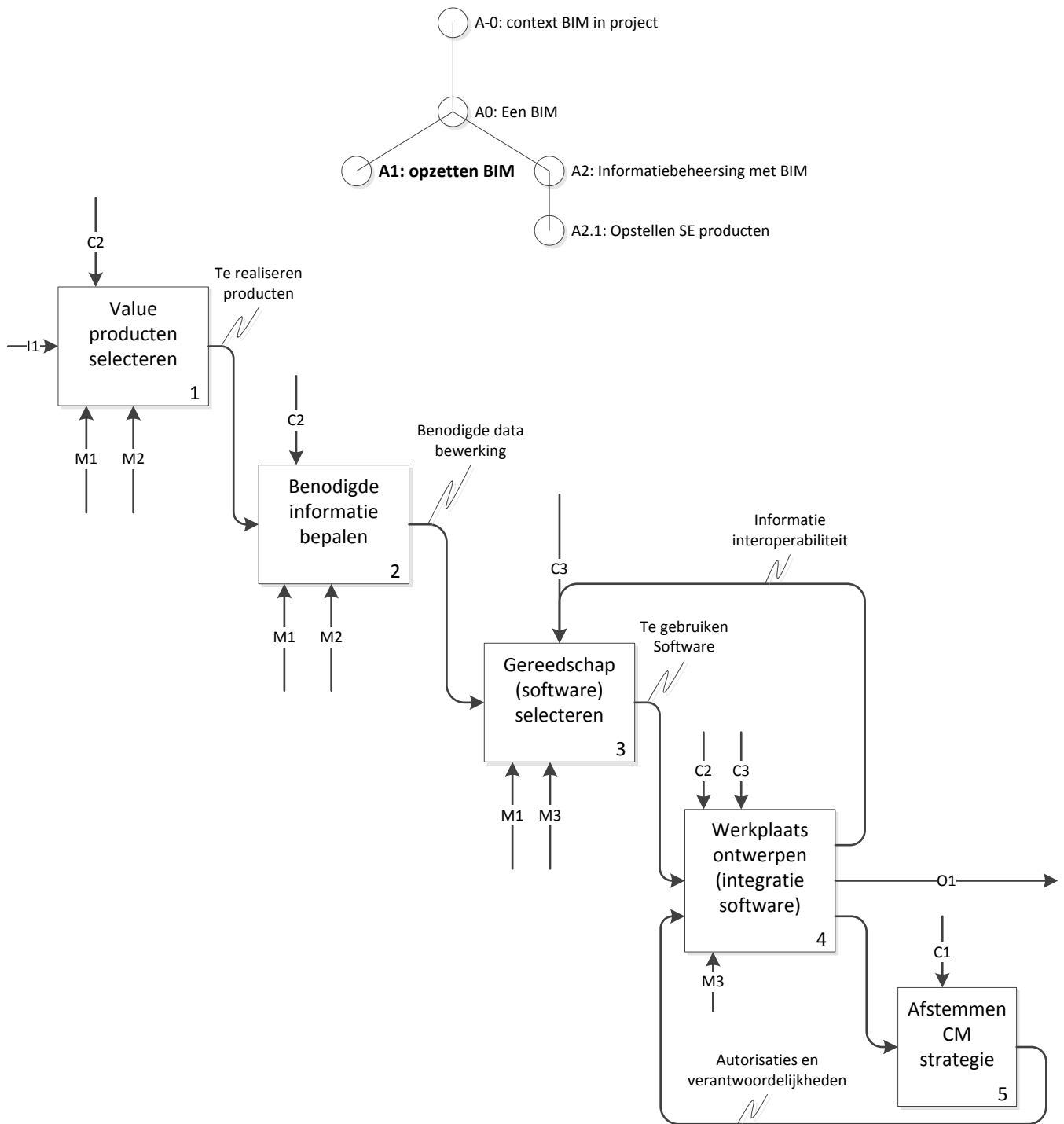
C3 - Het doel van het gebruik van BIM in het project, waarom wil men gebruik maken van een BIM? Dit is leidend bij het opzetten van het BIM. Dit bepaald de BIM en/of SE specialist in overleg met de OG

C4 - De kennis betreffende BIM, er moet een BIM opgezet en gebruikt worden en daarvoor is BIM kennis nodig, deze kennis is leidend bij het opzetten omdat het BIM moet functioneren als het project begint. Deze kennis is aanwezig bij iemand of enkele personen van het projectteam of anders bij een BIM specialist binnen het bedrijf.



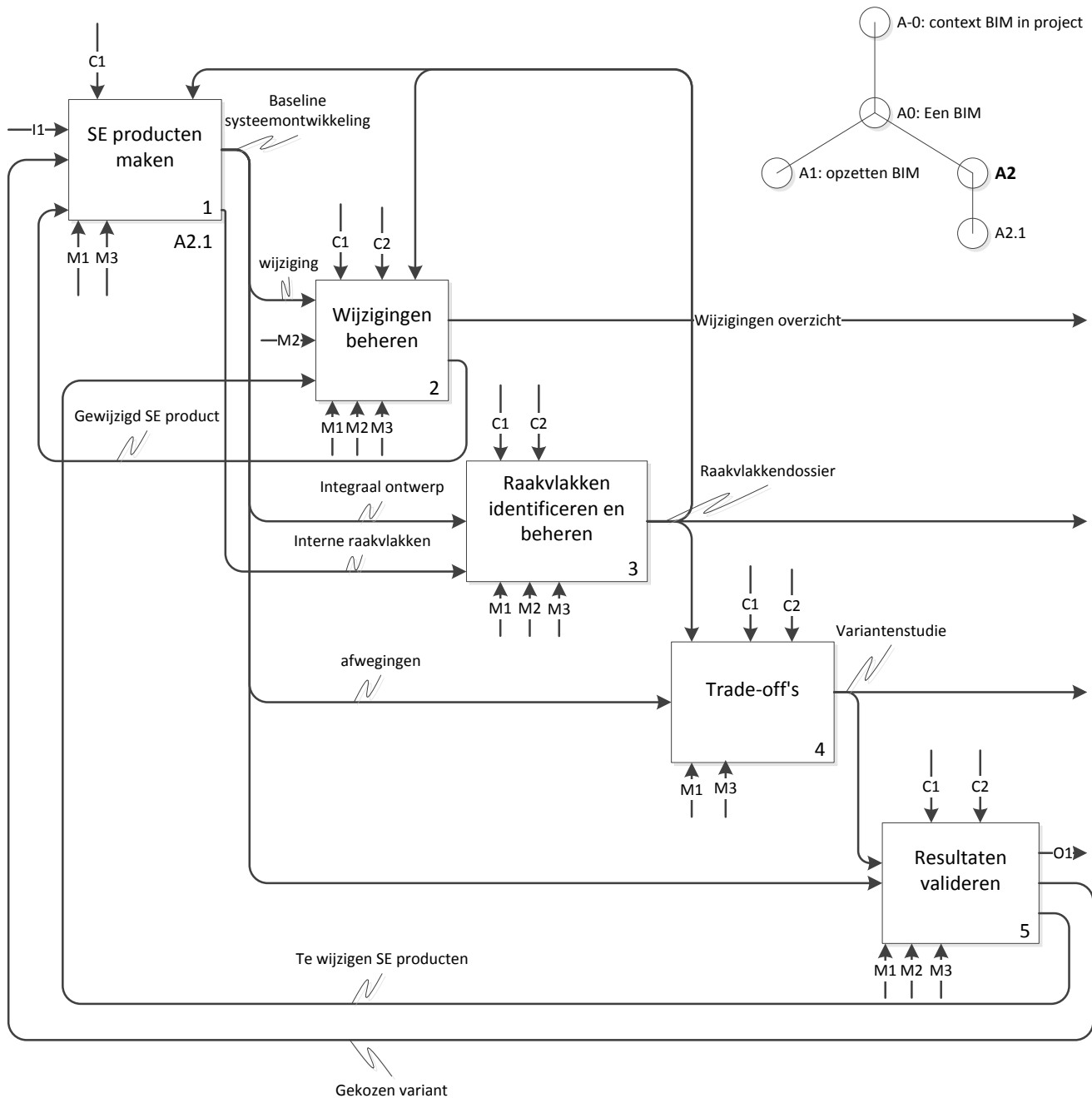
A0: Een BIM

Om op de gewenste manier een BIM te gebruiken in een project moet dit projectspecifieke BIM eerst opgezet worden. Dit BIM kan vervolgens gebruikt worden in het SE proces waarin de verschillende SE producten opgesteld worden.



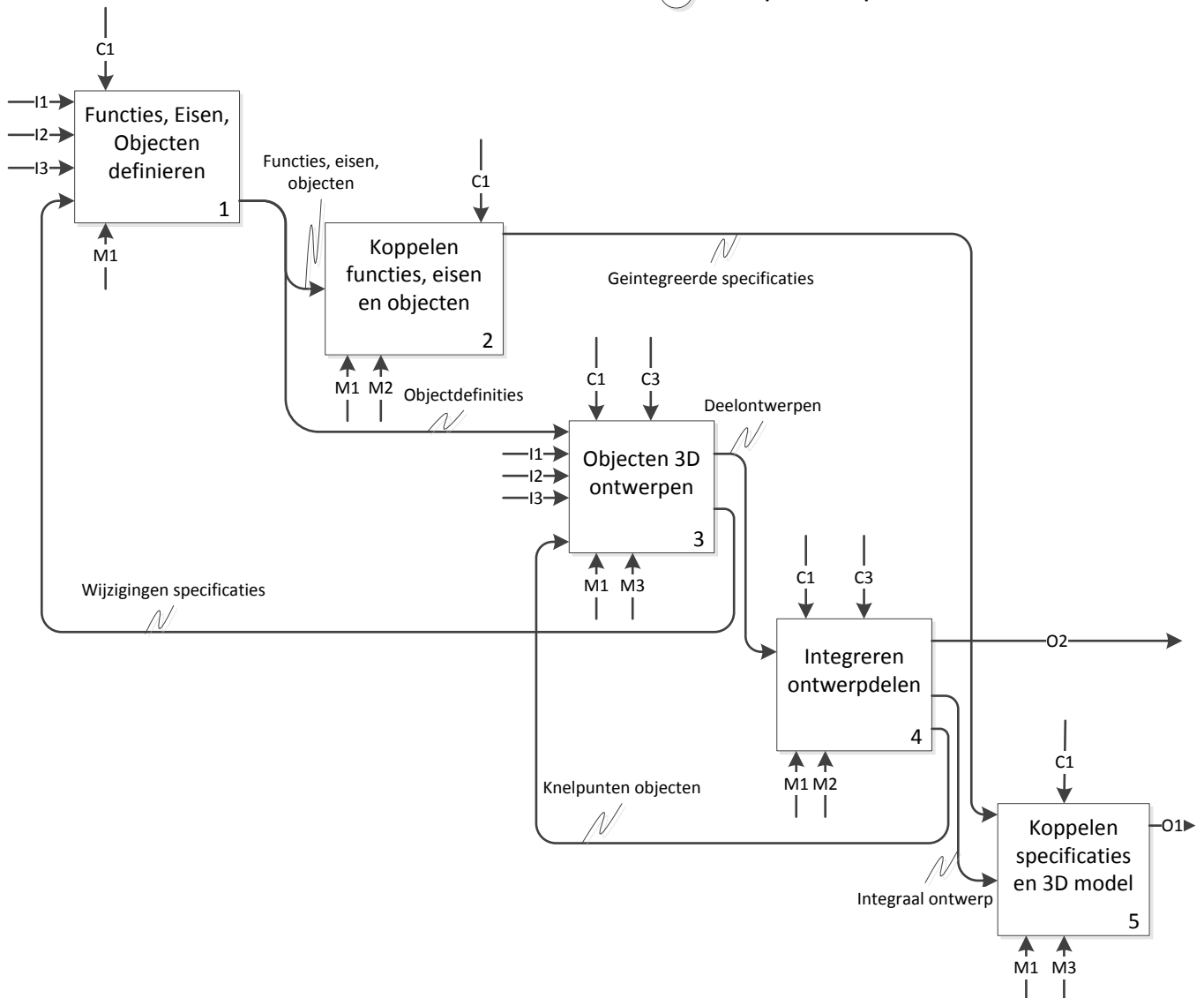
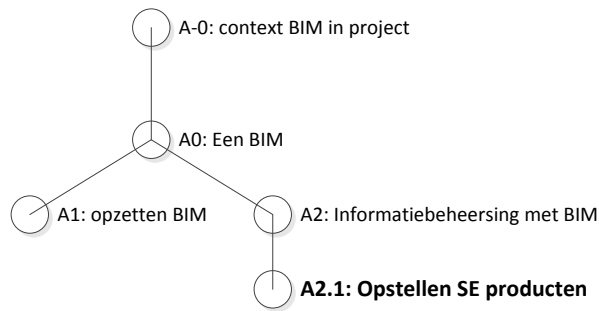
A1: opzetten BIM

Voor het opzetten van het BIM moet bepaald worden waar de meerwaarde van het gebruik van BIM ligt en welke producten daarom met het BIM gerealiseerd moeten worden, hiervoor is het doel een controle mechanisme. Vervolgens wordt bepaald uit welke informatie de geselecteerde value producten bestaan, dit is de informatie die in het BIM ondergebracht moet worden. Deze informatie wordt uit data gecreëerd met behulp van bepaalde software pakketten die daarvoor in de volgende stap geselecteerd worden. In de daarop volgende stap wordt de benodigde software geïntegreerd zodat een werkplaats ontstaat voor het creëren en integreren van de benodigde informatie. De BIM kennis is een control voor het selecteren van de software die gebruikt wordt en het ontwerpen van de werkplaats. Het onderbrengen van informatie en het doorvoeren van wijzigingen moet verlopen volgens de CM strategie, hier moet het BIM op afgestemd worden. Wijzigingsberichten moeten op basis van die CM strategie zoveel mogelijk automatisch beschikbaar gesteld worden aan de relevante personen. De output van dit proces is het projectspecifieke BIM.



A2: SE informatiebeheersing met BIM

De informatie in vijf processen moet beheerst worden met het BIM. Ten eerste moet bij het opstellen van de SE producten informatie geïntegreerd worden. De input wordt gebruikt om het systeem te ontwikkelen, daarvan worden integrale baselines opgesteld. De informatie in deze baselines is onderhevig aan wijzigingen die voortkomen uit voortschrijdend inzicht (van projectteam of stakeholders), uit het ontwikkelen van het systeem of door de stakeholders worden aangedragen. Deze wijzigingen moeten verwerkt worden in de SE producten en moeten overzichtelijk bijgehouden worden. Het bewaken van de raakvlakken is belangrijk bij het opstellen van de SE producten, bij het doorvoeren van wijzigingen en bij het maken van trade-off's. Deze raakvlakken worden geïdentificeerd aan de hand van het integrale ontwerp of worden al onderkend bij het opstellen van de SE producten. De raakvlakken moeten bijgehouden worden in het raakvlakkendossier. Bij het opstellen van de SE producten doen zich bepaalde afwegingen voor waarbij een onderbouwde keuze gemaakt en vastgelegd moet worden. Hiertoe worden varianten bestudeerd, de keuze moet onderbouwd worden met de studieresultaten en goedgekeurd worden door de stakeholders. Naast het kiezen van deze varianten moeten alle SE producten in baselines goedgekeurd worden door de stakeholders. Het resultaat daarvan bestaat uit de definitieve SE producten, wijzigingen of een te verwerken keuze voor een bepaalde variant.



A2.1: SE producten maken

Het maken van de SE producten bestaat uit de stappen volgens de SE werkmethoediek. De functies, eisen en objecten waarmee het doel van de stakeholders wordt bereikt worden gedefinieerd en uitgewerkt in een ontwerp. In het BIM wordt deze informatie geïntegreerd. In de database wordt de relatie tussen functies, eisen en objecten expliciet gemaakt met een koppeling. Eventueel kan dit uitgebreid worden met andere projectinformatie zoals werkpakketten en risico's. De ontworpen objecten en de verschillende deel-ontwerpen zoals het weg-ontwerp, het ontwerp van een kunstwerk en het GIS ontwerp worden met de specifieke pakketten ontworpen. Op basis van deze ontwerpen kunnen waar nodig specificaties aangepast worden. Deze delen worden vervolgens samengevoegd tot een integraal ontwerp, hierbij kunnen interne raakvlakken naar voren komen en eventueel moeten bepaalde ontwerpdelen aangepast worden. Dit integrale ontwerp wordt gekoppeld aan de database waarin de verschillende specificaties in samenhang gedefinieerd zijn. Zo ontstaat een complete, integrale beschrijving en weergave van het systeem.

BIJLAGE 2: INTERVIEWPROTOCOL

Algemene informatie

Datum:

Locatie:

Begintijd:

Eindtijd:

Informatie respondent

Naam:

Functie:

Akkoord spraakopname:

Akkoord met verwerking op persoonlijke titel:

Vragen

Elke vraag zal bestaan uit 3 delen:

- Hoe verloopt het betreffende proces in het project DRW?
- Wat is de bijdrage van het BIM aan dit proces in het project?
- Wat zou BIM bij kunnen dragen aan dit proces?

1. Heeft het BIM impact (in welke vorm dan ook) op de werkwijze in het project? (ja/nee)
Niet specifiek anders maar mee controle op hoe er gewerkt wordt, denk dat het proces beter zou kunnen lopen. Maar dat is niet per se het geval.

Doorgaan naar vraag 4 als het antwoord op vraag 1 'ja' is. Bij 'nee' alleen vraag 2, 3 en 11 beantwoorden.

2. Waarom niet?

3. Hoe zou dit wel bereikt kunnen worden?

4. Traceerbaarheid

Met een goede traceerbaarheid wordt de transparantie en navolgbaarheid voor de opdrachtgever bereikt en is het verband tussen systeemfuncties, eisen, objecten en het ontwerp duidelijk. Het voorwaarts traceren begint bij de input van het SE proces. De doelen worden vertaald in functies die het systeem moet vervullen, bijbehorende eisen en vervolgens het systeemontwerp met afweging van varianten en verschillende tests. Dit voorwaarts traceren laat zien hoe de projectdoelen gerealiseerd worden met de functionele structuur. Het achterwaarts traceren legt relaties naar de oorsprong. Het laat zien waarom een bepaald deel van het systeem gebouwd wordt en bijdraagt aan het behalen van de projectdoelen.

- a. Hoe wordt de traceerbaarheid in het project Drachtsterweg bereikt?
- b. Wat is de bijdrage van het BIM aan de traceerbaarheid in dit project?
- c. Hoe zou in de toekomst deze traceerbaarheid verbeterd moeten worden met BIM?

5. Configuratiemanagement (CM)

Configuratiemanagement is belangrijk voor het vaststellen en behouden van controle over eisen, documentatie en de ontwerpen die geproduceerd worden tijdens de levenscyclus van het systeem. Het managen van de configuraties houdt in dat elke goedgekeurde wijziging wordt vastgelegd in een nieuw basisniveau. Met CM wordt de impact van wijzigingen op het systeem beheerst en wordt het proces minder rommelig. Een belangrijk doel van CM is om de wijzigingen op een handzame manier bij te houden en aan de betrokken partijen ter beschikking te stellen. Met CM wordt voorkomen dat eisen achterlopen bij het ontwerp door de kennis die met het ontwerpen wordt opgedaan consequent te verwerken in de eisen.

- a. Hoe wordt het configuratiemanagement in het project Drachtsterweg uitgevoerd?
- b. Wat is de bijdrage van het BIM aan het configuratiemanagement in dit project?
- c. Hoe zou in de toekomst het configuratiemanagement verbeterd moeten worden met BIM?

6. Ontwerploop

De haalbaarheid en verschillende varianten van het gespecificeerde moeten getoetst worden met een referentie ontwerp. De eisen, functies en overige specificaties vormen de input in de ontwerp loop. Dit ontwerp is input voor een nieuwe functie of eisen analyse, dus het aanpassen van de specificaties op basis van de opgedane kennis. Als de ontwerp loop niet goed uitgevoerd wordt gaan het afleiden van de eisen en het ontdekken van het ontwerp niet gelijk op.

- a. Wordt deze ontwerp loop goed uitgevoerd in het project Drachtsterweg?
- b. Wat is de bijdrage van het BIM bij het doorlopen van de ontwerp loop in dit project?
- c. Hoe zou in de toekomst deze ontwerp loop doorlopen moeten worden met BIM?

7. Verificatie

Elke gestelde eis op elk niveau van ontwikkeling moet geverifieerd worden. De prestaties die de objecten leveren moeten voldoen aan de eisen. De eisen moeten controleerbaar vastgelegd worden met een verificatiemethode. Het ontwerp mag niet gaan afwijken van de eisen.

- a. Wordt de verificatie controleerbaar uitgevoerd en bijgehouden in het project Drachtsterweg?
- b. Wat is de bijdrage van het BIM bij de verificatie?
- c. Hoe zou de verificatie ondersteund moeten worden met BIM?

8. Validatie

De SE producten moeten gevalideerd worden door opdrachtgever en andere stakeholders. Met de validatie wordt getoetst of het ontworpen systeem overeenkomt met de wensen van de stakeholders. Daartoe worden de eisen en vooral het ontwerp voorgelegd aan de stakeholders. De feedback daarop vormt de input voor een nieuwe specificatie- en ontwerpronde. Vaak hebben opdrachtgever en opdrachtnemer niet hetzelfde beeld van de oplossing, dit wordt met de validatie overkomen. Bij de opdrachtgever is veel kennis vaak impliciet, deze wordt expliciet door informatie(zoals het ontwerp) duidelijk te communiceren.

- a. Wordt de validatie zo uitgevoerd en bijgehouden in het project Drachtsterweg?
- b. Wat is de bijdrage van het BIM bij de validatie?
- c. Hoe zou de validatie ondersteund moeten worden met BIM?

9. Raakvlakbeheer

De interne raakvlakken zijn de raakvlakken binnen de systeemgrenzen tussen de verschillende subsystemen, componenten en onderdelen die een bepaalde interactie hebben en samen het systeem vormen. Ook kan het gaan om raakvlakken tussen eisen.

De externe raakvlakken zijn de raakvlakken van het systeem met de omgeving en objecten in deze omgeving. Het gaat hierbij niet alleen om fysieke raakvlakken maar ook om functionele raakvlakken.

- a. Hoe worden de interne en externe raakvlakken beheerd in het project Drachtsterweg?
- b. Wat is de bijdrage van het BIM bij de het beheer van deze raakvlakken?
- c. Hoe zou het raakvlakbeheer ondersteund moeten worden met BIM?

Indien de geïnterviewde van te voren geen doelen heeft geformuleerd kan vraag 10 worden overgeslagen en kan vraag 11 beantwoord worden.

10. U heeft in de voorafgaande korte enquête aangegeven wat het doel en belang van het BIM is, welke problemen er mee opgelost zullen worden en welke voordelen te verwachten zijn. In hoeverre wordt er voldaan aan deze verwachtingen?

11. Aanbevelingen voor de richtlijn naast bovengenoemde aspecten.

- a. Wat moet er anders aan het BIM zoals gebruikt in het project?
- b. Noem tenminste 3 functies die het BIM moet hebben om jouw functie te ondersteunen en het resultaat te verbeteren:
 -
 -

13. Heeft het werken met een BIM volgens U meerwaarde in de contractvoorbereidingsfase waarin de specificaties en het referentieontwerp worden opgesteld?