



Van Theorie naar Praktijk: Een Analyse van
de Implementatie van Systems Engineering
Binnen de Afdeling Energie & Water van de
Koninklijke BAM Groep nv



**UNIVERSITY
OF TWENTE.**

STAN BAKKER

| S1849433 | 2019 |

**ONDERZOEKSRAPPORT TER AFSLUITING VAN DE BACHELORFASE
CIVIELE TECHNIEK**

Colofon

Titel	<i>Van Theorie naar Praktijk: Een Analyse van de Implementatie van Systems Engineering Binnen de Afdeling Energie & Water van de Koninklijke BAM Groep nv</i>
Versie	Definitief
Omvang Rapport	64 pagina's
Plaats	Enschede
Datum	29 juni 2019
Auteur	(S.) Stan Bakker Student Civiele Techniek aan de Universiteit Twente
Studentnummer	s1849433
Email-adres	s.bakker@student.utwente.nl
Begeleiders	Dhr. Dr. Ir. R.S. de Graaf Universiteit Twente Vakgroep Bouw/Infra Dhr. H. Mennink Koninklijke BAM Groep nv BAM Infra Energie & Water bv

Koninklijke BAM Groep nv
BAM Infra Energie & Water
Den Hulst 102
7711 GS
Nieuwleusen
Nederland
<https://www.baminfra.nl/energie-water>



Universiteit Twente
Faculty of Engineering Technology (ET)
De Horst, gebouw 20
Postbus 217
7500 AE
Enschede
Nederland
<https://www.utwente.nl/en/et/>

UNIVERSITY
OF TWENTE.

Voorwoord

Geachte lezer,

Voor u ligt het eindrapport ter afsluiting van de bachelorfase van de opleiding civiele techniek aan de Universiteit Twente. Dit onderzoek heb ik mogen uitvoeren binnen de afdeling Energie & Water binnen de Koninklijke BAM Groep nv in Nieuwleusen. Graag wil ik mijn extern begeleider Henk Mennink, het afdelingshoofd Brigitta Lindeboom-Kroes en alle andere medewerkers van de afdeling hartelijk danken voor deze kans. Naast mijn eindopdracht heb ik bij veel andere zaken mogen meekijken en ben actief betrokken bij de organisatie. Hier heb ik veel nieuwe ervaringen opgedaan en veel geleerd.

Hartelijk dank aan Robin de Graaf voor het vervullen van de taak van intern begeleider. Vanuit zijn ervaring als onderzoeker en docent heeft hij mij geholpen mijn onderzoek te verdiepen en te verbeteren. En is dit rapport tot stand gekomen zoals het nu voor u ligt.

Al met al is het uitvoeren van dit afsluitende onderzoek een leerzame periode geweest waar ik met veel plezier op terug kijk.

Stan Bakker

Enschede, 29 juni 2019

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Stan Bakker', followed by a period. The signature is stylized with a large 'S' and a horizontal line underneath.

Samenvatting

Systems Engineering (SE) wordt in de bouwsector gezien als mogelijke oplossing voor een veranderende markt op het gebied van risico's, complexiteit en een veranderende vraag vanuit opdrachtgevers. De Koninklijke BAM Groep wil door middel van dit onderzoek inzicht krijgen in hoe het concept SE ervoor staat binnen de organisatie van E&W. Daarom is de implementatie van SE binnen de afdeling Energie & Water van de Koninklijke BAM Groep nv onderzocht. De doelstelling van dit onderzoek is om het verschil tussen de theorie en de praktijk aangaande SE binnen de afdeling te onderzoeken en advies te geven aan de afdeling E&W voor een toekomstige transitie naar SE. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld:

“Welk advies kan worden gegeven omtrent de verhouding tussen de Systems Engineering processen die momenteel worden uitgevoerd in de praktijk bij de afdeling Energie & Water van de Koninklijke BAM Groep nv en de geïntegreerde Systems Engineering processen vanuit de theorie?”

Om antwoord te geven op deze onderzoeksvraag is zowel kwalitatief als kwantitatief onderzoek gedaan. Hiervoor is een benchmark van een casus binnen de afdeling E&W uitgevoerd. Om ook de context van deze casus in kaart te brengen zijn aanvullende interviews met medewerkers binnen de afdeling E&W gehouden die betrokken zijn met, of beïnvloed worden door een transitie naar SE. Daarnaast heeft deskresearch plaatsgevonden en zijn veldobservaties uitgevoerd.

Vooraf was de verwachting dat binnen de afdeling van E&W, mogelijk al onderdelen van de SE methode toegepast. De gemiddelde score op SE lijkt laag (27,8%), maar een aantal onderdelen scoren al boven dit gemiddelde, namelijk: De Project Sart, de Eisenanalyse en de Eisenloop. Een mogelijke verklaring is dat deze stappen concreter zijn. Daarnaast ontbreekt het bij medewerkers nog aan kennis aangaande het uitvoeren van SE-processen.

Uit de resultaten bleek dat de praktische casus slechts voor 27,8 % overeenkwam met de theoretische SE-processen. De uitkomst van de aanvullende interviews binnen de afdeling liet zien dat men een positief beeld heeft ten opzichte van de methode SE maar dat het ontbreken van een extrinsieke motivatie vanuit de opdrachtgevers door de verstandhouding met de opdrachtnemer, het ontbreken van kennis aangaande het uitvoeren van SE-processen en het ontbreken van daadkrachtig handelen binnen het keuzeproces binnen de afdeling E&W de voornaamste redenen zijn dat SE nog niet voorkomt binnen de afdeling E&W en dat deze factoren een transitie vermoeilijken.

Dit onderzoek is gebaseerd op één casestudy, welke volgens de opdrachtgever toonaangevend is voor de werkwijze binnen de afdeling E&W binnen BAM. Om deze reden kan geen algemene uitspraak worden gedaan over de werkwijze voor ander typeprojecten binnen de BAM, of hetzelfde type projecten binnen de bouwsector. Het advies voor vervolgonderzoek is om soortgelijk onderzoek uit te voeren bij verschillende afdelingen en verschillende bedrijven, om zodoende een algemene uitspraak te kunnen doen over het werken volgens SE in de bouwsector. Daarnaast wordt aanbevolen om een SE-doelstelling op te stellen, SE onderdeel te maken van de standaardwerkwijze, scholing op het gebied van SE verplicht te stellen en een procesontwerp te maken van SE binnen de afdeling. Tot slot dient een pilotproject te worden aangewezen.

Inhoudsopgave

Colofon.....	1
Voorwoord.....	2
Samenvatting.....	3
Leeswijzer.....	6
1. Inleiding.....	7
1.1. Probleemdefinitie	8
1.2. Relevantie en toepassing	8
1.3. Doelstelling	8
1.4. Vraagstelling.....	9
1.4.1. Hoofdvraag.....	9
1.4.2. Deelvragen.....	9
2. Theoretisch kader	10
2.1. Systems Engineering	10
2.1.1. Historische context van het Systems Engineering proces	10
2.1.2. Het theoretische Systems Engineering proces	11
2.1.3. Theoretische voordelen van de methode Systems Engineering.....	14
2.2. Scoringsproces Systems Engineering.....	18
2.2.1. Benchmark.....	18
3. Onderzoeksmethoden	18
3.1. Dataverzameling.....	18
3.2. Meetinstrumenten	19
3.3. Data-analyse	21
4. Casestudieresultaten	23
4.1 Resultaten deelvraag 1.....	23
4.2 Resultaten deelvraag 2.....	26
4.3 Resultaten deelvraag 3.....	26
4.4 Resultaten deelvraag 4.....	27
5. Analyse	28
5.1 Analyse deelvraag 1 en 3.....	28
5.2 Analyse deelvraag 2	33
5.3 Analyse deelvraag 4	33
6. Conclusies en Aanbevelingen.....	35
7. Discussie en Vervolgonderzoek	37
Bibliografie.....	38
Lijst met algemene afkortingen	40
Appendices	42
I. Koninklijke BAM Groep nv	42

II.	Overzicht Benchmarkelementen	45
III.	Vragenprotocol voor de aanvullende interviews	49
IV.	Veldobservatie	50
V.	Overzicht PMI.....	51
VI.	Project Vijfhuizen.....	52
VII.	Uitwerking aanvullende interviews	54
VIII.	Aanbevelingen.....	62

Leeswijzer

Dit onderzoeksrapport bestaat uit 7 hoofdstukken en 8 Appendices. Na de aanleiding en introductie van dit onderzoek (hoofdstuk 1), volgt het theoretisch kader (hoofdstuk 2). Vervolgens zijn de onderzoeksmethoden beschreven (hoofdstuk 3). De resultaten (hoofdstuk 4) en analyse (hoofdstuk 5) zijn beschreven om vervolgens de conclusie en aanbevelingen te kunnen geven (hoofdstuk 6). Tot slot zijn de discussie en aanbevelingen voor vervolgonderzoek beschreven (hoofdstuk 7).

1. Inleiding

De bouwwereld is complex en is in de loop der jaren steeds complexer geworden (Bertelsen, 2003). Projecten worden daarnaast meer geïntegreerd (Infrastructure Working Group, 2012). Zo zijn vragen van opdrachtgevers aan verandering onderhevig. De interpretatie van de oplossing behoort nu toe aan de opdrachtnemer. In tegenstelling tot vroeger waar de projectspecificaties werden aangeleverd door de opdrachtgever zelf. Steeds meer verantwoordelijkheden van overheden worden bij de markt neergelegd (ONRI, 2005) en er is er een toenemende hinder van financiële-en milieu gerelateerde factoren in de Grond-, Weg-, en Waterbouw sector (GWW-Sector). Mede om deze redenen zijn er nieuwe methodes nodig om efficiënt te werk te gaan (Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector, 2013). Systems Engineering (SE), erkend in diverse industrieën, is een goede oplossing voor dit groeiende probleem. Niet elke branche in de GWW-sector lijkt in staat deze voordelen te benutten. Branches ondervinden moeite met de implementatie van SE door een gebrek aan kennis onder werknemers, een gebrek aan initiatief vanuit de opdrachtgever waarvoor de organisatie werkt en het gebrek aan gestandaardiseerde procedures en verantwoordelijkheden (De Graaf, Voordijk, & Van den Heuvel, 2015). Deze studie onderzoekt SE en de implementatie van SE bij de Koninklijke BAM Groep nv op de afdeling Energie & Water (E&W) te Nieuwleusen. Dit is een branche binnen de GWW-sector die momenteel nog niet werkt met de SE methode. Deze afdeling door middel van dit onderzoek, mede met behulp van een benchmark, inzicht krijgen in wat gedaan moet worden om een goede transitie naar SE te bewerkstelligen.

1.1. Probleemdefinitie

Ondanks het feit dat de grondslagen van SE bijna een eeuw oud zijn en het concept SE sinds eind jaren negentig in Nederland aanwezig is, is nog niet elke branche binnen de GWW-sector bekend met methode of heeft ermee gewerkt. De belangrijkste partijen die werken met SE in de GWW-sector zijn ProRail en Rijkswaterstaat (Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector, 2007). Dit zijn tot nu toe de enige twee overheidsorganisaties die de methode SE verplicht hebben gesteld binnen hun infraprojecten. Hiernaast werken voornamelijk partijen gerelateerd aan ProRail of Rijkswaterstaat met SE. De meeste projecten die SE toepassen zijn dus gerelateerd aan infrastructuurprojecten omtrent weg en/of rail.

Gezien het feit dat SE een interdisciplinaire methode is met ogenschijnlijke voordelen na zijn implementatie, wordt SE door andere branches binnen de GWW-sector nauwlettend gekeken naar de ontwikkelingen omtrent deze methode. De GWW-sector en de bouwwereld in zijn geheel zijn tamelijk behoudend en traditioneel (Holmen, Pedersen, & Torvatn, 2005) en minder innovatief ten opzichte van methodes zoals SE in het algemeen. In een wereld die steeds complexer wordt door meerdere veranderende factoren (bijvoorbeeld digitalisering, klimaatverandering en urbanisatie) moeten bedrijven een transitie maken van de huidige naar de nieuwe manier van werken (Bertelsen, 2003). Deze nieuwe manier van werken dient het overzicht te bewaren binnen complexe problemen. Ten tijde van dit onderzoek is de methode SE niet verplicht behalve bij ProRail, Rijkswaterstaat en de partijen die in coöperatieve projecten met deze opdrachtgevers samenwerken (Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector, 2007). Een mogelijke trend is dat opdrachtgevers in andere branches SE ook verplicht stellen in het tenderproces, of misschien zelfs in wetgeving. Dit onderzoek is uitgevoerd bij de afdeling BAM Infra Energie & Water binnen de Koninklijke BAM Groep nv vanuit de Universiteit Twente. Dit is een van de partijen die een actieve rol wil spelen bij ontwikkelingen als de methode SE. Een omschrijving van de Koninklijke BAM Groep nv als organisatie is opgenomen in Appendix I.

1.2. Relevantie en toepassing

Dit onderzoek is relevant voor zowel theorie als praktijk. De praktische relevantie en toepassing doen zich vooral voor de afdeling E&W voor binnen de Koninklijke BAM Groep nv. De onderzoeksresultaten kunnen worden gebruikt om meer zicht te krijgen op wat de huidige stand van zaken in de organisatie is ten aanzien van de methode SE. Dit kan een toekomstige transitie naar SE binnen de organisatie soepeler laten verlopen. Theoretisch gezien is het relevant om kennis op te doen over de implementatie van SE. Momenteel is reeds een aantal onderzoeken uitgevoerd naar de implementatie van SE.

1.3. Doelstelling

De Koninklijke BAM Groep wil door middel van dit onderzoek inzicht krijgen in hoe het concept SE ervoor staat binnen de organisatie van E&W. Er worden mogelijk al onderdelen van de SE methode toegepast. Deze worden echter nog niet als zodanig aangemerkt. Omdat dit onderzoek zich richt op de afdeling E&W van BAM, is er een onderzoeksdoel vanuit dit perspectief geformuleerd. De doelstelling voor de dit onderzoek binnen de afdeling E&W binnen BAM luidt:

“Breng de huidige manier van werken in kaart ten opzichte van de Systems Engineering processen volgens de literatuur en beschrijf de hiaten tussen theorie en praktijk én classificeer (zwakkere) punten waaraan tijdens een transitie naar System Engineering aandacht moet worden besteed.”

Door gebruik te maken van beschikbare literatuur omtrent dit onderwerp en het beoordelen van de huidige manier van werken ten opzichte van het theoretische SE-ideaalbeeld, door een benchmark en aanvullende onderzoeksmethoden, kan het gewenste inzicht worden gegeven aan BAM. Binnen de afdeling E&W wil men op termijn graag SE gaan toepassen. De aanleiding hiervoor is een complexer wordende markt waarin de afdeling E&W opereert en om door de innovatiestrategie concurrenten voor te blijven op nieuwe ontwikkelingen als SE. Door de huidige manier van werken af te zetten tegen de theorie kan een strategie worden bepaald om een transitie naar SE in de toekomst zorgvuldig te laten verlopen. Zo kan aan punten die in de analyse minder beoordeeld worden meer aandacht worden besteed dan aan processen die al beter verlopen.

1.4. Vraagstelling

De hoofdvraag valt uiteen in een aantal deelvragen die gezamenlijk de hoofdvraag hebben beantwoord.

1.4.1. Hoofdvraag

De afdeling E&W van BAM werkt momenteel met elementen uit het SE proces, maar nog niet het de geheel geïntegreerde methode. Zoals de doelstelling omschrijft wordt de huidige manier van werken langs de theoretische methode SE gelegd en geanalyseerd. Met behulp van deze evaluatie kan de huidige manier van werken kwalitatief en kwantitatief in kaart worden gebracht. Dit helpt BAM om inzicht te krijgen op welke punten verbeteringen moeten worden doorgevoerd om de volledige methode SE te integreren. De hoofdvraag van dit onderzoek gaat in op de kern van het probleem en luidt als volgt:

“Welk advies kan worden gegeven omtrent de verhouding tussen de Systems Engineering processen die momenteel worden uitgevoerd in de praktijk bij de afdeling Energie & Water van de Koninklijke BAM Groep nv en de geïntegreerde Systems Engineering processen vanuit de theorie?”

1.4.2. Deelvragen

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden, zijn de hieronder weergegeven deelvragen opgesteld:

1. Hoe scoren de Systems Engineering processen in de praktijk ten opzichte van de theoretische processen volgens de benchmark?
 - a. Hoe kan een kwantitatieve score als een benchmark worden toegepast op de huidige manier van werken in relatie tot Systems Engineering?
 - b. Welke elementen vanuit de theorie van Systems Engineering kunnen worden meegenomen in de kwantitatieve benchmarkscore?
2. Hoe werkt de afdeling Energie & Water van de Koninklijke BAM Groep nv in de praktijk?
 - a. Wat is de huidige manier van werken bij de afdeling Energie & Water bij BAM?
 - b. Hoe werkt de methode Systems Engineering binnen de Koninklijke BAM Groep nv?
 - c. In welke mate is Systems Engineering reeds toegepast door de afdeling E&W in de praktijk?
 - d. Wat is de kennis van zaken van medewerkers van de afdeling Energie & Water omtrent Systems Engineering?
3. Wat zijn de verschillen tussen de theorie en de praktijk?
 - a. Hoe kunnen deze verschillen worden uitgelegd?
 - b. Waarom is er een verschil tussen theorie en praktijk?
4. Wat zijn aanbevelingen voor de afdeling Energie & Water van de Koninklijke BAM Groep nv voor het toepassen van de methode Systems Engineering?
 - a. Wat zou BAM in een ideale situatie moeten verbeteren?
 - b. Wat zou BAM moeten doen om de Systems Engineering processen te verbeteren, gelet op de context en de beperkingen?

2. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk zijn de onderwerpen die van belang zijn voor dit onderzoek beschreven. Achtereenvolgens zijn de volgende onderwerpen beschreven: De historische context van SE (paragraaf 1), het theoretische SE-proces (paragraaf 2), de theoretische voordelen van SE (paragraaf 3) en de benchmark (paragraaf 4).

2.1. Systems Engineering

Allereerst is ingegaan op de historische achtergrond van SE, hoe de methode in de theorie is vormgegeven en wat uit andere onderzoeken is gebleken wat de methode SE voor voordelen voortbrengt.

2.1.1. Historische context van het Systems Engineering proces

Systems Engineering lijkt jong. De beginselen van SE dateren echter van het begin van de 20^e eeuw. De belangrijkste methodes van SE, zoals die vandaag de dag gebruikt worden, vinden zijn oorsprong in de begin jaren 40, aan de vooravond van de tweede wereldoorlog. Deze methodes zijn grotendeels voortgekomen uit de Bell Telephone Laboratories (Bell Labs) in de Verenigde Staten (VS). Dit was een groep onderzoekers die onafhankelijk voor het concern American Telegraph & Telephone (AT&T) werkte en door onderzoek de basis principes van SE voortbrachten. Wegens de omvang, de organisatie structuur en de complexiteit van onderzoek- en ontwikkelprojecten bij AT&T werden Bell Labs en andere onderzoek partners gedwongen om bepaalde procesomschrijvingen en soorten papierwerk te gebruiken om overzichtelijk te kunnen blijven samenwerken. Deze gestructureerde en duidelijk gespecificeerde manier van werken, een gewoonte van de onderzoekers bij Bell Labs, verspreidde zich onder andere bedrijven en de Amerikaanse overheid in coöperatieve projecten. Verdere uitbreiding van de beginselen van SE gebeurde door oud medewerkers van Bell Labs die werkzaam waren in de adviesraad van de Amerikaanse luchtmacht en als minister van defensie (Johnson, 2006).

De overstap van SE van de Bell Labs naar de overheid was gemaakt. De stap naar wetenschap ontbrak nog. Zo kon het concept van het ontwerpen en managen van complexe systemen theoretisch worden onderbouwd. Het Massachusetts Institute of Technology (MIT) was de eerste organisatie buiten overheid en bedrijfsleven die in aanraking kwam met de beginselen van SE. Een gezamenlijk project in een militair controle systeem in de Tweede Wereldoorlog bracht Ivan Getting, een werknemer van het Radiatie laboratorium van de MIT, in contact met Bell Labs. Componenten van beide partijen bleken elkaar in het gemeenschappelijke project slecht te beïnvloeden, ondanks het feit dat ze op zichzelf wel goed werkten. Getting en zijn collega's moesten hierdoor het project benaderen als een "systeem" dat niet werkte, in plaats van de separate onderdelen. Deze aanpak maakte van Getting de eerste "system integrator". Hij zette zijn manier van werken door in verschillende projecten na de Tweede Wereldoorlog en startte met het geven van colleges van zijn werkmethode op de MIT. De methode SE is voor het eerst volledig opgenomen door het Amerikaanse leger door middel van het Ridenour Report (Johnson, 2006).

De toenemende technologische ontwikkeling toonde zowel in praktijk als theorie de voordelen van SE aan. Vooral in organisaties die te maken hebben met marktwerking en de wapenwedloop tijdens de Koude Oorlog werden de processen van SE erg populair om competitief te blijven (Johnson, 2006).

De eerste samenwerking van zowel publieke als private partijen op het gebied van SE werd in 1990 opgericht in de Verenigde Staten. Deze raad voor SE werd *National Council on Systems Engineering* (NCOSE) genoemd. De hoofdtak van NCOSE was het met elkaar in contact brengen van meerdere partijen die met SE werkten. Het zorgde zo onder andere voor het uitwisselen van kennis omtrent SE en het verder uitbreiden van de SE methode (INCOSE, 2019). Toenemende internationale samenwerking zette het begrip SE op de internationale agenda en deed de raad in 1995 zijn naam veranderen in *International Council on Systems Engineering* (INCOSE). De afdelingen van INCOSE bevinden zich in de gehele westerse wereld en spreiden zich nog steeds verder uit. De afdeling in Nederland is in 1996 opgericht (Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector, 2007).

Ondanks het feit dat SE op meerdere disciplines van toepassing is, is het in Nederland vooral van toepassing op de GWW-sector. Een belangrijke reden voor de implementatie van SE is de bouwfraude die plaatsvond in

de late jaren 90 en aan het begin van de 21^e eeuw (Tweede Kamer der Staten Generaal, 2019). Hierdoor veranderen de verwachtingen van opdrachtgever, met name de overheid (ONRI, 2005). SE helpt bij het managen van processen in de constructiewereld om beter en transparanter te werk te gaan. Daarnaast is er een verschuiving in de manier van werken. De vrijheid om tot een oplossing te komen voor een probleem vanuit de opdrachtgever wordt groter. Mede hierom komt er ook meer verantwoordelijkheid te liggen bij de aannemers waardoor er in de verhouding tussen de opdrachtgever en opdrachtnemer ook het een en ander verandert. Een nieuw manier van werken zoals SE lijkt een oplossing te zijn voor dit fenomeen. De eerste organisatie die SE op grote schaal begon toe te passen is ProRail. Dit was bij grote projecten zoals de Noordtak Betuweroute rond de start van het nieuwe millennium. Na ProRail was Rijkswaterstaat de tweede partij die SE implementeerde. Een voorbeeld van één van de eerste projecten waarbij SE werd gebruikt was de verbreding van de A4 bij Leiden in 2007. De voordelen van het gebruik van de methode SE zorgden ervoor dat zowel ProRail als Rijkswaterstaat de eerste organisaties werden die deze techniek in geïntegreerde infrastructuurprojecten verplicht hebben gesteld (Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector, 2007).

2.1.2. Het theoretische Systems Engineering proces

Er bestaan meerdere definities over wat SE is. De definitie die in dit onderzoek wordt gehanteerd is die zoals is opgesteld door INCOSE (2006):

“Systems Engineering is een interdisciplinaire aanpak om systemen succesvol te realiseren. Het legt de focus op het nastreven van zowel technische als opdrachtgever-specifieke bedrijfsdoelen met als doel om een kwaliteitsproduct te bieden dat aan de gebruikersbehoefte voldoet.”

Deze generieke definitie van het SE proces kan verder worden gespecificeerd met een set van kernelementen. Deze elementen omschrijven in het kort waar SE grotendeels uit is opgebouwd, overeenkomstig de eerste versie van de Leidraad SE binnen de GWW-sector (Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector, 2007), te weten: Het op een ...

- ...gestructureerde wijze specificeren van een behoefte
- ...gestructureerde wijze ontwerpen van een passende oplossing bij de behoefte
- ...correcte wijze realiseren van deze oplossing
- ...juiste wijze beheren van de gerealiseerde oplossing
- ...juiste wijze verifiëren en valideren
- ...beheerste wijze managen van het gehele systeem gedurende zijn levensduur

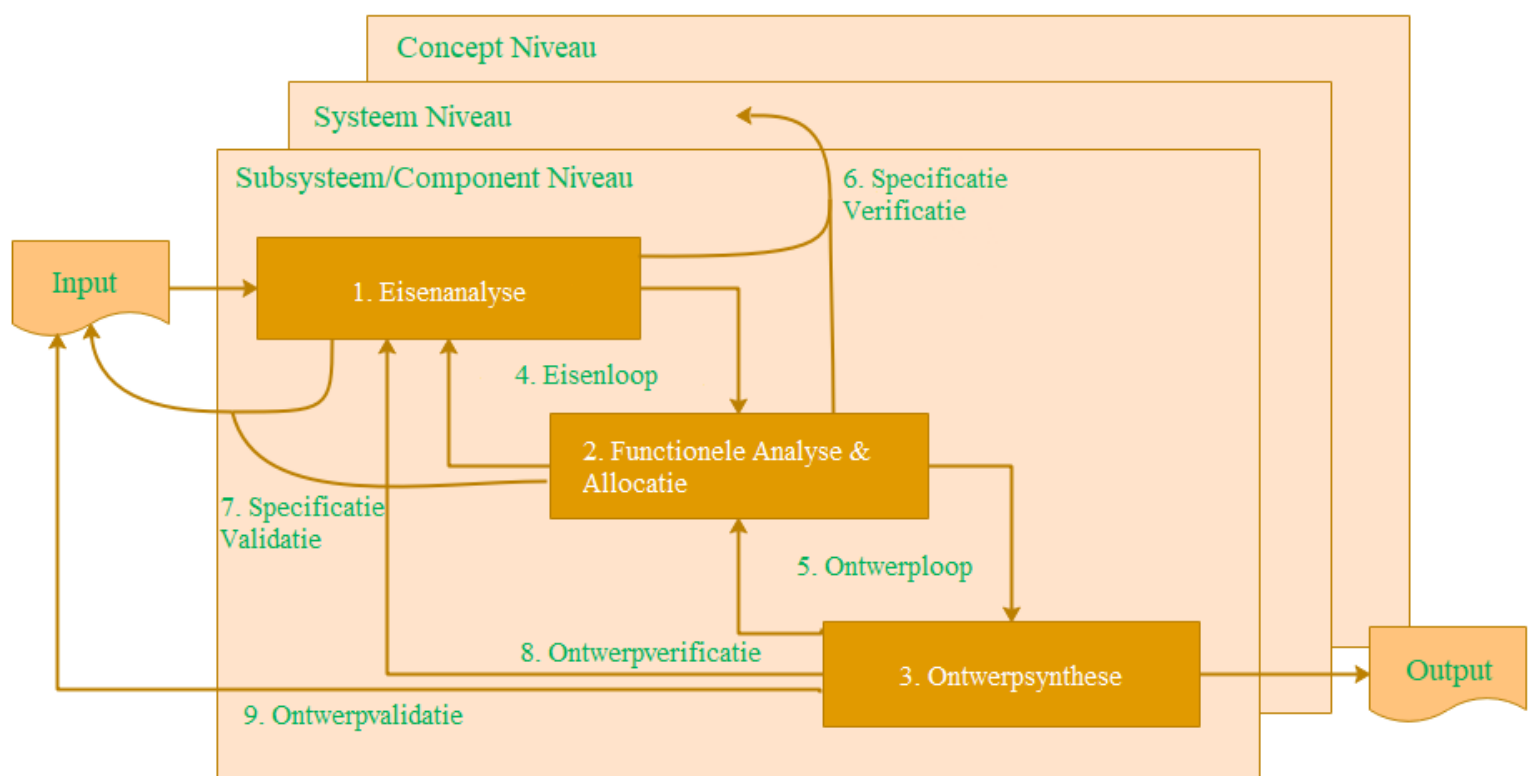
In SE ligt de focus op het systeem zoals blijkt uit de hierboven omschreven elementen en uit de term “Systems Engineering”. Het systeem, een afgebakend gebied waarin samenhangende componenten gezamenlijk bijdragen aan een doel (Sage, 2000), is belangrijk in toekomstige uitdagingen. Een systeem, in tegenstelling tot een individueel element, heeft een geïntegreerde benadering: Het benadert het project op een holistische manier. Het project dat is aangedragen door de opdrachtgever kan zo op een bredere manier worden geanalyseerd in een context van meerdere invloedfactoren. Een meer reductionistische manier van projectbenadering, zoals die in huidige manieren van werken meer naar voren komt, neemt niet het systeem als belangrijkste focus en is daarom sneller geneigd het overzicht te verliezen. Of zoals Aristoteles ooit stelde: “De wereld is meer dan de som van haar elementen.” (Haverford and Bryn Mawr college, 2015). Het systeemdenken stelt degene die het toepast beter in staat te werken in een complexe omgeving en toch overzicht te houden (Sage, 2000).

Zoals naar voren komt in de definitie van INCOSE (2006), is SE een meer lagen tellend, integraal verifiërend en validerend probleemoplossend proces. De stappen binnen het SE proces hebben een vaste volgorde en hebben allemaal de volgende 3 karakteristieken (US Department of Defense, 2001):

- Elk niveau van ontwikkeling voegt meer detail toe aan het systeem van producten en processen, omschrijvingen en getransformeerde eisen en behoeften
- Informatieverschaffing voor managers en besluitnemers
- De input vormen voor verdere niveaus van ontwikkeling

De belangrijkste stappen binnen het SE proces, aangaande de hierboven genoemde karakteristieken, zijn geschematiseerd in Figuur 1.

Er zijn negen basis elementen binnen het engineering proces van SE. Dit zijn drie kernelementen en zes feedbackelementen. Voor het eerste element, de Eisenanalyse, bevindt zich de input en na het negende element komt de output. Het engineeringproces is repetitief in elk level en wordt hierin gedetailleerder. Deze levels zijn met sheets weergegeven in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.1** met de namen Concept level, System level en Subsystem/ Component level. De elementen van het engineeringproces zoals hieronder weergegeven zullen worden toegelicht (Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector, 2007)/ (US Department of Defense, 2001)/ (De Graaf, Vromen, & Boes, 2017).



Figuur 1: Geschematiseerd overzicht van de basis SE-processen, gebaseerd op (US Department of Defense, 2001) en aangepast door (De Graaf, Voordijk, & Van den Heuvel, 2015)

Input

De input (PS) om het engineeringproces te starten is die zoals door de opdrachtgever is aangeleverd. Om het probleem op te lossen is een set doelstellingen, wensen en eisen door de opdrachtgever opgesteld die in het project moeten worden vervuld. De input kan ook volgen uit een actoranalyse die door een System Engineer is uitgevoerd waarin de eisen, wensen en doelstellingen van de geanalyseerde actor(en) naar voren zijn gekomen.

Kernelementen

1. Eisenanalyse

Nadat de input is ontvangen volgt de Eisenanalyse (EA). Het belangrijkste van deze stap is om de eisen en wensen van de opdrachtgevers te transformeren naar systeemeisen en functies binnen het systeem. Daarnaast zullen de systeemgrenzen en zo ook de scope van het project worden gedefinieerd binnen deze stap. De eisen zullen in overzichtelijke structuurbomen uiteen worden gezet. Deze bomen die dienen voor het houden van overzicht heten Requirements Breakdown Structure (RBS).

2. Functionele Analyse en Allocatie

Allereerst wordt binnen de Functionele Analyse en Allocatie (FAA) de functionaliteit van het systeem gedefinieerd. Hierna worden deze functies binnen het systeem opgeknipt in functies van diepere lagen. De functies worden steeds specifiek en worden in overzichtelijke functiebomen uiteengezet. Na de uitwerking van deze functiebomen worden er aan de uiterste functies van deze bomen abstracte objecten gekoppeld. Ook binnen de verbinding van deze objecten aan de functies wordt gelet op de structuur. Deze gestructureerde schema's Systems Breakdown Structure (SBS) dienen net als de RBS om het overzicht te bewaren. Deze bomen kunnen afhankelijk van het project in omvang variëren.

3. Ontwerpsynthese

In dit laatste kernelement, de ontwerpsynthese (OS), worden de abstracte objecten, zoals beschreven in de FAA, omgezet naar fysieke objecten die gezamenlijk het design opmaken. Meerdere ontwerp oplossingen kunnen worden gedefinieerd in deze stap om tot het design te komen dat de eisen van de opdrachtgevers het best vertegenwoordigd. De ontwerpkeuzes moeten in lijn liggen met de basisprincipes van SE en worden vastgelegd. Zo kunnen de redenen om bepaalde keuzes te maken worden getraceerd.

Feedback elementen

4. Eisenloop

De Eisenloop (EL), zoals weergegeven in Figuur 11, verbindt de Eisenanalyse met de FAA. Deze loop is vereist als feedbackproces. Er kunnen zich namelijk veranderingen voor doen in zowel de eisen als in de functies. De veranderingen moeten worden doorgevoerd in de vorige of volgende stap binnen het SE proces om ervoor te zorgen dat alles nog in lijn ligt met het doel: De opdrachtgever in haar eisen, wensen en doelstellingen voorzien op een zo effectieve en efficiënt mogelijke manier. De Eisenloop is een doorlopend proces dat niet is gebonden aan een bepaalde chronologische volgorde: Het kan op meerdere momenten tijdens het SE proces worden uitgevoerd.

5. Ontwerploop

De Ontwerploop (OL) is ook een feedbackproces en verbindt de Ontwerpsynthese met de FAA. Met behulp van deze loop kan men controleren of het design nog overeenkomt met de functies en de daaraan gerelateerde objecten. Aanpassingen in het design of de functies kunnen via deze feedback loop worden doorgegeven om ervoor te zorgen dat de functies met de objecten en het ontwerp overeen blijven komen.

6. Specificatie Verificatie

In deze stap, de specificatie verificatie (SpVe) wordt de relatie tussen hoger- en lager niveau eisen, functies en objecten gecheckt. Aanpassingen kunnen worden doorgevoerd om ervoor te zorgen dat het projectteam de juiste informatie op het juiste niveau gebruikt.

7. Specificatie Validatie

Na de verificatiestap wordt de validatiestap uitgevoerd: de specificatie validatie (SpVa). De relatie tussen de belangen, wensen en eisen van de opdrachtgever (en mogelijk andere actoren) en de eisen, functies en objecten wordt bekeken. De validatiestap dient ook als communicatiemiddel naar de opdrachtgever om deze geïnformeerd te houden naar de huidige stand van het project. Mede hiermee kan worden gevalideerd of er in de huidige stand van zaken binnen het project nog aanpassingen moeten worden doorgevoerd uit het oogpunt van de opdrachtgever.

8. Ontwerpverificatie

Het ontwerp moet ook worden gevalideerd en geverifieerd. De ontwerpverificatie (OVe) dient als bewijs dat aan alle gestelde eisen is voldaan. Het ontwerp wordt langs de eisen gelegd. Een hulpmiddel om het ontwerp met de eisen te verifiëren is het Verificatie Plan.

9. Ontwerpvalidatie

In de Ontwerpvalidatie (OVa) stap, net als met de SpVA-stap, wordt het ontwerp gecheckt met de opdrachtgever (en eventuele andere actoren). De wensen, doelstellingen en eisen van de actoren worden door middel van duidelijke communicatie gecheckt.

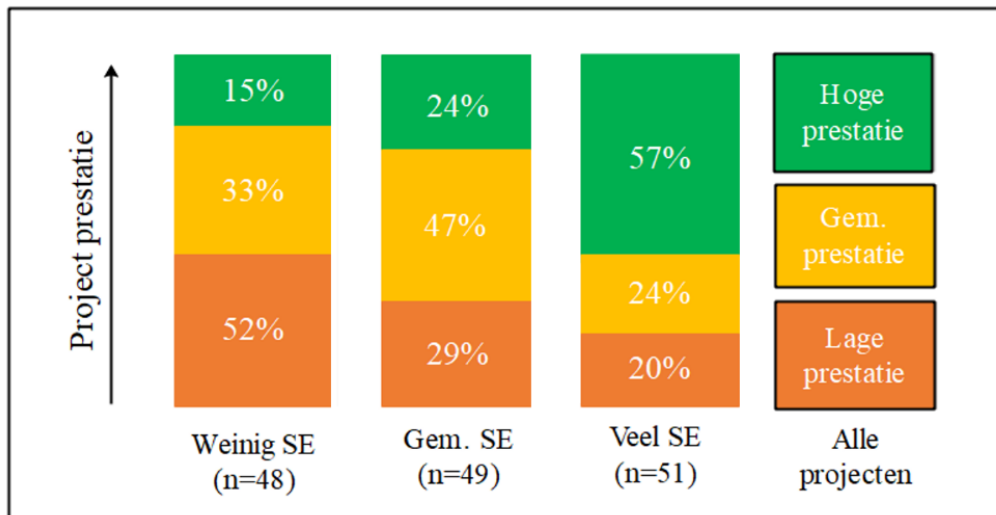
Output

De output (OP) verschilt per niveau en is dus afhankelijk van wat in de voorgaande stappen is uitgevoerd. De output van de eerste niveaus geeft aan welke beslissingen er zijn genomen en wat de voortgang is van het SE proces op dat specifieke niveau. Deze informatie wordt als input doorgegeven aan de volgende niveaus van SE met uitzondering van het laatste niveau. De uitput van het laatste niveau vormt het definitieve ontwerp dat klaar is om gerealiseerd te worden.

Elk van deze hierboven genoemde stappen heeft een verdere specificatie omtrent juiste uitvoerbaarheid binnen het SE proces. Deze beschrijving is meer gedetailleerd en wordt uiteengezet in het onderdeel bij de *benchmark en in Appendix II*. Zo kan optimaal worden bekeken hoe de uitgevoerde processen kunnen worden gescoord ten opzichte van de theoretische SE-processen. De benchmark geeft een kwantitatieve score aan de SE-processen in de praktijk die langs de theoretische processen zijn gelegd.

2.1.3. Theoretische voordelen van de methode Systems Engineering

Vanuit de bestaande literatuur wordt een aantal punten genoemd waarop SE voordelen heeft ten opzichte van het conventionele bouwproces. SE blijkt onder andere de efficiëntie op het gebied van tijd, geld en risico's te kunnen verhogen en de effectiviteit van projecten te doen toenemen (Elm & Goldenson, 2012). Figuur 22 geeft het verband aan tussen de toepassing van SE en de prestatie van de projecten waarbinnen SE is uitgevoerd. De prestatie van een project werd in dit onderzoek aangeduid als het voldoen aan het budget, de planning en technische eisen (Elm & Goldenson, 2012). Dit waren echter wel projecten van buiten de GWW-sector. De projecten die getest zijn gerelateerd aan de luchtvaart of defensie. Er zijn, ten tijde van het uitvoeren van dit onderzoek, nog geen gegevens omtrent de prestaties van projecten binnen de GWW-sector. In Figuur 22 zijn drie kolommen te zien.



Figuur 2: Balekengrafiek van de prestatie van projecten uitgezet tegen de mate van SE-toepassing volgens het rapport van (Elm & Goldenson, 2012)

De eerste kolom geeft de projecten aan waarin SE-processen maar in beperkte mate zijn toegepast. Uit de resultaten blijkt dat slechts in 15 % van de gevallen deze SE-processen daadwerkelijk een hogere prestatie genereerde, zoals in groen is weergegeven. Meer dan de helft van de projecten (52%) bleek zelfs minder te gaan presteren na invoering van de beperkte SE-processen, zoals weergegeven in geel. Bij 33% van de projecten was geen verschil te merken ten opzichte van conventionele manieren van werken, zoals weergegeven in oranje in Figuur 22 (Elm & Goldenson, 2012).

De middelste kolom geeft de projecten aan waarin gemiddelde mate SE-processen zijn toegepast. Hierin gaf bijna 50% van de resultaten aan dat er geen verbetering of verslechtering was ten opzichte van de huidige manier van werken. Ongeveer 33% gaf slechtere prestaties en 25% kwam tot betere resultaten (Elm & Goldenson, 2012).

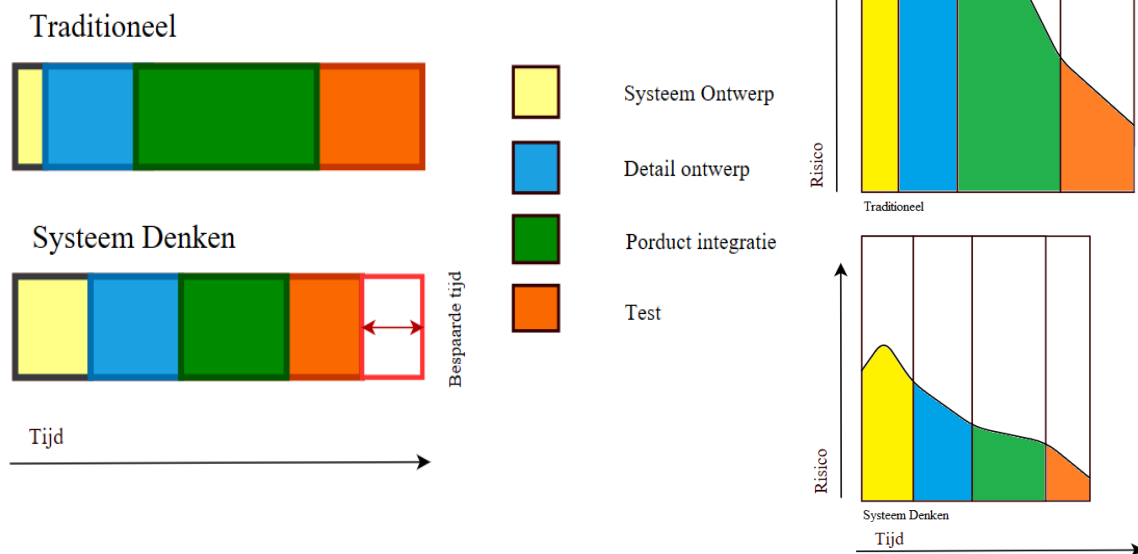
De derde kolom geeft projecten aan die in het onderzoek zijn meegenomen waarin SE-processen volledig of bijna volledig zijn toegepast. Zoals in Figuur 22 te zien is heeft 57 % van de projecten een hogere performance. 24% van de projecten had geen prestatie verbetering en 20% van de projecten waarin SE in grote mate werd toegepast had een slechter rendement (Elm & Goldenson, 2012).

Ondanks dat meerdere factoren van invloed zijn op het slagen van het project, blijkt uit dit onderzoek dat de mate van implementatie van SE invloed heeft op de generieke prestatie van een project. Hoe beter SE wordt toegepast, hoe beter de prestaties op een project (p -waarde $< 0,001$, Figuur 22) (Elm & Goldenson, 2012).

Hieronder zal een aantal factoren waarop SE een positief effect heeft worden toegelicht: Tijd, Risico's en Kosten.

Tijd

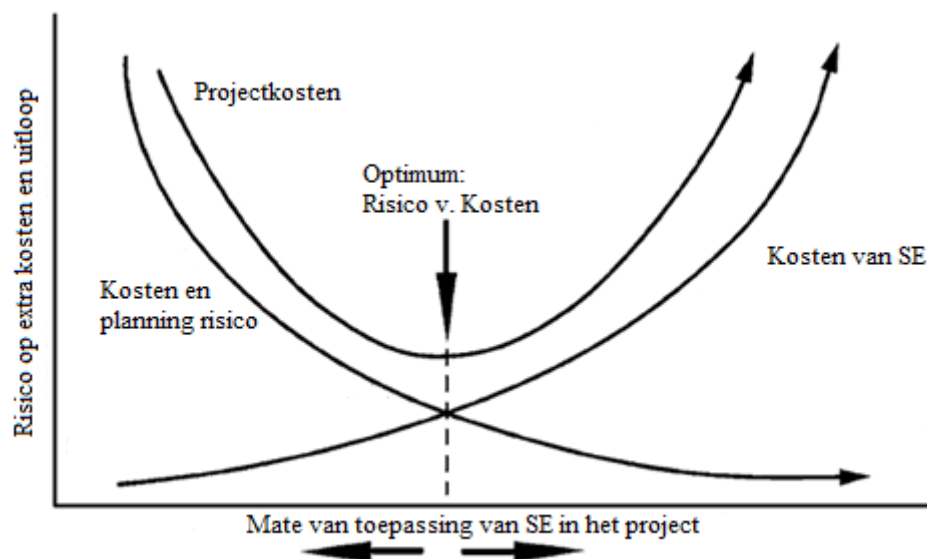
De methode SE kan ten opzichte van de conventionele manier van werken een besparing van tijd opleveren in een project. Ondanks dat bij SE meer tijd aan het systeemontwerp dan bij de conventionele manier van werken. De huidige manier van werken is meer gefocust op de constructie, projectintegratie en het testen van een ontwerp. Door vroeg in een project meer aandacht te besteden aan het systeemontwerp kan tijd worden bespaard op de integratie (Honour, 2004). Een schematische weergave van deze tijdsbesparing is weergegeven in Figuur 33.



Figuur 3: Verschil in tijd en risico's tussen SE en traditionele werkwijze, zoals opgenomen in onderzoeksrapport (Honour, 2004)

Risico's

Risico is altijd een factor en kan in meerdere stages van het project voorkomen. Wel kan worden gezorgd voor een reductie van risico's en een controle op de risico's die niet uit te sluiten vallen. De gestructureerde manier van werken binnen SE in combinatie met een goed risicomanagement kan voor een beperking van de risico's zorgen. Als de risico's beperkt kunnen worden is dit gunstig voor de kosten en tijdsduur van het project. INCOSE heeft een geschematiseerde weergave gemaakt van de het verband tussen de risico's en de kosten. Deze schematisering is weergegeven in Figuur 44. Het optimum zoals in Figuur 44 is weergegeven zou het streven van iedere organisatie die met SE werkt of wil gaan werken moeten zijn (Elm & Goldenson, 2012).



Figuur 4: Grafiek van SE uitgezet tegen risico uit het rapport van (Elm & Goldenson, 2012)

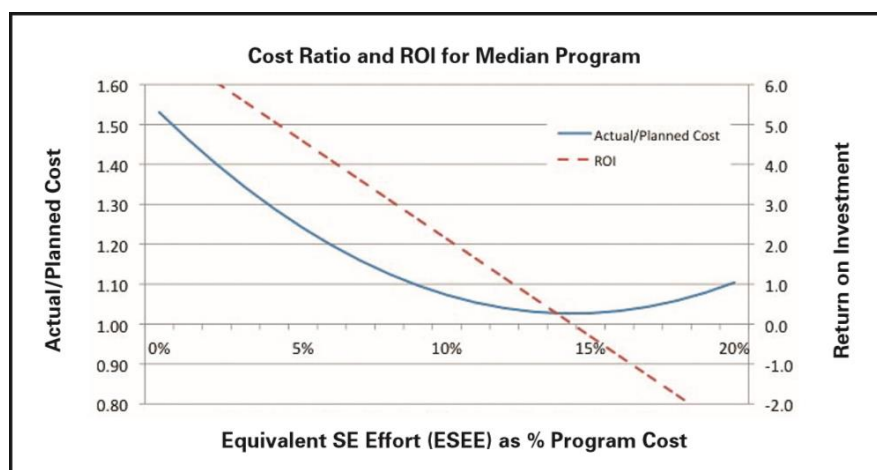
Kosten

Overeenkomstig de andere factoren zijn kosten een generieke factor die goed meetbaar zijn en iets aangeven binnen de effectiviteit van SE. In een aantal onderzoeken zijn de kosten en investeringskosten van de methode SE getoetst. Zoals eerder genoemd is het van belang om in het SE proces meer aandacht te besteden aan het systeemontwerp ten opzichte van de conventionele manier van werken. Zo kan er naast tijd ook geld worden bespaard in de latere stages van het project. Zo is allereerst gebleken dat de kosten om een fout te herstellen lager zijn in de vroege stages van een project. Omdat SE meer aandacht besteedt aan de initiële fases van het project, zal er ook effectiever kunnen worden gezorgd voor kosten reductie omtrent gemaakte fouten. In Tabel 1 is weergegeven wat de kosten gemiddeld bleken te zijn per fase om een fout te repareren in de onderzochte projecten (INCOSEUK, 2016).

Tabel 1: Tabel met de kosten per gedetecteerde fout per fase uit de presentatie van (INCOSEUK, 2016)

Fase waarin de fout is vastgesteld en opgelost	Kosten om de fout op te lossen
Eisen	x1
Ontwerp	x3 tot x8
Uitvoer	x7 tot x16
Oplevering	x21 tot x78
Gebruik	x29 tot x1615 met een gemiddelde van x250

In aanvulling op de kosten die bespaard kunnen worden door problemen eerder te detecteren is ook onderzoek gedaan naar de investeringskosten voor SE binnen een project. In dit onderzoek is naar investeringskosten gekeken, naar de project overschrijdende kosten en naar het percentage van de totale project kosten die zijn besteed aan SE. Figuur 55 geeft in blauw de verhouding tussen werkelijke en geplande kosten weer en met de rode stippellijn de investeringskosten van SE en de opbrengst van deze methode (INCOSEUK, 2016). Zoals te zien in Figuur 5 ligt het optimum van de kosten voor SE binnen een project rond de 12-14% van de totale project kosten. Tussen deze twee punten zullen de effecten van de methode SE zoals kosten, tijd en risico's het meest optimaal zijn ten aanzien van de kosten die gemaakt moeten worden om de methode SE te integreren in het project (INCOSEUK, 2016).



Figuur 5: Grafiek met de optimumcurve voor de investeringskosten van SE in projecten overeenkomstig de presentatie van (INCOSEUK, 2016)

2.2. Scoringsproces Systems Engineering

SE is op verschillende manieren kwantitatief in kaart te brengen. De keuze in dit project is gemaakt om de score van de SE processen in de praktijk uit te voeren met een benchmarktool. Hieronder is allereerst uitgewerkt wat dit generiek inhoudt. Daarna is omschreven welke elementen er in de specifieke benchmark tool zijn opgenomen in het scoringsproces van SE-processen in de praktijk ten opzichte van de theoretische Se-processen.

2.2.1. Benchmark

Een benchmark is een standaard of een maatstaf om prestaties te meten of te vergelijken (Van Dale, 2019). Het is een soort kwaliteitscontrole om een manier van functioneren van een proces te meten. In het specifieke geval van dit onderzoek wordt SE in de praktijk vergeleken met de theorie. Er is een benchmarktool beschikbaar om de huidige manier van werken langs de theoretische methode SE te leggen. Deze tool is gemaakt in Excel door R.S. de Graaf en B. Welhuis en is gebaseerd op De Graaf, Voordijk & Van den Heuvel (2015) en De Graaf, Vromen & Boes (2017). De benchmark dient als meetinstrument om processen die in de praktijk worden uitgevoerd langs de theoretische SE-processen te leggen. De tool geeft een score aan de processen van het project dat wordt geanalyseerd. Deze score komt overeen met elementen die in de theoretische methode SE, zijn beschreven. Zo is de mate van SE binnen het project in kwantificeren. Hiernaast is ook de kwaliteit van het project zoals projectmedewerkers dat ervaren, gemeten door middel van interviews met betrokken personen. De resultaten van deze interviews zijn als aparte score in de benchmark meegenomen.

3. Onderzoeksmethoden

In dit onderzoek is zowel gebruik gemaakt van kwantitatieve als kwalitatieve data om de hoofdvraag en de deelvragen te adresseren. De verzameling van deze gegevens voor het toepassen van de benchmark en de wijze waarop deze gegevens zijn geanalyseerd is hieronder uiteen gezet.

3.1. Dataverzameling

Voor dit onderzoek is Project Vijfhuizen (VHZ) gekozen als casestudie. Dit project is specifiek uitzeggend onder *CasestudieResultaten*. Dit project is gekozen vanwege zijn omvang voor wat betreft projectduur en projectkosten. Project VHZ is binnen de afdeling E&W tot het moment van uitvoer van dit onderzoek een van de grootste projecten die is uitgevoerd. Daarnaast is dit project gekozen vanwege het feit dat men vanuit de afdeling aangaf dat dit type project in de toekomst vaker op de afdeling E&W zal voorkomen. De laatste reden deze keuze is het feit dat vanuit de afdeling is aangegeven dat dit project het dichtst bij de methode SE in de buurt komt. De documenten die aangaande project VHZ zijn verzameld zijn de aanbestedingsdocumenten, de contractdocumenten in de vorm van bestekken vanuit de opdrachtgever inclusief de standaardbepalingen, de EMVI-documenten (Economisch Meest Voordelige Inschrijving) vanuit BAM, de generieke planning en de notulen van de bouwoverleggen. Deze documenten komen uit de interne database binnen de afdeling E&W van de Koninklijke BAM Groep nv. De toegang tot deze documenten is verschaft door projectmedewerkers die betrokken zijn geweest bij project VHZ.

Hiernaast zijn voor de benchmark interviews gehouden met twee medewerkers binnen de afdeling E&W, die aan project VHZ hebben meegewerkt. Doordat deze medewerkers verschillende functies hebben (Omgevingsmanager en Tendermanager), wordt een gevarieerd beeld geschetst van de kwaliteit van het product en het proces volgens de verschillende medewerkers. De interviews duurden ongeveer dertig minuten en bij de vragen zoals die in de benchmark staan is geen extra uitleg gegeven, tenzij hier door de geïnterviewden om is gevraagd. Daarnaast is vooraf een geheimhoudingsverklaring ondertekend en is aangegeven dat de resultaten zijn geanonimiseerd.

Tevens is voor dit onderzoek een aantal aanvullende interviews afgenomen bij medewerkers binnen de afdeling E&W. Door Dhr. Mennink zijn tien mensen geselecteerd die SE-proces gerelateerd werk uitvoeren. Deze medewerkers bekleeden uiteenlopende functies (zie *Aanvullende interviews*). Van deze tien mensen hebben zeven mensen deelgenomen aan dit onderzoek.

3.2. Meetinstrumenten

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden is zowel kwantitatief als kwalitatief onderzoek gedaan. Hiervoor zijn de volgende meetinstrumenten gebruikt:

- Benchmark
- Aanvullende interviews
- Deskresearch
- Veldobservatie

Benchmark

De benchmark, zoals omschreven in het theoretisch kader, helpt een project vanuit de praktijk te vergelijken met het theoretisch ideaalbeeld van de methode SE (Gerard, Dobry, & Jones, 1994). De elementen zoals die in de benchmark zijn opgenomen zijn hieronder kort toegelicht. De volledige uitwerking van deze elementen binnen de benchmark is opgenomen in Appendix II.

Project Start & Input

Binnen de PS is gekeken naar de projectscope, de projectdoelstelling, de actoranalyse en de Klant Eisen Specificatie (KES). Een voorbeeld van een vraag voor de score van de PS is: *“Is de gehele scope van het project gedefinieerd aan de start van het project?”*

Kernelementen

1. Eisenanalyse

De EA is geanalyseerd op de formulering en structurering van de eisen en het opstellen van een Verificatie en Validatie plan (V&V plan). Een voorbeeld van een vraag voor de score van EA: *“Zijn alle eisen genummerd weergegeven?”*

2. Functionele Analyse & Allocatie

De FAA is gecontroleerd op de aanwezigheid van een FBS in relatie tot een SBS. Hiernaast is de terugkoppeling in het V&V plan bekeken. Een voorbeeld vraag voor de score van de FAA is: *“Zijn de functies geordend volgens een boomstructuur?”*

3. Ontwerpsynthese

De Os is beoordeeld op de aanwezigheid van een keuzematrix en een verwijzing naar het V&V plan. Een voorbeeld vraag voor de score van de Os is: *“Is het gekozen ontwerp bepaald op een samenhangend keuzeproces?”*

Feedback elementen

4. Eisenloop

Ondanks dat de eisenloop geen SE-specifieke producten bevat is er gekeken naar periodieke terugkoppelingen tussen de FAA en de EA. Een voorbeeld vraag voor de score van de EL is: *“Is de EL uitgevoerd op continue basis?”*

5. Ontwerploop

De ontwerploop heeft geen SE-specifieke producten. Gekeken is naar de periodieke terugkoppeling tussen de FAA en de Os. Een voorbeeld vraag voor de score van de OL is: *“Is de ontwerploop on continue basis uitgevoerd?”*

6. Specificatie Verificatie

De SpVe is geanalyseerd op de beschrijving overeenkomstig het V&V plan. Een voorbeeld vraag voor de score van de SpVe is: *“Is een verificatierapport opgesteld met bewijs van verificaties?”*

7. Specificatie Validatie

De SpVa is beoordeeld overeenkomstig de omschrijvingen in het V&V plan. Een voorbeeld vraag voor de score van de SpVa is: *“Is er een validatierapport opgesteld voor de validatie met de opdrachtgever?”*

8. Ontwerpverificatie

De OVe is geanalyseerd aangaande de terugkoppeling van de ontwerpkeuzes met de opgestelde eisen, functies en objecten. Tevens is de omschrijving in het V&V plan bekeken. Een voorbeeld vraag voor de score van de OVe is: *“Zijn er aanpassingen geweest in eerdere documenten door wijzigingen in het ontwerp?”*

9. Ontwerpvalidatie

De OVa is beoordeeld op de terugkoppeling van de ontwerpkeuzes naar de opdrachtgever of andere actoren. Omschrijvingen in het V&V plan zijn ook geanalyseerd. Een voorbeeld vraag voor de score van de OVa is: *“Is de validatie uitgevoerd op basis van de validatieprocedure uit de ontwerpsynthese?”*

Output

De output zoals omschreven in het theoretisch raamwerk komt op een andere manier terug in de benchmarktool. In de benchmarktool wordt uitgegaan van een afgerond project. Dat betekent dat de output gelijk staat aan de uiteindelijke realisatie in plaats van de input voor een ander detailniveau. De benchmarktool gaat over van de engineeringfase naar de realisatiefase. Binnen dit onderzoek is, zoals eerder is omschreven, de keuze gemaakt om te focussen op de engineeringfase en niet op latere fases zoals de realisatiefases. Er wordt daarom niet verder ingegaan op de output van de benchmark.

Aanvullende interviews

Naast de interviews voor het kunnen toepassen van de benchmark zijn aanvullende interviews afgenomen met de medewerkers binnen de afdeling E&W van BAM, die werken met de huidige methodes óf medewerkers die de transitie naar SE aansturen. De interviews zijn semigestructureerd wat betekent dat per topic een aantal vragen is opgesteld, maar dat ook ruimte is genomen om verder door te vragen per onderwerp. Omdat vooraf niet bekend is welke kennis onderzoeker en respondenten al hebben met betrekking tot SE, is gekozen voor dit type interview. De gebruikte een topiclist, is gebaseerd op het theoretisch kader (Zie *Appendix III.*). De onderwerpen van de topiclist zijn als volgt:

- Kennis en relatie tot SE
- Ervaring met SE
 - Bekende processen binnen SE
 - Projecten met of zonder SE
- Generieke mening omtrent SE
- Toekomstbeeld voor SE

In totaal zijn acht interviews gehouden waarvan de aantekeningen zijn opgenomen in *Appendix VII.* De interviews duurden dertig minuten. De functies van de mensen binnen de afdeling E&W die zijn geïnterviewd zijn:

1. Projectorganisator
2. Tendermanager
3. Tendermanager
4. Projectleider
5. Teammanager/Projectleider
6. Engineer
7. Projectleider
8. Projectcoördinator Engineering

Deskresearch

Om te zien in hoeverre beleid en praktijk met elkaar en met de theorie overeen komen, is deskresearch uitgevoerd binnen intranet van de Koninklijke BAM Groep nv. Hierbij zijn documenten voor de invulling van procesmanagement verzameld. Deze documenten beslaan de Bedrijfs Management Structuur (BMS), het Uniforme Project Management (UPM) en het Project Specifiek Management (PSM). Om de resultaten van de deskresearch te categoriseren, is gebruik gemaakt van dezelfde topiclist die ook bij de aanvullende interviews is gebruikt. Een uitwerking van de uitkomsten van de deskresearch is te vinden onder *Casestudieresultaten*.

Veldobservatie

In aanvulling op de eerdergenoemde meetinstrumenten, hebben periodiek gesprekken, vergaderingen en discussie plaatsgevonden met de beide begeleiders en andere medewerkers van de afdeling E&W binnen de Koninklijke BAM Groep nv. Aan de hand van de topiclist zijn events in kaart gebracht, die relevant zijn voor dit onderzoek. De veldobservatie is uitgevoerd op basis van event-sampling (Baarda & de Goede, 2017). Alle zaken die van belang zijn voor het onderzoek zijn genoteerd en meegenomen gedurende de tijdsduur van het project. De uitwerking van de kort notities is te vinden in Appendix IV.

3.3. Data-analyse

Om het werken binnen de afdeling meer gedetailleerd in kaart te brengen is een voorbeeld-casus geselecteerd. Dit betrof Project VHZ. Binnen dit project is gekeken naar de mate van toepassing van SE. De mate waarin SE is toegepast binnen het project is bepaald aan de hand van de elementen zoals beschreven in *de Benchmark en Appendix II*. Voor deze elementen zijn vragen opgesteld waarop nee(0 punten), nee/ja (2,5 punten) en ja (5 punten) kan worden geantwoord. Aan de hand van het aantal behaalde punten wordt een percentage uitgerekend. Dit percentage geeft zo aan wat de mate is van de toepassing van het specifieke SE element. Een score van 100% betekent dus dat het praktijkvoorbeeld geheel overeenkomstig het theoretische SE model is uitgevoerd. Een score van 0% geeft aan dat niets uit het theoretische model in de praktijk is uitgevoerd. Tevens wordt aan het eind een gemiddeld percentage berekend voor de totale toepassing van SE binnen het geanalyseerde project. Na het invullen van de benchmark tool zijn analysestappen uitgevoerd om tot de *Conclusie* te komen. De gemiddelde score van de elementen in de benchmark zijn door de benchmarktool berekend. Deze percentages zijn beoordeeld binnen de case. Dit betekent dat is aangegeven welke elementen binnen het casestudieproject het hoogste en het laagste scoren ten opzichte van de theoretische SE processen.

De kwaliteit van het project volgens de projectmedewerkers is in kaart gebracht door middel van vragen omtrent de SE elementen. De projectmedewerkers is gevraagd naar hun mening over de elementen die zijn uitgevoerd in relatie tot de theoretische SE elementen omtrent het opgeleverde product en het uitgevoerde proces. Zij kunnen hier de volgende antwoorden op geven: niet uitgevoerd/niet gedaan (0 punten), zeer slecht (1 punt), slecht (2 punten), neutraal (3 punten), goed (4 punten) en zeer goed (5 punten). Deze scores zijn vervolgens omgezet naar een percentage. Dit percentage geeft op die manier aan hoe goed de projectmedewerkers vinden dat de elementen in relatie tot SE zijn uitgevoerd binnen het geanalyseerde project. De vragen zijn verdeeld in een score voor het proces dat is uitgevoerd tijdens het project VHZ en het daadwerkelijke product aan documenten dat is opgeleverd. Deze data is geanalyseerd door te kijken naar de

percentages die de projectmedewerkers het project VHZ geven ten opzichte van de score die gegeven is in dit project.

De case analyse omtrent de mate van toepassing van SE is weergegeven in Tabel 2. Dit is een voorbeeld score van het Functionele Analyse & Allocatie onderdeel uit een vergelijkbaar onderzoek (De Graaf, Vromen, & Boes, 2017).

Tabel 2: Voorbeeld van de berekening van de SE score voor het SE onderdeel Functionele Analyse & Allocatie overeenkomstig het onderzoeksrapport van (De Graaf, Vromen, & Boes, 2017)

#	Vraag	Antwoord	Score
1	Is er een Functional Breakdown Structure (FBS) gemaakt?	Ja	5
2	Zijn de functies oplossing-vrij opgesteld?(werkwoord + zelfstandignaamwoord)	Ja	5
3	Zijn de functies traceerbaar? (bijvoorbeeld door middel van nummering)	Ja	5
4	Is er een System Breakdown Structure (SBS) gemaakt?	Ja	5
5	Hebben de objecten genoeg ruimte opengelaten voor de ontwerp oplossingsfase?	Ja	5
6	Zijn de objecten traceerbaar? (bijvoorbeeld door nummering)	Ja	5
7	Zijn de objecten in de SBS gekoppeld aan de functies in de FBS?	Nee	0
8	Zijn de objecten in de SBS gekoppeld aan de eisen?	Ja	5
9	Zijn de objectspecificaties ontwikkeld voor alle objecten?	Nee	0
10	Zijn de SBS, FBS en objectspecificaties opgenomen in het V&V plan?	Nee	0
11	Zijn de veranderingen in het V&V plan traceerbaar?	Nee	0
Totaal aantal behaalde punten in deze stap:			35
Totaal te behalen punten in deze stap (11 x 5):			55
Percentage van toepassing SE binnen de PS:			64%

Om de aanvullende interviews te analyseren zijn de notities omgezet naar gestructureerde notities. Hierin is ook is aangegeven waar en wanneer het interview heeft plaatsgevonden. Aan de hand van de eerder genoemde topiclist zijn deze notities geanalyseerd. Hierbij is vooral gekeken naar de redenen die de transitie naar SE bemoeilijken en hoe de afdeling tegen SE aankijkt. De uitwerking van deze interviewnotities is terug te vinden in *Appendix VII*.

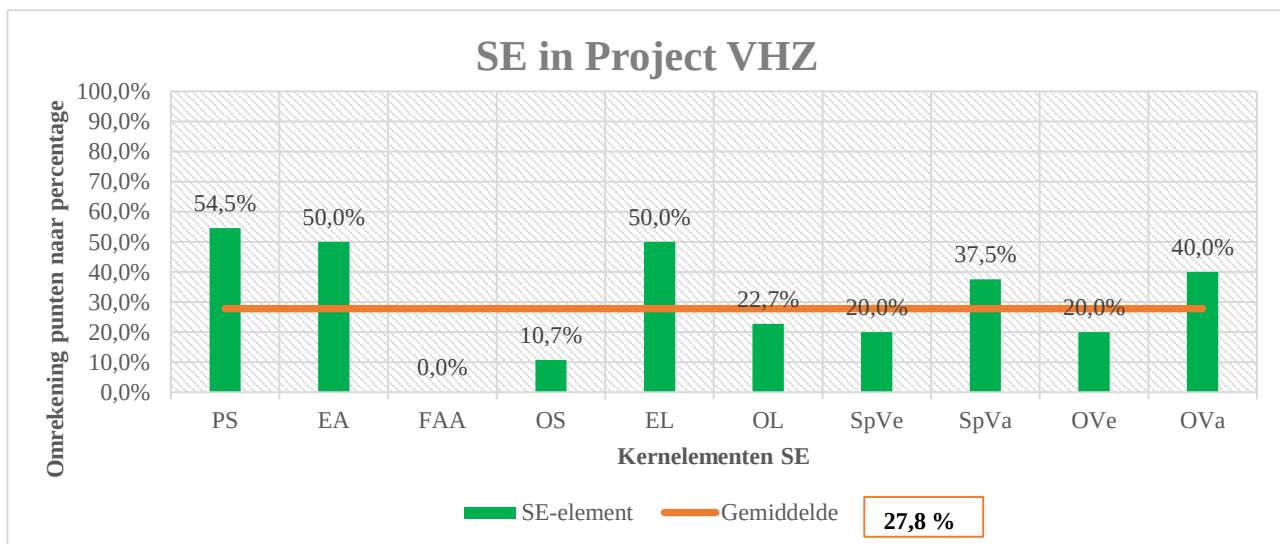
4. Casestudieresultaten

Nadat dataverzameling heeft plaatsgevonden, zijn de Casestudieresultaten in dit hoofdstuk uitgewerkt. Eerst is ingegaan op de conventionele manier van werken binnen de afdeling E&W. Daarna is ingegaan op de wijze waarop SE momenteel in de praktijk wordt gebruikt. De laatste paragraaf beschrijft het project dat is gekozen voor dit onderzoek: Project Vijfhuizen.

4.1 Resultaten deelvraag 1

De eerste deelvraag luidt: *Hoe scoren de Systems Engineering processen in de praktijk ten opzichte van de theoretische processen volgens de benchmark?* Om deze deelvraag te beantwoorden is een historisch project van de afdeling BAM Infra Energie & Water te gekozen als casestudie: Project Vijfhuizen (VHZ). Het project VHZ bestaat uit de aanleg van een kabelverbinding tussen een energiestation in Waardepolder in de gemeente Haarlem en een gepland te bouwen energiestation in Vijfhuizen in de gemeente Haarlemmermeer. Deze kabels dienen 150 kilovolt (kV) te kunnen vervoeren. De opdrachtgever in dit project is de werkmaatschappij Reddyn. Dit is een coöperatie van TenneT en Liander, twee nutsbedrijven in de energiesector die beide voor 50% aandeelhouder zijn. De aanleg van deze 150kV verbinding is opgesteld vanuit een strategische visie. De aanleiding om dit project op te starten is namelijk de betrouwbaarheid van de toevoer van elektriciteit en de toenemende energievraag vanuit het netwerk. De beoogde nieuwe verbinding dient de energietransportcapaciteit te verhogen om onder andere nieuwe groene energiebronnen op zee, zoals windenergie, in verbinding te stellen met lokale huizen en bedrijven (Gemeente Haarlem, 2016). Het tracé van project VHZ is weergegeven in Figuur 14 in Appendix VI. Hierbij zijn de projectonderdelen kort toegelicht.

Een overzicht van de resultaten van de benchmarktool is te zien in Figuur 6. Allereerst is in de grafiek de score van de theoretische SE-processen ten opzichte van de praktijk weergegeven. De uitkomst is dat de mate van toepassing van SE in project VHZ ten opzichte van de theorie **27,8 %** is. Een verdere uitwerking per element is te vinden in Figuur 66.



Figuur 6: Resultaten van de score van project Vijfhuizen in de benchmarktool

Project Start & Input

De scope is volledig opgesteld. De eisen en de actoranalyse echter niet volledig. Mede hierom krijgt het project daarom niet alle punten op dit onderdeel. Van de maximaal te behalen punten (55) zijn er 30 toegekend.

Kernelementen

1. Eisenanalyse

Maximale punten zijn gegeven voor de vragen over de volledigheid en nauwkeurigheid van de eisen. Voor de vragen omtrent het integraal benaderen van de eisen, en de traceerbaarheid van de eisen zijn 2,5 uit 5 punten toegekend. De vragen aangaande het V&V plan zijn beantwoord en er is bij twee van de drie vragen 2,5 punt toegekend. De laatste vraag omtrent het valideren en verifiëren heeft echter een score van 0 gekregen. Voor de vragen aangaande het SMART opstellen van de eisen is de Nee/Ja optie gekozen waardoor er 2,5 uit 5 punten zijn toegekend.

2. Functionele Analyse & Allocatie

Het project Vijfhuizen is wegens het ontbreken van de FAA dus niet functioneel geanalyseerd. Dit gehele element is in de benchmark tool daarom ook een score van 0 punten per onderdeel toegekend.

3. Ontwerpsynthese

De vragen over de overeenkomst tussen het opstellen van de eisen en het uiteindelijke ontwerp hebben een toekenning van 2,5 punten gekregen. De andere vragen aangaande de ontwerpsynthese hebben een score van 0 uit 5 gekregen.

Feedback elementen

4. Eisenloop/5. Ontwerploop

De score voor deze correcte manier van feedback geven is gegeven in de benchmark tool. Hierin zijn punten toegekende op de onderdelen: continuïteit, terugkoppeling en navolgbaarheid van de aanpassingen.

6. Specificatie Verificatie

Er zijn specificatie verificatie stappen uitgevoerd. Er is deze niet gekoppeld aan de FAA en is deze niet volledig. Voor het gehele onderdeel zijn 5 punten van de maximaal 20 te behalen punten toegekend.

7. Specificatie Validatie

Er heeft Specificatie Validatie plaatsgevonden, maar niet geheel overeenkomstig de theoretische voorschriften. De SpVa heeft daarom 7,5 uit 25 punten toegewezen gekregen.

8. Ontwerpverificatie

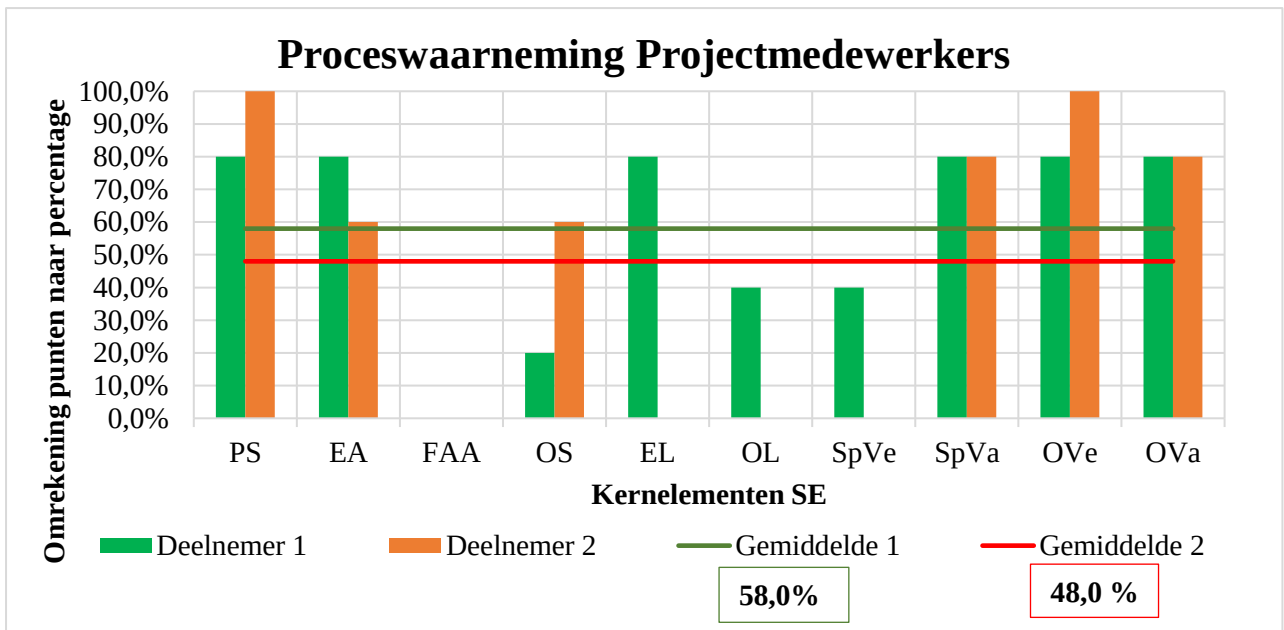
Er is een eenmalige check geweest van het ontwerp aan de eisen. Echter is dit niet op continue basis uitgevoerd. Daarom zijn 5 van de 25 te behalen punten toegekend.

9. Ontwerpvalidatie

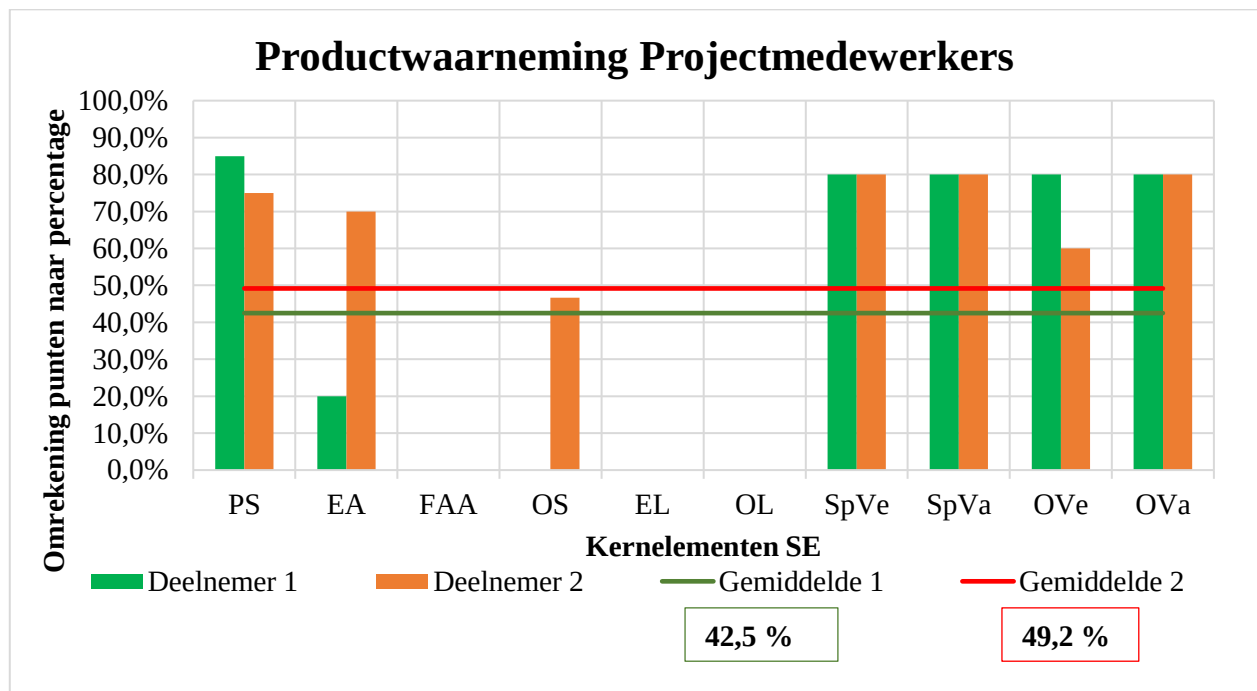
De ontwerpvalidatie is niet verder omschreven in het V&V plan. Er is echter wel periodiek gevalideerd. Er zijn 10 van de maximaal 25 te behalen punten toegewezen.

De interviews binnen de benchmark geven een score voor het proces en het product binnen project VHZ. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 7 en 8. In Figuur 7 zijn de verschillen te zien in de perceptie van de projectmedewerkers aangaande het proces binnen project VHZ. SpVa en de OVa komen geheel overeen. Het meest opvallend zijn de elementen EL, OL en SpVe. De gemiddelde percentages van de antwoorden van beide respondenten verschillen tien procent.

In Figuur 8 zijn de verschillen te zien in de perceptie van de projectmedewerkers aangaande de producten binnen project VHZ. De SpVe, de SpVa en de Ova hebben bij beide respondenten dezelfde score gekregen. De grootste afwijking bevindt zich op het element OS met een afwijking van meer dan veertig procent. De gemiddelde percentages van beide interviews liggen dicht bij elkaar.



Figuur 7: Uitkomsten interviews binnen de benchmark aangaande proceswaarneming



Figuur 8: Uitkomsten interviews binnen de benchmark aangaande productwaarneming

De resultaten van de benchmarktool zijn aangevuld door middel van de deskresearch en de aanvullende interviews. De uitwerking hiervan is opgenomen in *Appendix VII*. Opvallend was dat de desktopresearch aangaf dat SE reeds een praktische invulling heeft binnen de Koninklijke BAM Groep nv ondanks dat niet alle respondenten aan de interviews dit wisten.

4.2 Resultaten deelvraag 2

De tweede deelvraag is: *Hoe werkt de afdeling Energie & Water van de Koninklijke BAM Groep nv in de praktijk?* Binnen BAM is voor alle afdelingen een zogenaamd Bedrijf Management Systeem (BMS) gemaakt. In een BMS worden de primaire projectprocessen en de sturende en ondersteunende processen omschreven zoals deze door een afdeling moeten worden uitgevoerd. Voor E&W is zowel voor landelijke projecten als voor regionale projecten een BMS opgesteld volgens de ISO 9001 (ISO, 2015) voor Kwaliteitsmanagement. Deze processen zijn voor wat betreft projectmanagement-stappen vrijwel identiek. De projectmanagement stappen die binnen E&W worden uitgevoerd zijn weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Schematisch overzicht van de projectmanagementstappen binnen de afdeling E&W van de Koninklijke BAM Groep nv



Binnen BAM is er een BMS. Hierin zijn alle bedrijfsprocessen die binnen BAM Infra worden uitgevoerd duidelijk uiteengezet en geschematiseerd. Binnen dit BMS is er een specificatie gemaakt voor de standaard en specifieke projecten. Zo is er een Uniformprojectmanagement (UPM) en een specifiek Project management systeem Infra (PMI) gemaakt. Hierin staat aangegeven dat de complexiteit, contractvorm en verdere contractbepalingen bepalend is voor de toepassing van beide systemen. Een kort overzicht van de uitleg bij beide projectmanagementsystemen volgt hieronder in Tabel 4.

Tabel 4: Overzicht van karakteristieken bij Uniformprojectmanagement en Specifiek Projectmanagement

	Uniform Project management	Project specifiek management
Contractvorm	RAW, UAV	UAV-gc, D&C t/m DBFM
Complexiteit	Klein aantal partijen	Groot aantal partijen
Omvang projectorganisatie	Kleine projectorganisatie	Grote projectorganisatie
Omzet	< €2.000.000	> €2.000.000
Certificering	Standaard	Project specifiek

Zoals hieruit blijkt is PMI de variant die SE initieert. Deze is namelijk gericht op geïntegreerde contracten, complexe werkomgevingen en grote tendersommen. In het PMI document zijn alle stappen vastgelegd zoals die terugkomen in het theoretische model omtrent SE. In de PMI variant zijn deze echter specifieker gemaakt door er bepaalde producten aan te koppelen met stappenplannen. Een overzicht van het gehele PMI is in Figuur 1313 in Appendix V weergegeven.

4.3 Resultaten deelvraag 3

Deelvraag 3 luidt: *Wat zijn de verschillen tussen de theorie en de praktijk?* Zoals uit Tabel 3 is op te maken is de huidige wijze van projectmanagement van BAM Infra gericht op de werkvoorbereiding en uitvoer van project in de E&W sector. De stappen die in deze huidige manier van werken worden uitgevoerd zijn per kopje in flowcharts weergegeven op intranet binnen BAM. In deze flowcharts zijn basisdocumenten opgenomen waarin de template is weergegeven voor processen als oplevering, keuring en wijzingen. Er dient volgens deze vaste methode gewerkt te worden, al wordt binnen de afdeling aangegeven dat de aanpak van projecten kan verschillen.

Overeenkomstig de theorie is er schematisch overzicht van de stappen binnen een project. Deze werkwijze is transparant en duidelijk uiteengezet voor alle medewerkers binnen E&W en er is open gecommuniceerd. Anders dan dat de theorie zegt, missen er een aantal zaken. Zo is niet gebruik gemaakt van een FAA en dit is in de uitkomst van de benchmark terug te zien. Hiernaast is de invulling van project VHZ op het element van OL en SpVe afwijkend ten opzichte van de theorie en scoren ze laag in de benchmarktool.

4.4 Resultaten deelvraag 4

Tot slot is deelvraag 4: *Wat zijn aanbevelingen voor de afdeling Energie & Water van de Koninklijke BAM Groep nv voor het toepassen van de methode Systems Engineering?* De afdeling E&W heeft toegang tot deze werkmethodes en kan hier eventueel experts afkomstig van de ingenieursbureaus van BAM hierover raadplegen. Van de PMI is echter niet tot nauwelijks gebruik gemaakt. De projecten die op intranet zijn terug te vinden die volledig overeenkomstig PMI hebben gewerkt zijn allemaal gerelateerd aan wegen en/of rail. Mede omdat zij vaak grotere, complexere en specifieke projecten uitvoeren waarin SE een vereiste is. Uit de interviews die gehouden zijn met de medewerkers van de afdeling BAM Infra E&W volgt ook dat er niet veel ervaring is met SE (zie *Analyse van deelvraag 2*). De enige vorm waarin sommigen met SE in aanraking zijn gekomen met SE is via Relatics in een geïntegreerd project of via voormalige professies.

5. Analyse

In dit hoofdstuk worden de resultaten per deelvraag geanalyseerd.

5.1 Analyse deelvraag 1 en 3

Deelvraag 1 en 3 liggen in elkaars verlengde, daarom worden de resultaten van beide vragen hier samen geanalyseerd. Deelvraag 1 luidt: *Hoe scoren de Systems Engineering processen in de praktijk ten opzichte van de theoretische processen volgens de benchmark?* En deelvraag 3 luidt: *Wat zijn de verschillen tussen de theorie en de praktijk?* Project VHZ is geanalyseerd op de projectdocumentatie. Er is aan de hand van de projectdocumenten en de aanvullende interviews met de projectmedewerkers een score toegekend voor de negen elementen. De resultaten op de benchmark maken het verschil tussen theorie en praktijk zichtbaar.

Project input/ initiatie Vijfhuizen

Het project Vijfhuizen heeft een zogenoemd Uniforme Administratieve Voorwaarden 2012 (UAV-2012) contract. Deze contractvorm zorgt ervoor dat de werkvoorbereiding en uitvoer van het project bij de opdrachtnemer komt te liggen. In dit specifieke geval is dat BAM. Een UAV contract ten opzichte van modernere, geïntegreerde contracten behoudt meer controle en verantwoordelijkheid bij de opdrachtgever. Het is voor de mate van SE bevorderlijk om meer verantwoordelijkheid bij de opdrachtnemer te zien en deze dichter bij het project betrokken te houden. De verantwoordelijkheden per contractvorm zijn opgenomen in Tabel 5.

Tabel 5: Overzicht van de verantwoordelijkheden per contractvorm zoals opgenomen in de presentatie van (De Munck & Wattjes, 2013)

Grijs = Verantwoordelijkheid Opdrachtnemer	Traditionele contractvormen		Geïntegreerde contractvormen			
Bouwfasen	UAV/RAW	Bouwteam	Engineer & Construct (E&C)	Design & Construct (D&C)	Turnkey	Design, Build, Finance & Maintain (DBFM)
Initiatief						
Onderzoek						
Definitie						
Programma van Eisen (PvE)						
Voorlopig Ontwerp (VO)						
Definitief Ontwerp (DO)						
Uitvoeringsontwerp (UO)						
Werkvoorbereiding						
Uitvoering						
Onderhoud						

Er is voor het project Vijfhuizen, dat uit 4 onderdelen bestaat, dan ook een bestek gemaakt binnen de UAV-2012 voorwaarden. Deze bestekken heten “Civiel Bestek deel 1 t/m 4” Deze bestekken bestaan uit de onderdelen:

- de beschrijving van het werk;
- de daarbij behorende tekeningen;
- de voor het werk geldende voorwaarden;
- de nota van inlichtingen;
- het proces-verbaal van aanwijzing.

De bestekken zoals opgesteld door de opdrachtgever Reddyn zijn specifiek. Zo wordt door Reddyn als opdrachtgever reeds bepaald welke werkzaamheden de aannemer dient uit te voeren, welke werkvolgorde men dient aan te houden en welke materialen dienen te worden gebruikt. In aanvulling op de bestekken is ook

gebruik gemaakt van de verwijzingen naar de ‘SABH/Reddyn/2015’ en ‘STBH/Reddyn/2015’. Dit zijn standaard technische-, en administratieve bepalingen die worden gebruikt in projecten omtrent hoogspanning. Deze zijn overkoepelend voor alle projecten en worden niet projectspecifiek gemaakt. De eisen en de aanvullende informatie over de manier van werken zijn voor soortgelijke projecten gelijk.

Als opstart van het project is er een kick-off meeting geweest. Hierin zijn meerdere facetten van het project zoals de technische invulling en omgevingsaspecten aan bod gekomen. Naast de project input vanuit Reddyn, als opdrachtgevende partij is ook een eigen analyse gemaakt. In verband met de aanbestedingsvorm Economisch Meest Voordelige Inschrijving (EMVI) is vanuit BAM een aantal zaken opgesteld. Zo zijn er vier KC's (Kwaliteits Criterium) gemaakt waarin een Plan van Aanpak (PvA), Risicomanagement, Optimalisaties & Kansen en Planning is gemaakt. Hierin is onder andere de scope en aanpak van het project verder uitgewerkt en is er een actoranalyse uitgevoerd. Deze is echter niet geheel volledig. Zo zijn onder andere de machtsmiddelen van de actoren niet geanalyseerd en in kaart gebracht.

Kernelementen

1. Eisenanalyse

De eisen zijn afkomstig van de opdrachtgever Reddyn, vanuit de actoranalyse en vanuit BAM zelf. De eisen zoals opgesteld vanuit de opdrachtgever zijn per categorie ingedeeld en overzichtelijk genummerd. Uit de Aanbestedingsleidraad Reddyn VHZ (Vijfhuizen) blijkt ook dat de opdrachtgever aanstuurt op het SMART opstellen van eisen en doelstellingen. De daadwerkelijke invulling van de eisen in de bestekken verschilt echter sterk. Sommige eisen zoals :

“1.16.1.: Het verwijderen en afvoeren/storten van beschermingsmateriaal (betontegels (60x40 cm, ±20 kg) op 50kV-oliedrukkabels t.p.v. de Emrikweg en Mollerusweg.”

zijn volledig overeenkomstig de SMART-criteria. Er zijn echter ook eisen zoals:

“1.7.7.: Op stationsterrein Waarderpolder dient de sleufbedekking definitief hersteld te worden.”

die niet voldoen aan deze basis principes binnen SE voor het opstellen van eisen. Gezien het feit dat het een bestek is zijn sommige eisen omschreven als opdrachten die dienen te worden uitgevoerd. Daarnaast komen in het bestek naast eisen ook belangen en wensen naar voren. Het onderlinge onderscheid tussen deze eisen, belangen en wensen is soms moeilijk te duiden.

In aanvulling op het opstellen van de eisen kan worden vermeld dat er geen expliciet moment is waarop men binnen BAM is gaan werken aan het V&V plan. Er is ook geen verdere vermelding van het bestaan van een V&V plan. Wel is vanuit het plan van aanpak in KC1 omschreven dat er beheersmaatregelen, aanvullende onderlinge afspraken en EMVI beloften zullen worden opgesteld in een projectactielijst. Deze actielijst omschrijft wie verantwoordelijk is en wat de uiterste uitvoerdatum is. Deze punten worden besproken in het tweewekelijkse overleg. Hierin is dus wel een notitie gemaakt van het validatie en verificatie proces. Zaken zoals de individuele analyse van eisen en de opdeling van eisen in disciplines zijn niet tot nauwelijks vastgelegd.

Aanvullend zijn de eisen die door BAM zijn opgesteld. Deze zijn een filtering van de eisen zoals deze zijn opgesteld in de bestekken, voortkomend uit de actoranalyse en zoals ze zijn aangevuld uit BAM zelf en zijn volgens het document SMART opgesteld. Er blijkt echter een aantal eisen te zijn dat niet geheel aan deze criteria voldoet.

Mede door de genoemde afwijking tussen traditionele en geïntegreerde contractvormen in combinatie met SE is het verschil tussen de eisenanalyse in project VHZ en de theorie te verklaren. Omdat de verantwoordelijkheid voor het opstellen van een PvE bij de opdrachtgever lag, is er gekozen om eenmalig de eisen opstellen en deze op te nemen in het bestek.

De eisen zijn verder kort geanalyseerd vanuit BAM als ON, maar zijn niet duidelijk gestructureerd vastgelegd in een overzichtelijk schema zoals een CRS. Als de opdrachtnemer meer verantwoordelijkheid zou krijgen in

het construeren van een PvE zou hier ook meer ruimte en vooral noodzaak zijn om een CRS te maken vanuit het perspectief van BAM. Daarnaast heeft de manier waarop het bestek is opgesteld ook invloed op hoe SMART de eisen zijn. In het bestek zijn eisen, wensen en aanbevelingen niet onderscheidbaar opgenomen. Deze vermenging zorgt ervoor dat er geen duidelijk overzicht is van de daadwerkelijke eisen die gesteld zijn en hun haalbaarheid. Om goed te kunnen werken volgens de theoretische methode SE moeten eisen SMART worden gemaakt om misverstanden te voorkomen.

Ook de gemaakte actoranalyse voldoet niet geheel aan de kenmerken van een volledige actoranalyse in het SE proces. Alles was van de actoren vastgelegd, behalve de macht van de actoren. Er is dus ook geen machtsbelangendiagram gemaakt waarin dit overzichtelijk is opgesteld. Een mogelijke reden voor het ontbreken van het in kaart brengen van de macht van de actoren is het feit dat in het project VHZ de opdrachtgever hier een andere rol in had. Reddyn was namelijk de partij die de verdere communicatie regelde met deze actoren en was dus dichter betrokken bij de belangen en machtsposities van deze actoren. Het laatste punt waarop het project VHZ en SE in theorie verschillen is het opstellen van een V&V plan. Er zijn namelijk in project VHZ wel een aantal elementen uit het V&V plan terug gekomen, bijvoorbeeld wanneer verificatie en validatie plaats hebben, maar dit is niet expliciet in een dergelijk document vastgelegd. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat men, mede door de contractvorm, hiervoor niet de noodzaak heeft gezien. Ook kan de kennis omtrent de opzet van een volledig functionerend V&V plan ervoor hebben gezorgd dat men er niet voor heeft gekozen om dit uit te voeren.

2. Functionele Analyse en Allocatie

Een FAA, zoals deze volgens de theorie zou moeten terugkomen in SE, is niet uitgevoerd in dit project. De FAA, een tussenstap tussen de eisen en het ontwerp, is in dit project overgeslagen.

Dit is ook in de KC1 van de EMVI aanbesteding omschreven als:

“Het bestek dat wij van u hebben ontvangen bevat geen functionele vraagspecificatie. Het verifiëren van functionele eisen is bij dit project dus niet aan de orde.”

Er is gekozen om een directe verbinding te maken tussen de eisen en het ontwerp. De kenmerkende SE elementen zoals een FBS en SBS zijn niet gemaakt en dus ook niet in de documentatie vastgelegd.

Een FAA is niet uitgevoerd en de reden, het ontbreken van een functionele vraagspecificatie vanuit de OG, is volgens BAM de belangrijkste reden dat dit niet is gebeurd zoals hierboven is omschreven. Er kan echter, ondanks het ontbreken van een functionele vraagspecificatie, ook een set functies worden opgesteld aan het PvE. Door functies op te stellen is er een duidelijk overzicht te geven in wat het op te leveren product moet kunnen en hoe het moet presteren (US Department of Defense, 2001). Dit zou BAM kunnen helpen om het probleem, de verbinding van energiestations, oplossingsvrij te bekijken. Er is echter vanuit de opdrachtgever al ver gespecificeerd wat er precies moet worden gemaakt en welke objecten hiervoor dienen te worden gebruikt. Hierdoor komt de vrijheid om het probleem objectvrij te benaderen in het geding. Er is dus dermate veel uitgevoerd door de opdrachtgever om te kunnen voldoen aan deze elementen zoals omschreven in de theoretische SE-processen.

3. Ontwerpsynthese

Het DO dat gebruikt is in dit project is geheel aangeleverd vanuit de opdrachtgever Reddyn. Er is binnen BAM zelf wel gekeken of de eisen en het DO conflicteerden en daarnaast de ontwerpen wel voldeden aan de aangeleverde ontwerpen. Verder is er binnen de aangeleverde ontwerpen gekeken naar de technische uitvoerbaarheid en de kansen en risico's. Er is geen gebruik gemaakt van Design Trade-off matrices, of een andere vorm waarin de gemaakte keuzes binnen het ontwerp zijn verantwoord. Er is voor zover bekend ook maar één ontwerp gemaakt. Ook voor dit ontwerp is er geen V&V plan opgesteld of zijn er duidelijke afspraken over de verificatie en validatie gemaakt.

De ontwerpsynthese is een stap die ogenschijnlijk veel afwijkt ten opzichte van de theorie, zoals blijkt uit de bovenstaande omschrijving. Dit komt mede omdat er in de theoretische processen in SE wordt uitgegaan van

het feit dat een partij, de ON, verantwoordelijk is voor het opstellen van de eisen, het maken van een FAA en het maken van een ontwerp. Omdat het DO reeds is aangeleverd door de klant kan er door de opdrachtnemer geen echte ontwerpsynthese worden uitgevoerd. Er is dus ook geen afweging gemaakt tussen een aantal ontwerpoplossingen en de keuze voor het ontwerp is ook niet gedocumenteerd. Dit is terug te zien in de score in de benchmark: 10,7% op OS. Een ander belangrijk onderdeel van de ontwerpsynthese is het vastleggen van de validatie en verificatie van het ontwerp in het V&V plan. Er is buiten de afspraken die zijn gemaakt om een tweewekelijks bouwoverleg te houden en de vastlegging dat er door middel van VTW's veranderingen kunnen worden aangevraagd voor het project geen gedefinieerde manier vastgelegd waarop deze exacte processen dienen plaats te vinden. Wederom is het ontbreken van het V&V plan een van de grootste afwijkingen van het project VHZ ten opzichte van de theorie.

Feedbackelementen

4.Eisenloop/ 5. Ontwerploop

Binnen het VHZ project is geen gebruik gemaakt van een FAA. De functie van de eisenloop en de ontwerploop is veranderd. Normaliter zouden in de eisenloop de opgestelde functies en de eisen worden gecontroleerd of ze overeenkomen met elkaar. De ontwerploop zou overeenkomstig de theorie moeten dienen om de gemaakte ontwerpkeuzes langs de opgestelde functies te leggen. Het wegvallen van de FAA zorgt ervoor dat de functie van de ontwerploop en de eisenloop in een gezamenlijke loop is opgenomen. Het ontwerp is dus direct aan de eisen getoetst. Omdat een DO is aangeleverd door de opdrachtgever Reddyn, zijn er slechts minimale wijzigingen aangebracht binnen het ontwerp. De keren dat dit gebeurde ging dit in officiële vergaderingen of werd dit separaat aangevraagd in een Verzoek Tot Wijziging (VTW). Er is dus een sprake geweest van een periodieke update tussen de eisen en het ontwerp.

De samenvoeging van de eisenloop en de ontwerploop wijkt significant af ten opzichte van de theorie. Het enige kenmerk dat terugkomt is de doorlopende basis waarop deze feedback loops verlopen. Tevens zouden deze loops vroeg in het project moeten worden uitgevoerd: tijdens het maken van het ontwerp en het opstellen van de eisen. In project VHZ is echter pas begonnen met deze loops nadat het definitieve ontwerp is aangeleverd. Dit is mede te verklaren omdat het DO niet door de opdrachtnemer is gemaakt maar door de opdrachtgever. Naast het samenvoegen van deze twee loops door het ontbreken van de FAA kan men ook het ontbreken van een volledige verificatie en validatie aandragen als afwijking tussen theorie en praktijk. Er is naast de notulen van het bouwoverleg en de VTW-documenten geen duidelijke documentatie van deze stappen. Een reden hiervoor zou kunnen zijn dat veel verificatie stappen impliciet zijn geverifieerd. Ze kunnen bijvoorbeeld in onderlinge gesprekken of telefonisch zijn doorgenomen, zonder dat hier een bewijs in de vorm van een vastlegging van bestaat. Dit zou volgens de theorie moeten worden vastgelegd om overeenkomstig de methode SE te werken.

6. Specificatie Verificatie

Specificatie verificatie gaat in de theorie uit van een correcte controle tussen de afgeleide eisen, functies en objecten en de eisen, functies en objecten op een hoger niveau. In het project VHZ is niet gebruik gemaakt van het specificeren van eisen, functies of objecten. Er is in het bestek eenmalig een set eisen opgesteld en deze is in de EMVI analyse eenmalig aangevuld door BAM. Er is, voor zover vastgelegd, geen proces waarbinnen eisen verder worden gedetailleerd. Functies en de allocatie van objecten is niet uitgevoerd en kan dus niet worden beoordeeld op de specificatie verificatie. Er is ondanks het missen van de uitvoering van de specificatie verificatie geen expliciete reden voor dit ontbreken genoteerd.

Een mogelijke reden voor het ontbreken van deze verificatie stap is het feit dat er niet gewerkt is in cycli. De eisen zijn in eenmalig opgesteld door de opdrachtgever Reddyn en verder een keer intern opgesteld door BAM in de EMVI documenten. De reden voor het ontbreken van de cycli is allicht dat men de noodzaak of het bestaan van het gestructureerd specificeren van eisen niet inzag.

7. Specificatie Validatie

De stap specificatie validatie is ervoor om de gemaakte keuzes tijdens het project kenbaar te maken aan de opdrachtgever en eventuele andere actoren. Zo kan worden gevalideerd of hun wensen en belangen nog voldoen aan de eisen, functies en object waarvoor gekozen is. Er is binnen project VHZ geen V&V plan opgesteld waarbinnen deze validatie en de manier waarop deze validatie dient plaats te vinden is vastgelegd. Vooraf is vastgelegd dat er in het tweewekelijkse bouwoverleg duidelijkheid zou worden gegeven over de huidige stand van het project om zo de opdrachtgever en andere betrokken actoren geïnformeerd te houden. Daarnaast is de wijze van het doorvoeren van wijzigingen in VTW's ook een manier gebleken waarop de opdrachtgever duidelijk werd betrokken in het valideren van keuzes die werden gemaakt. In VTW's worden namelijk ook duidelijk de consequenties voor de tijdsduur, de kosten en de kwaliteit van het project uiteengezet (Antea Group, 2016). Een aanpassing op het project kan ook vanuit de opdrachtgever worden geïnitieerd door middel van een VTW. Dit houdt in combinatie met de periodieke vergaderingen in dat er sprake was van validatie. Mogelijk is het vastleggen van de bouwoverleggen en de manier waarop wijzigingen worden doorgevoerd in de VTW's toen ter tijd voldoende gebleken voor de projectmedewerkers. Ook het ontbreken van de kennis van het opstellen van een V&V-plan kan ervoor hebben gezorgd dat men dit document niet heeft opgesteld.

8. Ontwerpverificatie

Volgens de theorie dient er in elke fase van het project een controle van het ontwerp te worden uitgevoerd. Deze controle is de analyse van het ontwerp ten opzichte van de gestelde eisen, functies en objecten. In dit project heeft een ontwerpverificatie plaatsgevonden. Er is namelijk binnen BAM als opdrachtnemer een controle geweest van het aangeleverde DO vanuit Reddyn ten opzichte van de eisen zoals deze stonden omschreven in het bestek. Kleine afwijkingen tussen deze eisen en het ontwerp zijn onderling opgelost. Het controleren van deze DO's ten opzichte van de eisen is niet in een V&V plan is vastgelegd. Er is ook geen verdere directe documentatie van deze stap, vanwege het feit dat dit een vaste procedure betreft. Naast deze eenmalige check bij aanvang van het project, is er geen verdere gedocumenteerde verificatie tussen de eisen en het ontwerp.

De ontwerpverificatie is op een andere wijze terug gekomen in project VHZ dan in de theorie omschreven staat. Nu is er slechts een controle geweest of de bestekken overeen kwamen met de aangeleverde DO's vanuit de opdrachtgever Reddyn. Het ontbreken van verdere ontwerpverificatie borduurt voort op de eerder genoemde reden: de contractvorm. In een andere contractvorm, waarbij het synthetiseren van het ontwerp bij de opdrachtnemer ligt, zou er meer ruimte zijn voor een ontwerpverificatie.

9. Ontwerpvalidatie

Naast de verificatie van het ontwerp is er ook een validatiestap. Er is in project VHZ geen gedocumenteerde procedure, zoals een V&V plan, vastgelegd waarin beschreven staat hoe deze ontwerpvalidatie dient plaats te vinden. Er is echter wel gevalideerd. Zo is de voortgang van het project iedere twee weken gecommuniceerd in het bouwoverleg met de opdrachtgever en zijn wijzigingen in het project zorgvuldig en juridisch vastgelegd binnen de VTW. Daarnaast verliep de communicatie omtrent het ontwerp bij voorbaat voorspoedig. Het DO is per slot van rekening al opgesteld door de OG. Er was dus minder te communiceren aangaande ontwerpkeuzes dan in een project waarin de opdrachtnemer volledig verantwoordelijk is voor het construeren van het ontwerp.

Wederom is de verantwoordelijkheid voor het construeren van het ontwerp een waarschijnlijke reden voor het ontbreken van de ontwerpvalidatie.

Output

De output is, zoals eerder genoemd, niet verder opgenomen in de benchmarkscore. Er waren voor dit onderdeel dus geen punten te behalen en er zijn ook geen punten toegekend.

5.2 Analyse deelvraag 2

Om de resultaten van deelvraag 2 *Hoe werkt de afdeling Energie & Water van de Koninklijke BAM Groep nv in de praktijk*, te analyseren is gekeken naar de kennis die medewerkers hebben over SE, de ervaring die ze hiermee hebben en de huidige werkwijze op de afdeling. Alle respondenten aan de interviews hebben wel eens gehoord van het concept SE. Sommigen van hen zijn er zelfs kort mee in aanraking geweest. De keren dat men er mee in aanraking is geweest was dit in grotere projecten waarbij het dan vaak ging om het programma Relatics. In een enkel geval is men het in een vorige baan tegen gekomen. Er valt echter wel te concluderen dat de geïnterviewden momenteel geen volledige Systems Engineers zijn. Al moet de kanttekening worden geplaatst dat een aantal respondenten wel daadwerkelijk les heeft gehad of een cursus heeft gevolgd naar de basisprincipes van SE.

De belangrijkste reden die wordt aangedragen door de respondenten van de interviews aan het ontbreken van SE binnen de afdeling E&W is het ontbreken van de vraag naar SE vanuit de opdrachtgever. Er komt in meerdere interviews naar voren dat er een “wantrouwen” is vanuit de opdrachtgever naar de opdrachtnemer, een aannemer. Daarnaast wordt “de conventionele manier van werken” aangedragen als factor voor het uitblijven van de transitie naar de methode SE. De huidige manier van werken wordt door sommige respondenten aan de interviews gekenmerkt als een wereld waarbinnen problemen eenvoudig worden opgelost, zonder dat daar een vaste of gestructureerde methode aan te pas komt. Zelfs het woord “cowboywereld” is genoemd in een van de interviews. Een aanvullende reden voor het uitblijven van de vraag naar SE vanuit de opdrachtgevers is de volgende. Momenteel is slechts een klein aandeel van de projecten van de afdeling E&W op basis van een geïntegreerd contract en zijn de meeste projecten niet multidisciplinair. Deze factoren maken de implementatie van SE geen directe noodzaak vanuit het standpunt van de opdrachtgever. Daarnaast is men gewend aan de huidige manier van werken en voelt SE als “een sprong in het diepe”.

Er moet echter wel worden aangevuld dat er niet alleen vanuit de opdrachtgever een conservatieve houding is ten opzichte van nieuwe manieren van werken als SE. Er blijkt ook binnen een organisatie als E&W binnen BAM een “hakken in het zand-reactie” te zijn ten aanzien van SE. Dit is slechts door een aantal respondenten expliciet benoemd, al kwam het bij de meeste van hen uit de antwoorden wel naar voren. Er heerst binnen de afdeling E&W hetzelfde idee als bij de opdrachtgevers: “Waarom moeten we veranderen als de huidige methode goed werkt?” Er kan worden gesteld dat er binnen de niche in de GWW-sector waarbinnen E&W opereert een paradigma heerst. Alle organisaties en medewerkers binnen deze organisaties zijn gericht op de conventionele manier van werken en de methode SE valt buiten het paradigmakader.

5.3 Analyse deelvraag 4

Om deelvraag 4 *Wat zijn aanbevelingen voor de afdeling Energie & Water van de Koninklijke BAM Groep nv voor het toepassen van de methode Systems Engineering?*, te kunnen beantwoorden, is het van belang te weten wat het huidige beeld is dat medewerkers hebben van SE, de verwachting die zij hebben van de implementatie van SE en de randvoorwaarden die nodig zijn om SE succesvol te kunnen implementeren. Uit de interviews blijkt wel dat de respondenten op zich positief tegenover een nieuwe werkwijze in de vorm van SE staan. De theoretische voordelen op het gebied van tijd, geld en risico's worden door de meeste respondenten aan de interviews erkend. Ze snappen deze gestelde voordelen of ze hebben in andere projecten de voordelen van de methode SE gezien.

Er moet echter wel worden genoemd dat werd aangegeven dat deze voordelen wel moeilijk inzichtelijk te maken zijn vanwege het feit dat elk project “een project op zichzelf” is. Het is in het belang van de geïnterviewde respondenten dat de methode SE in de toekomst zal worden geïntroduceerd binnen de afdeling E&W. De uiteindelijke implementatie van de methode ligt bij de directe van E&W. Het initiatief om SE in te voeren kan dus wel uit de medewerkers binnen de afdeling E&W komen maar de daadwerkelijke keuze dient gemaakt te worden door de directie.

De toekomstverwachting van de methode SE binnen de afdeling E&W verschilt per respondent. Een aantal respondenten hoopt op termijn te zien dat de methode SE een standaardaanpak wordt voor alle projecten binnen

E&W. Zelfs voor de relatief kleinere projecten waarbinnen veel zaken worden geregeld via standaard bepalingen zien een aantal respondenten de voordelen van SE. Ook hierin kunnen met de methode SE volgens hen zaken overzichtelijker, transparanter en beheersbaarder. Aan de andere kant is een aantal respondenten dat aangeeft dat er binnen de afdeling E&W behoefte is voor SE, maar niet voor alle projecten. Er dient volgens hen gekeken te worden naar een aantal zaken binnen een project die het mogelijk maken om SE toe te passen. De belangrijkste genoemde factoren zijn:

- De omvang van het project: Landelijk versus Regionaal
- De opdrachtgever van het project
- Het aantal betrokken partijen dat het project uitvoert
- Het aantal actoren
- Contractvorm
- Aantal medewerkers dat aan het project werkt
- Projectduur
- Tendersom

Aan de hand van deze factoren moet worden bepaald of het project in aanmerking komt om de methode SE te gebruiken of niet. Naar hun mening zouden dus alleen de grotere projecten in aanmerking moeten komen om de methode SE te gebruiken. De tijd die het zal kosten om SE te implementeren binnen de afdeling E&W is ook voorgelegd aan de respondenten van de interviews. Hierop zijn sterk uiteenlopende antwoorden gegeven. Gemiddelde denken de respondenten van de interviews dat er nog ten minste 6 jaar nodig is om SE succesvol binnen de afdeling E&W te implementeren.

6. Conclusies en Aanbevelingen

Dit onderzoek is uitgevoerd om antwoord te geven op de vraag:

“Welk advies kan worden gegeven omtrent de verhouding tussen de Systems Engineering processen die momenteel worden uitgevoerd in de praktijk bij de afdeling Energie & Water van de Koninklijke BAM Groep nv en de geïntegreerde Systems Engineering processen vanuit de theorie?”

Om deze vraag te beantwoorden is een theoretisch kader voor de analyse opgesteld aan de hand van bestaande literatuur. Deze analyse is toegepast op de casus Project VHZ binnen de afdeling E&W van de Koninklijke BAM Groep nv.

Uit de resultaten die voortkomen door de huidige manier van werken die langs de theoretische SE-processen zijn gelegd blijkt het volgende. Project VHZ is niet geheel overeenkomstig de theoretische SE methoden uitgevoerd. Er is een score van 27,8% SE-elementen toegepast ten opzichte van de theorie. Er zijn echter onderdelen die gemiddeld een betere score hadden binnen het project: De Project Start, de Eisenanalyse en de Eisenloop zijn de onderdelen met de meeste potentie. Binnen project VHZ waren ook elementen die zeer laag hebben gescoord: Functionele Analyse & Allocatie en de Ontwerpsynthese zijn op dit moment de grootste pijnpunten. Uit de interviewvragen binnen de benchmark blijkt dat de twee respondenten tevens een lage score toekennen aan Project VHZ. Zij geven respectievelijk een iets hogere score aan het product en aan het proces van project Vijfhuizen.

Als antwoord op de hoofdvraag valt dus te stellen:

“Momenteel verhouden de processen die in de praktijk worden uitgevoerd, zoals Project VHZ, zich op 27,8 % ten opzichte van het theoretische SE proces. Er dient over de gehele breedte van de SE-processen aandacht te worden besteed naar verbetering, ondanks dat sommige elementen beter scoren dan anderen.”

Hiernaast kan worden geconcludeerd dat er naast de technische processen ook nog een slag is te slaan op sociaal gebied. De interviews binnen de benchmark met de daaraan gekoppelde uitkomsten geven aan dat ook de medewerkers binnen de afdeling E&W intern weten dat SE nog niet is waar het moet zijn binnen de organisatie. Uit de aanvullende interviews blijkt tevens dat er nog een geringe kennis is omtrent SE en dat de afdeling momenteel nog niet ingericht is op het werken met de SE-processen. Er kan daarentegen wel worden geconcludeerd dat de medewerkers binnen de afdeling E&W positief tegenover een toekomstige transitie naar SE staan. Al moet worden vermeld dat de meeste respondenten aan de interviews een transitie naar SE pas over een aantal jaar zien voltrekken.

De belangrijkste verklaringen voor het afwijken van de praktijk ten opzichte van de theorie, overeenkomstig de aanvullende interviews, is:

- Het ontbreken van een extrinsieke motivatie vanuit de opdrachtgevers door de verstandhouding met de opdrachtnemer
- Het ontbreken van kennis aangaande het uitvoeren van SE-processen
- Het ontbreken van daadkrachtig handelen binnen het keuzeprocess binnen de afdeling E&W

De verklaring voor het ontbreken van de marktvraag en het gebrek aan kennis omtrent SE komen overeen met de conclusies die worden getrokken door het onderzoeksrapport van (De Graaf, Voordijk, & Van den Heuvel, 2015).

Aan de hand van de verkregen data uit de benchmark en de verdieping uit de aanvullende interviews binnen de afdeling E&W kan er een aanbeveling worden gemaakt. Deze aanbeveling geeft zo aan wat naar aanleiding van de resultaten de juiste vervolgstappen kunnen zijn voor de afdeling E&W om een transitie naar SE in te leiden.

De aanbeveling voor BAM specifiek is opgenomen in Appendix VIII en maakt onderscheid tussen wat de afdeling E&W binnen BAM in een ideale en een realistische situatie zou moeten doen in een transitie naar SE. Hieronder zijn de belangrijkste aanbevelingen puntsgewijs genoteerd:

- Stel een doelstelling voor SE binnen de afdeling E&W binnen de Koninklijke BAM Groep nv op en maak hierbij duidelijk wat SE voor meerwaarde is bij het werken aan projecten binnen de afdeling E&W.
- Zorg ervoor dat beslissingsbevoegden binnen de organisatie achter de transitie naar SE staan.
- Start de actieve deelname in de beschikbare cursussen omtrent de basiskennis van SE binnen de Koninklijke BAM Groep nv. Ga hiernaast van start met de inventarisatie met de specifieke SE vereiste kennis.
- Zorg voor een gestandaardiseerde en praktische invulling van de SE-methode voor de afdeling E&W binnen de Koninklijke BAM Groep nv.
- Ga actief opzoek naar een geschikte opdrachtgever om het eerste SE-pilotproject binnen E&W uit te voeren.

7. Discussie en Vervolgonderzoek

De Koninklijke BAM Groep wil door middel van dit onderzoek inzicht krijgen in hoe het concept SE ervoor staat binnen de organisatie van E&W. De doelstelling van dit onderzoek was om het verschil tussen de theorie en de praktijk aangaande SE binnen de afdeling te onderzoeken. Op basis van het theoretisch kader is een topiclijst vastgesteld om aan de hand daarvan data te kunnen verzamelen en analyseren. Omdat vooraf niet duidelijk was in hoeverre het begrip SE bekend is bij zowel de onderzoeker als de respondenten, is gebruik gemaakt van aanvullende interviews. Hierbij heeft de onderzoeker bij elk interview in kaart gebracht of nieuwe informatie over het onderwerp naar voren kwam. Vervolgens hebben net zo lang interviews plaatsgevonden tot er geennieuwe informatie meer naar voren kwam.

Enerzijds laten de resultaten zien dat binnen de afdeling een positieve houding is ten aanzien van werken volgens SE. Anderzijds verwachten medewerkers dat de nieuwe werkwijze nog een aantal jaren nodig heeft, voordat dit volledig is geïmplementeerd. De vraag is of medewerkers daadwerkelijk anders gaan werken, wanneer zij daartoe geen urgentie voelen. Daarnaast is de afdeling nog niet ingericht op het werken met de SE-processen. Voordat aan implementatie kan worden begonnen, zal aan deze twee randvoorwaarden moeten worden voldaan.

Dit onderzoek is gebaseerd op één casestudy, die volgens de opdrachtgever toonaangevend is voor de werkwijze binnen de afdeling E&W binnen BAM. Om deze reden kan geen algemene uitspraak worden gedaan over de werkwijze voor ander typeprojecten binnen de BAM, of hetzelfde type projecten binnen de bouwsector. Het advies voor vervolgonderzoek is om soortgelijk onderzoek uit te voeren bij verschillende afdelingen en verschillende bedrijven, om zodoende een algemene uitspraak te kunnen doen over het werken volgens SE in de bouwsector.

Vooraf was de verwachting dat binnen de afdeling van E&W, mogelijk al onderdelen van de SE methode toegepast. De gemiddelde score lijkt laag (27,8%), maar een aantal onderdelen scoren al beter dan dit percentage. De Project Sart, de Eisenanalyse en de Eisenloop zijn de onderdelen waarop beter wordt gescoord. Een mogelijke verklaring is dat deze stappen eenvoudiger te verifiëren zijn. Daarnaast ontbreekt het bij medewerkers aan kennis aangaande het uitvoeren van SE-processen. Wanneer kennis ontbreekt, is toepassing slecht mogelijk. Om verder te komen in het werken van SE, is scholing op dit onderwerp van belang.

Een volgend onderzoek kan worden uitgevoerd naar de implementatie van SE binnen de afdeling E&W. Zo kan bijvoorbeeld gekeken te worden naar meerdere projecten binnen de afdeling E&W in relatie tot het theoretische SE model, om de generaliseerbaarheid van de resultaten te vergroten.

Daarnaast kan een cross-case onderzoek worden uitgevoerd naar stand van zaken van SE binnen BAM. Afdelingen met naar verwachting meer ervaring op het gebied van SE, zoals wegen of rail, kunnen dan worden meegenomen in het onderzoek. Zo kan kennis en ervaring worden gedeeld.

Naast het delen van kennis en ervaring binnen het bedrijf, kan ook onderzoek worden gedaan naar de implementatie van SE bij andere organisaties. Dit zouden bijvoorbeeld Rijkswaterstaat, Provincies, Gemeenten, Waterschappen of Nutsbedrijven kunnen zijn. Dit zijn belangrijke opdrachtgevers voor de BAM. Waardoor het relevant is om te zien hoe zij SE interpreteren en toepassen.

Tot slot kwam vanuit de aanvullende interviews de behoefte aan een QuickScan naar voren. Op dit moment is de toepasbaarheid van de methode SE nog moeilijk in te schatten bij aanvang van een nieuw project. Met behulp van eigenschappen als projectduur, projectsom, aantal medewerkers, aantal actoren en complexiteit kan een scan worden gemaakt of een project in aanmerking komt voor SE. Op deze wijze kan worden gekeken naar een geschikte invulling van de methode SE binnen de afdeling E&W opdat deze gebruiksvriendelijk kan worden geïmplementeerd.

Bibliografie

- Antea Group. (2016). *Dynamische Contractbeheersing*. Heerenveen: Pagina 23.
- Baarda, D., & de Goede, M. (2017). *Basisboek Methoden en Technieken*. Groningen: Wolters-Noordhoff: Pagina 256.
- Bertelsen, S. (2003). *Complexity- Construction in a new perspective*. Blacksburg, Virginia : Semanticscholar: Pagina 123-128.
- De Graaf, R., Voordijk, H., & Van den Heuvel, L. (2015). *Implementing Systems Engineering in Civil Engineering Consulting Firm: An Evaluation*. Enschede: Wiley Online Library: Pagina 45-50.
- De Graaf, R., Vromen, R., & Boes, H. (2017). *Applying Systems Engineering in the civil engineering industry: An analysis of Systems Engineering projects of a Dutch water board*. Enschede: Taylor & Francis: Pagina 146-156.
- De Munck, M., & Wattjes, D. (2013). *De meest geschikte contractvorm voor een duurzame natuurvriendelijke oever*. Oranjewoud: Slide 4.
- Elm, J. P., & Goldenson, D. R. (2012). *The Business Case for Systems Engineering Study: Results of the Systems Engineering Effectiveness Survey*. Pittsburgh: Carneige Mellon University: Pagina 28.
- Gemeente Haarlem. (2016). *Bestemmingsplan 150 kV leiding Waardepolder- Vijfhuizen*. Haarlem: Gemeente Haarlem: Pagina 1-15.
- Gerard, F. H., Dobry, M., & Jones, M. C. (1994). *Benchmarking the Systems Engineering Process*. San José: Wiley Online Library: Pagina 1.
- Haverford and Bryn Mawr college. (2015). *Science Exposed*. Haverford: Pressbooks: Pagina 86.
- Holmen, E., Pedersen, A.-C., & Torvatn, T. (2005). *Building relationships for technological innovation*. Enschede: Journal of business research: Pagina 1240-1250.
- Honour, E. C. (2004). *Understanding the Value of Systems Engineering*. Pensacola, Florida: Pagina 2 en 12.
- INCOSE. (2006). *Systems Engineering Handbook - A guide for system life cycle processes and activities, version 3*. Pagina 18.
- INCOSE. (2019, April 3). *About Systems Engineering*. Opgehaald van INCOSE.org: <https://www.incose.org/about-systems-engineering/about-systems-engineering>
- INCOSEUK. (2016). www.incoseonline.org.uk. Opgehaald van https://www.incoseonline.org.uk/Documents/zGuides/Z3_Why_invest_in_SE.pdf: Pagina 1-2
- Infrastructure Working Group. (2012). *Guide for the application of systems engineering in large infrastructure projects*. INCOSE: Pagina 12.
- ISO. (2015). *ISO 9001: Quality Management Systems -- Requirements*. Geneve: ISO.
- Johnson, S. (2006). *The Secret of Apollo: Systems Management in American and European Space Programs*. North Baltimore, Maryland, United States of America: John Hopkins University Press: Pagina 48-55.
- Koninklijke BAM Groep nv. (2019, April 25). *BAM Infratechniek*. Opgehaald van BAM plaza: <http://baminfratechniek.bamplaza.com/ModulePages/Company/CompanyDetail.aspx?ID=439&pagina=true>
- Koninklijke BAM Groep nv. (2019, April 25). *Over BAM - Organisatie*. Opgehaald van www.bam.com: <https://www.bam.com/nl/over-bam/organisatie>

- Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector. (2007). *Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector*. Pagina 11-23.
- Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector. (2013). *De Samenhang Centraal*. Pagina 7-9.
- ONRI. (2005). *Posities en rollen van advies- en ingenieursbureaus in een dynamische markt*. Den Haag: Organisatie van advies- en ingenieursbureau: Pagina 6.
- Reddyn. (2016). *Nieuwsbrief Vijfhuizen-Waardepolder*. Pagina 4: TenneT.
- Rijkswaterstaat. (2005). Handreiking Functioneel specificeren. In J. v. Netten. Utrecht: ExpertiseCentrum Opdrachtgeverschap.
- Sage, A. (2000). *Introduction to Systems Engineering*. Georgia, United States of America: John Wiley and Sons Ltd: Pagina 2-3.
- Tweede Kamer der Staten Generaal. (2019, 4 6). *Parlementaire enquête bouwnijverheid (2002-2003)*.
Opgehaald van Parlement.com:
https://www.parlement.com/id/vh8lnhrpmxwh/parlementaire_enquete_bouwnijverheid
- US Department of Defense. (2001). *Systems Engineering Fundamentals*. Fort Belvoir, Virginia, Verenigde Staten: Defense Acquisition University Press: Pagina 3-6 & 31-72.
- Van Dale. (2019, Juni 13). *Van Dale woordenboek online*. Opgehaald van vandale.nl:
<https://www.vandale.nl/gratis-woordenboek/engels-nederlands/vertaling/benchmark#.XQIB1mx7l3c>

Lijst met algemene afkortingen

Hieronder zijn de algemene afkortingen die in het rapport voorkomen uitgeschreven.

Tabel 6: Lijst met algemene afkortingen

Afktoring	Betekenis
AT&T	American Telegraph & Telephone
BAM	Bataafsche Aanneming Maatschappij
Bell Labs	Bell Telephone Laboratories
BVP	Best Value Procurement
BMS	Bedrijfs Management Systeem
CRS	Customer Requirements Specification, KES in Nederlands
D&C	Design & Construct
DBFM	Design, Build, Finance & Maintain
DO	Definitief Ontwerp
E&C	Engineering & Construct
EMVI	Economisch Meest Voordelige Inschrijving
ET	Engineering Technology
E&W	Energie & Water
FBS	Functional Breakdown Structure
GWW-sector	Grond-, Weg- en Waterbouw sector
Infra	Infrastructuur
INCOSE	International Council On Systems Engineering
ISO	International Organization for Standardization
KC	Kwaliteits Criterium
KES	Klant Eisen Specificatie, CRS in Engels
kV	kilo-Volt
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NCOSE	National Council On Systems Engineering
nv	Naamloze Vennootschap
ONRI	Orde van Nederlandse Raadgevende Ingenieurs
OVS	Ontwerpvoorschriften
PMI	ProjectManagement Systeem Infra
PvA	Plan van Aanpak
PvE	Programma van Eisen
RAW	Rationalisatie en Automatisering Grond-, Water- en Wegenbouw
RBS	Requirements Breakdown Structure
SABH	Standaard Administratieve Bepalingen Hoogspanning
SBS	Systems Breakdown Structure
SE	Systems Engineering
SMART	Specifiek, Meetbaar, Acceptabel, Realistisch, Toleranties
STBH	Standaard Technische Bepalingen Hoogspanning
UAV	Uniforme Administratieve Voorwaarden
UAV-gc	Uniforme Administratieve Voorwaarden geïntegreerd contract
UO	Uitvoeringsgereed Ontwerp
UT	Universiteit Twente
V&V plan	Verificatie & Validatie plan
VHZ	Vijfhuizen
VO	Voorlopig Ontwerp
VS	Verenigde Staten
VTW	Verzoek Tot Wijziging

Lijst met Systems Engineering-element afkortingen

Hieronder zijn de afkortingen van de theoretische SE-elementen uitgeschreven.

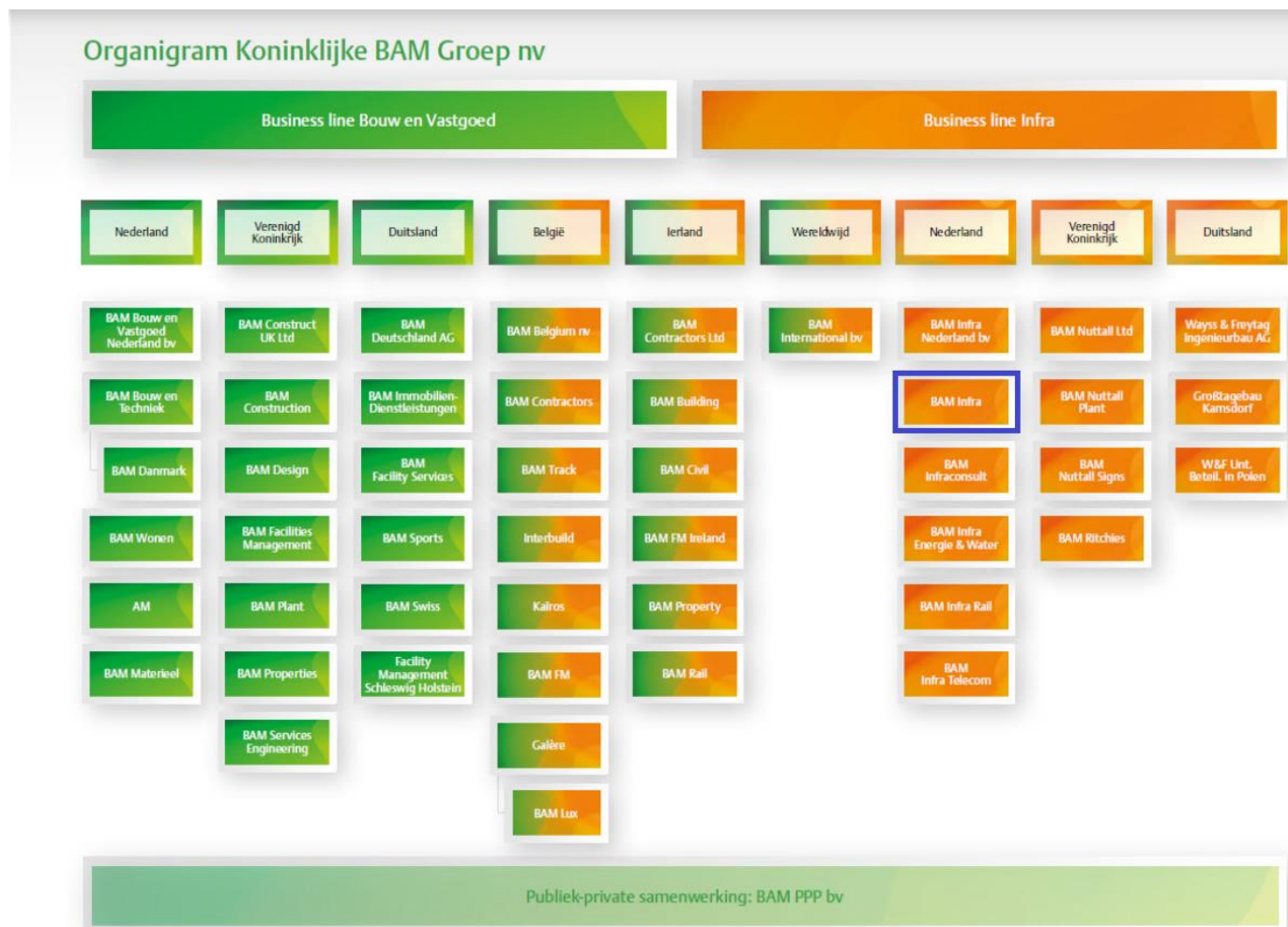
Tabel 7: Lijst met Systems Engineering-element afkortingen

Afkorting	Betekenis
EA	Eisenanalyse
EL	Eisenloop
FAA	Functionele analyse & allocatie
OL	Ontwerploop
OS	Ontwerpsynthese
OVa	Ontwerpvalidatie
OVe	Ontwerpverificatie
PS	Projectstart/input
SpVa	Specificatie Validatie
SpVe	Specificatie Verificatie

Appendices

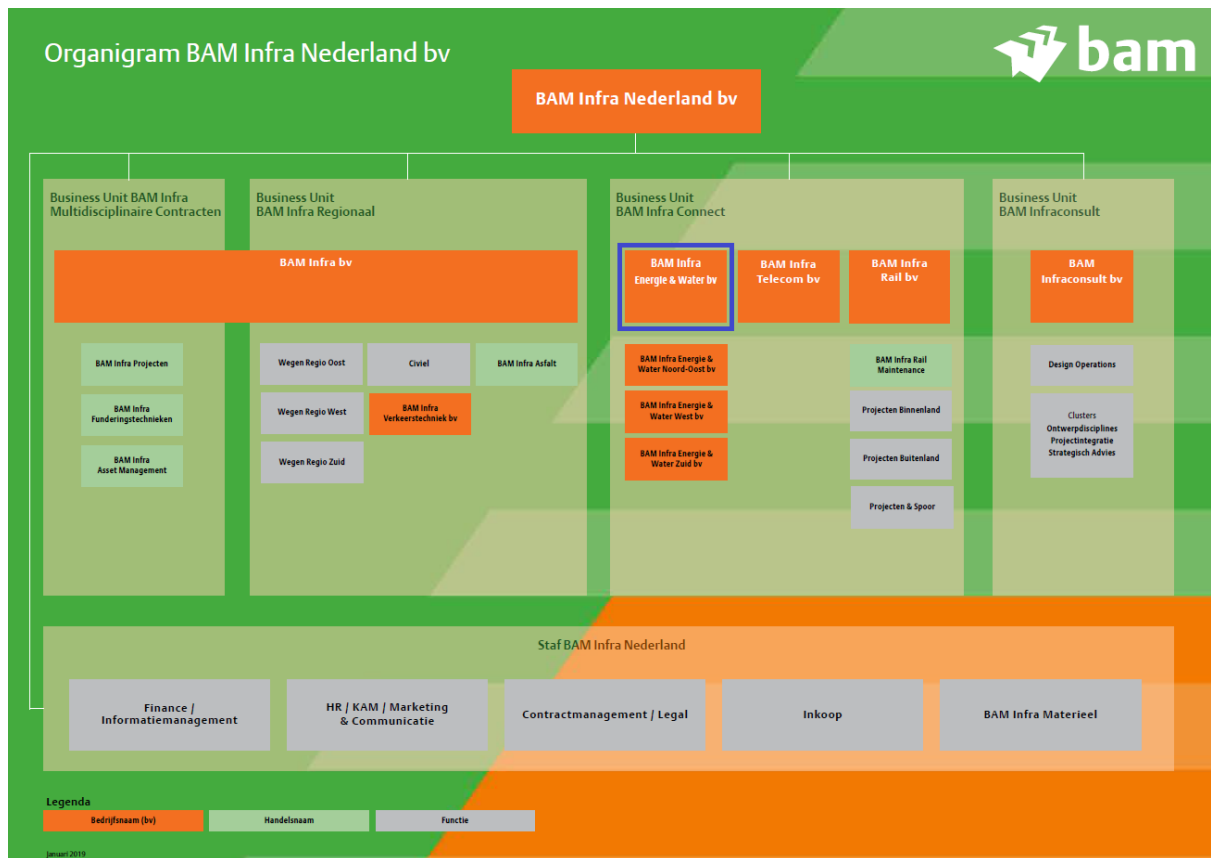
I. Koninklijke BAM Groep nv

De koninklijke BAM Groep nv zoals de naam officieel anno 2019 luidt is een verzameling van werkmaatschappijen. De geschiedenis van de onderneming gaat terug naar 12 mei 1869, de dag waarop de eerste voorloper van de huidige BAM ontspringt als kleine timmerwinkel in Alblasserwaard. Ongeveer 150 jaar later en meerdere fusies verder is de BAM een internationaal opererende organisatie met meer dan 20.000 werknemers. Binnen deze grote organisatie zijn verschillende afdelingen aanwezig met hun eigen specialisatie (Koninklijke BAM Groep nv, 2019). Een overzicht van deze hoofdafdelingen en het land waarin ze opereren is in Figuur 99 weergegeven in een geschematiseerd organigram.



Figuur 9: Organigram van de afdelingen van de Koninklijke BAM Groep nv (Koninklijke BAM Groep nv, 2019)

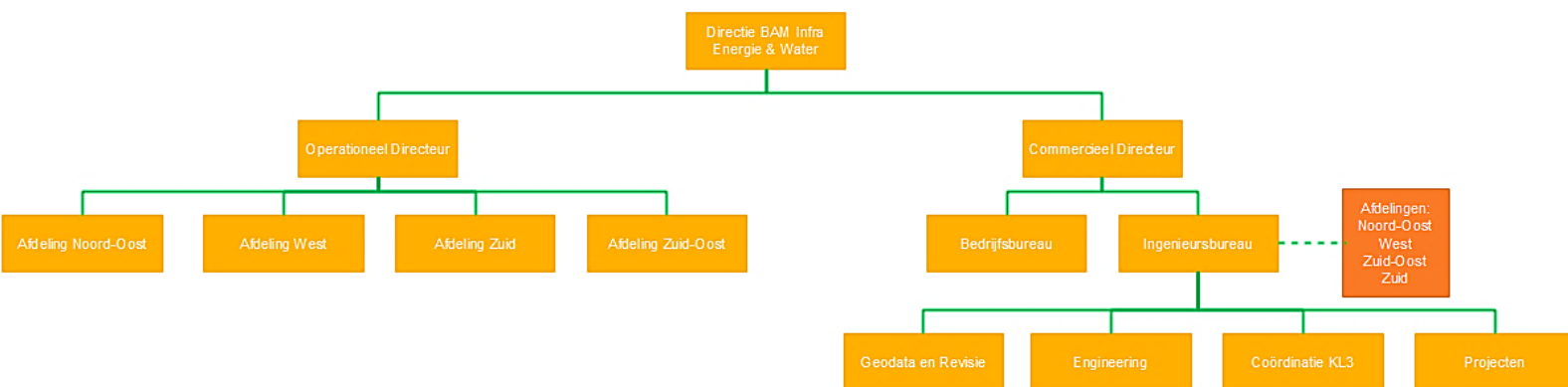
De afdeling waarbinnen dit onderzoek zal worden uitgevoerd bevindt zich in de afdeling BAM Infra Nederland nv uit de grotere Business Line Infra, weergegeven in oranje en met blauw omljnd in Figuur 99. Een overzicht van de afdelingen die zich binnen BAM Infra Nederland bevinden is weergegeven in het organigram van Figuur 1010.



Figuur 10: Organigram van de afdeling BAM Infra Nederland nv (Koninklijke BAM Groep nv, 2019)

De afdeling waar dit onderzoek wordt uitgevoerd is BAM Infra Energie & Water bv, met blauw omljnd in Figuur 10. Dit is onderdeel van de Business Unit BAM Infra Connect. Aangezien de locatie van dit onderzoek Nieuwleusen is, zullen er ook onderdelen van BAM Infra Energie & Water Noord-Oost bv langskomen in het onderzoek.

Een verdere uitwerking van de structuur van BAM Infra Energie & Water bv zal hieronder worden weergegeven in Figuur 1111. Hierin zijn de individuele onderdelen zoals die binnen de organisatie staan uitgewerkt.



Figuur 11: Organigram van de afdeling BAM Infra Energie & Water (Koninklijke BAM Groep nv, 2019)

De afdeling BAM Infra Energie & Water heeft net als de andere onderdelen binnen BAM een eigen focusgebied. BAM Infra Energie & Water houdt zich bezig met het realiseren van infrastructuur voor het duurzaam opslaan en transporteren van water en energie. Hierbij worden zaken als licht, warmte, gas, elektriciteit en water van de bron tot de eindgebruiker gebracht. De afdeling houdt zich bezig met het gehele proces van de aanleg van deze infrastructuur. Dit loopt van de opdrachtverving tot en met de uitvoering en de nazorg van het gehele project. Binnen BAM Infra Energie & Water bevinden zich ook de regionale vestigingen (Noord-Oost, West, Zuid-Oost en Zuid) die zich richten op regionale projecten bij regionale klanten (Koninklijke BAM Groep nv, 2019). Bij grotere, landelijke projecten worden de krachten van de regiovestigingen gebundeld. Complexe en risicovolle projecten, vaak spoor gerelateerd, worden centraal aangestuurd vanuit de landelijke afdeling Projecten & Spoor. Dit onderdeel ondersteunt meer afdelingen bij het verwerven en uitvoeren van multidisciplinaire en integrale projecten (Koninklijke BAM Groep nv, 2019).

De locatie waar dit onderzoek is uitgevoerd is het kantoor in Nieuwleusen, nabij Zwolle. In deze vestiging bevinden zich meerdere afdelingen vanuit meerdere branches binnen de GWW-sector. Binnen de locatie Nieuwleusen zijn er afdelingen met ervaring omtrent SE, zoals de afdeling die zich bezighoudt met de aanleg van wegen en afdelingen die minder tot geen ervaring hebben met SE: De afdeling Energie & Water. Dit onderzoek geeft inzicht in de implementatie van SE binnen de afdeling Energie & Water van BAM in Nieuwleusen.

II. Overzicht Benchmarkelementen

No.	Systems Engineering Element	Omschrijving van de taak van het Systems Engineering element	No.	Kenmerkende producten	
				No.	Kenmerkende producten
	0 Project Start & Input	Definiëren van de project scope.	0.1	Project doel	
			0.2	Project scope	
			0.3	Actoranalyse	
			0.4	Client Eisen Specificatie, ofwel CRS (Customer Requirements Specification)	
1 Eisenanalyse		Analyseren en vastleggen van eisen die omgezet worden naar meetbare omschrijvingen. Het hiërarchisch structureren van eisen. Het opstellen van het V&V plan	1.1	Eisenoverzicht	
2 Functionele Analyse en Allocatie		Vaststellen van de functies binnen het systeem en het vastleggen van deze functies in een FBS. Alloceren van deze functies aan oplossingsvrije objecten in een SBS	1.2	Verificatie & Validatie plan (V&V plan)	
			2.1	Functional Breakdown Structure (FBS)	
3 Ontwerpsynthese		Het synthetiseren van meerdere ontwerpen en het selecteren van het meest geschikte ontwerp voor de cliënt. Het opstellen van procedures die bevestigen dat het ontwerp en de gerealiseerde systemen voldoen aan de gestelde eisen.	2.2	System Breakdown Structure (SBS)	
			3.1	Design trade-off matrix	
			3.2	V&V procedures voor de ontwerpfase	
4 Eisenloop		Het updaten van de eisen die gebaseerd zijn op de nieuwe input van de functies zoals opgesteld in de FBS	3.3	V&V procedures voor de realisatiefase	
5 Ontwerploop		Het updaten van de FBS en de SBS gebaseerd op de nieuwe input uit het gekozen ontwerp		Geen kenmerkende Systems Engineering producten	
6 Specificatie/ Verificatie		Controleren of de afgeleide eisen, functies en objecten gerelateerd zijn aan eisen, functies en objecten op een hoger level	6.1	V&V report - specificatie verificatie	
7 Specificatie/ Validatie		Controleren of de afgeleide specificaties overeenkomen met de ideeën, belangen en eisen van de cliënt en additionele actoren	7.1	V&V report - specificatie validatie	
8 Ontwerpverificatie		Aantonen dat het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen	8.1	V&V report - ontwerpverificatie	
9 Ontwerpvalidatie		Nagaan of het ontwerp voldoet aan de belangen, behoeften en de verwachtingen van de cliënt en de additionele actoren.	9.1	V&V report - ontwerpvalidatie	

Figuur 12: Overzicht van de kenmerkende producten overeenkomstig de theoretische SE-processen zoals opgenomen in de Benchmarktool

Bij elk van de genoemde elementen behoren kenmerkende producten of processen die in een project moeten worden uitgevoerd om te voldoen aan de methode SE. Deze elementen zijn hieronder omschreven. Zo is duidelijk waarop het project dat in de benchmark tool wordt geanalyseerd punten voor kan krijgen.

Project Start & Input

In dit initiële element wordt, zoals in Figuur 12 in Appendix II is beschreven de input van het project weergegeven. Naast het identificeren van een projectdoel en een projectscope wordt er gekeken naar de SE elementen. Dit zijn de actoranalyse en de Customer Requirements Specification (CRS) of Klant Eisen Specificatie (KES) in het Nederlands. Binnen de actoranalyse wordt gekeken of de eisen en wensen van de geïdentificeerde actoren op een correcte wijze zijn vastgelegd en of de actoren naar macht en betrokkenheid zijn geïnventariseerd. In de CRS worden de eisen gestructureerd en gedocumenteerd. Naast deze objectieve score van gedocumenteerde projectelementen worden er aan de projectmedewerkers aanvullende vragen gesteld over de kwaliteit van de bovengenoemde zaken zoals de actorenanalyse en de CRS.

Kernelementen

1. Eisenanalyse

In element 1 word de Eisenanalyse gescoord. Er wordt onder andere gekeken of de eisen volledig zijn, juist zijn geformuleerd en juist zijn gestructureerd. De eisen moeten voldoen aan de SMART-criteria (Rijkswaterstaat, 2005). Dit acroniem staat voor:

- Specifiek, helder, ondubbelzinnig, nauwkeurig, volledig;
- Meerbaar, verifieerbaar;
- Aceptabel voor de klant en opdrachtgever;
- Realistisch, haalbaar;
- Toleranties dienen aangegeven te zijn.

Naast het scoren van de eisen dient er overeenkomstig het theoretische SE model ook een Verificatie & Validatie plan (V&V plan) gemaakt worden. Dit V&V plan zorgt, wanneer deze volledig is uitgevoerd, voor een aantal zaken. Zo moet worden vastgelegd op welke wijze er binnen het project wordt omgegaan met het verifiëren. Verifiëren is bevestiging door middel van onderzoek en verstrekking van objectief bewijs dat aan de gespecificeerde eisen is voldaan. En moet worden vastgelegd op welke wijze dient te worden gevalideerd. Valideren is de bevestiging middels objectieve bewijsvoering en daadwerkelijke beleving en gebruik van het gerealiseerde product voldoet aan de eisen en behoeften van de klant. De strategie om deze stappen uit te voeren moeten worden bepaald en vastgelegd. Ook welke partijen verantwoordelijk zijn voor het V&V plan en de eventuele afwijkingen van dit plan moeten worden vastgelegd. Hierop worden ook aanvullingen gegeven van de subjectieve bevindingen van de ondervraagde projectmedewerkers door vragen te beantwoorden over de eisen en het V&V plan.

2. Functionele Analyse & Allocatie

Binnen de Functionele Analyse & Allocatie wordt gekeken naar de SE onderdelen FBS en SBS. Om te voldoen aan de FBS moet er binnen het project een onderverdeling zijn gemaakt van de functies die het project moet vervullen. Dit moet overeenkomstig de regel werkwoord + zelfstandig naamwoord. Het werkwoord in de functie geeft aan wat het moet doen en het zelfstandig naamwoord geeft aan waarop het werkwoord slaat. Een voorbeeld van een correcte functie van het systeem “vrachtwagen” zou kunnen zijn:

“Bescherm bestuurder”

Na scoren van de mate waarin de FBS is uitgevoerd, wordt er gekeken naar de SBS. In deze stap worden volgens de theorie de gestructureerde en correct opgestelde functies gekoppeld aan oplossingsvrije objecten. Dat betekend dat er een object wordt gekozen dat de opgestelde functie kan vervullen zonder dat het object een te specifieke oplossing wordt. Een oplossingsvrij object voor de voorbeeld functie “Bescherm bestuurder” zou een aanrijdingdetectiesysteem een oplossingsvrij object kunnen zijn. Er is zo wel een object gekoppeld

aan de functie, maar de exacte invulling van dit object is nog vrij. In de benchmark wordt gecontroleerd om men zich hier wel aan heeft gehouden. Ook zaken als terugkoppeling naar het V&V plan worden bekeken. Wederom wordt de perceptie van de projectmedewerkers omtrent deze stappen vastgelegd binnen deze tool.

3. Ontwerpsynthese

In de ontwerpsynthese wordt er allereerst een aantal ontwerpen opgesteld. Aan de hand van de overeenkomsten tussen het ontwerp en de daaraan gestelde eisen wordt er uiteindelijk een definitief ontwerp gekozen. De keuze waarom dit ontwerp beter voldoet aan de eisen dan de andere ontwerpen moet worden verantwoord en vastgelegd in bijvoorbeeld een keuzematrix of overeenkomen met de stappen zoals deze zijn opgesteld in het V&V plan. Ook in de ontwerpsynthese wordt de algemene mening van de projectmedewerkers omtrent het ontwerpproces gescoord.

Feedback elementen

4. Eisenloop

Voor de eisenloop zijn (nog) geen specifieke SE producten of SE-processen die dienen te worden uitgevoerd. Er wordt voor de benchmark alleen gekeken naar de terugkoppeling tussen de FAA en de Eisenanalyse en of deze koppeling op een regelmatige basis verloopt. De mening van de projectmedewerkers wordt ondanks het feit dat er geen specifieke SE-processen bestaan voor dit element toch vastgelegd binnen de benchmarktool.

5. Ontwerploop

Net als de eisenloop heeft de ontwerploop geen specifieke SE producten of SE-processen. Er wordt voor de analyse gekeken of de FAA en de ontwerpsynthese wel volledig is gemaakt. Er wordt hiernaast gecontroleerd of het ontwerp wel overeenkomt met de opgestelde functies en de objecten die gealloceerd zijn aan deze functies. In de loop kunnen eventuele aanpassingen worden doorgevoerd. Er wordt voor de benchmark tool gekeken of deze stappen zijn uitgevoerd. Ook de mening van de projectmedewerkers omtrent de kwaliteit van deze processen wordt gescoord door middel van de interviewvragen.

6. Specificatie Verificatie

Overeenkomstig de theorie omtrent SE moet in de Specificatie Verificatie stap een omschrijving zijn opgesteld in het V&V plan. Hierin moet omschreven staan of voor elke fase een juiste relatie bestaat tussen de functies, objecten en eisen die in detail zijn uitgewerkt. De benchmarktool scoort of deze verificatie stappen hebben plaatsgevonden en of deze correct zijn gedocumenteerd. Wederom wordt de projectmedewerkers mening gevraagd naar de kwaliteit van deze specificatie verificatie in de vorm van interviewvragen.

7. Specificatie Validatie

In dit SE element worden de belangen, wensen en eisen van de opdrachtgever en additionele actoren geanalyseerd op de keuzes die zijn gemaakt in het project. De gekozen functies, objecten en eisen worden teruggekoppeld naar de opdrachtgever om te scoren of deze voldoen. Een omschrijving van de manier waarop deze validatie gebeurd moet zijn vastgelegd in het V&V plan. Er worden dan ook punten toegekend in de benchmarktool voor de correcte documentatie van de validatiestappen en de manier waarop de terugkoppeling van de opdrachtgever en andere actoren is opgenomen in het project. De projectmedewerkers wordt gevraagd of ze de manier van documenteren en het valideren vonden verlopen tijdens het project.

8. Ontwerpverificatie

De ontwerpverificatie beslaat het theoretische SE proces waarin het ontwerp in elke fase van het project gecontroleerd wordt. De controle wordt uitgevoerd ten opzichte van de gestelde eisen, functies en objecten. Er moet een procedure zijn vastgelegd in het V&V plan op welke manier en wanneer deze verificatie plaats heeft. Er wordt binnen de benchmark tool gecontroleerd of deze afspraken wel zijn nagekomen en voldoende zijn

gedocumenteerd. Meningen van projectmedewerkers omtrent deze stappen worden via de interviewvragen vastgelegd.

9. Ontwerpvalidatie

De ontwerpvalidatie is de laatste stap. Er wordt in de benchmark tool gekeken of er is vastgelegd op welke wijze en wanneer de validatie is uitgevoerd en of dit is opgenomen in het V&V rapport. Er dient namelijk volgens de theoretische methode SE een juiste communicatie te zijn geweest met de betrokken actoren aangaande de verhouding tussen het ontwerp en de wensen, eisen en belangen van deze actoren. De wijze van valideren is ook een onderdeel waarnaar gevraagd wordt bij de mensen die betrokken zijn geweest bij het project.

Output

De output zoals omschreven in het theoretisch raamwerk komt op een andere manier terug in de benchmarktool. In de benchmarktool wordt uitgegaan van een afgerond project. Dat betekent dat de output gelijk staat aan de uiteindelijke realisatie in plaats van de input voor een ander detailniveau. De benchmarktool gaat over van de engineeringfase naar de realisatiefase. Binnen dit onderzoek is, zoals eerder is omschreven, de keuze gemaakt om te focussen op de engineeringfase en niet op latere fases zoals de realisatiefases. Er wordt dus niet verder ingegaan op de output van de benchmark.

III. Vragenprotocol voor de aanvullende interviews

Standaard interview format voor werknemers binnen BAM of gerelateerd aan BAM. Het interview behandelt vragen omtrent Systems Engineering. De ondervraagde bespreekt onder andere zijn/haar ervaring met het gebruik van SE, zijn/haar mening ten opzichte van SE en wat zij/hij als toekomst ziet in SE.

Kennis en Relatie tot SE

Kent u het SE proces?

Kent u de basis principes van de theorie omtrent SE?

Kent u de praktische kant van het SE proces?

Wat is uw relatie tot het SE proces?

Ervaring met SE

Heeft u reeds met SE gewerkt?

Welke processen van het SE proces vallen binnen uw takenpakket?

Komt u vaak projecten met SE tegen?

Heeft u ook les/opleiding/cursus gehad omtrent het werken met SE?

Bekende processen binnen SE

Kunt u de projecten die u met SE heeft uitgevoerd kort toelichten?

Projecten met en zonder SE

Hoe vaak komt SE in projecten voor?

Wat is de verhouding SE t.o.v. niet SE-gerelateerde projecten?

Generieke mening over SE

Wat is uw persoonlijke mening van SE?

Ziet u voordelen van de implementatie van SE t.o.v. de huidige manier van werken?

Toekomstbeeld voor SE

Hoe ziet u de toekomst van SE in?

Zal SE verder binnen uw werkgebied worden toegepast?

Ziet u uw eigen werkveld ook veranderen naar SE?

Hoeveel jaar schat u in dat het duurt voordat SE volledig operationeel is binnen uw vakgebied?

IV. Veldobservatie

8 Mei: Aanwijzing van Persoon 2 voor de toegang tot projectdocumenten VHZ met uitleg over interpretatie

10 Mei: Toegang tot G-schijf voor aanvullende documenten van project VHZ door Respondent 1 met uitleg over interpretatie

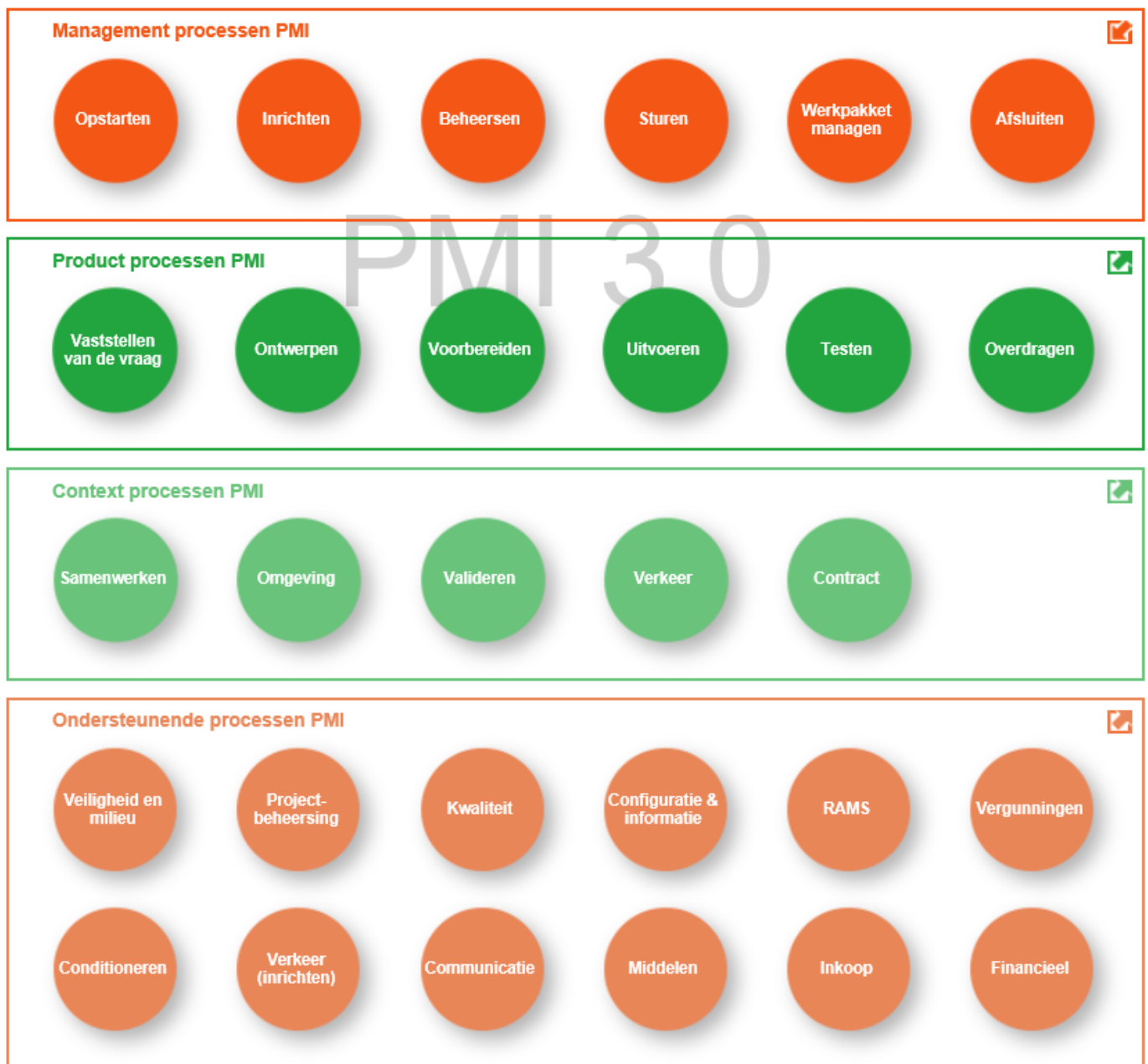
18 Mei: Aanwezigheid bij bouwoverleg project Vechtdal met aanwijzingen over validatie en verificatie.

3 juni: Aanwijzing Persoon 5 op de intranettoegang voor procesmanagementsystemen en een uitleg over de opbouw van deze systemen

12 juni: Toegang tot intern document omtrent Validatie en Verificatie.

15 juni: Hulp projectmedewerker VHZ met de interpretatie van projectdocumenten

V. Overzicht PMI



Figuur 13: Overzicht van de PMI binnen de Koninklijke BAM Groep nv

VI. Project Vijfhuizen

Het plangebied van project VHZ is weergegeven in Figuur 14 en de onderdelen van het project zijn respectievelijk:

1. Realiseren 150kV-kunststofkabelverbinding van Vijfhuizen naar Waardepolder. **4.245 meter tracé.**
2. Verleggen en vervangen van 150kV-oliedrukkabelverbinding naar nieuw tracé. **425 meter tracé**
3. Realiseren 150kV-kunststofkabelverbindingen tussen transformatoren en hoogspanningsinstallaties. **12.540 meter kabel**
4. Realiseren 3 circuits vanaf de GIS tot aan de buitenzijde van het stationsterrein. **1.200 meter tracé**

Deze 4 projectonderdelen zijn weergegeven in de kaart hieronder:



Figuur 14: Tracé van het gehele project VHZ tussen station Waardepolder en station Vijfhuizen (Reddyn, 2016)

VII. Uitwerking aanvullende interviews

Hieronder zijn de aantekeningen van de interviews weergegeven. Per interview is aangegeven met welke persoon deze is gehouden, wanneer het interviews is gehouden en op welke locatie.

Aantekeningen interview 1

Locatie: Nieuwleusen

Datum: 18 April 2019

Dit interview omtrent de implementatie van SE binnen de afdeling van E&W bij de locatie Nieuwleusen is gehouden met Persoon 1. Persoon 1 is werkzaam als een Projectorganisator & Calculator binnen E&W binnen BAM. De vragen zoals opgesteld in het standaard vragenformulier en eventueel aanvullende vragen zijn gesteld. Korte aantekeningen van dit interview zijn hieronder opgeschreven.

Persoon 1 gaf aan dat SE wel eens voorbij is gekomen, maar dat deze vooral in de grote projecten is toegepast. Grote projecten komen binnen E&W wel voor, maar vaak zijn dit toch kleinere projecten waarbinnen werkzaamheden vaak repeterend zijn (standaardisatie), de eisen van de klant kant en klaar worden aangeleverd, of reeds bekend zijn en dat de klant vaak onwetend is omtrent SE.

Op dit moment wordt er wel gewerkt aan een project in Delfzijl rond station Weiwerd. SE komt hierin terug, waarschijnlijk door de best value procurement (BVP) tendering. Het initiatief om SE te gebruiken in dit project kwam uit BAM zelf. Een trend dat SE verplicht zou worden gesteld door opdrachtgevers ziet Persoon 1 op zich wel gebeuren. Dit zal echter wel nog een jaar of 5 duren en vooral door grote partners als Tennet worden geïnitieerd.

Op dit moment worden SE gerelateerde SE programma's al gebruikt. Vooral Relatics wordt gebruikt in sommige projecten. Relatics wordt dan vooral als "projectbeheersingstool" gebruikt. Zo zijn er in meerdere projecten doelstellingen geverifieerd, maar zijn zaken als actoreisen niet per se via de methode SE binnen Relatics geverifieerd. Een van de redenen hiervoor is het feit dat de manier van het opstellen van de eisen binnen contracten nog niet SMART gebeurt. Opdrachtgevers die zelf niet een methode SE initiëren omschrijven de eisen vaak vaag, of verwijzen naar oudere documenten waarin eisen/richtlijnen zijn opgenomen. In projecten die zijn uitgevoerd in combinatie met partners die wel ervaring hebben binnen SE (ProRail) kwamen deze problemen niet voor. Wel ondervond Persoon 1 dat met het werken binnen Relatics en de methode SE het gemakkelijker was om een geïntegreerd en complex project behapbaar te maken. De verantwoordelijkheden zijn naar eigen zeggen duidelijk weergegeven.

In de toekomstige transitie van de huidige manier van werken naar SE ziet Persoon 1 een aantal zaken als knelpunten. Allereerst is een vakgebied waarin E&W opereert een vrij conservatieve wereld. Er zullen volgens Persoon 1 niet veel initiatieven komen vanuit de opdrachtgevers om een nieuwe methode als SE te normaliseren. Binnen de kabel- en leidingbouwsector heerst het idee "Geen reden voor verandering als iets goed werkt". Persoon 1 ziet dan ook in BAM een leidende rol om SE te integreren. Een ander knelpunt kan de meerwaarde zijn van een methode SE. Persoon 1 ziet zelf daadwerkelijk de meerwaarde voor de grotere projecten, maar betwijfeld of ook de kleinere projecten baad hebben bij SE. Vooral vanwege het feit dat dit gestandaardiseerde projecten zijn en niet echt een groot budget hebben. De verhouding tussen deze grote vs. kleine projecten ligt ongeveer op 20-80 volgens Persoon 1.

Aantekeningen interview 2

Locatie: Nieuwleusen

Datum: 23 April 2019

Dit interview omtrent de implementatie van SE binnen de afdeling van E&W bij de locatie Nieuwleusen is gehouden met persoon 2. Persoon 2 is werkzaam als een Tendermanager binnen afdeling 1. De vragen zoals

opgesteld in het standaard vragen formulier zijn gesteld en daarbij eventueel aanvullende vragen zijn gesteld. Korte aantekeningen van dit interview zijn hieronder opgeschreven.

Persoon 2 gaf aan dat binnen E&W te Nieuwleusen SE, of onderdelen van SE, sporadisch langs komt. De keren dat SE in projecten voorkomt, vaak in de vorm van een verificatie in Relatics, komt in die gevallen niet vanuit de kant van de opdrachtgever. Een voorbeeld dat werd geschetst is het project Vijfhuizen. Dit project met een geïntegreerd contract in de UAV-gc vorm vroeg om een methode om de eisen aantoonbaar te maken. Ondanks opzet om dit met Relatics(SE) te doen, is hier niet voor gekozen. Tijdens latere fases in het project bleek echter dat de ongestructureerde manier zorgde voor significante problemen omtrent de eisenverificatie: Volgens Persoon 2 een gemiste kans.

Er is echter niet alleen binnen de BAM een scepsis ten opzichte van SE. Vooral bij de opdrachtgevers is er een conservatieve houding ten opzichte van verandering. Bij de opdrachtgevers ligt de macht om SE verplicht te stellen maar daar wordt nu, en naar de verwachting van Persoon 2, nog niet aanstalte toe gegeven. Er mist een zekere innovatie bij de opdrachtgevers omtrent nieuwe procesmanagement methodes als SE. In aanvulling hierop zijn er ook binnen de E&W nog geen duidelijke/ bekende werkprocessen/ standaardisaties binnen SE. Momenteel worden veel van de projecten volgens Persoon 2 opgepakt vanuit goed gevoel en de historische kennis om projecten binnen de E&W sector uit te voeren. De mondelinge afspraken kan bij wijze van spreken worden omschreven als een cowboywereld: Een wereld waar alles makkelijk en eenvoudig wordt opgelost, zonder dat via een vaste structuur, als bijvoorbeeld SE, vast te leggen.

Aangezien een deel van de projecten naar inzien van Persoon 2 te klein of te eenvoudig is, zal SE naar alle waarschijnlijkheid niet voor alle projecten binnen E&W gebruikt gaan worden. Persoon 2 oppert het idee om een soort “quick-scan” te ontwikkelen om factoren als contractvorm, werknemers, opdrachtgever, projectduur en tendersom kort te kunnen analyseren. Met behulp van deze korte analyse kan snel inzicht worden gegeven of SE de moeite waard is om in dat specifieke project mee te nemen. Een mogelijke scheiding die hierin zou kunnen ontstaan is die tussen de kleinere regionale projecten en de grotere landelijke projecten. Daarnaast zou volgens Persoon 2 ook rekening moeten worden gehouden met het feit dat de transitie van de huidige manier van werken naar SE inzet van E&W als organisatie vergt. Er zal moeite moeten worden gestoken in de vorm van geld en tijd om iedereen mee te nemen in het SE integratie proces. Men moet leren werken met SE en de dingen die daarbij komen kijken. Er heerst namelijk wel een cultuur binnen E&W volgens Persoon 2, die zich conservatief opstelt ten opzichte van methodes als SE. Men vindt dit soort nieuwe methodes eng/spannend en wil toch, ondanks de genoemde voordelen, vasthouden aan de huidige manier van werken. Hierin zijn de methodes bekend en voelt men zich vertrouwd.

In de transitie naar SE zal volgens Persoon 2 vooral de innovatie vanuit BAM moeten komen. De belangrijkste factoren die invloed hebben op het integratieproces van de methode SE zijn volgens Persoon 2:

- Het aantal grote/landelijke projecten dat de afdeling E&W binnenhaalt
- De opdrachtgevers
- Het eigen initiatief vanuit de BAM

Deze factoren in ogenschouw nemend denkt Persoon 2 dat met de juiste instelling op punt 3, het enige waar BAM direct invloed op heeft, de transitie van SE nog 2 jaar nodig zal hebben.

Aantekeningen interview 3

Locatie: Nieuwleusen

Datum: 29 April 2019

Dit interview omtrent de implementatie en vooral de werking van SE binnen BAM is gehouden met Persoon 2. Dit interview is een aanvullend interview op interview 2 gezien het feit dat binnen de gestelde tijd van 30 minuten nog niet alle zaken waren besproken. Hiernaast had Persoon 2 ook aanvullende zaken op de huidige manier van werken binnen BAM in relatie tot SE die van toevoeging kunnen zijn voor de voortgang van het

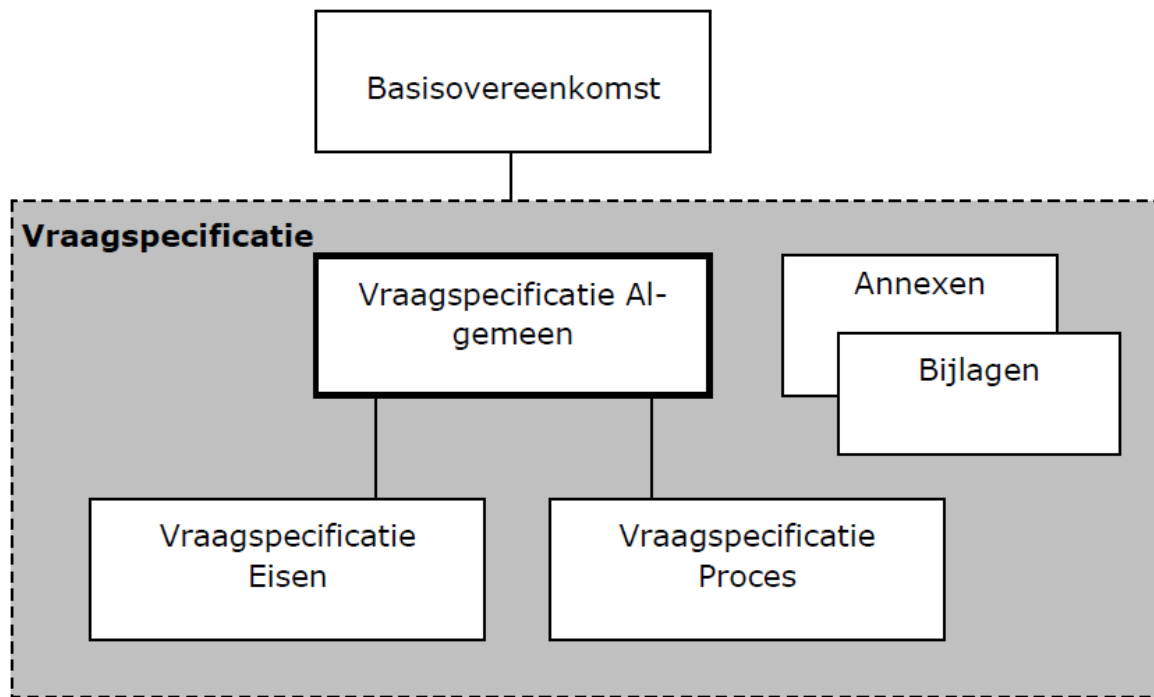
onderzoek. Er zijn dus geen aanvullende vragen genoteerd. Korte aantekeningen van dit additionele interview zijn hieronder opgeschreven.

Persoon 2 gaf aan, in aanvulling op het vorige interview, dat het eerste project waarbinnen E&W de vrijheid heeft gekregen van de opdrachtgever om SE of elementen van SE op te nemen in het project het project voor de GasUnie Groningen is. Dit eigen initiatief of met onder andere Relatics te werken is ook in de tenderfase aangestuurd. Voor dit project wordt gebruik gemaakt van Relatics als online database. Voor het gebruik van Relatics, een onderdeel dat als vereist wordt verstaan om projecten met SE uit te voeren, is hulp nodig van het Ingenieursbureau van de BAM (Infraconsult). System Engineers vanuit deze locatie helpen een afdeling als E&W bij het opzetten van het project in Relatics. Persoon 2 gaf aan dat ondanks zijn eigen ervaring met SE en de expertise vanuit Infraconsult nog wel moeilijkheden optraden omtrent het werken in Relatics voor medewerkers die er daadwerkelijk mee aan de slag moeten.

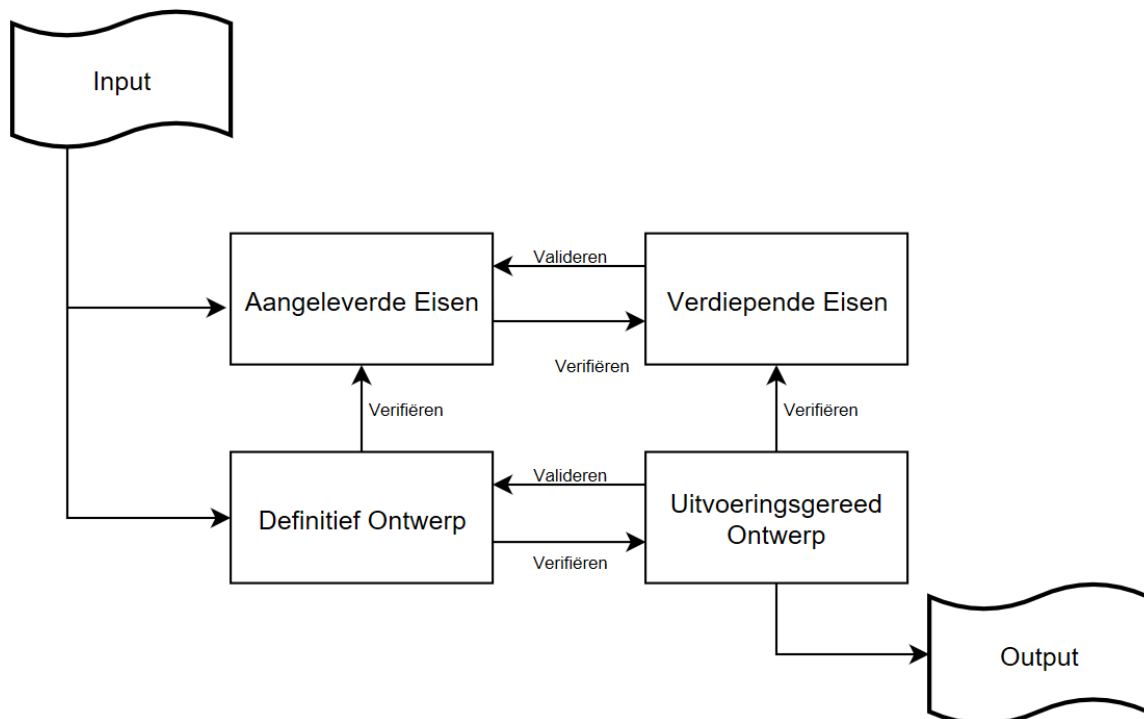
Om in de toekomst ook andere projecten met SE uit te voeren dienen er volgens Persoon 2 een aantal zaken te worden geadresseerd. Allereerst is er het veranderen van het type contracten van UAV naar UAV-gc. In de oudere variant van UAV legt alleen de verantwoordelijkheid en daarmee de risico's van de uitvoeringsfase bij de opdrachtnemer neer. In de nieuwe geïntegreerde contractvorm, UAV-gc, worden meer onderdelen zoals het ontwerp, de uitvoering en misschien zelfs het onderhoud bij de opdrachtnemers neergelegd. Binnen Energie & Water is er volgens Persoon 2 nog veel achterdocht bij de opdrachtgevers in de geïntegreerde contractvorm. Hiernaast heerst volgens Persoon 2 ook een zekere hooghartigheid binnen de opdrachtgevers dat conventionele methodes beter werken dan nieuwe methodes. Mede hierdoor worden zaken zoals eisen op een ingewikkelde manier opgenomen in de contracten. Zo blijft er volgens Persoon 2 weinig ruimte over voor eigen innovatie voor de opdrachtnemer zoals de BAM. Nu worden zelfs in contracten die UAV-gc zijn aangemerkt nog te ver doorgegaan in de specificatie van de eisen, of is er juist een warrig stuk tekst waaruit de eisen maar moeilijk te filteren zijn. Persoon 2 zou liever zien dat er meer ruimte komt voor de innovatie en expertise van de opdrachtnemer om zelf eisen te specificeren. Er zouden dus vaak minder eisen of minder specifieke eisen in het contract moeten worden opgenomen. Een goed voorbeeld hiervoor zou de manier van het opstellen van eisen uit Rijkswaterstaat zijn.

Ook dient er volgens Persoon 2 meer aandacht te worden besteed aan de communicatie tussen medewerkers binnen BAM onderling en van de BAM naar de opdrachtgever toe om ervoor te zorgen dat de ruimte en innovatie die aan de opdrachtnemer gegeven wordt wel tot de door de klant gewenste resultaten leidt.

Hiernaast zijn er door Persoon 2 nog een aantal schematische weergaven geven van de huidige manier van werken ten opzichte van SE en van de inrichting van Relatics binnen het project van de GasUnie Groningen.



De schematische weergave van de huidige manier van werken werd door Persoon 2 als volgt geschematiseerd:



Aantekeningen interview 4

Locatie: Zwolle

Datum: 1 Mei 2019

Dit interview omtrent de implementatie van SE binnen de afdeling E&W is uitgevoerd te Zwolle. Persoon 3 is hier naast BAM onder andere werkzaam bij projecten met Enexis. Persoon 3 is werkzaam als Projectleider voor de afdeling E&W binnen BAM. De vragen zoals opgesteld in het standaardformulier zijn gesteld en eventueel aanvullende vragen zijn gesteld. Korte aantekeningen van dit interview zijn hieronder opgeschreven.

Persoon 3 gaf aan dat SE, in de vorm van Relatics wel voorkomt binnen het werkgebied van E&W. De afdeling E&W zit hier dan vaak wel in als een onderdeel van een groter project. Zo gaf Persoon 3 als voorbeeld het project omtrent de renovatie van een AZC in Ter Apel. Hierin was E&W onderdeel van dit grotere project met de andere onderdelen van BAM zoals Woningbouw, Civiel, Wegen en Techniek. Dit was voor Persoon 3 de eerste keer dat er met SE werd gewerkt in een project. De reden voor de keuze voor SE lag volgens Persoon 3 vooral aan het feit dat dit project veel eisen (10.000 +) had. Relatics biedt volgens Persoon 3 hierin een goede tool om overzicht te houden in deze complexiteit aan eisen. Ook de zogenoemde “Eisen Swap” : Het verdelen van eisen in afdelingen en het voldoen aan eisen per verantwoording had volgens Persoon 3 een positief effect op de voortgang en het verloop van het project.

Persoon 3 gaf aan dat in de projecten waarin momenteel vanuit de positie van Persoon 3 gewerkt wordt vaak gebruik wordt gemaakt een functioneel ontwerp. Dit functionele ontwerp, bijvoorbeeld een connectie tussen een energiestation en een nieuw aan te leggen windmolen park geeft BAM als aannemer de opdracht om plek A en B te verbinden en de energie van punt A naar punt B te vervoeren. Hierop zijn wel wat wetten/regels opgenomen omtrent de route die men mag volgen. Het functioneel ontwerp dient hierin wel als harde basis. Dit is door de opdrachtgever zo aangeleverd dat het niet anders kan en zelfs mag dan dit functionele ontwerp. De eisen variëren hierin per project van hard tot vrij opgesteld. Wel gaf Persoon 3 aan dat in een transitie naar SE er problemen zouden kunnen ontstaan in de manier waarop momenteel de eisen zijn vastgelegd. Deze staan altijd in warrige tekst en zijn hieruit moeilijk te destilleren.

Wel wordt door Persoon 3 aangegeven dat bij opdrachtgevers zoals Tennet er wel een wil is om nieuwe innovatie omtrent de manier van werken, zoals bijvoorbeeld SE, in te voeren. Er is hier dan volgens Persoon 3 wel een basis nodig van goed vertrouwen ten opzichte van het bevoegde gezag en de percee-eigenaren die het meeste last hebben van de projecten. SE dient dan in alle belangen overzicht te houden. Als men vanuit BAM dan consequent te werk zou gaan met de methode SE en daarmee het volledig uitvoeren van het werk in Relatics dan zou Persoon 3 hier positief tegenover staan.

Persoon 3 ziet in SE wel een methode die alleen op de grotere/complexere/geïntegreerde projecten moet worden toegepast. Factoren die hierin bepalend zijn, zijn Tijd, Mensen(werknemers), Kosten en Tendersom. Verder voorziet Persoon 3 ook problemen met andere partijen in de E&W sector. Vaak willen volgens Persoon 3 mensen uit de opdrachtgever niet mee in nieuwe methodes als SE. Ze vinden tools als Relatics “spannend” en ervaren dit momenteel nog als een stap te ver. Persoon 3 is ook werkzaam geweest in de wegensector en omschrijft de huidige stand van zaken in de branche E&W als 20 jaar achterlopend op innovatie. Er is hier dus nog een slag te slaan.

Ondanks het feit dat er binnen E&W ook veel kleinere projecten zijn die vaak op repetitieve basis werken zou Persoon 3 bepleiten dat er altijd met de methode SE moet worden gewerkt. Dit ligt volgens Persoon 3 aan het feit dat men binnen E&W steeds meer te maken krijgt met “Roerige projecten” waarbinnen omwonenden en andere actoren meer invloed krijgen. Dit in combinatie met de complexer wordende wereld en de integratie van meerdere disciplines binnen de projecten maakt het gebruik van de methode SE een must. Vooral voor de aanvullende eisen die later in het project langskomen zijn een factor om SE te gebruiken omdat Relatics hierin goed overzicht bewaart.

Gezien de weerstand die er volgens Persoon 3 nog heerst binnen de E&W sector omtrent SE zal het volgens Persoon 3 nog 10 jaar duren voordat SE volledig geïntegreerd is.

Aantekeningen interview 5

Locatie: Nieuwleusen

Datum: 7 Mei 2019

Dit interview omtrent de implementatie van SE binnen de afdeling E&W bij de locatie Nieuwleusen is gehouden met Persoon 4. Persoon 4 is werkzaam als Projectleider/teammanager in de energievoorziening (ook binnen Rail). De vragen zoals opgesteld in het standaard vragen formulier zijn gesteld en daarbij eventueel aanvullende vragen zijn gesteld. Korte aantekeningen van dit interview zijn hieronder opgeschreven.

Persoon 4 gaf aan dat SE, of onderdelen van SE zoals Relatics, al wel binnen de sector toegepast wordt. Dit is dan vaak in de geïntegreerde contractvorm UAV-gc en in combinatie met ProRail. Al moet daar volgens Persoon 4 wel de kanttekening bij worden geplaatst dat het volgens de contracten wel SE is, maar in de realiteit niet conform de SE methodes wordt uitgevoerd. De keren dat SE dan wel echt voor komt in de contracten is in de veelal grootschalige projecten en dan vaak in de vorm van Relatics. Persoon 4 zegt dat zelfs bij afdelingen als ProRail nog een slag is te slaan in de toepassing van SE. Ze beweren verder te zijn dan dat het daadwerkelijk in de praktijk werkt.

Verder wordt er door Persoon 4 aangegeven dat er in de huidige projecten vaak nog conflicten zijn tussen de opgestelde eisen en de Ontwerp Voorschriften (OVS). In plaats van SE mogelijk in te passen aangaande de opgestelde eisen wordt er volgens Persoon 4 vaker gekozen om volgens de OVS te werken in plaats van de eisen. De OVS is in veel projecten grotendeels hetzelfde(blijft onveranderd) en vormt daarom een gemakkelijke keuze om als leidend aan te nemen. Wel zorgt werken conform de OVS volgens Persoon 4 tot een beperking van de ontwerpvrijheid binnen de projecten.

Persoon 4 gaf aan dat partners als bijvoorbeeld de Rotterdamse Elektrische Tram (RET) wel beter werken volgens de methode SE dan ProRail. Deze partijen geven meer vrijheid aan de aannemer om zelf initiatief te tonen in het project.

Persoon 4 geeft echter wel aan dat er in het algemeen veel weerstand is ten aanzien van SE (Relatics). Het wordt volgens Persoon 4 vaak als ballast ervaren. Men ziet echter wel de voordelen in van het werken met SE, al zit de weerstand tegen een transitie naar SE volgens Persoon 4 vooral tussen de oren. Ook is het volgens Persoon 4 van belang te benadrukken dat er een verschil is tussen “kantoor” en “buiten”. De bereidheid om over te stappen van de huidige manier van werken naar SE is volgens Persoon 4 veel minder aanwezig bij de buitendienst dan op de kantoren binnen de BAM.

De voordelen van de methode SE komen wel naar voren, maar zijn volgens Persoon 4 nog niet zo overduidelijk dat het mensen motiveert in een snelle transitie naar SE. Er zijn projecten met SE onderdelen goed en slecht verlopen, net zoals een gemixt resultaat bij de conventionele manier van werken. Dit is volgens Persoon 4 ook moeilijk te analyseren vanwege het feit dat ieder project uniek is en zich zo moeilijk laat vergelijken met andere projecten. Er moet volgens Persoon 4 wel worden vermeld dat SE in de projecten aanzette tot helder nadenken en een duidelijke stapvolgorde die hielp bij het overzicht houden binnen het project.

Ook kwam ter sprake dat er wel al enige kennis aanwezig is omtrent SE, maar dat dit zich wel vooral bevindt in de “kantoren”. De ervaring die Persoon 4 heeft met de buitendienst is dat daar een grotere aversie heerst ten opzichte van het werken met de computer. Ook is het daar volgens Persoon 4 moeilijker om de heersende werkmethodes te veranderen.

Hij bepleit dus ook een stimulans in het opleiden van mensen door middel van centrale opleidingen of specifiekere cursussen omtrent SE en het realiseren van een centraal aanspreekpunt voor klachten of vragen.

SE zou volgens Persoon 4 in de toekomst in ieder project voor moeten komen, met uitzondering van de Rationalisatie en Automatisering Grond-, Water- en Wegenbouw Systematiek (RAW-systematiek). De complexiteit en omvang van het project zouden vervolgens moeten uit maken in hoe verre de gehele methode

SE zou moeten worden gebruikt. Er moet een switch komen van de huidige opvatting: Engineering mits...” naar “Systems Engineering tenzij...”.

“ Systems

De uiteindelijke implementatie is volgens Persoon 4 ook vooral afhankelijk of beslissingsbevoegde lagen zoals de directie uiteindelijk instemmen met de keuze om een transitie in gang te zetten naar SE. Er is in het verleden wel eens groen licht gegeven op de implementatie van SE, maar er is verder niet echt meer iets mee gebeurd.

Op de vraag naar de tijd die nodig is om een complete transitie naar SE te volbrengen antwoordde Persoon 4 dat er naar alle waarschijnlijkheid nog 15 jaar nodig zal zijn om SE volledig binnen de afdeling E&W te integreren. Hierin werd door Persoon 4 aangegeven dat SE ook een generatie gebonden methode is: Jongere generaties zullen hier eerder in meegaan dan de oudere generatie die liever vast blijven houden aan de huidige manier van werken.

Aantekeningen interview 6

Locatie: Nieuwleusen

Datum: 16 mei 2019

Dit interview is gehouden omtrent de implementatie van SE binnen de afdeling E&W bij de locatie Nieuwleusen met Persoon 7. Persoon 7 is werkzaam als Projectcoördinator Engineering binnen de afdeling E&W. De vragen zoals opgesteld in het standaard vragenformulier zijn gesteld en daarbij nog eventueel aanvullende vragen. Korte aantekeningen van dit interview zijn hieronder genoteerd.

Persoon 7 gaf aan bekend te zijn met SE, maar er nog niet echt mee te hebben gewerkt. Persoon 7 geeft wel een voorbeeld aan dat er niet met Relatics is gewerkt maar met een aantal elementen van SE. Dit kwam voort uit de klantvraag en prijsvraag in een zogenoemd Solo-contract. Er waren dus bepaalde voorwaardes gesteld. Persoon 7 geeft aan dat SE vooral voor de validatie & verificatie van belang is. Zeker wanneer er vanuit de opdrachtgever gewerkt wordt met technische- en functionele eisen die strikt dienen te worden nageleefd.

Een van de redenen dat er volgens Persoon 7 nog niet echt met SE wordt gewerkt is het gebrek aan vertrouwen vanuit de opdrachtgever naar de opdrachtnemer. Er is in deze verhouding nog een slag te slaan voordat BAM als opdrachtnemer echt de vrijheid krijgt die bij SE vereist is. Ook de verandering van werkwijze binnen de afdeling E&W geeft volgens Persoon 7 wringing. Dit kan een transitie naar SE vermoeilijken. Eveneens is er nog onkunde over SE. Men weet niet precies hoe men de methode moet implementeren.

Persoon 6 geeft wel aan dat er voordelen zijn aan het gebruik van SE. Zo is het benaderen van een project vanuit het systeem een methode om risico's beter uit te sluiten en beheersbaarder te maken.

Voor de transitie naar SE binnen E&W ziet Persoon 7 nog geen initiatief vanuit de markt. Mede door de conventionele manier van werken van de opdrachtgevers waarvoor de afdeling E&W in de meeste gevallen werkt. Er is echter volgens Persoon 7 wel genoeg onderling vertrouwen om deze stap te initiëren. Het is namelijk voor hen toch een grotere stap dan voor een grote partij als BAM.

Zaken die van belang zijn voor een goede transitie naar SE zijn volgens Persoon 7 de volgende. Er moet volgens Persoon 7 een goede wisselwerking komen met Infraconsult. Er is namelijk binnen Infraconsult veel kennis aangaande SE en de implementatie van SE. Dit hoeft niet in de vorm van een cursus, maar in een praktische invulling. Bijvoorbeeld door iemand vanuit Infraconsult bij de eerste projecten met SE te betrekken. Vooral in de elementen en fases van SE waarbij de afdeling E&W nog niet betrokken bij wordt is hulp van Infraconsult van belang. De keuze die voor de projecten op zich dient te worden gemaakt is of ze in aanmerking komen om SE op toe te passen. Zo is volgens Persoon 7 de omvang van het project en het aantal actoren daar belangrijk in. Verder is er, zoals Persoon 7 aangeeft, wel animo binnen E&W om de transitie naar SE in werking te zetten, ondanks dat er ook wringing is.

Persoon 7 geeft aan dat vanuit het standpunt van Persoon 7 de transitie naar SE van start mag gaan. Mits er aandacht wordt besteed aan de ruimte voor kennis en de tijd die het kost. Een gehele transitie naar SE ziet Persoon 7 in 2 tot 4 jaar voltrekken.

Aantekeningen interview 7

Locatie: Nieuwleusen

Datum: 10 mei 2019

Dit interview is gehouden omtrent de implementatie van SE binnen de afdeling E&W bij de locatie Nieuwleusen is gehouden met Persoon 6. Persoon 6 is werkzaam als Projectleider binnen E&W binnen BAM. De vragen zoals opgesteld in het standaard vragenformulier zijn gesteld en daarbij eventueel aanvullende vragen zijn gesteld. Korte aantekeningen van dit interview zijn hieronder opgeschreven.

Persoon 6 geeft aan dat er nog te weinig wordt gewerkt met SE. Het eerste project waarbinnen SE in de vorm van Relatics terug komt is het project Muntendam. Persoon 6 zegt dat het binnen dit project zoeken is om SE toe te passen naar ieders behoeften. Daarnaast mist het in het algemeen nog aan kennis aangaande SE. Persoon 6 geeft aan dat er wel mensen zijn die binnen E&W iets afweten van SE, zoals Persoon 2. Deze mensen moeten volgens Persoon 6 worden betrokken bij de integratie van SE binnen de afdeling E&W, door bijvoorbeeld als kennisbron te fungeren in een interne cursus. Persoon 6 concludeert dat SE nu echt nog te weinig aanwezig is.

Persoon 6 geeft aan dat er in de huidige contracten, vaak UAV, nog te veel risico bij de opdrachtgever ligt, waardoor een partij als BAM pas in de uitvoeringsfase bij het project wordt betrokken. Een contracttransitie naar UAV-gc en een grotere betrokkenheid bij het project in eerdere fases zorgen volgens Persoon 6 dat SE “meer lucht krijgt” en het belang van SE beter tot uiting laten komen.

Ook de belangen van de opdrachtgevers zijn een gewichtig punt in de transitie naar SE. Er is volgens Persoon 6 een groot verschil tussen de opdrachtgevers. Niet alle partijen zien SE op dit moment als een belangrijk punt. Daarom zal er volgens Persoon 6 een goede balans moeten komen in de transitie naar SE. SE zal alleen binnen de grote projecten binnen E&W aan de orde komen en niet alles hoeft daarbinnen in Relatics te worden geplaatst.

In ervaringen van collega's die met SE hebben gewerkt geeft Persoon 6 aan dat SE, in de vorm van Relatics, als voordeel werd gezien door degene die ermee werkten.

Om een goede transitie naar SE te bewerkstelligen is een aantal zaken van belang. Allereerst dient er naar inzicht van Persoon 6 een eerste stap te worden gezet. Deze stap is wel door de werknemers van de afdeling E&W geïnitieerd, maar nog niet door de directie goedgekeurd. De directie heeft wel aangegeven positief tegen over SE te staan. Om SE te laten werken binnen de afdeling E&W geeft Persoon 6 het belang aan van een goed proces voorbereiding. Omdat SE vooral in de opstartfase van belang is, dient er te worden gekeken naar de invulling van de functie SE binnen de afdeling E&W. Ook het opstellen van een Quic-scan om te bepalen welke projecten geschikt zijn voor het gebruik van SE is een van de speerpunten. Daarnaast zijn ook zaken als de vastgelegde methodiek van werken nu nog ingericht op de traditionele werkwijze. Hierin dient volgens Persoon 6 ook een wijziging te worden aangebracht om SE naar standaardmethode om te zetten, in plaats van een eenmalige werkwijze. De algehele transitie naar SE ziet Persoon 6 nog een aantal jaar duren.

VIII. Aanbevelingen

Er is een tweedeling gemaakt in de aanbeveling aan de afdeling E&W binnen de Koninklijke BAM Groep nv. Allereerst is beschreven wat de afdeling in een ideale situatie allemaal zou moeten doen om een transitie naar SE in gang te zetten. Hierna is een aanbeveling gemaakt omtrent de stappen die de afdeling E&W kan nemen gelet op de context en de huidige situatie.

Ideale situatie

Gelet op de resultaten vanuit de benchmark en vanuit de interviews is er nog een slag te slaan binnen de afdeling E&W in de transitie naar SE. Momenteel scoort namelijk geen een van de elementen score boven de 55 % op het gebied van SE. Door middel van dit onderzoek is de eerste stap binnen de organisatie gezet om in kaart te brengen hoe de organisatie er op dit moment voor staat. Het blijkt dat zowel in de kwantitatieve data van project VHZ als in de kwalitatieve data van de interviews nog een significant deel onwetendheid is omtrent SE. Dit is overeenkomstig resultaten uit eerder onderzoek (De Graaf, Voordijk, & Van den Heuvel, 2015) Om het kennispeil binnen de afdeling omhoog te brengen, kan men de volgende aanbevelingen in overweging nemen.

Er zijn zowel binnen BAM als buiten BAM een aantal cursussen beschikbaar op het gebied van SE. Het is van belang mensen bekend te maken met SE. Zo wordt de achterliggende gedachte voor de implementatie van de methode voor een ieder inzichtelijk. Voor de afdeling E&W lijkt het het handigst om de cursus via BAM te regelen. De interne cursus biedt naar alle waarschijnlijkheid beter aansluiting op de processen en werkmethodes zoals deze binnen de BAM worden gehanteerd. Een intern ingehuurd persoon vanuit Infraconsult kan zo op periodieke basis een cursus uitzetten om de basis van de methode SE onder alle medewerkers aan te leren. De cursus dient in principe aan een ieder op de afdeling E&W te worden aangeboden vanwege het allesomvattende karakter van SE. Er dient naast deze algemene cursus ook gewerkt te worden aan specifieke cursussen voor de onderdelen binnen SE waarmee de cursist in zijn/haar werk mee aan de slag gaat. Deze cursussen dienen in principe eenmaal ontwikkeld te worden en moeten vervolgens tot het basispakket behoren tot de verplichte cursussen per werknemer. Daarnaast is het van belang dat er regelmatig aanvullende cursussen op ontwikkelingen op het gebied van SE komen om de afdeling up to date en vooruitstrevend te houden.

In toevoeging op de cursus dient er een gestandaardiseerde manier te worden gebruikt omtrent de aanpak van projecten met SE. In de BMS dient dus gewerkt te worden overeenkomstig de PMI. In deze PMI dient te worden gekeken welke basis templates dienen te worden toegevoegd die aansluiten op de afdeling E&W. Daarnaast dient elk project binnen deze PMI op intranet te worden uitgezet. Zo is er geen keuze tot afwijken van de methode SE binnen de afdeling E&W. Tevens dient Relatics, een van de belangrijkste hulpmiddelen bij het uitvoeren van SE binnen BAM, voor een ieder werkend en beschikbaar te zijn. Veel van deze zaken kunnen worden geregeld via Infraconsult of de interne ICT dienst binnen BAM.

Omdat SE een methode is die alle projectfasen beslaat is het van belang dat deze ook van begin tot eind worden uitgevoerd. Om meer verantwoordelijkheid te nemen dient de afdeling E&W ook aan te sturen op het aannemen van grotere complexe projecten met geïntegreerde contractvormen zoals UAV-gc. In deze contractvormen zijn meer verantwoordelijkheden toegewezen aan de ON. Daarnaast zijn complexere projecten ook meer ingericht op de methode SE. Kleinere projecten waarbinnen het gebruik van SE niet kan of mag, zullen door de afdeling E&W moeten worden genegeerd.

Als de kennis bij de werknemers en de hulpmiddelen voor het toepassen van SE aanwezig zijn, dient de methode SE verplicht te worden gesteld vanuit de directie. Op deze manier is er geen ruimte voor afwijkingen binnen de aanpak van projecten. Zo wordt er aangestuurd op uniformiteit en krijgt de directie beter inzicht in wat er gaande is op de werkvloer. Er wordt overzicht gecreëerd binnen de afdeling E&W.

Realistische situatie

Hierboven is de situatie beschreven zoals deze in een ideale wereld zou moeten voltrekken. Er zijn echter factoren zoals geld, tijd en capaciteit die invloed hebben op de implementatie van SE. Hieronder is dus een aantal aanbevelingen gedaan gelet op de mogelijkheden van de afdeling E&W.

Het inhuren van adviseurs of personen die cursussen geven vanuit Infraconsult is kostbaar. Er kan als eerste opzet worden ingezet op alternatieve wijze om de methode SE te introduceren binnen de afdeling E&W. Zo kan er worden gezocht naar een samenwerking tussen Hogescholen en Universiteiten om studenten via (afstudeer)stages te betrekken bij het integratieproces van SE. Onderwerpen die kunnen worden geadresseerd in deze opdrachten zijn:

- Creëren procesontwerp met SE voor de afdeling E&W
- Onderzoek naar de juiste opzet van Relatics voor de afdeling E&W
- Onderzoek naar de juiste indeling van SE functies binnen E&W
- Ontwikkelen van een Quick-scan voor het implementeren van SE binnen projecten van E&W

Door middel van deze externe onderzoeken kan men op een economisch voordeligere manier het begrip SE binnen de afdeling E&W introduceren. Zo kunnen ook relatief duurdere studies vanuit adviesbureaus worden uitgespaard.

Uiteindelijk is het van belang dat de medewerkers een goed basiskennis hebben van de methode SE. Hiermee kan worden aangevangen door in de toekomst bij sollicitaties mede te selecteren op personen met ervaring, of substantiële kennis van SE. Aanvullend kan er worden gekeken naar aanwezig lesmateriaal om huidige werknemers op te leiden. Dit kan specifiek, bijvoorbeeld vanuit het interne ingenieursbureau Infraconsult, maar kan ook op een andere manier. Zo kan er van reeds bestaande cursusprogramma's gebruik te worden gemaakt vanuit infraconsult. Ook kan er worden gekeken om bij externe organisaties deel te hebben aan cursussen en opleidingen omtrent SE. Deze opleidingen zijn minder specifiek voor de afdeling E&W, maar zijn toegankelijk en relatief laag in aanschafprijs. In ondersteuning zou kunnen worden gekeken of er op de afdeling E&W iemand als aanspreekpunt zou kunnen worden aangemerkt. Deze persoon, met ervaring op het gebied van SE, kan zo collega's bijstaan en helpen met vragen gerelateerd aan SE.

SE dient incrementalistisch te worden aangepakt om medewerkers en opdrachtgevers niet in het harnas te jagen tegen de transitie naar SE. Tijdens het "luchtig" introduceren van het onderwerp SE via stages en cursussen dient het een terugkerend onderwerp te zijn op de afdeling E&W. Een aanbeveling is om het terugkerend onderwerp te maken op de gezamenlijke afdelingsvergaderingen. Het onderwerp dient aandacht te blijven ontvangen en een blijvend actiepunt te zijn om een transitie soepel te laten verlopen. Ook zal het onderwerp tijdens contactmomenten met hogerhand een repetitief patroon moeten volgen. Gezien het feit dat de directie uiteindelijk het bevoegde orgaan is om naar een transitie naar SE toe te gaan, zal ook bij hen SE een "hot topic" moeten blijven.

Om daadwerkelijk aan de slag te gaan met de methode SE is het aan te raden eerst een pilotproject op te zetten. Het lijkt van belang om allereerst een opdrachtgever te zoeken die bereid is een project met de methode SE aan te pakken. Er dient in dit eerste project van te voren goed vast te worden gelegd wat men aan beide kanten van de samenwerking en de toepassing van SE verwacht. Tevens dient er tijdens de samenwerking open en transparant gewerkt te worden, overeenkomstig de kenmerken van de methode SE.

Er zal binnen de afdeling E&W ook een keuze gemaakt moeten worden in de strategie. De afdeling E&W heeft hierin eigenlijk een tweeledige keuze. De eerste keuze is om actiever te participeren in ontwikkelingen binnen de GWW-sector. Dit betekent een actievere rol te gaan spelen in de gehele projectfase. Ook het aangaan van geïntegreerde contracten in multidisciplinaire projecten behoort tot deze keuze. Op deze manier kan de afdeling E&W inspelen op de veranderende markt en koploper worden in de branche. SE kan, zeker in de toekomst, een marketingstrategie worden voor de afdeling E&W. Er kan echter ook gekozen worden om niet te kiezen voor de grootschalige projecten met geïntegreerde contracten. Ook in de kleine projecten kan de methode SE terugkomen, maar wel op een andere basis. In deze projecten van kleinere omvang kan er worden

gekozen voor om elementen uit het SE proces uit te voeren, zoals een eisenanalyse. Er kunnen echter ook zaken, zoals een actoranalyse, in minder detail worden uitgevoerd.

Het is voor een aannemer als BAM ook essentieel om een goede relatie tussen “het kantoor” en de buitendienst te behouden. Het is dan ook van belang dat de buitendienst betrokken wordt bij de verandering in de manier van werken. SE is immers een geïntegreerd proces waarbinnen samenwerking, transparantie en communicatie tussen de betrokken partijen essentieel is. De keuze zou gemaakt kunnen worden om de afdelingshoofden van de buitendienst te betrekken bij de afdelingsoverleggen. Ook zouden zij kunnen participeren in de cursussen omtrent de basis kennis van SE om mee te worden genomen in het transitieproces.

Om uiteindelijk een ieder mee te krijgen in het transitieproces van de conventionele manier van werken naar SE dient het doel duidelijk te zijn. Een helder, openlijk gecommuniceerd, doel draagt bij aan de algemene perceptie van de noodzaak van SE.