



UNIVERSITY
OF TWENTE.

Omstandigheden en voorwaarden waaronder systems engineering toegepast zou moeten worden



Auteur: (M.M.) Marleen Maria van Oerle

Datum: 16-01-2020

Studentnummer: 1800361

Onderzoeksrapport ter afsluiting van de Bachelor Civiele Techniek

Colofon

Titel	Omstandigheden en voorwaarden waaronder systems engineering toegepast zou moeten worden
Versie	Definitief
Omvang rapport	48 pagina's
Plaats	Nieuwleusen
Datum	16 januari 2020
Auteur	(M.M.) Marleen Maria van Oerle
Studentnummer	1800361
Email-adres	m.m.vanoerle@student.utwente.nl
Begeleiders	Dhr. Dr. Ir. R.S. de Graaf Universiteit Twente Vakgroep Bouw/Infra Dhr. Ing. J. Snel Koninklijke BAM Groep nv BAM Infra Energie & Water bv Afdeling Engineering

Koninklijke BAM Groep nv
BAM Infra Energie & Water
Den Hulst tien2
7711GS Nieuwleusen
Nederland
<http://www.baminfra.nl/energie-water>



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

UNIVERSITY
OF TWENTE.

Voorwoord

Geachte lezer,

Voor u ligt een eindrapport dat geschreven is ter afsluiting van de bachelor opleiding civiele techniek aan de Universiteit Twente. Ik heb dit onderzoek mogen uitvoeren bij de engineering afdeling van BAM Infra Energie en Water bv in Nieuwleusen. Ik wil mijn extern begeleider Jeroen Snel en het afdelingshoofd Brigitta Lindeboom-Kroes bedanken voor de mogelijkheden die zij mij gedurende mijn stage periode geboden hebben. Daarnaast wil ik hen en alle andere medewerkers op de afdeling bedanken voor hun interesse en hulp in het kader van mijn onderzoek. Ik heb gedurende deze tien weken veel nieuwe ervaringen mogen op doen en veel geleerd.

Ook wil ik mijn intern begeleider, Robin de Graaf, bedanken voor zijn hulp gedurende deze periode. Met zijn ervaring als onderzoeker en docent heeft hij mij begeleid in het uitvoeren en rapporteren van dit onderzoek.

Ik kijk met plezier terug op deze leerzame periode.

Marleen van Oerle

Nieuwleusen, 16 januari 2020

Samenvatting

Systems Engineering (SE) wordt gezien als een ontwerpmethode die helpt met het beheersen van complexe en dynamische projecten. BAM Infra Energie en Water bv (BAM E&W) ziet SE als een kans om open en duidelijk te communiceren naar haar klanten en zo effectiever en efficiënter te werken. Het is BAM E&W niet duidelijk onder welke omstandigheden en voorwaarden SE het best toegepast kan worden. Het doel van dit onderzoek is het ontwerpen van een keuzemodel dat helpt bij het maken van de keuze om SE al dan niet toe te passen. Op basis van deze doelstelling is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd:

Welke omstandigheden en voorwaarden bepalen of systems engineering een passende ontwerpmethode is voor een gegeven project van BAM Infra Energie en Water bv?

Om antwoord te geven op deze vraag is onderzoek gedaan naar de omstandigheden en voorwaarden die volgens zowel de literatuur als de praktijk bijdragen aan deze afweging. Uit de literatuurstudie zijn verschillende interne en externe factoren naar voren gekomen waaronder SE toegepast zou moeten worden. Op basis hiervan zijn strategische vraagstukken samengesteld die inzicht geven op de factoren die bijdragen aan de keuze om SE wel of niet toe te passen. Onder deze vraagstukken behoren onder meer: een groot aantal stakeholders, een groot aantal klanteisen, inspecties van de klant en risicovolle locaties.

Tevens is onderzoek gedaan naar de praktijk bij BAM E&W. Dit is gedaan aan de hand van interviews. In de interviews zijn de deelnemers gevraagd naar interne en externe factoren die de keuze om SE toe te passen beïnvloeden. Op basis van deze factoren zijn strategische vraagstukken samengesteld. Uit de strategische vraagstukken is onder andere naar voren gekomen dat de contractvorm, aantal stakeholders, type opdrachtgever en de omgevingskarakteristieken invloed hebben op de keuze om SE al dan niet toe te passen.

Op basis van de omstandigheden en voorwaarden die door zowel de theorie als praktijk gespecificeerd zijn, is een keuzemodel samengesteld. Dit keuzemodel geeft een overzicht van alle relevante omstandigheden en voorwaarden die binnen een project van toepassing kunnen zijn. Door toepassing van het model wordt een advies gegeven over de toepassing van SE voor een gegeven project van BAM E&W.

Door een feedbacksessie en projectgegevens is het keuzemodel gevalideerd en waar nodig aangepast. Dit heeft geresulteerd in een keuzemodel dat goed toepasbaar is voor de engineering afdeling van BAM E&W. Om de betrouwbaarheid van het keuzemodel te vergroten, dient het model geverifieerd te worden bij andere afdelingen en/of externe partijen.

Het is belangrijk dat BAM E&W het keuzemodel alleen gebruikt als raadgevend kader. De leidinggevende dient samen met de projectverantwoordelijke voor ieder project de beslissing te maken of SE wel of niet toegepast wordt. Om het model verder te ontwikkelen is het belangrijk dat het model onderdeel wordt van de standaard werkprocedure. Zo wordt er meer informatie verzameld over het functioneren van het model en kan het model waar nodig verbeterd worden.

Inhoudsopgave

Colofon	1
Voorwoord	2
Samenvatting.....	3
Inhoudsopgave	4
Leeswijzer	6
1. Inleiding	7
1.1. Context onderzoek	7
1.1.1. Relevantie	7
1.1.2. Probleem definitie	8
1.1.3. Doelstelling	8
2. Onderzoek dimensies	9
2.1. Onderzoeksvragen.....	9
2.2. Onderzoeksmethoden	9
3. Theoretisch kader.....	10
3.1. De Systems Engineering methode.....	10
3.1.1. Het Systems Engineering proces	10
3.1.2. Karakteristieken van Systems Engineering.....	12
3.2. Analyseren van omstandigheden en voorwaarden	12
3.2.1. 7s McKinsey model.....	12
3.2.2. PESTLE Model	13
4. Omstandigheden en voorwaarden vanuit literatuur	15
4.1. Literatuuranalyse interne voorwaarden	15
4.2. Literatuuranalyse externe omstandigheden	16
4.3. Strategische vraagstukken vanuit de literatuur	17
5. Toepassing Systems Engineering bij BAM Infra Energie en Water bv.....	19
5.1. Toekomst van Systems Engineering bij BAM Infra Energie en Water bv.....	19

5.2.	Interne analyse BAM Infra Energie en Water bv.....	19
5.3.	Externe analyse BAM Infra Energie en Water bv.	21
5.4.	Strategische vraagstukken BAM Infra Energie en Water bv.	22
6.	Naar een keuzemodel.....	24
6.1.	Vergelijking strategische vraagstukken	24
6.2.	Inrichting keuzemodel	24
6.3.	Model validatie.....	25
6.3.1.	Feedbacksessie	25
6.3.2.	Projectvalidatie.....	27
7.	Conclusie	28
8.	Aanbevelingen	30
9.	Discussie en vervolgonderzoeken	31
10.	Bronnen	32
	Bijlage A: Opzet interviews.....	35
	Bijlage B: Eerste versie keuzemodel.....	39
	Bijlage C: Tweede versie keuzemodel	40
	Bijlage D: Projectvalidatie Keuzemodel.....	41
	Bijlage E: Keuzemodel toepassing systems engineering	47

Leeswijzer

Dit onderzoeksrapport bestaat uit 8 hoofdstukken en drie bijlagen. Na de introductie van het onderzoek, hoofdstuk 1, worden de dimensies van het onderzoek in hoofdstuk twee besproken. In hoofdstuk drie wordt het theoretisch kader vastgesteld, waarna in hoofdstuk vier voorwaarden en omstandigheden in de literatuur worden identificeert. In hoofdstuk vijf wordt onderzocht onder welke voorwaarden en omstandigheden vanuit de praktijk naar voren komen. In hoofdstuk 6 wordt een keuzemodel samengesteld en geanalyseerd. Hoofdstuk 7 bevat de conclusie en aanbevelingen, het laatste hoofdstuk (hoofdstuk 8) bestaat uit een discussie en suggesties voor mogelijk vervolg onderzoek.

1. Inleiding

Projecten worden steeds complexer door toenemende tijdsdruk en een snel veranderende omgeving (Luo *et al.*, 2017). De project prestatie kan verslechteren door de complexiteit van een project en het onvermogen van de managers om met deze complexiteit om te gaan (Sheffield *et al.*, 2012). Systems Engineering (SE) is een ontwerpmethode die helpt in het beheersen van complexe en dynamische projecten (International Council on Systems Engineering, 2015). De Koninklijke BAM Groep nv. (BAM), en in het bijzonder BAM Infra Energie en Water bv (BAM E&W), zien SE als een effectieve manier om projecten beter te beheersen. Hoewel BAM E&W de voordelen van SE beaamt, is ze voorzichtig met de toepassing ervan. Ze vreest dat het gebruik van SE haar flexibiliteit en efficiëntie in projecten verlaagt, doordat er sprake is van repeterende stappen. BAM E&W wil SE introduceren bij projecten, maar het is haar op dit moment echter onduidelijk welke projecten het meest van SE profiteren.

1.1.Context onderzoek

1.1.1. Relevantie

Traditioneel worden projecten in de grond, weg en waterbouw (GWW) uitgewerkt door middel van de RAW systematiek. Deze systematiek biedt een kader waarin contracten worden beheerd. Hiermee maken klanten en opdrachtgevers afspraken over een gegeven project met hun opdrachtnemers (CROW, 2019; PIANO Expertisecentrum Aanbesteding [PIANO], 2019). Deze traditionelere vorm van contractbeheersing maakt onderscheid tussen het ontwerp- en bouwproces. Vandaar dat de levenscyclus van een product in deze methode niet of nauwelijks meegenomen wordt (PIANO, 2019). Ook de energietransitie en de vraag van klanten om ontwerp- en uitvoerprocessen te combineren, vraagt van BAM E&W om effectiever en efficiënter te werk te gaan.

De groeiende behoefte aan nieuwe kabels en leidingen, door onder meer de energietransitie, resulteert in meer uitdagingen voor BAM E&W. Echter, materiaal- en tijdgebrek zorgen er voor dat het steeds moeilijker wordt om projecten binnen een afzienbare periode af te ronden. Hiernaast speelt het verzoek van klanten om de ontwerp- en uitvoeringsprocessen te integreren een rol in de groeiende complexiteit van projecten. Dit heeft als gevolg dat er meer risico bij de opdrachtnemer te liggen komt.

SE biedt BAM E&W de kans om open en duidelijk te communiceren naar haar klanten (Koninklijke BAM Group, 2019). Daarnaast biedt SE ook de mogelijkheid om bij te dragen aan een effectiever en efficiënter engineering proces. BAM E&W ziet SE als een veelbelovende methode die bijdraagt aan het (Koninklijke BAM Group, 2019):

- bewijzen dat het eindproduct voldoet aan de gestelde eisen;
- verminderen van faalkosten;
- efficiënter inzetten van verschillende disciplines en onderaannemers;
- voldoen aan de opgedragen SE eis van de klant;
- verbeterd inzicht bieden in de consequenties van wijzigingen in een project;
- begrijpen hoe het ontwerp en zijn componenten in elkaar zit;
- flexibeler zijn met de inzet van personeel.

Hoewel BAM E&W de voordelen van SE ziet, vindt ze het een uitgebreid proces waarmee nog weinig ervaring is. De engineering afdeling heeft het gevoel dat het SE-proces haar flexibiliteit en efficiëntie negatief kan beïnvloeden.

1.1.2. Probleem definitie

De engineering afdeling binnen BAM E&W werkt aan het implementeren van de SE methode. Het eigen maken van een nieuwe methode binnen een afdeling kost tijd, niet alle projecten maken dan al gebruik van SE. Op dit moment is het voor BAM E&W nog onduidelijk onder welke omstandigheden en voorwaarden SE het best toegepast kan worden.

1.1.3. Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is het ontwerpen van een keuzemodel dat helpt bij het maken van de keuze om al dan niet SE toe te passen. Het keuzemodel is gebaseerd op de omstandigheden en voorwaarden die voortkomen uit zowel de theorie als praktijk.

2. Onderzoek dimensies

2.1. Onderzoeksvragen

Op basis van de hierboven beschreven doelstelling is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd:

Welke omstandigheden en voorwaarden bepalen of systems engineering een passende ontwerpmethode is voor een gegeven project van BAM Infra Energie en Water bv?

Het antwoord op de hoofdvraag wordt gegeven aan de hand van de volgende deelvragen:

- Wat zijn de kernelementen van de systems engineering methode (theorie)?
- Hoe wordt systems engineering toegepast bij BAM Infra Energie en Water bv (praktijk)?
- Wat zijn de verschillen en overeenkomsten tussen theorie en praktijk en waarom?
- Hoe kan een keuzemodel, die het gebruik van systems engineering binnen BAM Infra Energie en Water bv bepaalt, samengesteld worden?

2.2. Onderzoeksmethoden

Gedurende het onderzoek zal er gebruik gemaakt worden van verschillende onderzoeksmethoden. De methoden worden in dit hoofdstuk kort per component besproken. De componenten zijn theorie, praktijk, vergelijking en het keuzemodel. Het eerste deel van het onderzoek is het theorie gedeelte, in dit gedeelte wordt onderzocht hoe SE in elkaar zit en onder welke omstandigheden en voorwaarden SE het beste toegepast kan worden. Dit zal onderzocht worden door middel van een literatuurstudie. De literatuurstudie gebruikt voornamelijk wetenschappelijke artikelen.

In het tweede deel van het onderzoek wordt de praktijk geanalyseerd. Door middel van interviews wordt er onderzoek gedaan naar de omstandigheden en voorwaarden waar volgens de engineering afdeling van BAM E&W SE het best toegepast kan worden. De structuur van het interview is semigestructureerd. Dit houdt in dat de hoofdvragen al vastgesteld zijn, maar de vervolgvragen nog niet. Door deze structuur toe te passen kan de geïnterviewde vrijuit praten terwijl individuele interviews toch dezelfde structuur behouden (Kallio *et al.*, 2016). De opzet van het interview kan gevonden worden in bijlage A. Ook interne documenten zoals strategische plannen, beleids- en project-documenten maken deel uit van het praktijkonderzoek.

De verschillen en overeenkomsten tussen theorie en praktijk worden geïdentificeerd door middel van pattern-matching. Pattern-matching is een methode die twee verschillende patronen met elkaar vergelijkt. Belangrijk bij pattern-matching is dat beide patronen goed gespecificeerd zijn zodat ze ook daadwerkelijk met elkaar vergeleken kunnen worden (Mills *et al.*, 2009). Waar theorie en praktijk van elkaar afwijken is het belangrijk dat er begrepen wordt waarom. Om de waarom vraag te beantwoorden kan extra literatuuronderzoek, aanvullende interviews en/of het analyseren van projectdocumenten nodig zijn.

Het laatste gedeelte van het onderzoek is het samenstellen van een keuzemodel. Om dit te realiseren zal literatuuronderzoek gedaan worden naar verschillende vormen van keuzemodellen om zo het juiste type te identificeren. Daarnaast is het van belang dat bepaald wordt welke omstandigheden en voorwaarden het zwaarst mee wegen in de keuze van een ontwerpmethode. Dit zal gedaan worden op basis van de informatie die verzameld wordt tijdens de interviews en het literatuuronderzoek. Het keuzemodel zal met behulp van twee methode gevalideerd worden: een feedbacksessie en een toets met projectgegevens.

3. Theoretisch kader

3.1. De Systems Engineering methode

SE is een methodische aanpak om succesvolle systemen te realiseren (Kordova *et al.*, 2019). Veel organisaties zien SE als een instrument dat effectief om kan gaan met vertragingen, kosten overschrijdingen en systemen die niet voldoen aan de behoeften van de klant (Hutchison *et al.*, 2016). SE heeft een lange geschiedenis waarin veel onderzoek naar deze methode is gedaan (de Graaf *et al.*, 2016; Dickerson & Mavris, 2016; Friedenthal *et al.*, 2007; Hutchison *et al.*, 2016; Hybertson *et al.*, 2018; Kordova *et al.*, 2019; Sillitto *et al.*, 2019; Smartt & Ferreira, 2015), mede hierdoor zijn er vele verschillende definities. In deze studie is de definitie van INCOSE, een internationaal erkent instituut op het gebied van SE, gehanteerd. Zij definiëren SE als volgt (Sillitto *et al.*, 2019):

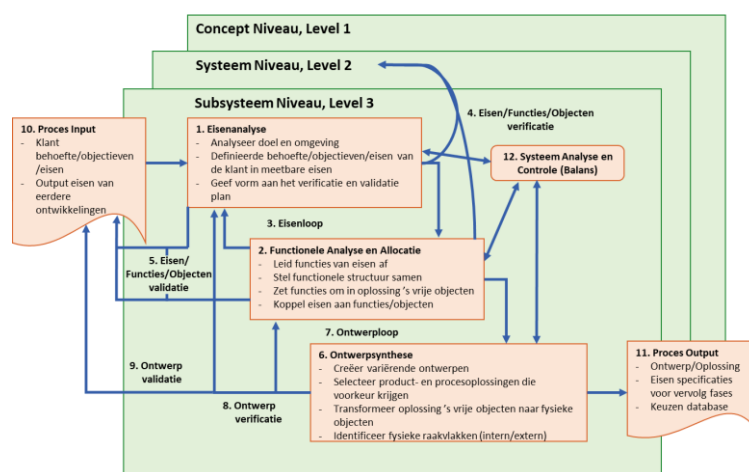
“An interdisciplinary approach and means to enable the realization of successful systems. Systems Engineering considers both the business and technical needs of all costumers with the goal of providing a quality product that meets the user needs.”

Vrij vertaalt betekent dit een interdisciplinaire benadering die bijdraagt aan het realiseren van succesvolle systemen, waarbij zowel zakelijke als technische belangen in acht genomen worden. Met als doel de klant te voorzien van een kwalitatief product dat aan zijn/haar belangen voldoet. Samenvattend is SE het op een ... (Keijts *et al.*, 2007):

- 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.

3.1.1. Het Systems Engineering proces

De SE methode is weergegeven in figuur 1. De methode bestaat uit negen proces elementen, een proces in- en output en een controle element. De negen proces-elementen zijn onder het figuur toegelicht.



Figuur 1 Systems Engineering Proces in de Civiele Techniek gebaseerd op de Graaf *et al.* (2016)

Eisenanalyse

In de eerste fase van de methode wordt alle informatie waaronder de klantbehoefte, wetten en regels verzameld en herschreven naar systeem eisen (Dickerson & Mavris, 2016). De eisen beschrijven de functionaliteit van een systeem, en zijn hiërarchisch gestructureerd zo dat ze herleidbaar zijn (Systems Engineering Body of Knowledge, 2019). Deze boomstructuur wordt ook wel Requirement Breakdown Structure (RBS) genoemd. Belangrijk is dat de systeem eisen SMART zijn (specifiek, meetbaar, aannemelijk, realistisch, tijd gebonden).

Functionele analyse en allocatie

Tijdens de functionele analyse wordt de functie van het toekomstige product bepaald. De functies van het product zijn gebaseerd op de eerder verzamelde eisen (Viola *et al.*, 2012). In deze fase worden de functies ook gekoppeld aan objecten. Alle componenten zijn geordend in een boomstructuur die ook wel Systems Breakdown Structure (SBS) genoemd wordt.

Eisenloop

In figuur 1 bevindt zich tussen de eisenanalyse en de functionele analyse en allocatie, de eisenloop. Tijdens de uitvoering van deze loop wordt duidelijk of de gestelde eisen realiseerbaar zijn en of nadere specificatie noodzakelijk is. Ook wordt er geverifieerd of iedere eis aan een functie gekoppeld is.

Eisen/functie/object verificatie

Gedurende deze fase van SE wordt de relatie tussen 'eisen en functies' en 'functies en objecten' geverifieerd. Zowel de RBS en SBS spelen hierin een belangrijke rol. Als de structuren niet overeen komen zullen er extra eisen, functies en/of objecten gedefinieerd moeten worden.

Eisen/functie/object validatie

Het valideren van eisen, functies en objecten wordt uitgevoerd in samenwerking met klanten en stakeholders. Er wordt specifiek gevraagd of hun wensen en behoeften terug te vinden zijn in de samen gestelde eisen, functies en objecten. Waar dit niet het geval is moeten er aanpassingen gemaakt worden aan de eisen, functies en/of objecten.

Ontwerpsynthese

In deze fase worden de abstracte objecten vertaald naar materiele elementen. Het kan voorkomen dat meerdere materiele elementen overeenkomen met een abstract object. In dit geval kunnen er meerdere ontwerpoplossingen samengesteld worden (Krupa, 2019).

Ontwerploop

Deze loop bevindt zich tussen de functionele analyse en allocatie, en de ontwerpsynthese. Gedurende dit proces worden de ontwerpoplossingen, objecten, functies en eisen met elkaar vergeleken (de Graaf *et al.*, 2016). Er wordt met name gekeken of functies aan de juiste objecten gekoppeld zijn en of alle objecten zijn opgenomen in het ontwerp. Het kan zijn dat verdere specificaties nodig zijn, of dat de ontwerpen aangepast dienen te worden.

Ontwerp verificatie

Dit proces garandeert dat het ontwerp overeen komt met de gestelde eisen. Indien dit niet het geval is zal het ontwerp aangepast moeten worden of de eisen moeten in overleg met de klant herzien worden.

Ontwerp validatie

Dit laatste proces element valideert of het ontwerp overeenkomt met de wensen, behoeften en verwachtingen van de klant en andere stakeholders. Als dit niet het geval is, dan zal het ontwerp verder gekalibreerd moeten worden.

3.1.2. Karakteristieken van Systems Engineering

Onderzoek heeft uitgewezen dat projecten die vijftien tot twintig procent van hun projectkosten besteden aan SE minder afwijking in kosten en planning hebben (Elm & Goldenson, 2012). Dit komt mede doordat SE verschillende rekening houdt met onder andere prestatie onderzoek, eisenanalyse, systeemmodellering, specificatie samenstelling, risicomanagement en technisch management (Kordova *et al.*, 2019). Volgens Elm *et al.* (2008) speelt SE een belangrijke rol in het verbeteren van projectprestatie op de volgende vlakken:

- verificatie en validatie van het project
- risicomanagement
- productintegratie
- projectplanning en controle
- proces verbetering
- configuratiemanagement.

Het draagvlak voor de toepassing van SE blijft groeien, vooral omdat organisaties ervaren dat SE helpt in het beheersbaar maken van projecten (Buck *et al.*, 2013). Dit suggereert dat projecten die geen gebruik maken van SE niet of in beperkte mate beheersbaar zijn. De grote vraag is dan: Wanneer is een project al dan niet beheersbaar?

3.2. Analyseren van omstandigheden en voorwaarden

SE wordt gezien als een effectieve manier om complexiteit en verandering binnen projecten te beheersen (International Council on Systems Engineering, 2015). Een manier om met complexiteit om te gaan is het opstellen van een strategische planning, hierbij wordt een planning voor de lange termijn gemaakt. De planning helpt bij het maken van kernbeslissingen waaronder het al dan niet toepassen van SE. Een strategie is een planning voor het oplossen van strategische vraagstukken. Deze vraagstukken worden in kaart gebracht door de interne en externe omgeving van een organisatie te analyseren en met elkaar te confronteren. De interne omgeving wordt geanalyseerd door middel van het 7s McKinsey model, dit model bemiddelt in het in kaart brengen van de organisatie (Ravanfar, 2015). De externe omgeving wordt geanalyseerd door middel van het PESTLE model (Achinas *et al.*, 2019; Rastogi & Trivedi, 2016).

3.2.1. 7s McKinsey model

Het 7s McKinsey model is ontworpen door Waterman *et al.* (1980), zij waren in die tijd actief bij McKinsey & Company. Hun visie is dat de productiviteit van een organisatie afhankelijk is van een aantal samenhangende factoren. Op basis van deze visie hebben zij een theoretisch model ontworpen die bemiddelt in het analyseren van de prestatie van een organisatie. Tot deze factoren behoren onder andere structuur, strategie, systemen, managementstijl, personeel en vaardigheden. De beschreven categorieën zijn in tabel 1 weergegeven.

Categorie	Uitleg
Structuur	De coördinatie van gespecialiseerde taken en medewerkers.
Strategie	De positie en acties van een organisatie in reactie of anticipatie op veranderingen in de externe omgeving.
Systemen	De formele en informele procedures die bijdragen aan het beheren van een project. Zoals bijvoorbeeld management control systemen, uitvoermaatregelen, planning, allocatie van middelen en informatie management.
Managementstijl	Hoe worden beslissingen gemaakt, normen en waarden, onbewuste symbolische handelingen.
Personeel	Voorwaarden die betrekking hebben tot de achtergrond en vaardigheden van de medewerkers.
Vaardigheden	De competentie van een organisatie. Denk aan mensen, management gewoontes, processen, systemen, technologieën en klanten relaties.

Tabel 1 Categorieën 7s McKinsey model gebaseerd op Kaplan (2005)

Hoewel het 7s McKinsey model ontworpen is om het management van een organisatie te analyseren, wordt het ook veelvuldig gebruikt om projectprocessen binnen een organisatie in kaart te brengen (Chong & Preece, 2014). In kader van dit onderzoek wordt het 7s McKinsey model gebruikt om de sterktes en zwaktes van een organisatie ten opzichte van SE in kaart te brengen.

3.2.2. PESTLE Model

Het PESTLE model is in 1967 ontworpen door professor Francis Aguilar van de Harvard Business School (Aithal, 2017). De methode wordt veelvuldig gebruikt om de externe omgeving van onder andere bouwprojecten te analyseren (Rastogi & Trivedi, 2016). Dit strategisch planningsmodel analyseert de externe omgeving op gebied van juridische-, economische-, sociale-, technologische- en contextuele factoren. De PESTLE categorieën worden toegelicht in tabel 2.

Categorie	Uitleg
Juridisch	Factoren die de juridische en politieke invloed op een project bepalen. Dit betreft vooral factoren zoals contractuele afspraken, wetten en regelgeving.
Economisch	Factoren die de economische impact van een project beschrijven. Inkomsten en uitgaven binnen een project spelen hierin een belangrijke rol.
Sociaal	Factoren zoals verwachtingen en culturele trends bepalen de sociale omgeving waarin een organisatie of project zich bevindt.
Technologisch	Verwijst naar de innovaties en technologieën die het verloop van het project kunnen beïnvloeden.
Context	Alle factoren die betrekking hebben op de directe omgeving van een project. Voorbeelden zijn geografische locatie en bodemkwaliteit.

Tabel 2 Categorieën PESTLE analyse gebaseerd op Rastogi and Trivedi (2016)

4. Omstandigheden en voorwaarden vanuit literatuur

Deze literatuurstudie geeft inzicht in de interne en externe aspecten die een project beïnvloeden. De interne voorwaarden worden geanalyseerd met hulp van het 7s McKinsey model. De externe omstandigheden worden geanalyseerd aan de hand van het PESTLE model. Vervolgens worden de interne voorwaarden en externe omstandigheden met elkaar geconfronteerd, hieruit volgen de strategische vraagstukken.

4.1. Literatuuranalyse interne voorwaarden

Het eerste element van het 7s McKinsey model is structuur. Bij de coördinatie van gespecialiseerde taken en medewerkers is het belangrijk dat de vaste procedures van een organisatie in kaart gebracht zijn (State of California, 2019). Indien er meerdere vaste procedures zijn om een project te beheren is het minder belangrijk om een nieuwe procedure zoals bijvoorbeeld SE te introduceren. Binnen de structuur categorie is het ook belangrijk om te weten of er overlappende processen zijn (Hagan *et al.*, 2011). Meerdere overlappende processen vergt meer coördinatie vanuit de organisatie. De coördinatie van taken en medewerkers hangt af van het aangedragen probleem en in hoeverre de oplossing voor dit probleem al door de opdrachtgever is aangedragen (Maylor & Turner, 2017). Als een specifieke oplossing al door de opdrachtgever aangeleverd is, zijn er minder taken die door de organisatie uitgevoerd moeten worden.

Het tweede element binnen het 7s McKinsey model is de huidige strategie van een organisatie. Volgens de definitie van het 7s McKinsey model is de strategie grotendeels afhankelijk van de externe omgeving waarin een organisatie zich bevindt. Er zijn twee belangrijke factoren die een rol spelen in de strategie. De eerste is hoe uniek een gegeven project is voor een organisatie (Qureshi & Kang, 2015). Is er nog nooit een vergelijkbaar project uitgevoerd, dan is het lastiger om de risico's op voorhand te identificeren. Wat ook een rol speelt in de strategie van een organisatie is het aantal beschikbare uren (Perry III *et al.*, 2016). Als er binnen de organisatie niet genoeg menskracht en/of tijd beschikbaar is om SE op de juiste manier toe te passen moet er een afweging gemaakt worden of SE deels of helemaal niet toegepast moet worden.

Het derde element zijn de systemen binnen een organisatie. In deze categorie speelt onder andere het aantal benodigde systemen een rol (Friedenthal *et al.*, 2007). Bij het gebruik van meerdere systemen is er meer informatie die vast gelegd zou moeten worden. Dit zodat er een duidelijk overzicht blijft van de processen die het project doorlopen heeft. Het kan zijn dat een organisatie ervoor kiest verschillende werkzaamheden gelijktijdig uit te voeren om zo kosten te besparen. Als interne werkzaamheden geïntegreerd worden, moet er mogelijk rekening worden gehouden met extra procedures die wederom vastgelegd moeten worden (Kardes *et al.*, 2013). SE kan bemiddelen in het overzichtelijk houden van de lopende en afgeronde processen binnen een organisatie.

Het vierde element, de managementstijl van een organisatie, heeft betrekking op factoren die invloed hebben op het maken van beslissingen over een project. Een van deze factoren die in de literatuur benoemd wordt is het aantal lopende projecten binnen een organisatie (Hagan *et al.*, 2011). Als medenemers een groot aantal projecten in hun beheer hebben, is het makkelijk om het overzicht te verliezen. Ook de geografische afstand tussen de verschillende stakeholders kan een rol spelen in de beslissing die een organisatie neemt (Qureshi & Kang, 2015). Een grotere afstand tussen de stakeholders kan ervoor zorgen dat de communicatie tussen partijen stroever verloopt. Om miscommunicatie te voorkomen, kan er voor gekozen worden om SE toe te passen.

Het vijfde en zesde elementen van het 7s McKinsey model zijn het personeel en hun vaardigheden. Deze hebben invloed op het functioneren van een organisatie bij een gegeven project. Binnen de categorie personeel heeft volgens de literatuur de grote van een projectteam invloed op het functioneren van de medewerkers. Ook wordt de communicatie tussen medewerkers belangrijker (Kermanshachi *et al.*, 2016; Perry III *et al.*, 2016). De expertise van betrokken personeel wordt ook benoemd in de literatuur als eigenschap van een organisatie. Als de benodigde expertise niet aanwezig is binnen een organisatie is de kans op het falen van een project groter (Chapman, 2016; de Graaf *et al.*, 2016).

4.2. Literatuuranalyse externe omstandigheden

Volgens het PESTLE model hebben juridische omstandigheden invloed op contractuele afspraken met opdrachtgevers, wetten en regelgeving. Bij het realiseren van projecten zijn vergunningen vaak vereist. Hoe meer vergunningen hoe meer informatie er verzameld moet worden en des te meer coördinatie er wordt vereist (Dao *et al.*, 2016; Kermanshachi *et al.*, 2016). Hiernaast suggereert de literatuur dat als de verantwoording voor een project bij meerdere organisaties ligt het belangrijker wordt om informatie en afspraken goed over te dragen (Kermanshachi *et al.*, 2016). Het is mogelijk dat een project onder toezicht staat van verschillende instanties. Zij willen er zeker van zijn dat er aan de door hun gestelde eisen voldaan wordt (Dao *et al.*, 2016). Tijdens de inspecties is het belangrijk dat er aangetoond kan worden dat er voldaan is aan de vooraf gemaakte afspraken. SE kan bij de hier boven genoemde factoren een rol spelen. Door het in kaart brengen van de eisen kan in het vergunningstraject makkelijker bepaalt worden of een project aan de vergunningseisen voldoet. Hiernaast bemiddelde SE ook in de communicatie tussen verschillende partijen. Project informatie en afspraken worden gedurende het project goed gedocumenteerd en beslissingen zijn ook te herleiden. Tijdens inspecties is het belangrijk dat wordt aangetoond dat er aan de eisen voldaan is, dit proces is onderdeel van SE.

Literatuur wijst uit dat het aantal regels en wetten waaraan voldaan moet worden ook een rol speelt. Des te meer regels en wetten er nageleefd moeten worden des te lastiger het is om het overzicht te bewaren (Maylor & Turner, 2017). Het type contract waarmee de opdrachtgever de organisatie benadert, geeft een indicatie van de verantwoordelijkheid die bij de organisatie komt te liggen (Smartt & Ferreira, 2015). Als laatste moet er op juridisch gebied rekening gehouden worden met juridische verplichtingen die tijdens de contractfase zijn aangegaan (Chapman, 2016; Dao *et al.*, 2016; Kermanshachi *et al.*, 2016). Hierbij is het vooral van belang dat er aan getoond wordt hoe er aan deze juridische verplichtingen is voldaan. Wederom: SE kan hieraan bijdragen. Dit gebeurt door het samenstelling van eisen en het valideren en verifiëren van deze eisen.

Economische omstandigheden hebben betrekking op het vooraf gestelde budget van de opdrachtgever. Hoewel hier in de literatuur niet heel veel over geschreven wordt, is het wel benoemd als een indicator voor complexiteit en omvang van een project (Friedenthal *et al.*, 2007; Qureshi & Kang, 2015). Het idee is dat de omvang van het budget een indicatie geeft van de grote van een project en haar complexiteit. SE helpt in het omgaan met complexiteit door het in kaart brengen van de eisen en op basis hiervan een oplossing samen te stellen.

De sociale omgeving waarin een organisatie zich bevindt, wordt bepaalt door de verwachtingen van betrokkenen en de culturele trends waarin zij opereert. De literatuur wijst uit dat het aantal stakeholders invloed heeft op de beheersbaarheid van een project. Stakeholders hebben ieder hun eigen belang, meer stakeholders resulteert in meer belangen waarmee rekening moet worden gehouden (Dao *et al.*, 2016; Hagan *et al.*, 2011; Kardes *et al.*, 2013; Qureshi & Kang, 2015). SE brengt de belangen van stakeholders in kaart en vertaalt deze naar eisen waaraan een project moet voldoen.

Gedurende het project is het voor de organisatie van belang dat de doelen, doelstellingen en belangen gemonitord worden. Het type opdrachtgever en de transparantie tussen beide partijen speelt ook een rol (Bosch-Rekvelde *et al.*, 2011; de Graaf *et al.*, 2016; Smartt & Ferreira, 2015). Als de klant het gebruik van SE vereist dan is de keuze snel gemaakt. Is er veel transparantie tussen beide partijen dan loopt de communicatie soepeler en is er minder noodzaak om alles goed vast te leggen via SE.

De technologische omgeving wordt bepaald door de innovaties en technologieën die het verloop van een project beïnvloeden. De literatuurstudie wijst uit dat wanneer een project afhankelijk is van nieuwe innovaties, dit meer risico's met zich mee brengt (Elm *et al.*, 2008; State of California, 2019). SE brengt deze risico's in kaart in de vorm van eisen, door vroege identificatie is het makkelijker om deze risico's waar mogelijk in te perken.

Het laatste element van het PESTLE model is de locatie van een project. In de literatuur wordt dit genoemd als factor die het risico van bepaalde werkzaamheden kan verhogen (Kermanshachi *et al.*, 2016). Er wordt in de literatuur echter niet gespecificeerd onder welke omstandigheden dit risico toeneemt. SE stelt, op basis van de locatie van een project, eisen samen. Deze eisen worden vervolgens gedurende het hele ontwerpproces meegenomen, en dragen dus bij aan een mogelijke oplossing.

4.3. Strategische vraagstukken vanuit de literatuur

Door de interne en externe omgeving van een organisatie tegen over elkaar te zetten worden er strategische vraagstukken samengesteld. De strategische vraagstukken bieden een kader waarbinnen de oplossing voor het probleem zich moet bevinden. De interne voorwaarden en externe omstandigheden die in de literatuur gevonden zijn, leveren de volgende strategische vraagstukken op.

De externe ontwikkeling waarbij stakeholders kritischer worden en de klant zich steeds verder terugtrekt, betekent dat de organisatie zich een vorm van omgevingsmanagement eigen moet maken. Dit kan een organisatie doen door te investeren in kennis en kunde van medewerkers en dit verder op te nemen in de projectstrategie. Dit kan door middel van SE gedaan worden doordat de eisen van stakeholders in een begin fase van een project in kaart gebracht worden. Ook biedt SE een organisatie de kans om op een gestructureerde wijze te werk gaan, hiervoor moet echter wel de kennis en kunde van medewerkers ten opzicht van SE voldoende zijn. Hier uit volgt dat wanneer het aantal stakeholders groot is je SE beter kunt toepassen.

De klant legt steeds meer verantwoordelijkheid bij de opdrachtnemer. Hierdoor moet de opdrachtnemer niet alleen in staat zijn om de locatie van een project maar ook met de eisen die vanuit de klant aan een project gesteld worden in kaart te brengen. Naast het in kaart brengen van deze eisen, moeten deze ook verwerkt worden in de uiteindelijke oplossing, hierin kan SE bemiddelen. Wanneer als de opdrachtnemer te maken heeft met een groot aantal klanteisen is het gebruik van SE aan te bevelen.

Hoewel de klant de verantwoordelijkheid bij de opdrachtgever legt, is er vanuit de klant wel de behoefte om te controleren of er aan zijn verwachtingen wordt voldaan. Deze controle wordt onder meer gedaan door inspecties te introduceren. Tijdens deze inspecties wil de klant dat de opdrachtnemer aantoont dat hij/zij aan de verwachtingen voldoet. De structuur van de organisatie moet dit echter wel toelaten. SE is een methode waarbij het verifiëren van eisen onderdeel uitmaakt van het ontwerpproces. Wanneer de klant wil inspecteren of de opdrachtnemer aan de eisen voldoet is SE aan te bevelen.

De behoefte van stakeholders om geen last te hebben van werkzaamheden betekent dat een opdrachtnemer ervoor moet zorgen dat systemen gedurende de werkzaamheden in bedrijf blijven. Dit betekent dat de opdrachtnemer maatregelen moet nemen om ervoor te zorgen dat dit op een veilige manier mogelijk is. Hierdoor kan extra tijdsdruk optreden en de strategie van een project aangepast moeten worden. SE helpt met het samenstellen van aanvullende eisen en het samenstellen van een realistische planning. Wanneer de werkzaamheden om bestaande systemen heen gepland moeten worden en als een project een lange duur heeft is het toepassen van SE aan te raden.

Nieuwe innovaties, die steeds vaker bij projecten worden ingezet, brengen meer risico met zich mee. Het is voor een klant en/of opdrachtnemer niet altijd even duidelijk of de nieuwe innovaties ten koste gaan van de precisie van de werkmethode of de kwaliteit van een product. Nieuwe innovaties kunnen leiden tot een andere werkstructuur en/of een andere strategische aanpak. SE geeft een organisatie de mogelijkheid om de precisie van de werkwijze en de kwaliteit van het product te verifiëren op de werkvloer. Ook is het voor een organisatie sneller duidelijk wanneer een innovatie niet aan de vastgestelde eisen voldoet. Wanneer een project gebruik gemaakt wordt van nieuwe innovaties is het gebruik van SE aan te raden.

De context van projecten brengen steeds meer risico met zich mee, bijvoorbeeld door gebrek aan ruimte of nabijheid van netwerken die niet gehinderd mogen worden. Dit betekent dat een organisatie afhankelijk is van de projectlocatie, en dus maatregelen moet nemen om het project succesvol te realiseren. Door SE toe te passen worden deze eisen in het begin van de ontwerpfase in kaart gebracht. Hierdoor wordt snel duidelijk welke structurele en strategische maatregelen een organisatie moet nemen om aan aanvullende eisen te voldoen. Wanneer het project zich bevindt op een risicovolle locatie kun je SE maar beter toepassen.

5. Toepassing Systems Engineering bij BAM Infra Energie en Water bv.

In hoofdstuk vier zijn strategische vraagstukken samengesteld op basis van de kennis die volgt vanuit de literatuur. In dit hoofdstuk worden strategische vraagstukken samengesteld op basis van de praktijk bij BAM E&W. Dit is onderzocht door acht verschillende interviews te houden met medewerkers op de engineering afdeling van BAM E&W. Tijdens de interviews zijn de deelnemers gevraagd naar hun ervaring met SE, hoe zij de toekomst zien van SE binnen BAM E&W en onder welke interne voorwaarden en externe omstandigheden volgens hen SE toegepast zou moeten worden.

5.1. Toekomst van Systems Engineering bij BAM Infra Energie en Water bv.

Tijdens het interview is aan de deelnemers gevraagd hoe zij de toekomst van SE zien binnen BAM E&W. Niet alle geïnterviewden waren even enthousiast over het gebruik van SE. Dit standpunt wordt versterkt door de onwetendheid van betrokken partijen op het gebied van SE. Het draagvlak voor de toepassing van SE is bij uitvoerders en opdrachtgevers eveneens minimaal. Ook binnen de afdeling wordt er niet altijd even positief gesproken over SE, zo wordt de methode als tijdrovend gezien en niet wenselijk bij kleinere projecten. Een engineer geeft aan dat de organisatie niet door moet slaan in de toepassing van SE. Het aantal uren dat aan SE besteed wordt moet wel in verhouding staan tot het aantal uren dat er aan een project gewerkt wordt.

De interviews brachten ook naar voren dat niet voor alle geïnterviewden de software die het mogelijk maakt om SE toe te passen even toegankelijk was. Volgens de coördinator kabels en leidingen derden, was het voor hem/haar dusdanig lastig om de software te gebruiken dat hij/zij afhankelijk werd van eisen- en risicomangers.

Hoewel de nadelen van SE tijdens de interviews veelvuldig genoemd zijn, zien de geïnterviewden ook de voordelen van het toepassen van SE. De geïnterviewden gaven aan dat SE een kader biedt waarbinnen omgevingseisen goed in kaart gebracht kunnen worden. Doordat de eisen beter in kaart gebracht worden en geregistreerd kan men volgens de geïnterviewden efficiënter en effectiever te werk gaan.

Volgens de geïnterviewden zorgt de toepassing van SE ervoor dat de beheersbaarheid en realiseerbaarheid van projecten vergroot wordt. Deze gestructureerder manier van werken zorgt er bovendien voor dat er veel minder data en informatie gedurende het project verloren gaat. Het juist en accuraat vastleggen van eisen, processen en vorderingen zorgt er bovendien voor dat het projectproces beter in kaart gebracht kan worden. Volgens de geïnterviewde senior engineer biedt SE de uitweg naar het “First Time Right principe” dit houdt in dat minder processen herhaald moeten worden omdat de kwaliteit onvoldoende is.

5.2. Interne analyse BAM Infra Energie en Water bv.

Bij de interne analyse bij BAM E&W is net als de literatuurstudie gebruik gemaakt van het 7s McKinsey model. Tijdens de interviews zijn de deelnemers gevraagd om interne voorwaarden te identificeren die invloed zouden moeten hebben op het gebruik van SE binnen de organisatie.

Het eerste element van het 7s McKinsey model is structuur. Oftewel, het coördineren van gespecialiseerde taken en medewerkers. Dit is volgens de geïnterviewden afhankelijk van het aantal activiteiten die plaats vinden binnen een projectfase. Een engineer geeft aan dat als een projectfase uit meer dan tien activiteiten bestaat een project dusdanig complex wordt dat er gestructureerder gewerkt zou moeten worden, dit kan in de vorm van SE zijn. Ook het aantal verantwoordelijke

deelnemers van een project speelt een rol in de allocatie van middelen binnen een organisatie. De geïnterviewde geeft aan dat zodra er meer dan één persoon verantwoordelijk is, er meer coördinatie vereist is. SE kan in de aanwijzing van verantwoordelijken bemiddelen. Dit doet SE door de eisen in kaart te brengen, de projectleider kan dan vervolgens op basis van deze eisen verschillende verantwoordelijken aanwijzen. De verantwoordelijkheid voor het leveren van materialen speelt in deze categorie ook een rol. Ligt deze verantwoordelijkheid bij een externe partij dan is het belangrijk dat alle relevante informatie goed is vast gelegd zodat hier geen vertraging opgelopen wordt.

De strategie, het tweede element van het 7s McKinsey model, is volgens de geïnterviewden onder meer afhankelijk van de duur van een project. Een senior engineer geeft aan dat een project met een duur van meer dan een jaar gebruik moet maken van SE. Dit terwijl een projectleider binnen dezelfde afdeling vindt dat een project met een duur langer zes weken gebruik moet maken van SE. De geïnterviewden geven ook aan dat het gebruik van SE minder wenselijk is bij projecten die vaak herhaald worden. Dit omdat bij deze projecten de processen al bekend zijn en de werkwijzen in de ogen van de geïnterviewde al geoptimaliseerd zijn.

Bij de derde categorie van het 7s McKinsey model systemen wordt er veelvuldig gerefereerd aan het aantal betrokken disciplines bij een project. Zo zegt een projectleider dat meerdere betrokken disciplines om betere communicatie en coördinatie vragen. De senior engineer benoemt ook de invloed die meerdere disciplines hebben op de uitvoering van een project, het risico van een project vergroot. Het aantal eisen waaraan een systeem moet voldoen wordt door een engineer ook benoemd in deze categorie. Hij/zij geeft aan dat als er meer dan vijftig eisen vanuit de opdrachtgever gesteld worden het gebruik van SE eigenlijk onvermijdelijk is, omdat er dan een goede structuur nodig is om de eisen te beheersen.

De geïnterviewden zijn ook gevraagd hoe het gebruik van SE beïnvloed wordt door de vierde categorie van het 7s McKinsey model: de managementstijl van een organisatie. De meeste deelnemers vonden het lastig om aan deze categorie voorwaarden te stellen. Uiteindelijk moet volgens de geïnterviewden de manier van werken aangepast worden, dit is echter zoals ook benoemt door een engineer lastig te meten.

Bij de vijfde categorie personeel zijn door meerdere geïnterviewden de grootte van een projectteam benoemd als voorwaarden. De reden hiervoor is dat de grootte van een team meestal afhankelijk is van de complexiteit van een project. Een van de geïnterviewde engineers heeft aangegeven dat een project groter dan vier personen eigenlijk altijd gebruik moet maken van SE. Bij het personeel benoemt de geïnterviewde engineer dat meer dan vijftig procent van het projectteam achter het gebruik van SE zou moeten staan. De kennis en openheid van de uitvoerder wordt gedurende de interviews ook meerdere malen benoemd. De uitvoerder moet volgens de geïnterviewden ook mee gaan in het toepassen van SE om het zo goed te laten verlopen.

De zesde en laatste categorie van het 7s McKinsey model vaardigheden van medewerkers werd door de geïnterviewden vooral geïnterpreteerd als de ervaring die medewerkers hebben. De benodigde ervaring wordt door verschillende personen anders benaderd. Waar de engineer de grens legt bij meer dan één jaar ervaring met SE binnen het projectteam, legt de projectleider en tenderstrateeg de grens bij één persoon binnen het projectteam.

Gedurende de interviews lieten de deelnemers merken welke categorieën zij wel en niet belangrijk vonden in de keuze om SE wel of niet toe te passen. Zo werd er benoemd dat de managementstijl en vaardigheden van medewerkers er in de keuze om SE niet toe zouden moeten doen.

5.3.Externe analyse BAM Infra Energie en Water bv.

De externe omgeving is door BAM E&W geanalyseerd met behulp van het PESTLE model. Gedurende de interviews zijn de deelnemers gevraagd welke externe omstandigheden invloed hebben op de keuze om SE wel of niet toe te passen.

De eerste categorie in het PESTLE model is de juridische omgeving. Deze heeft volgens de geïnterviewde betrekking op het type contract, het aantal aan te vragen vergunningen en de betrokkenheid van particulieren. De deelnemers geven aan dat het type contract een groot deel van het projectverloop bepaalt. Hierbij wordt aangegeven dat bij het gebruik van een UAV contract het gebruik van SE niet hoeft, terwijl een UAV-gc contract wel om de SE aanpak vraagt. Ook andere contractvormen waaronder een raamcontract en design and construct contract worden door deelnemers geïdentificeerd als omstandigheid waaronder SE toegepast moet worden. Het aantal vergunningen wordt door een engineer benoemd. Een echt getal aan deze omstandigheid koppelen vindt hij/zij lastig omdat hij/zij geen goed overzicht heeft van het gemiddelde aantal aan te vragen vergunningen per project. Ook het deelnemen van particulieren aan een project bemoeilijkt de juridische omgeving van een project. Dit omdat volgens de geïnterviewde particulieren zich vaker verzetten tegen maatregelen.

De economische omgeving, tevens de tweede categorie van het PESTLE model, van een project wordt door alle geïnterviewden gekenmerkt door budget. Waar de tenderstrategie het budget op tien miljoen euro zet voor het wel of niet toepassen van SE zet de engineer dit op vijftigduizend euro. Ook moet er bij de economische omstandigheden rekening worden gehouden met mogelijk boetes en/of penalty's voor het te laat of niet juist opleveren van een product. Als deze economische voorwaarden in het contract zijn opgenomen is het ook belangrijk dat wij als organisatie aan kunnen tonen dat wij aan de voorwaarden voldaan hebben.

De sociale omgeving is de derde categorie van het PESTLE model. De sociale weerstand tegen een project heeft grote invloed op de sociale omgeving waarin de organisatie zich bevindt. Sociale weerstand treedt volgens de projectleider op als er meerdere tegenstanders zich fel uitspreken tegen het uitvoeren van een project. De sociale omgeving van een project pakt volgens de geïnterviewde alles aan om het project stil te leggen. Er moet in dit geval goed aangetoond kunnen worden dat er aan alle vooraf gestelde eisen is voldaan. Het type opdrachtgever speelt ook een rol in de keuze om SE toe te passen. Is de opdrachtgever een van de volgende partijen dan is het toepassen van SE volgens de geïnterviewden gewenst: Rijkswaterstaat, ProRail, provincies, gemeentes en waterschappen. Naast het type opdrachtgever speelt ook zijn/haar wil om SE te gebruiken een rol, is dit een vereiste dan zal BAM E&W SE toe moeten passen. Het aantal stakeholders wordt in de interviews ook genoemd als factor die de sociale omgeving verandert. Wanneer het aantal stakeholders genoeg is om SE toe te passen, is echter enige onenigheid. De tenderstrategie geeft aan dat bij vijf of meer stakeholders SE toegepast moet worden. De calculator legt deze grens echter bij twee of meer.

De technologische omgeving is de vierde categorie van het PESTLE model en wordt volgens de geïnterviewden vooral beïnvloed door het wel of niet gebruiken van nieuwe materialen en technologieën. Als deze wel gebruikt worden dan is het belangrijk dat BAM E&W de kwaliteit van het opgeleverde product kan aantonen. Een geïnterviewde projectleider gaf ook aan dat werkzaamheden aan grote transportleidingen en -kabels een project ook bemoeilijken kunnen.

De laatste en vijfde categorie van het PESTLE model is omgeving. De geïnterviewden geven aan dat de locatie van een project een groot deel van het verloop bepalen. Zo werden de volgende omgevingen bestempeld als risicovoller; stedelijk gebied, nabij NS stations en sporen, nabij Provincialeweg, nabij

drukke verkeersstromen en op verontreinigd gebied. Onder deze omstandigheden zou het gebruik van SE dan ook standaard moeten.

Tijdens de interviews hebben de deelnemers ook laten blijken welke categorieën binnen het PESTLE model belangrijker zijn in de bepaling om SE wel of niet toe te passen. Zo werden de categorieën economie en technologie bestempeld als niet heel erg belangrijk. Dit omdat de economische omstandigheden van een project een zeer gelimiteerd beeld geven over de complexiteit van een project. Technologische omstandigheden zijn minder belangrijk omdat dit gewoonweg minder vaak voorkomt bij de projecten die bij BAM E&W uitvoert.

5.4. Strategische vraagstukken BAM Infra Energie en Water bv.

Op basis van de interne en externe omgeving die door middel van de interviews geanalyseerd zijn, worden in dit hoofdstuk tegen elkaar uitgezet om zo strategische vraagstukken samen te stellen. De strategische vraagstukken kaderen de mogelijke oplossingen verder af.

De nieuwe contractvormen waarbij er meer verantwoordelijkheid komt te liggen bij de opdrachtnemer zorgt ervoor dat daar ook meer risico komt te liggen. Dit betekent dat er niet altijd een kant en klare oplossing door de klant wordt aangedragen maar dat de opdrachtnemer deze oplossing nog moet samenstellen. SE beschrijft hoe een oplossing samengesteld kan worden en welke processen een organisatie hiervoor moet doorlopen. Wanneer de contractvorm bestaat uit een UAV-gc, raamwerk of Design and Construct contract is het aan te raden om SE toe te passen.

Het groeiende aantal financiële boetes en penalty's die in contracten opgenomen worden en het onvermogen van een organisatie om aan te tonen dat zij hieraan voldaan hebben. Dit probleem kan een organisatie verhelpen door haar structuur en processen zo aan te passen dat zij aan kan tonen dat er aan de financiële eisen voldaan is. De SE werkwijze toont gedurende het proces aan dat er aan de gestelde eisen voldaan is. Wanneer er financiële boetes en of penalty's aan een contract verbonden zijn is het goed om SE toe te passen.

Het groeiende aantal stakeholders en hun verwachtingen die nageleefd moeten worden, betekent dat een organisatie het aantal stakeholders en hun belangen en verwachtingen goed in kaart moet kunnen brengen. Met SE wordt dit gedaan omdat aan het begin van deze ontwerpmethode alle eisen bij de klant en desbetreffende stakeholders opgevraagd worden. Deze eisen worden gedurende het proces verwerkt in een uiteindelijk oplossing. Wanneer het aantal betrokken stakeholders groter is dan vijf dan is het gebruik van SE aan te raden.

Het type opdrachtgever en zijn/haar vraag om aan te tonen dat een opdrachtnemer aan de gestelde eisen voldoet, betekent dat de organisatie aan moet kunnen tonen dat er intern aan de eisen is voldaan. Het aantonen van eisen vindt in het SE proces plaats in het verificatie stadium. Wanneer de opdrachtgever meer dan een verificatiesessie eist, of als de opdrachtgever de gemeente, Provincie, Rijkswaterstaat, ProRail en/of waterschappen betreft, is het toe passen dan SE gewenst.

Het werken met transportleidingen en -kabels bevat meer risico's, bij dit soort werkzaamheden is het belangrijk dat een organisatie aan alle gestelde eisen en richtlijnen voldoet. SE helpt een organisatie om deze richtlijnen en eisen in kaart te brengen en te organiseren. Wanneer een project te maken heeft met transportleidingen en -kabels is het te adviseren om SE te gebruiken.

De omgeving van een project bepaald grotendeels voor wat voor een uitdagingen een projectteam komt te staan. Zo heeft een stedelijk gebied al snel te maken met meerdere stakeholders, moeten projecten in de buurt van een ns station, spoor en provinciale weg vaak aan striktere eisen voldoen en

kunnen drukke verkeersstromen en verontreinigd gebied voor veiligheidsrisico's zorgen. De organisatie moet bij deze omstandigheden extra eisen in kaart brengen. Indien deze omgevingsaspecten optreden kan SE bemiddelen in het in kaart brengen van aanvullende omgevingseisen. Wanneer deze omstandigheden optreden is het gebruik van SE te adviseren.

6. Naar een keuzemodel

In dit hoofdstuk worden de strategische vraagstukken vanuit de theorie en praktijk met elkaar vergeleken. Op basis van deze strategische vraagstukken en hun vergelijking zal een keuzemodel ingericht worden. In dit hoofdstuk wordt het keuzemodel ook verder gevalideerd, om zo tot een uiteindelijk keuzemodel te komen.

6.1. Vergelijking strategische vraagstukken

De strategische vraagstukken vanuit de literatuur en de praktijk komen veelal overeen. Zo benadrukken beide perspectieven de rol van het aantal stakeholders, het type opdrachtgever, aantal inspecties en de locatie van een project.

Het grootste verschil tussen de twee is dat de vraagstukken vanuit de praktijk zijn samengesteld uit veel specifiekere voorwaarden en omstandigheden. Een goed voorbeeld hiervan is de het aantal stakeholders. Waar de theorie zegt dat de stakeholders invloed hebben op de keuze om SE wel of niet te gebruiken wordt er hier niet gespecificeerd bij hoeveel stakeholders. De praktijk hangt hier wel een getal aan, namelijk vijf of meer stakeholders. Een ander voorbeeld is het aantal inspecties of verificatiesessies. De praktijk concludeert dat als er één of meer verificatiesessie zijn SE toegepast zou moeten worden terwijl de praktijk alleen zegt dat bij meerdere sessies SE handig is om te gebruiken.

Een ander verschil is, dat de praktijk ingaat op het type werkzaamheden, waar de theorie dit element geheel niet benoemt. Dit kan worden verklaard door het feit dat het type werkzaamheden wel heel specifiek zijn voor een gegeven sector. Ook het feit dat er geen tot weinig literatuur is over de toepassing van SE in de civiele techniek sector draagt bij aan het feit dat over deze specificatie geen literatuur te vinden is.

Op basis van de bovenstaande vergelijking kan er geconcludeerd worden dat de theorie en praktijk in grote lijnen met elkaar overeenkomen. De praktijk is specifiek in haar uitwerking dan de theorie.

6.2. Inrichting keuzemodel

Op basis van de strategische vraagstukken en hun vergelijking wordt een keuzemodel ingericht. Het keuzemodel betreft een stroomdiagram, hier is voor gekozen omdat een stroomdiagram een duidelijke schematische weergave geeft van de keuze om SE wel of niet toe te passen. Ook vergt het samenstellen van een stroomdiagram relatief weinig tijd. Ter vergelijking, bij een wegingsmodel dient verder onderzoek gedaan te worden naar de wegingsfactoren.

De eerste versie van het keuzemodel is te vinden bijlage B. Het keuzemodel is ingericht op basis van het belang van de categorieën binnen de theoretische modellen. Zo werd er tijdens de interviews benoemd dat de economische en technologische omgeving weinig invloed mogen hebben op de keuze om SE wel of niet toe te passen. Ook werden de categorieën managementstijl en vaardigheden uit het 7s McKinsey model minder belangrijk gevonden.

Het gebruik van een stroomdiagram betekent dit dat de elementen die weinig invloed moeten hebben op de keuze om SE wel of niet toe te passen zich boven in het keuzemodel bevinden. Dit zodat er in het geval van minder belangrijke factoren er aanvullende eisen nodig zijn om tot een positief of negatief advies te komen over de toepassing van SE.

Het keuzemodel begint met de factor “opdrachtgever eist gebruik van SE” omdat er in het geval de keuze over de toepassing van SE al gemaakt is door de opdrachtgever. Op de eerste regel van het keuzemodel bevinden zich de economische omstandigheden omdat deze door de praktijk bestempeld is als minder belangrijk. Ook de technologische omstandigheden bevinden zich in het bovenste gedeelte van het keuzemodel. De vaardigheden van medewerkers bevinden zich ook boven in het keuzemodel. Verder zijn beslissende factoren zoals het type opdrachtgever, aantal verificatiesessies, werkzaamheden die te maken hebben met transportleidingen en -kabels, aantal vergunningsaanvragen, eisen en de bereidheid van personeel of SE toe te passen onderaan de keten geplaatst. De categorieën waarin deze factoren zich bevinden, worden bestempeld als belangrijk. Op basis van deze gedachten is de eerste versie van het keuzemodel, zie bijlage B, samengesteld.

6.3. Model validatie

Op basis van de strategische vraagstukken is het keuzemodel in bijlage B ingericht. In dit hoofdstuk wordt dit keuzemodel gevalideerd. De validatie van het keuzemodel wordt op twee manieren uitgevoerd, ten eerste zal er een feedbacksessie plaats vinden, vervolgens wordt het keuzemodel gevalideerd met door zes projecten.

6.3.1. Feedbacksessie

De feedbacksessie is gehouden met drie medewerkers van de engineering afdeling waaronder het afdelingshoofd, de kwaliteitscoördinator en de teamleider regio noordoost. Tijdens de feedback sessie is de eerste versie van het keuzemodel gepresenteerd. Vervolgens is er aan de deelnemers gevraagd of ze het eens waren met de indeling van het keuzemodel en waarom. Er is specifiek gevraagd naar de benoemde getallen, doordat deze aantallen hier en daar van elkaar afweken, is er aan de deelnemers gevraagd om deze verder te concretiseren. De reden hiervoor is dat de deelnemers van de feedbacksessie een goed overzicht hebben van alle projecten en zo op basis van hun kennis aantallen vast kunnen stellen die de gehele engineering afdeling van BAM E&W weergeven.

De eerste reactie van de deelnemers op het keuzemodel was positief. De algemene indeling van het keuzemodel kwam overeen met hun verwachtingen. Door de plaatsing van minder belangrijke categorieën boven in het keuzemodel kan er altijd teruggevallen worden op de belangrijkste elementen die zich verderop in het keuzemodel bevinden. Ook de factoren die zich in de eerste versie van het keuzemodel bevonden kwamen met hun verwachtingen overeen.

Ondanks de positieve reacties waren er ook enige punten van kritiek. Waaronder vragen over de benaming en locatie van factoren en gebruikte getallen. Ook het gebruik van factoren als “minstens een project lid heeft ervaring met het toepassen van SE” en “er is een eerder vergelijkbaar project uitgevoerd” werd in twijfel getrokken. Volgens de deelnemers zou het gebruik van deze factoren niet van invloed zijn op de keuze om SE wel of niet toe te passen. De deelnemers suggereren dat deze factoren pas van belang zijn op het moment dat de keuze om SE toe te passen al gemaakt is. Op basis van deze argument en het feit dat er tijdens de interviews ook aangegeven is dat deze factoren niet van groot belang zijn, is er besloten om deze factoren uit het keuzemodel te halen.

Tijdens de feedbacksessie hebben de deelnemers ook beargumenteerd dat het type contract niet zo’n grote rol zou spelen in de keuze om SE wel of niet toe te passen. Dit omdat het contract mede bepaald word door de andere factoren in het keuzemodel. Het onderzoek wijst echter uit dat type contract er wel degelijk toe doet. Zo geeft het contract een indicatie van het type werkzaamheden die een organisatie moet verrichten en het mogelijke risico wat zij bij een gegeven project lopen. Daarom is besloten, ondanks de feedback, om deze factor in het keuzemodel te houden.

Bij het doornemen van het keuzemodel ontstond er tijdens de feedbacksessie onenigheid over de benaming van enige factoren en hun betekenis. Zo was er onduidelijkheid over het verschil tussen “nieuwe technologieën” en “bestaande technieken”, deze benaming komt volgens de deelnemers op het zelfde neer. Zo betekent het gebruik van nieuwe technologieën dat er geen gebruik gemaakt wordt van bestaande technieken. Op basis van deze feedback is vervolgens de keuze gemaakt om deze factoren samen te voegen in de volgende factor “gebruik van nieuwe innovaties”.

Er waren drie factoren die volgens de deelnemers niet op de juiste plek stonden. Tot deze factoren behoort het aantal vergunningsaanvragen. In de eerste versie van het keuzemodel bevindt deze factor zich buiten de omgevingsloop. De deelnemers beargumenteren dat de factor “aantal vergunningen” zich in de omgevingsloop moet bevinden. De reden is dat het aantal vergunningen volledig afhankelijk is van de omgeving waarin een project zich bevindt. Volgens de deelnemers zou deze factor dan ook opgenomen moeten worden in de omgevingsloop.

De andere twee factoren die volgens de deelnemers op een andere plek horen te staan zijn “Rijkswaterstaat, ProRail, gemeentes, Provincies, en/of waterschappen als opdrachtgever(s)” en “Meer dan 50 eisen vanuit de opdrachtgever”. De deelnemers suggereren deze twee factoren van positie te ruilen. Dit omdat volgens de inrichting van het keuzemodel factoren die een groter belang hebben zich onderin het keuzemodel moeten bevinden. De rol van de opdrachtgever moet volgens de deelnemers zeker niet onderschat worden en dus volgens de principes die de indeling van het keuzemodel bepalen zouden deze factoren dan op elkaars plaats moeten staan. Op basis van deze argumentatie is ervoor gekozen om de positie van deze twee factoren om te wisselen.

Als laatste zijn de gebruikte getallen besproken. Hierbij gaven de deelnemers aan dat de volgende getallen een goede representatie gaven van de werkzaamheden binnen de engineering afdeling van BAM E&W, “project boven de 50 000 euro”, “meer dan 50 eisen vanuit de opdrachtgever”, “meer dan 50% van het projectteam staat achter het gebruik van SE” en “meer dan een verificatiesessie”. De andere gebruikte getallen zouden volgens de deelnemers aangepast moeten worden.

De eerste versie van het keuzemodel bevatte een project duur van zes weken. In de feedbacksessie kwam naar voren dat ieder project binnen de afdeling een standaard duur heeft van minimaal 6 weken omdat de doorlooptijd van een vergunning gemiddeld net zo lang duurt. Op basis van de kennis over de duur van vergunningsaanvragen en het gemiddelde aantal werkuren aan een project per week stellen de deelnemers een minimum van vijftien weken voor. Op basis van de argumentatie is ervoor gekozen om dit nieuwe minimum aan te houden.

De grens van het aantal betrokken stakeholders lag in de eerste versie van het keuzemodel op drie stakeholders. Tijdens de feedbacksessie werd duidelijk dat eigenlijk ieder project wel te maken had met drie stakeholders waaronder de klant, vergunningverlener en omwonenden. De deelnemers stelde voor om deze grens te verhogen naar vijf betrokken stakeholders. Het feit dat dit getal ook tijdens de interviews genoemd is heeft er toe geleid dat het minimum aantal betrokken stakeholders is verhoogd van drie naar vijf.

Het aantal activiteiten binnen een projectfase staat in het originele keuzemodel op tien. Tijdens de feedbacksessie werd duidelijk dat verreweg alle projectfases bestaan uit tien of meer activiteiten. De deelnemers hebben gesuggereerd om deze limiet van tien naar dertig activiteiten te verhogen.

Tijdens de interviews heeft geen enkele deelnemer gespecificeerd bij hoeveel vergunningsaanvragen SE wel of niet toegepast zou moeten worden. Dit omdat de deelnemers vonden dat zij te weinig expertise hadden om hier een concreet getal aan te hangen. Gedurende de feedbacksessie is er aan deze kandidaten gevraagd of zij hier wel een getal voor konden produceren. Uiteindelijk waren de drie

deelnemers het eens dat er twee of meer vergunningsaanvragen gedaan moeten worden om SE mogelijk toe te passen.

Zoals hierboven beschreven zijn er een aantal aanpassingen aan het keuzemodel gemaakt. In bijlage C is de tweede versie van het keuzemodel te vinden. Naast de inhoud van het keuzemodel suggereerde de deelnemers ook om vakjes toe te voegen om zo de gebruiksvriendelijkheid van het keuzemodel te vergroten.

6.3.2. Projectvalidatie

Tweede manier van validatie is projectvalidatie, dit betekent dat er zes verschillende projecten door het keuzemodel gehaald worden om zo na te gaan of de keuze over het toepassen van SE volgens het keuzemodel overeenkomt met de werkelijkheid. Zo werden er drie projecten bekeken waarbij SE toegepast zou moeten worden en drie projecten waarbij SE niet toegepast zou hoeven te worden. De stroomdiagrammen van ieder geanalyseerd project zijn te vinden in bijlage D. In tabel 3 is een overzicht van de resultaten te vinden.

Project Naam	BAM E&W advies toepassen SE	Keuzemodel advies toepassen SE
Vitens Poppenallee Dalfsen	Ja	Positief
Enexis MS-traces Delfzijl	Ja	Positief
Enexis Tynaarlo	Ja	Positief
Lassuslaan Zwolle	Nee	Positief
Haatlandhaven Kampen	Nee	Negatief
Sasweg Genemuiden	Nee	Negatief

Tabel 3 Resultaten projectvalidatie

Uit de projectvalidatie blijkt dat de gewenste uitkomst meestal ook de daadwerkelijke uitkomst is van het keuzemodel. Echter in het geval van het project Lassuslaan in Zwolle geeft het keuzemodel een positief advies omtrent de toepassing van SE terwijl BAM E&W aangeeft dat dit niet het geval zou moeten zijn. Terugkijkend op het ingevulde keuzemodel wordt deze keuze gemaakt door de factor “vijf of meer betrokken stakeholders”. Het project aan de Lassuslaan heeft te maken met kabels en leidingen van verschillende partijen in dezelfde sleuf. Hierdoor stijgt het aantal stakeholders boven het minimum uit en adviseert het keuzemodel de toepassing van SE. Aangezien het vaker voorkomt dat er werkzaamheden gedaan worden aan één van de kabels in een proefsleuf is het belangrijk om dit scenario verder op te nemen in het keuzemodel. Naar aanleiding van deze conclusie is het type stakeholder verder gespecificeerd naar het volgende “vijf of meer betrokken stakeholders exclusief RNB”, waarbij RNB de afkorting is voor Regionale Netbeheerders”. In bijlage E is het uiteindelijke keuzemodel te vinden.

7. Conclusie

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

“Welke omstandigheden en voorwaarden bepalen of systems engineering een passende ontwerpmethode is voor een gegeven project van BAM Infra Energie en Water bv?”

Om deze vraag te beantwoorden is eerst een theoretisch kader samengesteld. Het theoretisch kader bestaat uit een onderzoek naar het belang van de SE methode. Uit literatuur blijkt dat SE een belangrijke rol speelt in het verbeteren van projectprestaties. Daarnaast is onderzocht welke theoretische modellen de omgevingsfactoren van een project en haar organisatie kunnen analyseren. Het 7s McKinsey model is voor dit onderzoek het meest geschikt voor het evalueren van projectprocessen binnen een organisatie. Dit omdat het 7s McKinsey model ontworpen is om de prestatie van een organisatie te analyseren. Het PESTLE model is een veelgebruikte en bewezen methode voor het analyseren van projecten, waaronder in de bouw.

Met behulp van een literatuurstudie zijn interne en externe factoren geïdentificeerd die gecategoriseerd zijn op basis van het 7s McKinsey model en het PESTLE model. Aan de hand van deze literatuurstudie zijn zes strategische vraagstukken afgeleid waarbij SE toegepast dient te worden:

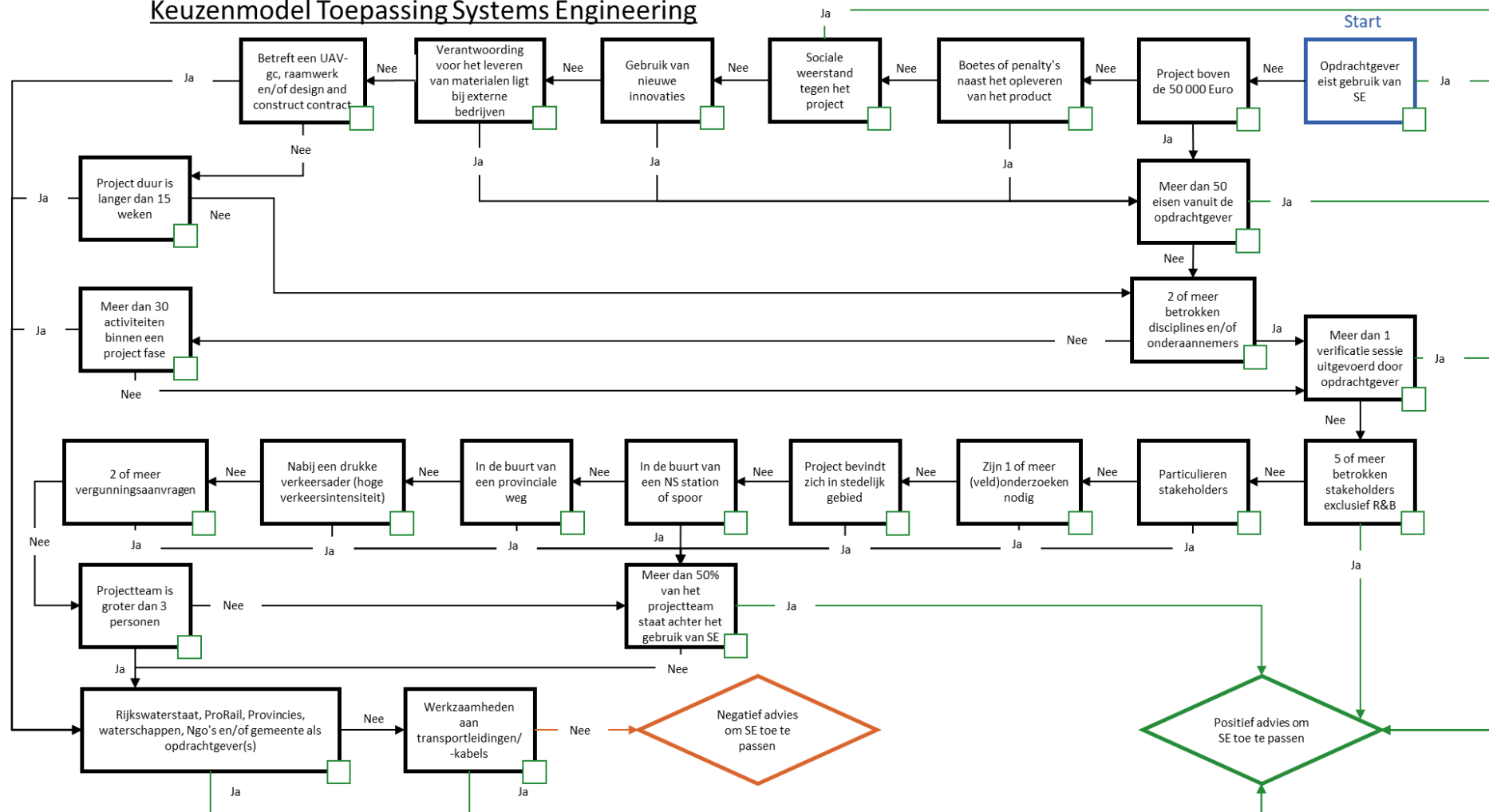
- groot aantal stakeholders;
- groot aantal klanteisen;
- meerdere inspecties van klant;
- werkzaamheden om bestaande systemen heen;
- toepassen van nieuwe innovaties;
- risicovolle locaties.

Naast de literatuurstudie is onderzoek gedaan naar de afwegingen van BAM E&W medewerkers om SE wel of niet toe te passen. Op basis van de interviews zijn er zeven strategische vraagstukken samengesteld waarbij SE toegepast dient te worden:

- Contractvorm bestaande uit UAV-gc, raamwerk en/of design and construct contracten;
- Financiële boetes en/of penalty's;
- Meer dan vijf betrokken stakeholders;
- Meer dan één vereiste verificatiesessie;
- Opdrachtgevers waaronder Rijkswaterstaat, ProRail, Provincies, waterschappen en/of gemeentes;
- Werkzaamheden aan transportleidingen en/of -kabels;
- Locaties waaronder stedelijke gebied, nabij ns station of spoor, nabij verontreinigd gebied, nabij provinciale weg en/of nabij een drukke verkeersader.

Het *antwoord* op de hoofdvraag is gegeven in de vorm van een keuzemodel die advies geeft over het toepassen van SE. Het keuzemodel is tijdens dit onderzoek gevalideerd door middel van een feedbacksessie en zes projectvalidaties. Het definitieve keuzemodel bevindt in figuur 2.

Keuzenmodel Toepassing Systems Engineering



Figuur 2 Keuzemodel over de toepassing van SE

8. Aanbevelingen

De aanbevelingen voor BAM E&W omtrent het gebruik van het keuzemodel zijn gebaseerd op hoe het keuzemodel in de meest ideale omstandigheden gebruikt dient te worden. De aanbevelingen zijn als volgt:

- Zie het keuzemodel als levend document, omdat projecten in de toekomst kunnen veranderen.
- Voeg het invullen van het keuzemodel toe aan de standaard werkprocedures van de engineering afdeling van BAM E&W. Hierdoor wordt steeds meer informatie verzameld over het functioneren van het keuzemodel en kan het keuzemodel waar nodig verbeterd worden.
- Evalueer het keuzemodel ieder kwartaal om ervoor te zorgen dat het keuzemodel representatief blijft van de engineering afdeling van BAM E&W.
- Gebruik het keuzemodel dient alleen als een raadgevend kader. De uiteindelijke beslissing over het toepassen van SE ligt bij de leidinggevende en de projectverantwoordelijke.
- Zorg dat wanneer het keuzemodel de toepassing van SE adviseert, er genoeg beschikbare middelen zijn om SE goed uit te voeren.

9. Discussie en vervolgonderzoeken

BAM E&W wil door middel van dit onderzoek duidelijkheid scheppen over de toepassing van SE binnen haar afdeling. Zodoende is er een literatuurstudie gedaan naar de voorwaarden en omstandigheden waaronder SE toegepast zou moeten worden. Tijdens deze studie bleek dat hoewel er veel onderzoek gedaan is naar projectfactoren deze vaak niet gelinkt zijn aan het toepassen van SE. Ook beschrijven de factoren vaak alleen een globale trend. Dit bemoeilijkt het onderzoek doordat de theorie niet direct met de praktijk vergeleken kan worden, er kan namelijk alleen maar gekeken worden naar de algemene stromingen.

Het onderzoek bevat ook een praktijk gedeelte, bestaande uit interviews met BAM E&W medewerkers. Aangezien het keuzemodel deels gebaseerd is op deze informatie is het keuzemodel niet meteen toepasbaar bij andere afdelingen binnen BAM of bij andere externe partijen. Het is dus ook niet zeker of het keuzemodel representatief is voor de gehele kabels en leidingen sector, laat staan de bouwsector.

Hoewel het keuzemodel gevalideerd is, blijft deze validatie beperkt. Om beter inzicht te krijgen in het functioneren van het keuzemodel zou deze eigenlijk door alle medewerkers binnen de engineering afdeling van BAM E&W geëvalueerd moeten worden. Verder is het belangrijk om in acht te nemen dat het keuzemodel met slechts zes projecten gevalideerd is. Hoewel deze projecten representatief zijn voor de projecten binnen de afdeling is het waarschijnlijk dat het keuzemodel niet altijd de juiste uitkomst zal bieden.

Om de betrouwbaarheid van het keuzemodel te vergroten is verdere validatie en verificatie vereist. Zo kan het keuzemodel gevalideerd worden door opdrachtgevers van BAM E&W. Tevens worden de opdrachtgevers door deze validatie op de hoogte gesteld van het afwegingsproces van BAM E&W. De verificatie van het model bij andere BAM afdelingen of externe partijen zal de betrouwbaarheid van het keuzemodel ook ten goede komen.

Als een project bij de engineering afdeling afgehandeld is wordt het project overgedragen aan de uitvoeringsafdeling. Echter, is het nog onduidelijk hoever de uitvoeringsafdeling is in het implementeren van SE. Een vervolgonderzoek naar de implementatie van SE bij de uitvoeringsafdeling is hier op zijn plaats.

Tot slot kwam er tijdens de interviews naar voren dat er behoefte is aan een SE-light versie. De stap van het niet toepassen van SE naar het toepassen van SE is voor sommige medewerkers nog lastig. Het ontwikkelen van een simpel stappenplan waarin de SE werkwijze in een paar stappen wordt beschreven zou hierin enorm kunnen helpen. Op deze wijze wordt de drempel omtrent het gebruik van SE verlaagd.

10. Bronnen

- Achinas S., Horjus J., Achinas V., & Euverink G. J. W. (2019). A PESTLE Analysis of Biofuels Energy Industry in Europe. *Sustainability*, 11(21), 5981-6005. doi:10.3390/su11215981
- Aithal P. (2017). ABCD Analysis as Research Methodology in Company Case Studies. *International Journal of Management, Technology, and Social Sciences (IJMTS)*, 2(2), 40-54. doi:10.5281/zenodo.891621
- Bosch-Rekvelde M., Jongkind Y., Mooi H., Bakker H., & Verbraeck A. (2011). Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework. *International Journal of Project Management*, 29(6), 728-739. doi:10.1016/j.ijproman.2010.07.008
- Buck P., Donkers J. H., Linde P. v. d., Nijpels E., Siertsema T., & Verhagen M. (2013). *Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-Sector: De samenhang centraal*. Retrieved from Nunspeet: https://www.leidraadse.nl/assets/files/downloads/LeidraadSE/V3/Leidraad_V3_SE_web.pdf
- Chapman R. J. (2016). A framework for examining the dimensions and characteristics of complexity inherent within rail megaprojects. *International Journal of Project Management*, 34(6), 937-956. doi:10.1016/j.ijproman.2016.05.001
- Chong H.-Y., & Preece C. N. (2014). Improving construction procurement systems using organizational strategies. *Acta Polytechnica Hungarica*, 11(1), 5-20.
- CROW. (2019). RAW. Retrieved from <https://www.crow.nl/thema-s/contracteren/raw-reguliere-bestek>
- Dao B., Kermanshachi S., Shane J., & Anderson S. (2016). Project Complexity Assessment and Management Tool. *Procedia Engineering*, 145, 491-496. doi:10.1016/j.proeng.2016.04.026
- de Graaf R., Voordijk H., & van den Heuvel L. (2016). Implementing Systems Engineering in Civil Engineering Consulting Firm: An Evaluation. *Systems Engineering*, 19(1), 44-58. doi:10.1002/sys.21336
- Dickerson C. E., & Mavris D. N. (2016). *Architecture and Principles of Systems Engineering*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Elm J. P., & Goldenson D. R. (2012). *The Business Case for Systems Engineering Study: Results of the Systems Engineering Effectiveness Survey* (CMU/SEI-2012-SR-009). Retrieved from Hanscom AFB, MA:
- Elm J. P., Goldenson D. R., Emam K. E., Donatelli N., Neisa A., & NDIA SE Effectiveness Committee. (2008). *A survey of systems engineering effectiveness - initial results* (CMU/SEI-2008-SR-034). Retrieved from Hanscom AFB, MA: <http://d-scholarship.pitt.edu/33924/1/081200%20A%20survey%20of%20Systems%20Engineering%20Effectiveness%20-%20Detailed%20data.pdf>
- Friedenthal S., Beihoff B., Kemp D., Nichols D., Oster C., Paredis C., Stoewer H., & Wade J. (2007). *A world in motion - Systems Engineering vision 2025*. Retrieved from San Diego, CA: https://www.incose.org/docs/default-source/aboutse/se-vision-2025.pdf?sfvrsn=b69eb4c6_4

- Hagan G., Bower D., & Smith N. J. (2011). *Managing complex projects in multi-project environments*. Paper presented at the ARCOM 2011 - Proceedings of the 27th Annual Conference, Bristol, UK.
- Hutchison N., Henry D., & Pyster A. (2016). Atlas: Understanding what makes systems engineers effective in the U.S. defense community. *Systems Engineering*, 19(6). doi:10.1002/sys.21372
- Hybertson D., Hailegiorgis M., Griesi K., Soeder B., & Rouse W. (2018). Evidence-based systems engineering. *Systems Engineering*, 21(3), 243-258. doi:10.1002/sys.21427
- International Council on Systems Engineering. (2015). *Systems Engineering Handbook: A guide for system life cycle processes and activities* (D. D. Walden, G. J. Roedler, K. J. Forsberg, R. D. Hamelin, & T. M. Shortell Eds. 4 ed.). San Diego, CA: Wiley.
- Kallio H., Pietilä A. M., Johnson M., & Kangasniemi M. (2016). Systematic methodological review: developing a framework for a qualitative semi-structured interview guide. *Journal of Advanced Nursing*, 72(12), 2954-2965. doi:10.1111/jan.13031
- Kaplan R. S. (2005). How the balanced scorecard complements the McKinsey 7-S model. *Strategy & leadership*, 33(3), 41-46. doi:10.1108/10878570510594442
- Kardes I., Ozturk A., Cavusgil S. T., & Cavusgil E. (2013). Managing global megaprojects: Complexity and risk management. *International Business Review*, 22(6), 905-917. doi:10.1016/j.ibusrev.2013.01.003
- Keijts L. H., Klerk B., Tuinen J. L. v., & Coppes J. G. A. (2007). *Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector* (1 ed.).
- Kermanshachi S., Dao B., Shane J., & Anderson S. (2016). Project Complexity Indicators and Management Strategies - A Delphi Study. *Procedia Engineering*, 145, 587-594. doi:10.1016/j.proeng.2016.04.048
- Koninklijke BAM Group. (2019). *SE-wijzer: Handleiding systems engineering voor BAM Infra*. Retrieved from <https://www.leidraadse.nl/publicaties>
- Kordova S., Katz E., & Frank M. (2019). Managing development projects—The partnership between project managers and systems engineers. *Systems Engineering*, 22(3), 227-242. doi:10.1002/sys.21474
- Krupa G. P. (2019). Application of Agile Model-Based Systems Engineering in aircraft conceptual design. *Aeronautical Journal*, 123(1268), 1561-1601. doi:10.1017/aer.2019.53
- Luo L., He Q., Jaselskis E. J., & Xie J. (2017). Construction Project Complexity: Research Trends and Implications. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(7), 04017019. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001306
- Maylor H., & Turner N. (2017). Understand, reduce, respond: project complexity management theory and practice. *International Journal of Operations & Production Management*, 37(8), 1076-1093. doi:10.1108/IJOPM-05-2016-0263
- Mills A. J., Wiebe E., Durepos G., Sage P., & Sage e. (2009). *Encyclopedia of case study research* [1 online resource : illustrations, digital, HTML, PDF]. Retrieved from <http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=996894>

- Perry III D. A., Olson B., Blessner P., & Blackburn T. D. (2016). Evaluating the Systems Engineering Problem Management Process for Industrial Manufacturing Problems. *Systems Engineering*, 19(2), 133-145. doi:10.1002/sys.21340
- PIANO Expertisecentrum Aanbesteding. (2019). Traditionele contractvorming GWW (RAW, OMOP en Bouwteam). Retrieved from <https://www.pianoo.nl/nl/markten/gww/inkopen-gww/gww-contractvormen/traditionele-contractvormen-gww-raw-omop-bouwteam>
- Qureshi S. M., & Kang C. (2015). Analysing the organizational factors of project complexity using structural equation modelling. *International Journal of Project Management*, 33(1), 165-176. doi:10.1016/j.ijproman.2014.04.006
- Rastogi N., & Trivedi M. K. (2016). PESTLE Technique - A tool to identify external risks in construction projects. *International Research Journal of Engineering Technology*, 3(1), 384-388. Retrieved from <https://irjet.net/archives/V3/i1/IRJET-V3I165.pdf>
- Ravanfar M. M. (2015). Analyzing Organizational Structure based on 7s model of McKinsey. *Global Journal of Management And Business Research*, 15(10).
- Sheffield J., Sankaran S., & Haslett T. (2012). Systems thinking: taming complexity in project management. *On the Horizon*, 20(2), 126-136. doi:10.1108/10748121211235787
- Sillitto H., Martin J., McKinney D., Griego R., Dori D., Krob D., Godfrey P., Arnold E., & Jackson S. (2019). *Systems engineering and system definitions*. Retrieved from San Diego, CA: https://www.incose.org/docs/default-source/default-document-library/final_-se-definition.pdf?sfvrsn=340b9fc6_0
- Smartt C., & Ferreira S. (2015). Systems Engineering Success Factors for Capturing Contracts. *Systems Engineering*, 18(1), 71-86. doi:10.1002/sys.21289
- State of California. (2019). *Local Assistance Procedure Manual; Systems Engineering Review Form*. (EXHIBIT 7-I). Retrieved from <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/local-assistance/documents/lapm/c07/07i.pdf>
- Systems Engineering Body of Knowledge. (2019). System Requirements. Retrieved from https://www.sebokwiki.org/wiki/System_Requirements#Relationship_to_Stakeholder_Requirements_and_Logical_Architecture
- Viola N., Corpino S., Fioriti M., & Stesina F. (2012). Functional Analysis in Systems Engineering: Methodology and Applications In B. Cogan (Ed.), *Systems Engineering - Practice and Theory* (pp. 71-96). Rijeka, Croatia: InTech.
- Waterman R. H., Peters T. J., & Phillips J. R. (1980). Structure is not organization. *Business Horizons*, 23(3), 14-26. doi:10.1016/0007-6813(80)90027-0

Bijlage A: Opzet interviews

Achtergrond Informatie

Het onderwerp van het interview betreft het gebruik van systems engineering (SE) binnen projecten bij BAM Infra Energie en Water bv (BAM E&W). De geïnterviewden zijn allen werkzaam bij BAM E&W en hebben praktische ervaring met de toepassing van SE. Tijdens het interview zal er gevraagd worden naar hun ervaring van het werken met deze ontwerp methode, welke voor- en nadelen de methode heeft en wanneer zij vinden dat de methode het beste toegepast kan worden.

Doel

Het hoofddoel van het interview is om te bepalen onder welke condities en voorwaarden SE het beste kan worden toegepast volgens de praktijk (BAM E&W). Belangrijk hier bij is de ervaring die de geïnterviewde personen hebben met SE. Specifieke onderwerpen die benoemd zullen worden zijn onder andere: ervaring, kansen en uitdagingen, omstandigheden en voorwaarden.

Structuur

Het interview zal semigestructureerd zijn, dit houdt in dat de hoofdvragen gesloten zijn terwijl de opvolgende vragen juist open zijn. De gesloten vragen geven de kans om te bepalen hoeveel kennis de persoon heeft op een van de raakvlakken. De opvolgende open vragen zorgen ervoor dat zij vrij kunnen vertellen over hun ervaring met een van de specifieke onderwerpen.

Het interview zal ongeveer een uur duren, de eerste vijf minuten zal bestaan uit een introductie van mijn onderzoek en uitleg over hoe het interview zal bijdragen aan dit onderzoek. Daarna zullen de vragen gesteld worden. Tijdens het interview zullen de geïnterviewden een afbeelding te zien krijgen van de onderzochte categorieën.

Tijdens het interview zullen er GEEN opnames plaats vinden. De interviews zijn en blijven anoniem, aantekeningen zullen enkel gebruikt worden voor een samenvatting. De resultaten uit het interview zullen alleen gebruikt worden binnen mijn bachelor eindopdracht. Als de geïnterviewde het eindrapport van de bachelor eindopdracht of de onderzoeksresultaten wil ontvangen, zal dit geregeld worden.

Tijdens het Interview

Bij aanvang van het interview zal het volgende gezegd worden:

“Ten eerste wil ik je bedanken voor het deelnemen aan dit interview. Zoals je misschien al weet loop ik tien weken stage bij BAM Infra Energie en Water bv in kader van mijn bachelor eindopdracht. Voor deze opdracht doe ik onderzoek naar de toepassing van SE, specifiek naar de omstandigheden en voorwaarden waarin SE het beste toegepast kan worden. Het uiteindelijke doel van het onderzoek is het samenstellen van een keuzemodel dat bepaalt of SE voor een gegeven project ingezet zou moeten worden. Theoretische en praktische kennis van SE zal het keuzemodel vorm geven.

Tot dusver heb ik onderzoek gedaan naar de theoretische kennis over het toepassen van SE. Dit interview draagt bij aan de praktische kennis, en zal vooral ingaan op de kansen en uitdagingen die jij ziet binnen de SE methode. Ook zal er specifiek gevraagd worden naar mogelijke omstandigheden en voorwaarden waarin jij vindt dat SE wel of niet toegepast moet worden. Uiteindelijk wordt de informatie van jouw interview en het interview van anderen samengesteld en vergeleken met de

theoretische kennis. Deze twee bronnen worden met elkaar vergeleken, aan de hand hiervan wordt besloten welke exacte omstandigheden en voorwaarden in het model verwerkt zullen worden. Belangrijk om te weten is dat omstandigheden verwijzen naar de externe factoren waaraan een project is blootgesteld. De voorwaarden verwijzen naar de interne kenmerken van een project.

Verder wil ik je ervan op de hoogte stellen dat dit interview anoniem is en zal blijven. In geen enkele rapportage of document zal jouw naam gebruikt worden. Tijdens het interview zal ik aantekeningen maken, er zullen geen opnames plaats vinden. De aantekeningen zullen verwerkt worden tot interview verslagen, en uiteindelijke resultaten. De interview verslagen zullen anoniem zijn en alleen door mijn onderzoeksbegeleiders ingezien worden. De uiteindelijke resultaten van alle interviews zullen zo in het rapport verwerkt zijn dat ze niet te herleiden zijn naar een specifiek persoon.

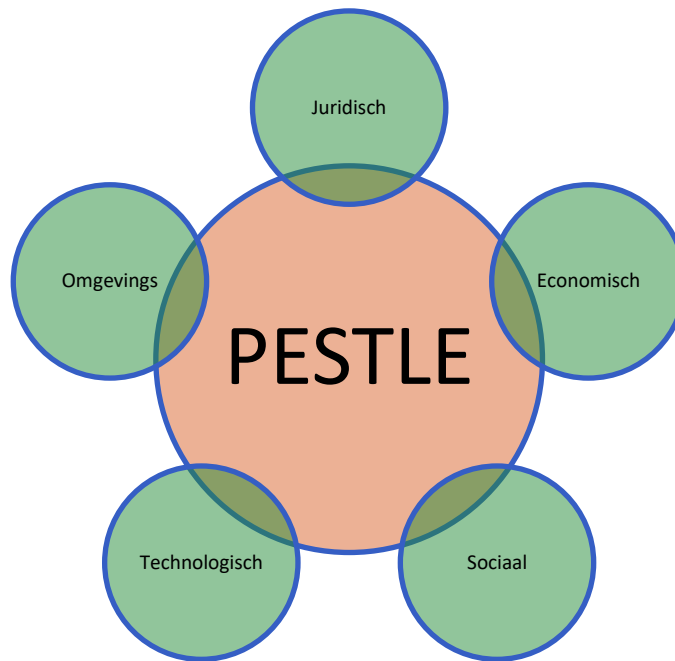
Heb jij nog vragen voordat we met het officiële interview beginnen?”

Ervaring met SE

- Wat is jou positie binnen BAM Infra E&W?
 - Hoe lang ben je al actief bij BAM Infra E&W?
- Wat voor een praktische ervaring heb je met SE?
 - Hoe vaak heb je SE in de praktijk toegepast?
 - Bij wat voor een projecten heb je SE gebruikt?
- Wat is jouw persoonlijke mening ten opzichte van SE?
 - Hoe zie jij de toekomst van SE binnen BAM E&W?
 - Welke kansen zie je in de toepassing van SE?
 - Tegen welke uitdagingen loop je aan in het toepassen van SE?
- Hoe wordt SE toegepast binnen een project van BAM E&W?
 - Kun je een voorbeeld geven van een project waarin SE gebruikt is en waarom?
 - Verliep het project dat SE gebruikte soepeler dan andere projecten waarbij jij betrokken was?

Omstandigheden (Externe Factoren)

De omstandigheden waarin SE wel of niet toepasbaar is, is geanalyseerd aan de hand van de PESTLE methode. Deze methode wordt veel gebruikt in het analyseren van externe omgevingen. De methode maakt gebruik van de categorieën die in figuur 3 te zien zijn.

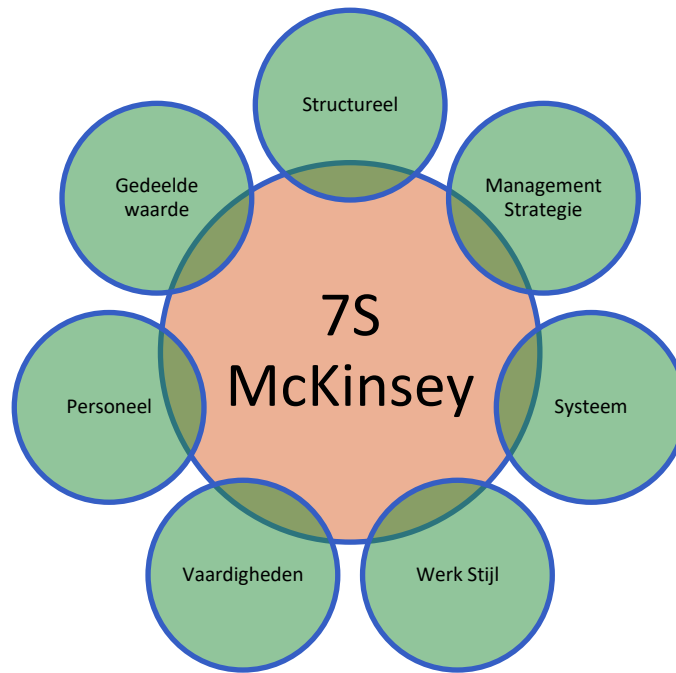


Figuur 3 Categorieën van het PESTLE model

- Omstandigheden waarin SE toegepast zou moeten worden?
 - Onder welke **juridische** omstandigheden zou SE toegepast moeten worden?
 - Onder welke **economische** omstandigheden zou SE toegepast moeten worden?
 - Onder welke **sociale** omstandigheden zou SE toegepast moeten worden?
 - Onder welke **technologische** omstandigheden zou SE toegepast moeten worden?
 - Onder welke **omgevingsomstandigheden** zou SE toegepast moeten worden?
- Omstandigheden waarin SE niet toegepast zou moeten worden?
 - Onder welke **juridische** omstandigheden zou SE NIET toegepast moeten worden?
 - Onder welke **economische** omstandigheden zou SE NIET toegepast moeten worden?
 - Onder welke **sociale** omstandigheden zou SE NIET toegepast moeten worden?
 - Onder welke **technologische** omstandigheden zou SE NIET toegepast moeten worden?
 - Onder welke **omgevingsomstandigheden** zou SE NIET toegepast moeten worden?

Voorwaarden (Interne Factoren)

Om de interne voorwaarden te analyseren is er in dit onderzoek gebruikt gemaakt van het 7s Model van McKinsey. Dit model wordt veelal gebruikt om de omgeving binnen een bedrijf en/of project te analyseren. De categorieën van dit model zijn te vinden in figuur 4.



Figuur 4 Categorieën van het 7s McKinsey model

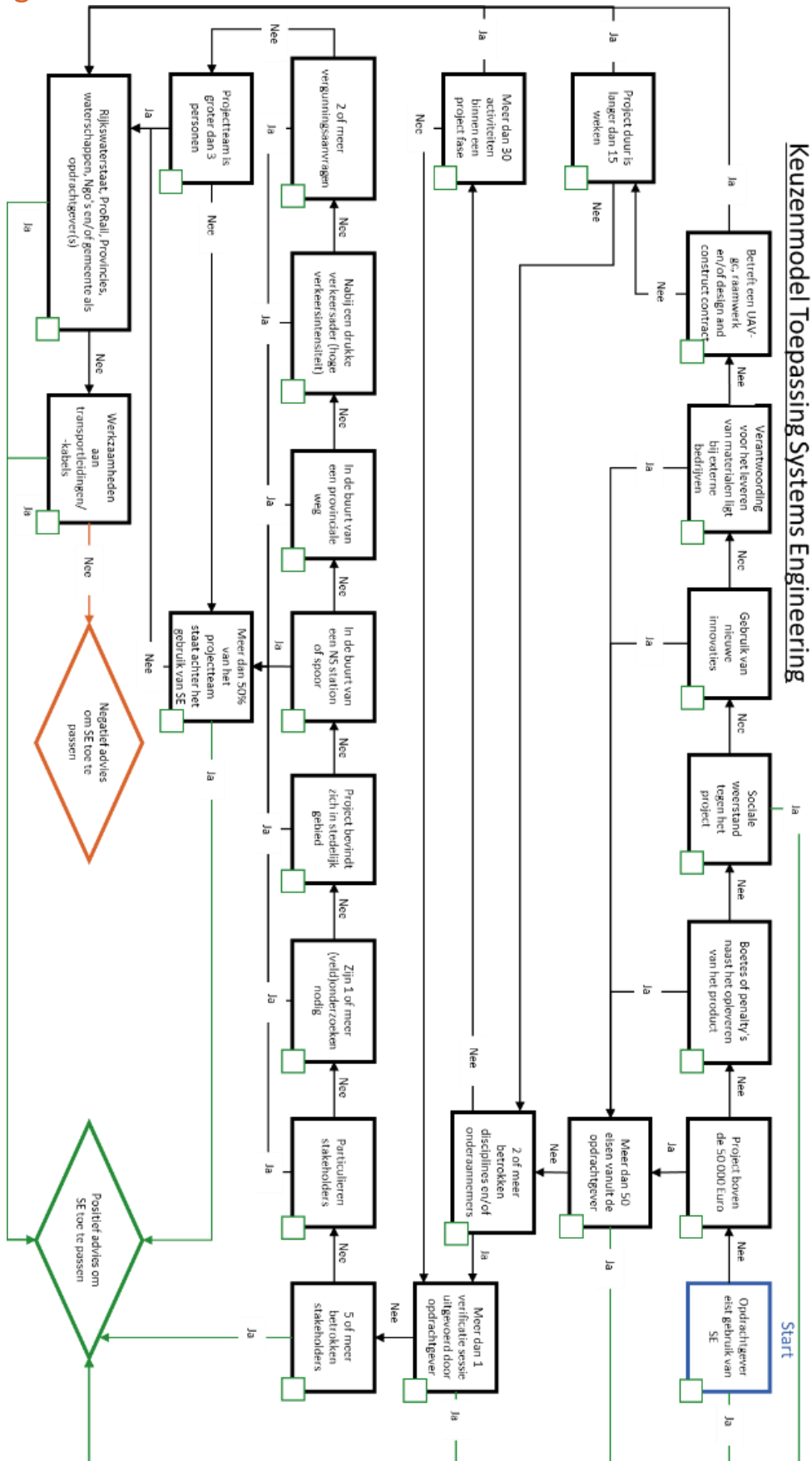
- Onder welke voorwaarden zou SE toegepast zou moeten worden?
 - Onder welke **structurele** voorwaarden zou SE toegepast moeten worden?
 - Bij wat voor een **management strategie** zou SE toegepast moeten worden?
 - Onder welke **systeem** voorwaarden zou SE toegepast moeten worden?
 - Bij het gebruik van welke **(werk) stijl** zou SE toegepast moeten worden?
 - Welke **vaardigheden** zijn er nodig om SE toe te passen?
 - Onder welke **personeelsvoorwaarden** zou SE toegepast moeten worden?
 - Bij welke **gedeelde waarden** zou SE toegepast moeten worden?
- Onder welke voorwaarden zou SE niet toegepast zou moeten worden?
 - Onder welke **structurele** voorwaarden zou SE NIET toegepast moeten worden?
 - Bij welke **management strategie** zou SE NIET toegepast moeten worden?
 - Onder welke **systeem**voorwaarden zou SE NIET toegepast moeten worden?
 - Bij welke **(werk) stijl** zou SE NIET toegepast moeten worden?
 - Bij welke **vaardigheden** zou SE NIET toegepast moeten worden?
 - Onder welke **personeelsvoorwaarden** zou SE NIET toegepast moeten worden?
 - Bij welke **gedeelde waarden** zou SE NIET toegepast moeten worden?

Afsluiting

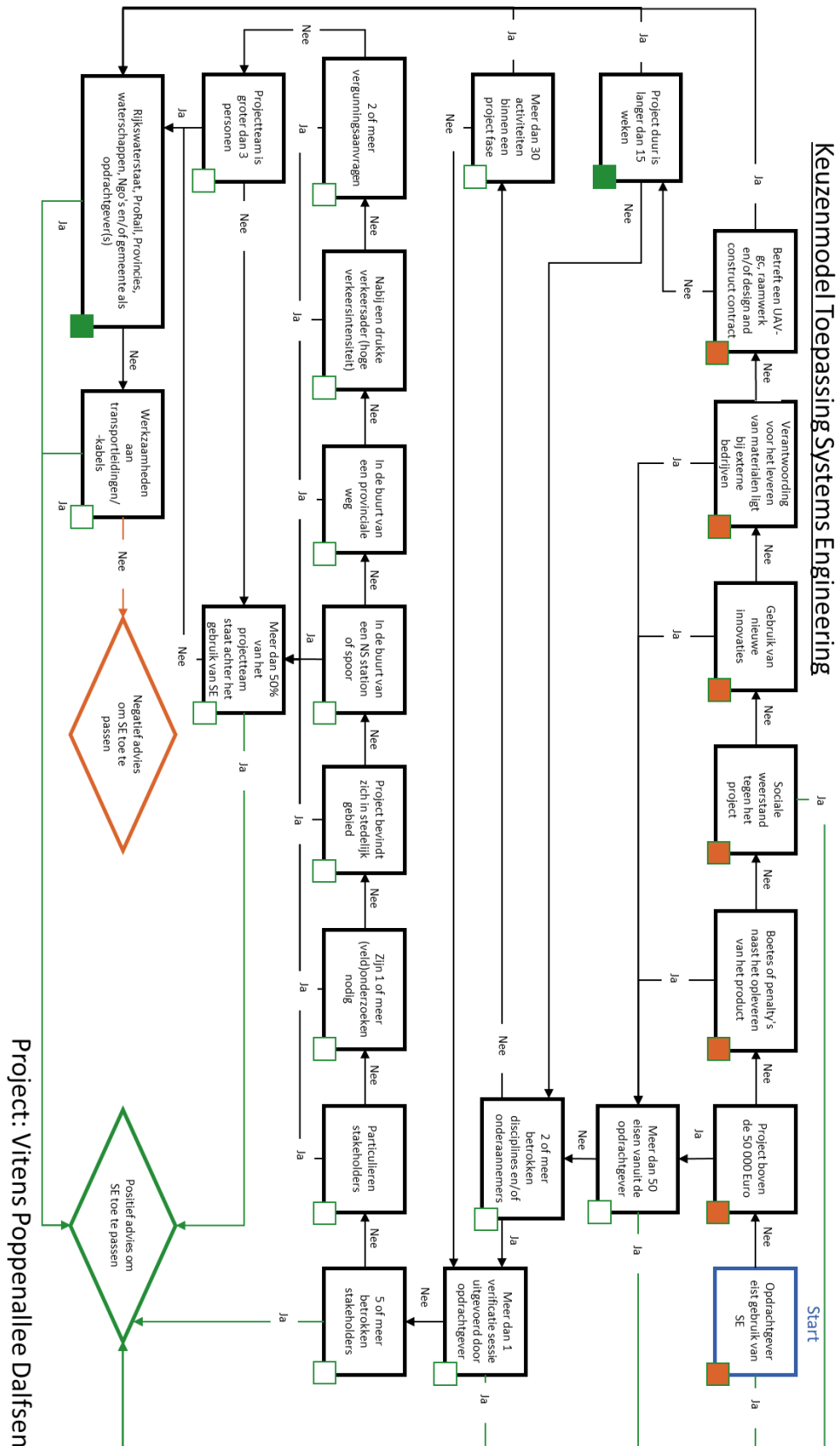
Ik wil je heel erg bedanken voor je deelname aan dit interview en de informatie die je mij hebt verschaft. Ik heb nog een paar laatste vragen met betrekking tot het verloop van het interview.

- Hoe vond je het interview gaan?
- Heb je wellicht een paar verbeter punten omtrent het verloop van het interview?

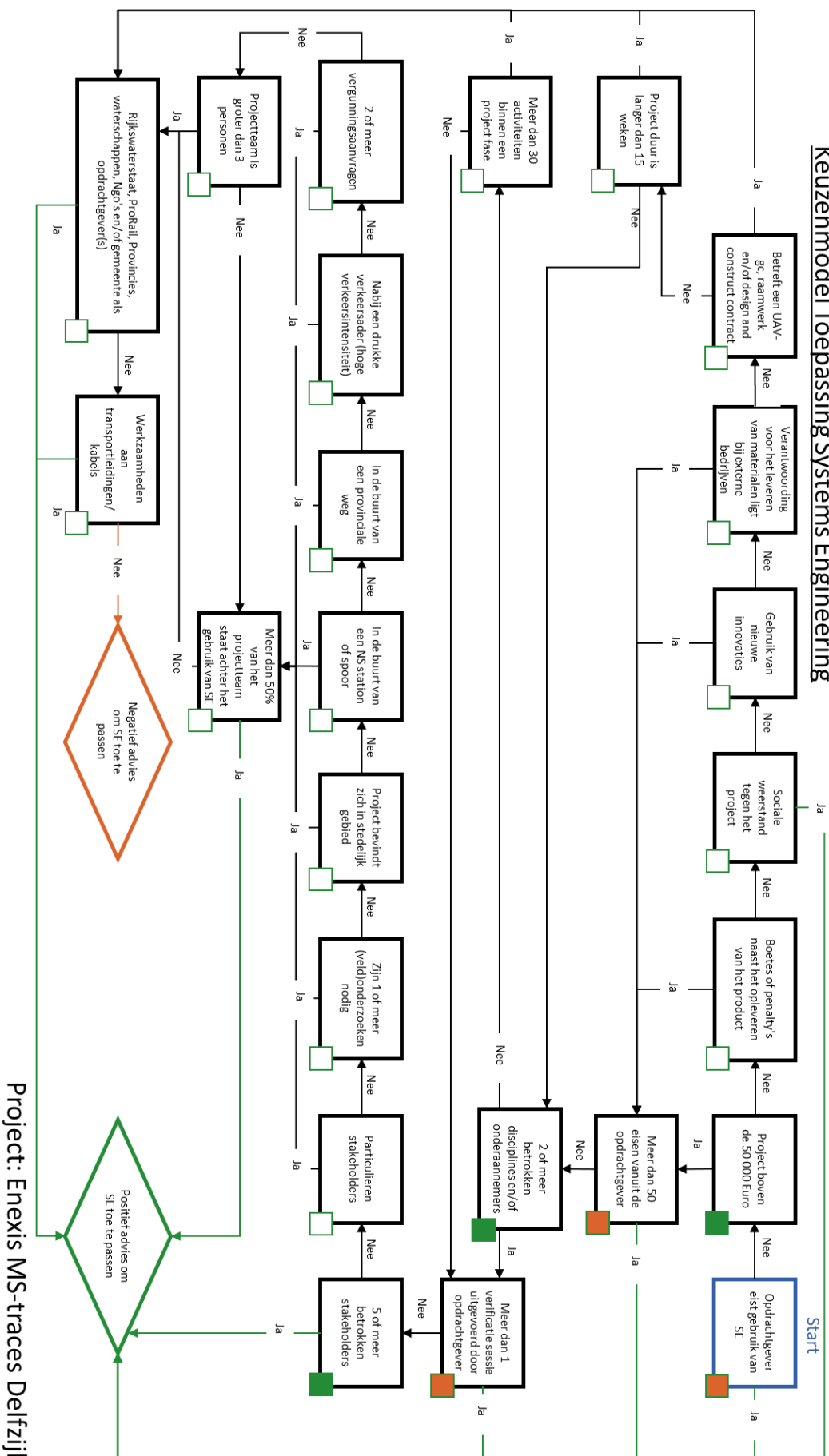
Bijlage C: Tweede versie keuzemodel



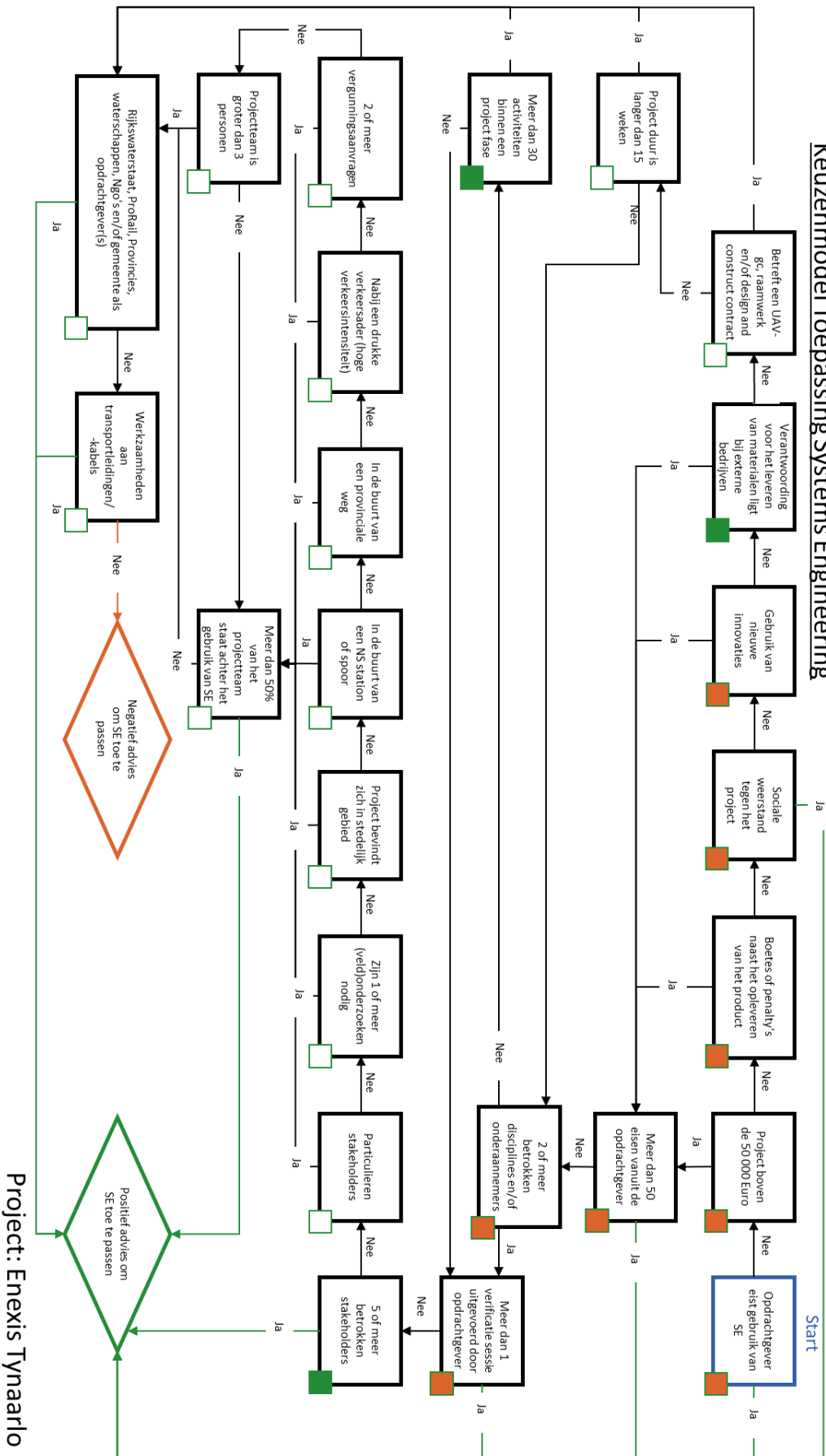
Bijlage D: Projectvalidatie Keuzemodel



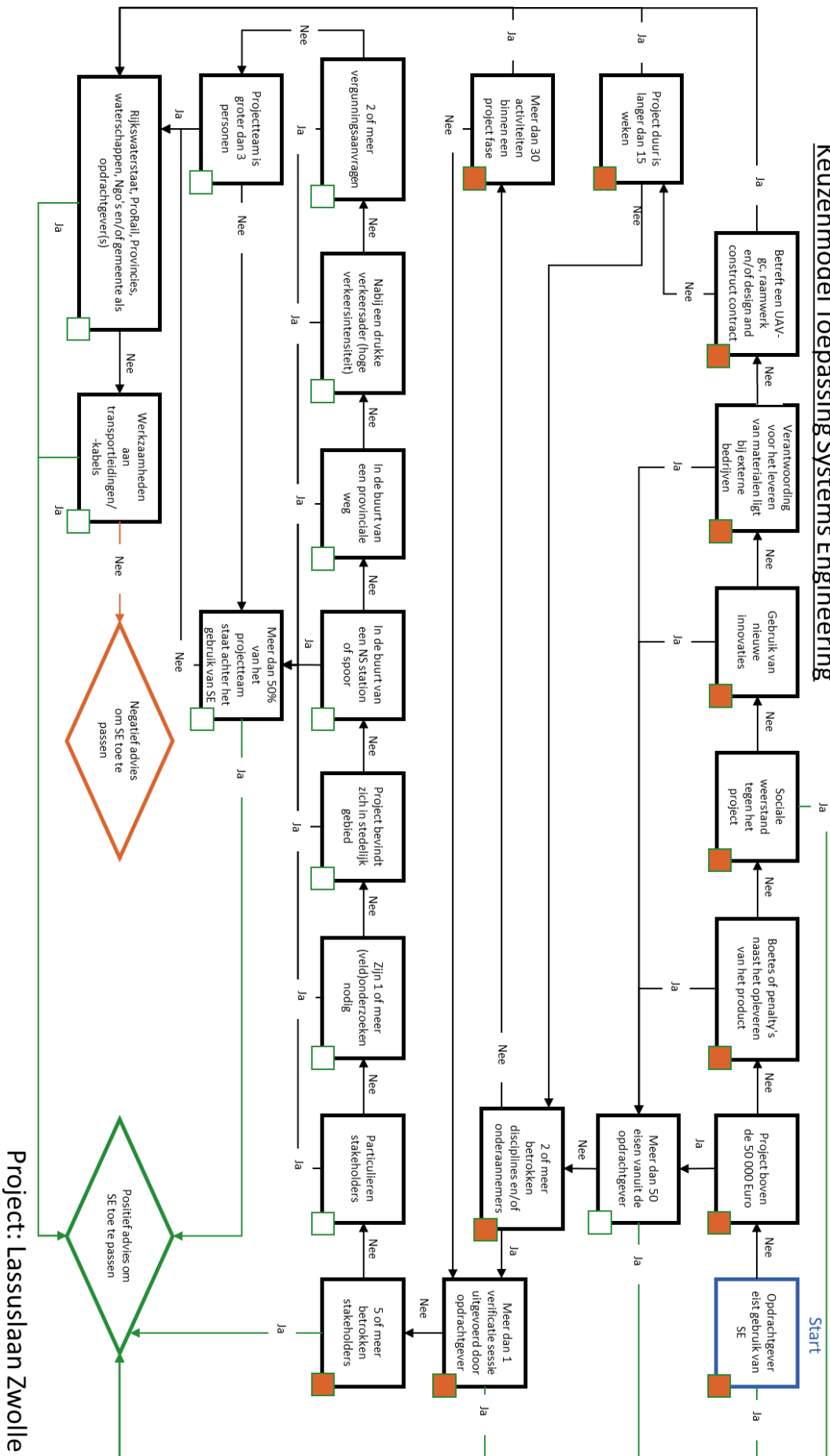
Keuzenmodel Toepassings Systems Engineering



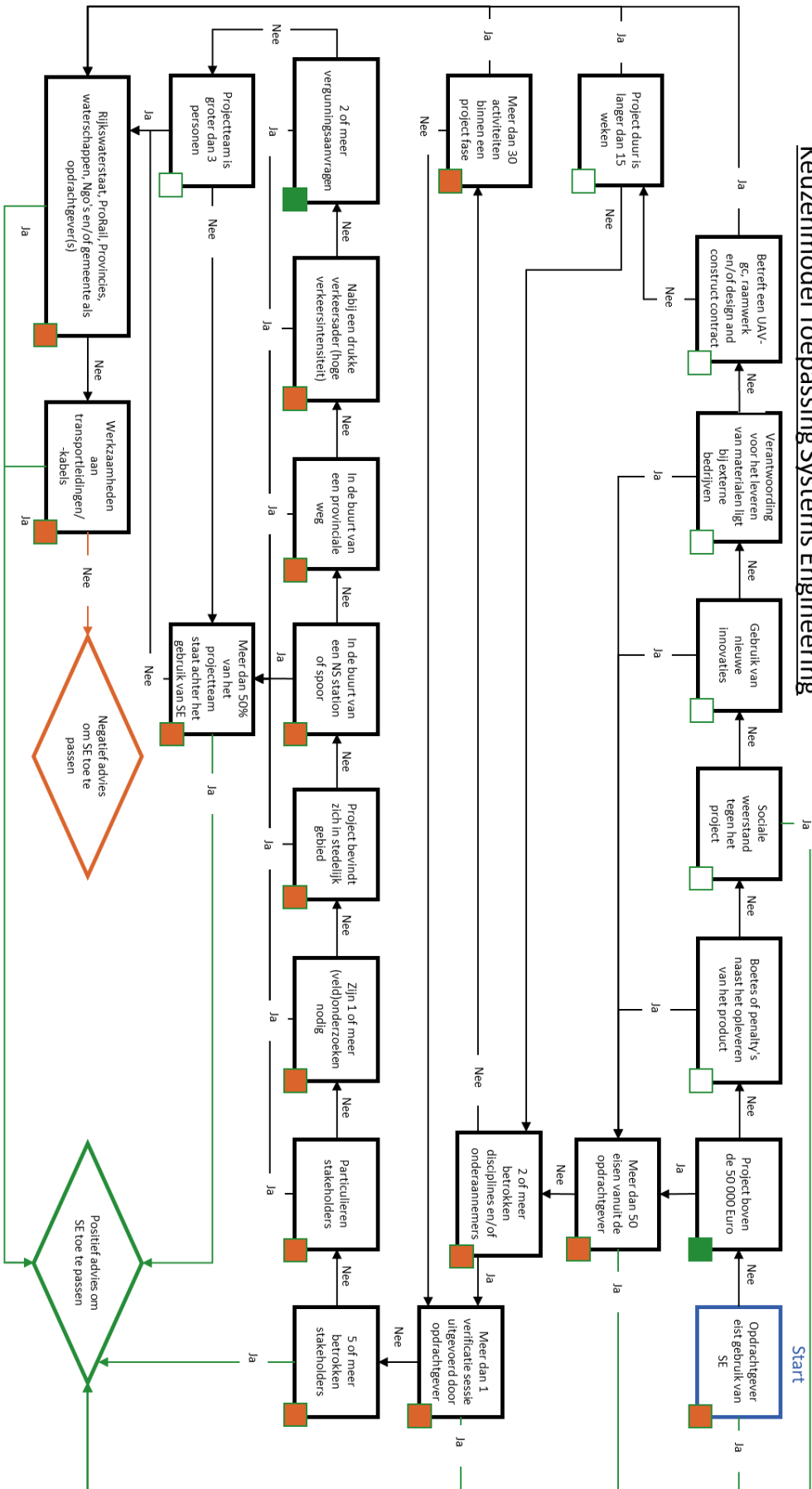
Keuzenmodel Toepassing Systems Engineering



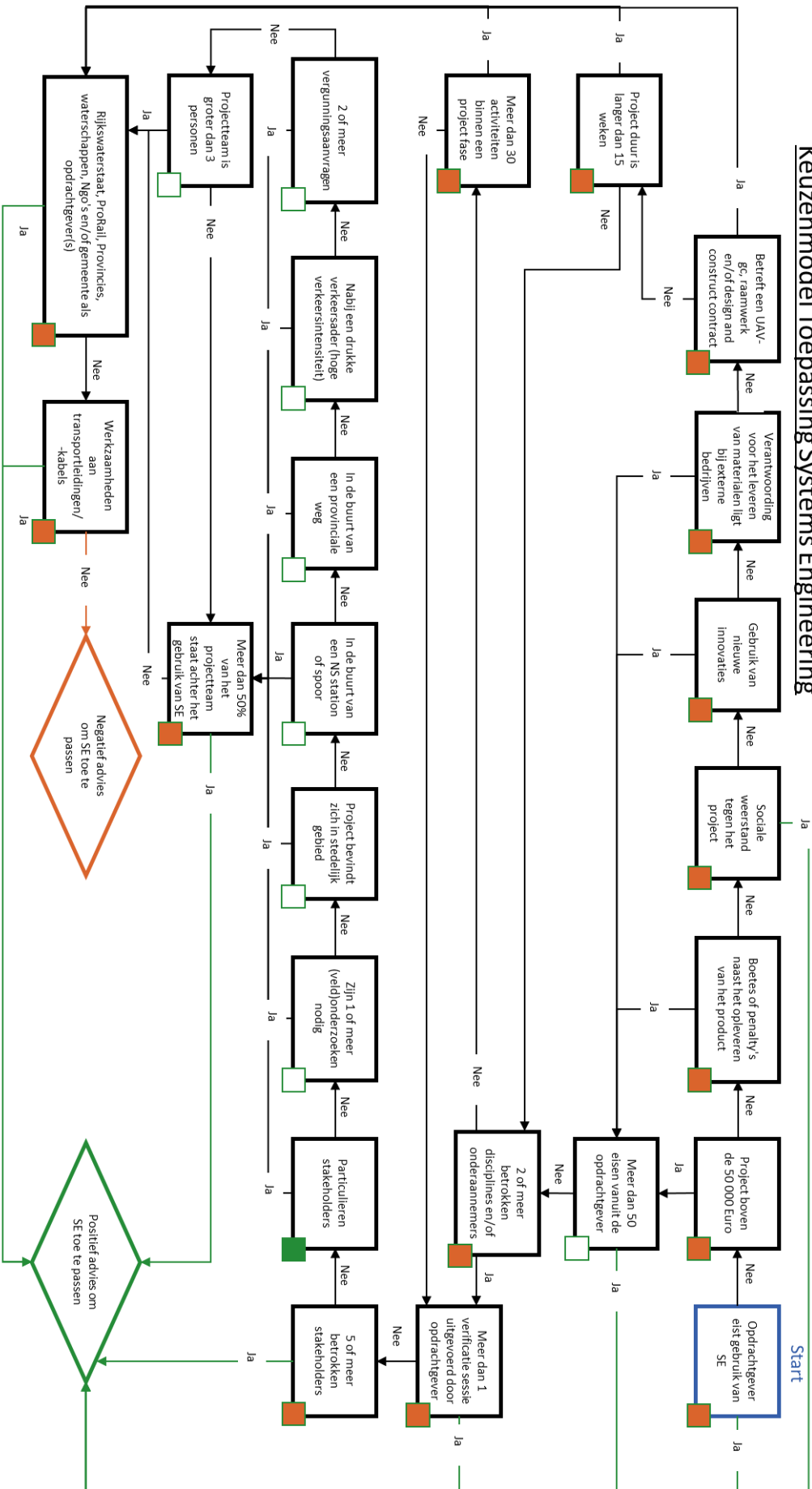
Keuzenmodel Toepassings Systems Engineering



Keuzenmodel Toepassings Systems Engineering



Keuzenmodel Toepassings Systems Engineering



Bijlage E: Keuzemodel toepassing systems engineering

