

Afstudeerrapport

Ontwerpproces Infrastructuur Superbus

Perspectieven voor een alternatief ontwerpproces



Door
P.O. van Esch

Universiteit Twente
Enschede - Nederland
Faculteit Construerende Technische Wetenschappen
Construction Management & Engineering

Technische Universiteit Delft
Delft - Nederland
Faculteit Luchtvaart- en ruimtevaarttechniek
Onderzoeksprogramma Superbus

Ontwerpproces Infrastructuur Superbus
Perspectieven voor een alternatief ontwerpproces

Door
P.O. van Esch
Enschede, juli 2007

Afstudeercommissie:

prof. ir. D.G. Mans

ir. K.Th. Veenvliet

ir. J.A. Melkert

Colofon

Algemene informatie:	
Universiteit:	Universiteit Twente
Faculteit:	Construerende Technische Wetenschappen
Studie - Opleiding:	Master of Science programma - Civil Engineering & Management
Specialisatie:	Construction Process Management
Auteur:	P.O. van Esch
E-mail:	p.o.vanesch@student.utwente.nl
Onderwerp:	Ontwerpproces Infrastructuur Superbus Perspectieven voor een alternatief ontwerpproces
Plaats / Datum:	Enschede / 13 juli 2007
Versie / Status:	V2 / Definitief
Universiteit:	Universiteit Twente
Faculteit:	Construerende Technische Wetenschappen
Opleiding:	Construction Management & Engineering
Begeleider:	prof. ir. D.G. Mans
E-mail:	d.g.mans@ctw.utwente.nl
Begeleider:	ir. K.Th. Veenvliet
E-mail:	k.t.veenvliet@ctw.utwente.nl
Universiteit:	Technische Universiteit Delft
Faculteit:	Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek
Begeleider:	ir. J.A. Melkert
E-mail:	j.a.melkert@tudelft.nl
Universiteit UTwente:	
Bezoekersadres:	Drienerlolaan 5, 7522 NB Enschede, Nederland
Postadres:	Postbus 217, 7500 AE Enschede, Nederland
Tel. / Fax:	+31 53 48 99111 / +31 53 489 2000
Email / Website:	info@cit.utwente.nl / www.cit.utwente.nl
 Universiteit Twente <i>de ondernemende universiteit</i>	
Universiteit Delft:	
Bezoekersadres:	Kluyverweg 1, 2629 HS Delft, Nederland
Postadres:	Postbus 5058, 2600 GB Delft, Nederland
Tel. / Fax:	+31 15 27 82058 / +31 15 27 81822
Email / Website:	info@lr.tudelft.nl / www.lr.tudelft.nl
 TU Delft Technische Universiteit Delft	

Illustratie kافت: Documenten en website onderzoeksprogramma Superbus TUDelft [Ockels, 2004 & Melkert, 2006]

Voorwoord

Het afstudeeronderzoek vormt mijn afronding van de masteropleiding Civil Engineering & Management aan de Universiteit Twente, waarvan deze rapportage het eindresultaat is. Met dit afstudeeronderzoek beëindig ik mijn studiekeerperiode in het gemoedige Twente. Een tijd waarin mijn technische bagage in het vakgebied van de civiele techniek verbreed is met bouwprocesmanagement.

Na een langdurige zoektocht naar een onderwerp voor een afstudeeropdracht ben ik uiteindelijk aanbeland bij het onderzoeksprogramma van het Superbus concept van de TUDelft. Naar aanleiding van het eerder gemaakt ontwerp voor de benodigde infrastructuur van dit Superbus concept, heb ik in samenspraak met de afstudeercommissie een vervolgonderzoek geformuleerd. In dit onderzoek heeft procesmanagement de boventoon gevoerd. Ik heb het als een persoonlijke uitdaging gezien om met ontwerpprocessen binnen het vakgebied van de civiele techniek bezig te zijn, aangezien mijn persoonlijke interesses vooral liggen rondom de aspecten in de uitvoering van bouwprojecten.

Graag wil ik van de gelegenheid gebruik maken om een aantal personen te bedanken die een bijdrage hebben geleverd tijdens mijn afstudeeronderzoek. Dankzij hen is het afstudeeronderzoek naar behoren afgerond. Hoewel mijn planning soms te wensen overliet en het proces niet altijd even vlot verliep, ben ik erg dankbaar voor de begeleiding van de heer Mans en de heer Veenfliet vanuit de Universiteit Twente. Bedankt voor u kritische reflecties en de extra stimulans gedurende mijn afstudeerperiode! Tevens wil ik ook graag de heer Melkert als begeleider vanuit de TUDelft bedanken. Bedankt voor u kennis en expertise tijdens de begeleiding van mijn afstudeerperiode!

Tot slot wil ik graag mijn familie, vrienden en studiegenoten bedanken voor hen geleverde ‘bijdrage’ tijdens mijn verblijf in Enschede. Mijn speciale dank gaat uit naar mijn ouders en ‘grote’ broer. Papa & mama en Justin, bedankt voor de ondersteuning die jullie mij al die jaren hebben gegeven!

Patrick van Esch

Enschede, 13 juli 2007

Samenvatting

Binnen de Faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek van de TUDelft is een onderzoeksprogramma opgezet voor de ontwikkeling van het Superbus concept. Het vervoerssysteem is als mobiliteitsalternatief toegevoegd aan de Structuurvisie ZZL (Zuiderzeelijn). Ten behoeve van de haalbaarheidsstudie naar een openbaarvervoersverbinding op het ZZL tracé, is een ontwerp gemaakt voor de vereiste infrastructuur. Er is op basis van beschikbare ervaring en kennis een aannemelijk ontwerp gekozen. Er wordt verwacht dat een evaluatie van het gevolgde ontwerpproces een bijdrage moet kunnen leveren aan een door te voeren verandering in het gevolgde proces, zodat dit leidt tot verbeteringen in toekomstige Superbaan ontwerpen. De volgende doelstelling is aangehouden voor het onderzoek:

“Het doel van het onderzoek is verbeteringen aan te bevelen voor een toekomstige aanpak van het ontwerpproces ten behoeve van nieuwe ontwerpgevallen van een Superbaan”.

Het onderzoek is gestart met een algemene literatuurstudie naar de thema's infrastructuur, openbaarvervoer en procesmanagement. Vervolgens is er middels een uiteenzetting van het onderzoeksontwerp een structuur in de uitvoering van het onderzoek gemaakt. In vervolg hierop is gestart met een oriëntatie op de complexiteit van (infrastructurele) ontwerpprocessen. Daaropvolgend zijn middels de theorie van complexiteit van ontwerpprocessen, kenmerken en knelpunten van het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL geïdentificeerd. Daarna is een oriëntatie uitgevoerd op de theorie van op SE (Systems Engineering) gebaseerde ontwerpprocessen, met als doel een verbeterd ontwerpproces te identificeren. Vervolgens zijn middels een vergelijking tussen de theorie van SE ontwerpmethodieken en de geïdentificeerde knelpunten en kenmerken van de case, kansen en perspectieven voor een alternatief ontwerpproces ten behoeve van een Superbaan vastgesteld.

Het resultaat van het onderzoek is een lijst met kenmerken en knelpunten uit de case en kansen en perspectieven bij toepassing van SE. Deze zijn gegroepeerd naar de volgende aspecten en luiden samenvattend:

1. Onzekerheid in ontwerprisico's van case, vraagt om inzicht in ontwerprisico's door toepassing van SE.
2. Creatief traditioneel transformatieproces case, vraagt om gestructureerd transformatieproces door toepassing van SE.
3. Onbekendheid middelen case, vraagt om bewaking van middelen door toepassing van SE.
4. Reactief karakter procesdynamiek case, vraagt om inperking van procesdynamiek door toepassing van SE.
5. Organisatievermogen en besluitvorming case, vraagt om interdisciplinaire coördinatie door toepassing van SE.
6. Wekelijks gevoerd overleg case, vraagt om bevordering kwalitatieve communicatie door toepassing van SE.
7. Traditionele informatieoverdracht case, vraagt om transparant informatiesysteem door toepassing van SE.

Tijdens dit onderzoek is niet bewezen dat de vastgestelde kansen en perspectieven leiden tot een beter ontwerpresultaat voor nieuwe opgaven van een Superbaan. De resultaten geven enkel aan dat er mogelijkheden liggen om de knelpunten en kenmerken in het gevolgde ontwerpproces van de case te ondervangen.

Het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur is uitgevoerd ten behoeve van een haalbaarheidsfase. De vraag is of SE, met de daarbij behorende inspanning en middelen, in een dergelijke fase van een project meerwaarde oplevert. Naar mijn mening is de werkwijze van SE niet efficiënt en effectief tijdens een haalbaarheidsfase, omdat het namelijk vrij onwaarschijnlijk is dat een ontwerp naar aanleiding van een haalbaarheidsstudie zonder herformulering wordt voortgezet in de daaropvolgende fasen. SE is daarom effectiever en efficiënter toe te passen voor een ontwerpogave die tijdens een voorontwerp of definitief ontwerp plaats vindt, omdat hierbij het project reeds getoetst is op de haalbaarheid. Echter bieden de pragmatische principes van SE wel perspectieven tijdens een haalbaarheidsfase. Mijn inziens is het hierbij belangrijk dat het doel van een haalbaarheidsonderzoek niet uit het oog verloren wordt. Het principe van SE ligt in de lijn met de huidige verandering van een normen- naar een doelencultuur, waarbij samenwerking het sleutelwoord is en het een trend is om langere termijndoelen voor infrastructuurontwikkeling op te stellen. Hierbij gaat men uit van het opstellen van eisen zonder richting te geven aan oplossingen, zodat er marktvrijheid ontstaat dat tot betere oplossingen leidt.

Naar mijn mening bieden de onderdelen van een op SE gebaseerd ontwerpproces meer kansen om tot een beter resultaat voor een nieuw ontwerp van een Superbaan te komen. Daartoe is het verstandig om de pragmatische principes van SE in te voeren in het ontwerpproces, zoals VE en LCC. Deze onderdelen zijn veel minder tijdsrovend en dwingen tevens proactief denken en benaderen af, zodat de beoogde hoogwaardige functionaliteit beter geborgd wordt. Hierdoor wordt tevens de toekomstwaarde van het proces en het product en de naspeurbaarheid en traceerbaarheid verhoogd. Dit leidt tot een betrouwbare en gedegen systeemontwikkeling.

Er worden, in navolging van de opgedane inzichten gedurende het onderzoek, enkele aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek. Het is mogelijk om SE of VE als testcase tijdens een haalbaarheidsonderzoek voor nieuwe ontwerpogaven toe te passen, zodat de waarde van een op SE gebaseerde ontwerpprocesinrichting bewezen kan worden. Indien wordt vervolgd met het ontwerptraject in een voorontwerp ten aanzien van de ZZL kan met gebruikmaking van SE of VE een herontwerp ontwikkeld worden, zodat het kostenreductie en kwaliteitsvermeerdering oplevert. Het is tevens mogelijk om de expliciete waarde en geschiktheid van SE ten opzichte van een haalbaarheidsonderzoek te onderzoeken, zodat onderzocht kan worden of SE met het oog op de effectiviteit en efficiëntie een meerwaarde oplevert ten opzichte van de te leveren inspanning.

Aanwijzingen voor de lezer

Dit rapport is het resultaat van mijn onderzoek en tevens de weerslag van mijn leerproces. Het voldoet niet aan de eisen van een afstudeerverslag voor wat betreft de compactheid en scheiding van leerstof en onderzoeksresultaat. In overleg met de afstudeercommissie is daarom besloten een samenvattend artikel te schrijven met de belangrijkste onderzoeksresultaten. Dit verslag dient als bron voor dit artikel.

Het afstudeerrapport start met een algemene inleiding in hoofdstuk 1. Het vervolgt in hoofdstuk 2 met een uiteenzetting van het onderzoeksontwerp. In hoofdstuk 3 is een oriëntatie uitgevoerd op de complexiteit van ontwerpprocessen in het algemeen en op de complexiteit van infrastructurele ontwerpprocessen in het bijzonder. Daaropvolgend zijn middels de theorie van complexiteit kenmerken en knelpunten van het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL (Zuiderzeelijn) in hoofdstuk 4 geïdentificeerd. Met als doel een verbeterd ontwerpproces te identificeren, is in hoofdstuk 5 een oriëntatie uitgevoerd op de theorie van vooruitstrevende ontwerpprocessen in het algemeen en een op SE (Systems Engineering) gebaseerd ontwerpproces in het bijzonder. Vervolgens zijn middels een vergelijking tussen de theorie van op SE gebaseerde ontwerpprocessen en de te ondervangen knelpunten en kenmerken van de case, kansen en perspectieven voor door te voeren veranderingen en aanpassingen in het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur in hoofdstuk 6 weergegeven. Deze bevindingen en resultaten geven in hoofdstuk 7 aanleiding tot conclusies en aanbevelingen voor een gewijzigd ontwerpproces in de toekomst, dat kan leiden tot betere resultaten voor nieuwe ontwerpgaven van een Superbaan.

Summary

The Faculty of Aerospace Engineering at the Delft University of Technology has set up a research programme for the development of the Superbus concept. The transport system has been added as a mobility alternative to the Stuctuurvisie ZZL (Zuiderzeelijn). A design has been made for the required infrastructure for the feasibility study of the public transport connection of the ZZL landline. A plausible design has been chosen on the basis of available experience and knowledge. It is expected that an evaluation of the followed design process can deliver a contribution to carry out a change in the followed design process, so that this leads in improvements for future designs of the Superbus infrastructure. The following objective has been apprehended for the research:

"The aim of the research is to recommend improvements for a future approach of the design process for new design tasks of a Superbus infrastructure".

The research has started with a general literature study within the topics infrastructure, public transport and process management. Then a structure has been made in the implementation of the research by means of an explanation of the research design. In continuation on this, an orientation has been started on the complexity of (infrastructural) design processes. Thereupon has been followed with identifying characteristics and sticking points of the followed design process of the case Superbus infrastructure ZZL by means of the theory of complexity of design processes. Afterwards an orientation has been carried out on progressive design processes based on the theory of SE (Systems Engineering) with the aim of identifying an improved design process. Further chances and perspectives for an alternative design process for the Superbus infrastructure have been determined by means of a comparison between the theory of SE design processes and the identified sticking points and characteristics of the case.

The result of the research is a list with characteristics and sticking points from the case and chances and perspectives when applying SE. These have been grouped by the following aspects and are summarised as followed:

1. The uncertainty in design risks of the case, asks for a clear insight in design risks by application of SE.
2. The creatively traditional transformation process of the case, asks for a structured transformation process by application of SE.
3. The unknown resources of the case, asks for a monitoring of resources by application of SE.
4. The reactive character of the process dynamics of the case, asks for a restriction of process dynamics by application of SE.
5. The organisation capacity and decision-making of the case, asks for interdisciplinary coordination by application of SE.
6. The weekly conducted consultations of the case, asks for a furtherance qualitative communication by application of SE.
7. The traditional information transfer of the case, asks for a transparent information system by application of SE.

During this research it has not been proved that the determined chances and perspectives lead to better design results for new Superbus infrastructure. The results give only an indication that there are possibilities to overcome the sticking points and characteristics in the followed design process of the case.

The followed design process of the case Superbus infrastructure has been carried out in the feasibility phase. The question is if SE, with the thereby belonging effort and resources, produces a value surplus in such a phase of a project. In my opinion the method of SE is not efficient and effective during a feasibility phase, because it is rather improbable that as a result of a feasibility study the project will be continued without design reformulation in the following phases. For this reason SE is more effectively and efficiently applicable for a design task which takes place during a preliminary or definite design, because feasibility of the project has thereby already been reviewed. However the pragmatism principles of SE offer perspectives during a feasibility phase. In my opinion it is herewith important that the aim of a feasibility research will not be lost out of sight. The principle of SE lies in the line with the current change from a culture of standards towards a culture of objectives, where cooperation is a keyword and the recent development is to establish longer period objectives for infrastructure development. Herewith the requirements will be established without giving any direction to possible solutions, so that the market freedom leads to better solutions.

In my opinion the components of a SE design based process offer more chances for reaching a better result for new design tasks of a Superbus infrastructure. To this end it is only judicious to introduce the pragmatism principles of SE in future design processes, such as VE and LCC. These components consume lesser time and forces also a proactively approach of thinking, so that the aimed high-quality improved functionality is secured. Because of this the future value of the process and the product and the traceability will also be raised. This leads to a reliable and solid system development.

Some recommendations are made for future research studies, in follow of the acquired insights during the research. It is possible to apply SE or VE in a test case during a feasibility research for new design tasks, so that the value of a SE based design arranged process can be proved. When they will continue with a preliminary design phase in the ZZL project, a redesign can be developed with the use of SE or VE be, so that cost reductions and increased value can be produced. It is also possible to examine the explicit value and suitability of SE with respect to a feasibility research, so that it can be examined if SE produces value surplus with a view to the effectiveness and efficiency with respect to the effort to provide.

Instructions for the reader

This report is the result of my research and also the repercussion of my learning process. It does not meet the requirements of graduate report with regard to the compactness and separation of theory and the research result. For this reason it has been decided in consultation between the graduate commission to write a summarized article with the most important research results. This report serves as a source for this article.

The graduate report starts with a general introduction in chapter 1. It continues in chapter 2 with an explanation of the research design. In chapter 3 an orientation has been carried out on the complexity of design processes in general and on the complexity of infrastructural design processes in particular. Thereupon characteristics and sticking points of the followed design process of the case Superbus infrastructure ZZL (Zuiderzeelijn) has been identified in chapter 4 by means of the theory of complexity. With the aim to identify an improved design process, in chapter 5 there has been carried out an orientation on the theory of progressive design processes in general and on SE (Systems Engineering) based design process in particular. In continuation on this, chances and perspectives for changes and adjustments in the followed design process of the case Superbus infrastructure has been reflected in chapter 6 by means of an comparison between the theory of SE based design processes and the to overcome sticking points and characteristics of the case. These findings and results gives in chapter 7 conclusions and recommendations for a modified design process in the future, which can lead to better results for new design tasks of a Superbus infrastructure.

Inhoudsopgave

1	INLEIDING	15
2	ONDERZOEKSONTWERP	16
2.1	PROJECTKADER	16
2.1.1	Aanleiding	16
2.1.2	Kennisbelang	17
2.1.3	Probleemdefiniëring	17
2.1.4	Probleemstelling	18
2.2	CONCEPTUEEL ONTWERP	18
2.2.1	Doelstelling	18
2.2.2	Onderzoeksmodel	18
2.2.3	Vraagstelling	19
2.2.4	Onderzoeksafbakening	20
2.3	METHODISCHE VERANTWOORDING	22
2.3.1	Onderzoekstrategie	22
2.3.2	Keuze onderzoeksmateriaal	23
3	COMPLEXITEIT VAN ONTWERPPROCESSEN	24
3.1	COMPLEXITEIT VAN EEN ONTWERPPROCES	24
3.1.1	Fragmentatie	24
3.1.2	Chaos	29
3.2	COMPLEXITEIT VAN EEN INFRASTRUCTUREEL ONTWERPPROCES	30
3.2.1	Faseringen	31
3.2.2	Beïnvloedingen	32
3.2.3	Disciplines	32
3.2.4	Hoofdaspecten	32
3.2.5	Programming	33
3.2.6	Ontwerpruimte	34
3.3	SAMENVATTING	36
4	ONTWERPPROCES INFRASTRUCTUUR SUPERBUS	37
4.1	TECHNISCHE COMPLEXITEIT	37
4.1.1	Systeem	37
4.1.2	Technologieën	37
4.1.3	Ontwerpruimte	37
4.1.4	Ontwerpgrenzen & interacterende omgeving	38
4.1.5	Toekomstscenario's	38
4.1.6	Onderzoek	38
4.1.7	Ontwerpnormen en -richtlijnen	38
4.1.8	Reductie probleemonzekerheid en -complexiteit	39
4.2	ONGESTRUCTUREERDHEID PROBLEEM	40
4.2.1	Procesbeschrijving	40
4.2.2	Decompositieproces	42
4.2.3	Tijdsbesteding	42
4.2.4	Proceskosten	43
4.2.5	Prestatie-eisen	43
4.2.6	Eigenschap probleem of oplossingsruimte	43
4.2.7	Cognitieve dynamiek	46
4.3	SOCIALE COMPLEXITEIT	47
4.3.1	Organisatie & netwerk	47
4.3.2	Besluitvormingskracht	49
4.3.3	Ontwerpomgeving	49
4.3.4	Informatiesystemen	49
4.4	KOSTENVERGELIJKING	50
4.5	CONCLUSIE	50
4.5.1	Beantwoording deelvraag 1	50
4.5.2	Beantwoording deelvraag 2	54

5	SYSTEMS ENGINEERING ONTWERPPROCES	55
5.1	VOORUITSTREVENDE ONTWERPPROCES	55
5.2	SE ONTWERPPROCES	56
5.2.1	Waarom in civiele techniek?	56
5.2.2	Principes	57
5.2.3	Bijwerkingen	58
5.2.4	Management- & technisch proces	58
5.3	SE MANAGEMENT PROCES	59
5.4	SE TECHNISCH PROCES	59
5.4.1	Taakopvolgingen	60
5.4.2	Decompositieproces	67
5.5	WAARDE VAN SE	68
5.5.1	Beïnvloedende factoren & bepalende variabelen	68
5.5.2	Optimum inspanning	70
5.5.3	Waarde van toepasbaarheid en geschiktheid in civiele techniek?	72
5.6	SAMENVATTING	72
6	ALTERNATIEF ONTWERPPROCES INFRASTRUCTUUR SUPERBUS	75
6.1	VERMINDEREN VAN CHAOS	75
6.1.1	Ontstaan van chaos	75
6.1.2	Vermijden van chaos	76
6.2	KANSEN & PERSPECTIEVEN	76
6.3	VERANDERINGEN & AANPASSINGEN	79
6.3.1	Technische complexiteit	79
6.3.2	Ongestructureerdheid probleem	79
6.3.3	Sociale complexiteit	85
6.3.4	Kostenvergelijking	86
6.4	CONCLUSIE	87
6.4.1	Beantwoording deelvraag 3	87
6.4.2	Beantwoording deelvraag 4	88
7	CONCLUSIE & AANBEVELINGEN	89
7.1	SAMENVATTING	89
7.2	CONCLUSIE	89
7.2.1	Kansen en perspectieven voor een alternatief ontwerpproces	89
7.2.2	Kritische blik op de waarde van het onderzoek	92
7.2.3	Geschiktheid en waarde van SE in een haalbaarheidsonderzoek	92
7.2.4	Eindconclusie van het onderzoek	93
7.3	AANBEVELINGEN	93
	BEGRIPPENLIJST	94
	LITERATUURLIJST	97

Lijst met bijlagen

BIJLAGE A – INTERVIEW	
BIJLAGE B – INTEGRAAL PROGRAMMA VAN EISEN ZUIDERZEELIJN	
BIJLAGE C – INTEGRAAL PROGRAMMA VAN EISEN SUPERBAAN	
BIJLAGE D – TRACÉ ZUIDERZEELIJN SUPERBAAN	
BIJLAGE E – MILIEUEFFECTEN ZUIDERZEELIJN SUPERBAAN	
BIJLAGE F – KOSTENVERGELIJKING	
BIJLAGE G – RISICOVOLLE KOSTENCOMPONENTEN	
BIJLAGE H – PRINCIPES VAN SYSTEMS ENGINEERING	
BIJLAGE I – FUNCTIONEEL SPECIFICEREN	
BIJLAGE J – DECOMPOSITIE (SYNTHESE & ANALYSE)	
BIJLAGE K – KANSSEN & PERSPECTIEVEN VOOR GEWIJZIGDE PROCESINRICHTING	
BIJLAGE L – UITWERKING ONTWERP SUPERBAAN MET BEHULP VAN SYSTEMS ENGINEERING	

Lijst met figuren

FIGUUR 1-2: ONDERZOEKSMODEL	19
FIGUUR 2-2: BEREIK VAN HET ONDERZOEK	21
FIGUUR 3-3: HET ONTSTAAN VAN FRAGMENTATIE DOOR DE CENTRIFUGALE KRACHTEN [CONKLIN, 2001]	24
FIGUUR 4-3: TRADITIONEEL ONTWERPPROCES - 'WATervalMODEL' [CONKLIN, 2001]	26
FIGUUR 5-3: HET ENKELVOUDIGE COGNITIEVE ONTWERPPROCES IN PRAKTIJK – KANSGEDREVEN [CONKLIN, 2001]	26
FIGUUR 6-3: HET EENKELVOUDIGE COGNITIEVE ONTWERPPROCES - KANSGEDREVEN ONTWERPER [CONKLIN, 2001]	27
FIGUUR 7-3: CHAOSVERMIJDING DOOR BALANS TUSSEN DE KRACHTEN IN PROJECT [KOSKELA & BERTELSEN, 2003]	30
FIGUUR 8-3: INPASSINGFACTOREN VORMGEVING INFRASTRUCTUUR IN OMGEVING IN ONTWERPOPGEAVE [RWS, 2006]	31
FIGUUR 9-3: FASERING VAN EEN INFRASTRUCTUREEL ONTWERPPROCES [VAN HERK, 2003]	31
FIGUUR 10-3: AFNAME VAN DE ONTWERPVARIABLEN TIJDENS ONTWERPPROCES [VAN HERK, 2003]	35
FIGUUR 11-4: ONTWERPPROCES SUPERBUS INFRASTRUCTUUR IN HAALBAARHEIDSFASE [VAN HERK, 2003] ..	39
FIGUUR 12-4: VERLOOP ONTWERPPROCES TIJDENS HET ONTWERP VAN DE SUPERBAAN	40
FIGUUR 13-4: HET TRADITIONELE ONTWERPPROCES VAN DE SUPERBAAN [CONKLIN, 2001]	46
FIGUUR 14-4: HET ENKELVOUDIGE COGNITIEVE ONTWERPPROCES VAN DE SUPERBAAN [CONKLIN, 2001]	46
FIGUUR 15-4: HET ENKELVOUDIGE COGNITIEVE ONTWERPPROCES VAN DE SUPERBAAN [CONKLIN, 2001]	47
FIGUUR 16-4: RELATIESCHEMA VAN ORGANISATIES TIJDENS HET ONTWERPPROCES VAN SUPERBUS INFRASTRUCTUUR	48
FIGUUR 17-4: NETWERKSCHAMA ONTWERPOMGEVING TIJDENS ONTWERPPROCES VAN SUPERBUS INFRASTRUCTUUR	49
FIGUUR 18-5: INTEGRALE RISICOBEBEERSING DOOR VOORUITSTREVENDE ONTWERPPROCES [VEENVLIET]	55
FIGUUR 19-5: BEHALEN VAN KOSTEN-, PLANNING- EN PROJECTDOELEINDEN [HONOUR, 2004]	56
FIGUUR 20-5: ONDERVERDELING VAN EEN SE PROCES [OLIVER, KELLIHER EN KEEGAN, 2003]	58
FIGUUR 21-5: HET MANAGEMENT PROCES BINNEN SE [OLIVER, KELLIHER EN KEEGAN, 2003]	59
FIGUUR 22-5: HET ITERATIEVE VOORTDURENDE TECHNISCHE PROCES VAN SE [INCOSE, 2004]	59
FIGUUR 23-5: HET TECHNISCHE PROCES BINNEN SE [OLIVER, KELLIHER EN KEEGAN, 2003]	60
FIGUUR 24-5: DE ITERATIEVE ANALYTISCHE BENADERINGWIJZE VAN HET TECHNISCHE SE PROCES [DoD, 2001]	61
FIGUUR 25-5: GEDETAILLEERDE WEERGAVE ITERATIEVE BENADERINGWIJZE TECHNISCHE SE PROCES [DOD, 2001]	61
FIGUUR 26-5: DE OPEENVOLGING VAN FASERINGEN VAN HET ITERATIEVE TECHNISCHE ONTWERPPROCES BINNEN SE	62

FIGUUR 27-5: HET ITERATIEVE TECHNISCHE ONTWERPPROCES BINNEN SE [IEEE, 1994]	62
FIGUUR 28-5: BRONNEN VOOR IDENTIFICATIE VAN RANDVOORWAARDEN [INCOSE, 2004].....	63
FIGUUR 29-5: PRESTATIE EISEN OP BASIS VAN EFFECTIEVE MEETBAARHEIDSEISEN [DoD, 2004]	63
FIGUUR 30-5: DOELSTELLINGEN VOOR EEN EFFECTIEF OPERATIONEEL SYSTEEM [DoD, 2003].....	64
FIGUUR 31-5: EISEN SPECIFICATIEBOOM [IEEE, 1994].....	64
FIGUUR 32-5: DECOMPOSITIE VAN FUNCTIONELE EISEN IN EEN FUNCTIONAL FLOW DIAGRAM [DoD, 2003] ..	65
FIGUUR 33-5: FYSIEKE DECOMPOSITIE EN ARCHITECTUUR VAN SYSTEEM IN EEN OBJECTENBOOM [INCOSE, 2004]	66
FIGUUR 34-5: HET SYSTEEMCONCEPT [INCOSE, 2004]	67
FIGUUR 35-5: DECOMPOSITIEFASERING VOLGENS V-MODEL VAN TECHNISCHE SE PROCES [VEENVLIET, 2001]	68
FIGUUR 36-5: GEBRUIKERS HECHTEN HOGE WAARDEN AAN SE [HONOUR, 2004].....	68
FIGUUR 37-5: OPTIMALE INZET SE PROCES 15-20% VAN TOTALE PROJECT INSPANNING [HONOUR, 2004]	70
FIGUUR 38-5: TIJD- EN KOSTENBESPARINGEN SE PROCES VS. EEN TRADITIONEEL ONTWERPPROCES [HONOUR, 2004]	70
FIGUUR 39-5: MAXIMALE INSPANNING SE TIJDENS BEGINSTADIUM ONTWERPPROCES [HONOUR, 2004]	70
FIGUUR 40-5: RISICOREDUCTIE DOOR TOEPASSING VAN EEN SE PROCES [HONOUR, 2004]	71
FIGUUR 41-5: KOSTENBESPARINGEN DOOR TOEPASSING VAN SE [HONOUR, 2004].....	71
FIGUUR 42-5: HUIDIGE UITGAVEN VAN 3-8% VOOR SE [HONOUR, 2004]	71
FIGUUR 43-5: HOGERE KWALITEIT SE INSPANNING LEIDT TOT VERKORTING PROJECTPLANNING [HONOUR, 2004]	71
FIGUUR 44-6: VERMINDERING VAN CHAOS IN HET ONTWERPPROCES VAN DE CASE [KOSKELA & BERTELSEN, 2003]	76
FIGUUR 45-6: TE VOLGEN ONTWERPSTAPPEN VOOR EEN ALTERNATIEF ONTWERPPROCES VAN DE SUPERBAAN	80
FIGUUR 46-6: HET SE DECOMPOSITIEPROCEDURE GEBASEERD OP HET V-MODEL [RWS, 2006]	83
FIGUUR 47-6: ONTWERP VAN ABSTRACT- NAAR DETAILNIVEAU [VAN HERK, 2003; CROW, 2004 EN RWS, 2006]	83
FIGUUR 48-6: GESTRUCTUREERDE DYNAMIEK VAN SE PER ABSTRACTIENIVEAU [CONKLIN, 2001]	85

Lijst met tabellen

TABEL 1-2: ONDERZOEKSTRATEGIE	22
TABEL 2-2: ONDERZOEKSMATERIAAL	23
TABEL 3-3: VOORBEELDEN VAN WAARDE PERSPECTIEVEN VOOR BOUWWERKEN [BERTELSEN & EMMITT, 2005]	29
TABEL 4-3: COMPLEXITEIT VAN EEN INFRASTRUCTUREEL ONTWERPPROCES [VAN HERK, 2003].....	32
TABEL 5-3: ONTWERPPROCES VAN GROF NAAR FIJN MET ABSTRACTIENIVEAUS [VAN HERK, 2003 & CROW, 2004]	35
TABEL 6-3: REEKS VAN BEOORDELINGSCriteria VAN COMPLEXITEIT AAN DE HAND VAN FRAGMENTATIE	36
TABEL 7-4: REDUCTIE VAN PROBLEEMCOMPLEXITEIT ONTWERPPROCES SUPERBUS INFRASTRUCTUUR	39
TABEL 8-4: HET DECOMPOSITIEPROCEDURE TIJDENS DE ONTWIKKELING VAN HET SUPERBAAN ONTWERP	42
TABEL 9-4: INSCHATting TIJDSBESTEDING ONTWERPPROCES CASE SUPERBUS INFRASTRUCTUUR.....	43
TABEL 10-4: IDENTIFICATIE GESTRUCTUREERDHEID PROBLEEM VAN ONTWERPPROJECT SUPERBUS INFRASTRUCTUUR	44
TABEL 11-4: ROLLEN VAN ACTOREN EN ORGANISATIES TIJDENS HET ONTWERPPROCES VAN SUPERBUS INFRASTRUCTUUR	47
TABEL 12-4: KENMERKEN EN KNELPUNTEN VAN ONTWERPPROCES CASE SUPERBUS INFRASTRUCTUUR ZZL ..	51
TABEL 13-5: REEKS VAN BEOORDELINGSCriteria VAN EEN OP SE GEBASEERD ONTWERPPROCES	72
TABEL 14-6: KANSEN EN PERSPECTIEVEN VOOR ONDERVANGING VAN KNELPUNTEN IN ONTWERPPROCES VAN CASE	76

Lijst met afkortingen

BIS	=	Bouwdoos Infrastructuur Superbus
CROW	=	Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek (CROW gebruikt: Kennisplatform voor infrastructuur, verkeer, vervoer en openbare ruimte)
DoD	=	Department of Defence
HOV	=	Hoogwaardig Openbaarvervoer
HSL	=	Hogesnelheidslijn
IEEE	=	Institute of Electrical and Electronic Engineers
INCOSE	=	International Council on Systems Engineering
LCC	=	Life Cycle Costing
MKBA	=	Maatschappelijke Kosten- en Batenanalyse
MZB	=	Magneetweefbaan
OV	=	Openbaarvervoer
PvE	=	Programma van Eisen
RWS	=	Rijkswaterstaat
SE	=	Systems Engineering
SEM	=	System Engineering Management
SMB	=	Strategische Milieubeoordeling
TU Delft	=	Technische Universiteit Delft
UHF	=	Universal Holding Fixtures
UTwente	=	Universiteit Twente
V&W	=	Ministerie van Verkeer en Waterstaat
VE	=	Value Engineering
ZZL	=	Zuiderzeelijn

Opmerkingen

- Indien wordt gesproken over de TU Delft, wordt er in dit onderzoek bedoeld op het onderzoeksprogramma Superbus binnen de Faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek aan de Technische Universiteit van Delft (tenzij anders vermeld).
- De bijlagen waarnaar wordt verwezen in deze rapportage zijn opgenomen in een afzonderlijk rapport 'Bijlagen'.

1 Inleiding

De TUDelft ziet in het concept van de Superbus, een hogesnelheidsbus, innovatief antwoord op de vervoersvraag voor het openbaar vervoer van de toekomst. Het principe is naar aanleiding van het opgezette onderzoeksprogramma als mobiliteitsalternatief toegevoegd aan de Structuurvisie ZZL. Ten behoeve van de haalbaarheidsstudie naar een openbaarvervoersverbinding op het ZZL tracé, is eerder een ontwerp gemaakt voor de vereiste infrastructuur. Het bevat benodigde infrastructurele onderdelen voor het Superbus concept als toepassing op de ZZL. Inmiddels is de politieke besluitvorming rond de aanleg van de ZZL op de lange baan geschoven. Echter worden de onderzoekactiviteiten met betrekking tot de ontwikkeling van de Superbus infrastructuur niet stop gezet, omdat zich steeds weer nieuwe ontwerpvragestukken zullen aandringen.

Er wordt vanuit gegaan dat verdere optimalisatie van het ontwerp van de Superbus infrastructuur mogelijk is. Door de karakteristieken van het gebruikte ontwerpproces te verhelderen geeft dit wellicht argumenten om benodigde veranderingen in het proces door te voeren, zodat verbeteringen in een nieuwe ontwerpogave voor een Superbaan aan te brengen zijn. Hierbij is het mogelijk dat een toepassing van een alternatieve ontwerpmethodiek betere resultaten oplevert voor nieuwe ontwerpen van een Superbaan. Dit onderzoek richt zich alleen op het ontwerpproces, met in achtneming van de totale levensduur, van de Superbus infrastructuur.

Daartoe worden de theorie van de complexiteit van ontwerpprocessen in het algemeen en de complexiteit van infrastructurele ontwerpprocessen in het bijzonder behandeld. Vervolgens vindt een oriëntatie plaats op het ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL door het voeren van gesprekken met betrokkenen en het bestuderen van documenten van het Superbus concept. Door de case in het licht te plaatsen van het theoretisch kader levert de confrontatie analyseresultaten op in de vorm van typering van de case. Het geeft aanleiding om een verbeterd ontwerpproces te identificeren. Daartoe vindt een oriëntatie plaats op de theorie van vooruitstrevende ontwerpprocessen in het algemeen en een op SE gebaseerd ontwerpproces in het bijzonder. Middels een vergelijking tussen het theoretisch kader en de case, leveren vervolgens de te ondervangen knelpunten en kenmerken, analyseresultaten op in de vorm van kansen en perspectieven voor een alternatief ontwerpproces van de case. Deze bevindingen geven aanleiding tot voorstellen en aanbevelingen in de vorm van veranderingen en aanpassingen voor een gewijzigde ontwerpprocesinrichting in de toekomst, zodat dit kan leiden tot betere resultaten voor nieuwe ontwerpogaven van een Superbaan.

Het rapport is in het totaal opgebouwd uit zeven hoofdstukken. Allereerst wordt in hoofdstuk 2 een beschrijving van het onderzoeksontwerp weergegeven. Een oriëntatie wordt in hoofdstuk 3 uitgevoerd op de complexiteit van ontwerpprocessen in het algemeen en op de complexiteit van infrastructurele ontwerpprocessen in het bijzonder. Daaropvolgend worden in hoofdstuk 4 middels de theorie van complexiteit kenmerken en knelpunten van het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL geïdentificeerd. In hoofdstuk 5 wordt oriëntatie uitgevoerd op de theorie van vooruitstrevende ontwerpprocessen in het algemeen en een op SE gebaseerd ontwerpproces in het bijzonder, met als doel een verbeterd ontwerpproces te identificeren. Vervolgens worden in hoofdstuk 6 middels een vergelijking tussen de theorie van op SE gebaseerde ontwerpprocessen en de te ondervangen knelpunten en kenmerken, kansen en perspectieven voor door te voeren veranderingen en aanpassingen in het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur in hoofdstuk 6 weergegeven. In het laatste en afrondende hoofdstuk 7 geven deze bevindingen en resultaten aanleiding tot conclusies en aanbevelingen voor een gewijzigd ontwerpproces in de toekomst, dat kan leiden tot betere resultaten voor nieuwe ontwerpogaven van een Superbaan.

2 Onderzoeksontwerp

In dit hoofdstuk wordt het ontwerp van het onderzoek uitgelegd. De uitvoering van het onderzoek en de opbouw van het rapport is in grote lijnen bepaald door de structuur van het onderzoeksontwerp. Volgens Verschuren en Doorewaard [2005] heeft het projectkader en het conceptueel ontwerp voornamelijk een sturende functie gedurende het onderzoek. En geeft de methodische verantwoording een beschrijving van de activiteiten die dienen te worden voltooid om de gewenste gegevens te verkrijgen en zodoende antwoord te kunnen geven op de deelvragen, de centrale vraag en ten slotte de probleemstelling.

Het hoofdstuk vangt aan met (§2.1) het projectkader. Vervolgens wordt in paragraaf 2.2 het conceptueel ontwerp beschreven. Ten slotte komt (§2.3) de methodische verantwoording aan de orde.

2.1 Projectkader

Het projectkader geeft de aanleiding van het onderzoek weer en beschrijft het probleem dat naar voren komt. Hierin zullen achtereenvolgens de aanleiding, het kennisbelang, de probleemdefiniëring en probleemstelling aan bod komen.

2.1.1 Aanleiding

Nationaal en internationaal is er steeds meer behoefte aan snel, comfortabel, duurzaam en gedistribueerd personentransport. De TUDelft ziet in het concept van de Superbus, een hogesnelheidsbus, innovatief antwoord op de vervoersvraag voor het openbaar vervoer van de toekomst. Binnen de Faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek van de TUDelft is een onderzoeksprogramma opgezet voor de ontwikkeling van het vervoerssysteem. Het kabinet ondersteund door middel van een investering in de ontwikkeling van dit project, omdat zij de Superbus als een innovatief concept voor toekomstig openbaar vervoer in Nederland en als exportproduct ziet. Door deze politieke wil is het principe van de Superbus zelfs als mobiliteitsalternatief toegevoegd aan de Structuurvisie ZZL, een onderzoek naar de mogelijkheid en haalbaarheid van een openbaarvervoersverbinding op het ZZL tracé.

Een onderdeel van dit te ontwikkelen principe is de infrastructuur die de bus vereist. Intussen is er op basis van een programma van eisen door het ingenieursbureau INFRAtheker een ontwerp opgeleverd. Het bevat benodigde infrastructurele onderdelen voor het Superbus concept als toepassing op de ZZL en een kostenraming van het tracé op hoofdlijnen. Het onderzoek is echter onder tijdsdruk uitgevoerd, omdat het principe van de Superbus later als alternatief is toegevoegd aan de Structuurvisie van het ZZL tracé. De aandacht werd hierdoor vooral gericht op bestaande technologieën en marktproducten. Deze zijn gebruikt voor (delen van) de oplossing van de Superbaan. De investeringskosten voor de Superbus infrastructuur lagen hierbij opmerkelijk hoger vergeleken met traditionele HOV busbaan oplossingen.

Er wordt daarom vanuit gegaan dat verdere optimalisatie van het ontwerp van de Superbus infrastructuur mogelijk is. De voor de hand liggende vraag die hierbij gesteld kan worden is: zijn er efficiëntere, kwalitatief betere en effectievere ontwerp oplossingen op te leveren voor de Superbus infrastructuur op het ZZL tracé?

2.1.2 Kennisbelang

Inmiddels is de politieke besluitvorming rond de aanleg van de ZZL op de lange baan geschoven en zijn hiermee de kansen voor een toepassing van het Superbus concept op dit tracé onzeker geworden. De TU Delft richt zich nu vooral op de verdere ontwikkeling van de Superbus. Aangezien het principe in de toekomst als product op de (export-)markt wordt geplaatst, worden de onderzoekactiviteiten met betrekking tot de ontwikkeling van het Superbus concept en zijn vereiste infrastructuur niet stop gezet. Er zullen zich namelijk voor een toepassing van het concept op de (inter-)nationale markt steeds weer nieuwe ontwerpvragestukken aandringen.

2.1.3 Probleemdefiniëring

De probleemschets beschrijft het probleem dat naar voren komt in het onderzoek. Het vangt aan met de probleemcategorisering en wordt vervolgd met de probleemanalyse en de probleembehandeling. Tot slot wordt de probleemstelling geformuleerd.

Probleemcategorisering

Gelet op de aard van de problematiek kan het afstudeeronderzoek worden gecategoriseerd als een praktijkgericht onderzoek. Het probleem komt voort uit het Superbus onderzoeksprogramma aan de Faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek binnen de TUDelft. Er wordt verwacht dat een evaluatie van het ontwerpproces tijdens de ontwikkeling van de Superbus infrastructuur op het ZZL tracé een bijdrage moet kunnen leveren aan een door te voeren verandering in het bestaande proces, zodat dit leidt tot een verbetering in een toekomstig Superbaan ontwerp.

Probleemanalyse

Welke problemen spelen er binnen het projectkader?

Het ontwikkelingsproces voor het ontwerp en de kostenraming van de infrastructuur voor de Superbus op het ZZL tracé is onder tijdsdruk uitgevoerd, vanwege de vastgestelde deadline voor het indienen van het alternatief ten behoeve van de Structuurvisie ZZL, waardoor het bewandelde ontwerpproces een sterk ad-hoc karakter heeft gehad. Dit heeft geleid tot het ontstaan van een ontwerp vanuit de ontwikkeling van traditionele basisprincipes en oplossingen, technische normen en richtlijnen en bestaande technologieën en producten voor HOV busbanen en weginfrastructuur. Hierbij is het echter onduidelijk waar de hoge investeringskosten van de superbaan door zijn ontstaan.

Hoe kijkt men tegen deze problemen aan?

Er wordt vanuit gegaan dat verdere optimalisatie mogelijk is van het huidige ontwerp. De voor de hand liggende vraag die hierbij gesteld kan worden is: zijn er efficiëntere, kwalitatief betere en effectievere ontwerpoplossingen op te leveren voor de Superbus infrastructuur op het ZZL tracé?

Wat zijn de achtergronden van deze problemen?

Aangezien het principe in de toekomst als product op de (export-)markt wordt geplaatst en deze ontwerpvragestukken nog herhaaldelijk terug zullen komen in de toekomst, is het hierbij niet relevant of het ontwerp van de Superbus infrastructuur op het ZZL tracé op zichzelf goedkoper en beter kan. Dit wordt namelijk bepaald door een aantal factoren, zoals de ontwerpomgeving, de besluitvorming, de ontwerpmethodologie en de middelen in een ontwerpproces. Dit geeft aanleiding om het gebruikte ontwerpproces onder de loep te nemen.

In welke richting zoekt men zoal naar oplossingen?

Door de karakteristieken van het gebruikte ontwerpproces te verhelderen geeft dit wellicht argumenten om benodigde veranderingen in het proces door te voeren, zodat verbeteringen in een nieuwe ontwerpogave voor een Superbaan aan te brengen zijn. Hierbij is het mogelijk dat een toepassing van een alternatieve ontwerpmethodiek betere resultaten oplevert voor een nieuw ontwerp van een Superbaan.

Probleembehandeling

Het afstudeerproject betreft een combinatie van een diagnostisch- en ontwerpgericht onderzoek. De fase van probleemsignalering is inmiddels afgerond. Het is ongeveer duidelijk welke problemen er spelen en waarom deze problemen er zijn. Het adviestraject moet echter nog beginnen. Daarom zullen allereerst achtergronden moeten worden bestudeerd en het ontstaan van de problematiek moeten worden gesignaleerd. Dit gebeurt in de diagnostische fase van het afstudeeronderzoek, waarin de achtergronden en oorzaken in de richting wijzen waarin een oplossing kan worden gezocht. Hierna wordt vervolgd met het ontwerpgericht onderzoek, waarin op basis van de probleemsignalering en de diagnose een aan te bevelen methodische verandering wordt voorgesteld om tot een oplossing te komen voor het probleem.

2.1.4 Probleemstelling

De probleemstelling is als volgt geformuleerd:

“Op welke wijze kan een aanpassing in de toegepaste ontwerpmethodiek, gebruikt tijdens de ontwikkeling van de Superbus infrastructuur op het ZZL tracé ten behoeve van de Structuurvisie ZZL, leiden tot betere resultaten voor een nieuwe opgave van een Superbaan ontwerp?”

De probleemstelling is enerzijds tot stand gekomen op grond van de vraag vanuit de TUDelft en anderzijds op basis van de interesse van de auteur. Op grond van de probleemstelling is vervolgens de doelstelling van het afstudeeronderzoek vastgesteld.

2.2 Conceptueel ontwerp

Het conceptueel ontwerp bepaalt wat, waarom en hoeveel wordt behandeld in het onderzoek. Dit wordt aan de hand van de doelstelling, het onderzoeksmodel, de vraagstelling en de onderzoeksafbakening weergegeven.

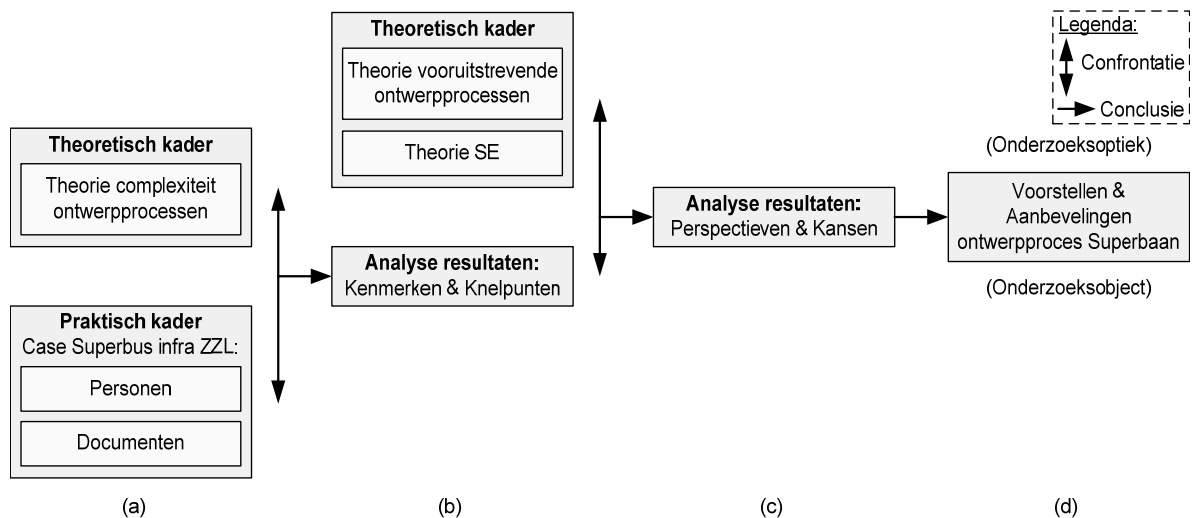
2.2.1 Doelstelling

Het doel van het onderzoek wordt geplaatst in de context zoals die in het projectkader is geschetst. De doelstelling geeft antwoord op de reeds geformuleerde probleemstelling, en luidt als volgt:

“Het doel van het onderzoek is verbeteringen aan te bevelen voor een toekomstige aanpak van het ontwerpproces voor een nieuwe ontwerpgevare van een Superbaan”.

2.2.2 Onderzoeksmodel

Om de vraagstelling van het onderzoek te formuleren wordt een schematische weergave gemaakt van het doel van het onderzoek en de globale stappen die gezet moeten worden om dit doel te bereiken (zie figuur 1-2). Het onderzoeksmodel geeft door middel van een visualisering een helder beeld van de aard van het onderzoek, het te verwachten resultaat en een vaststelling van de theoretische achtergronden voor het onderzoek [Verschuren & Doorewaard, 2005].



Figuur 1-2: Onderzoeksmodel

De volgende verwoording van het onderzoeksmodel draagt bij aan het verkrijgen van een duidelijk beeld van het onderzoek: (a) Door het praktisch kader in het licht te plaatsen van het theoretisch kader levert deze confrontatie analyseresultaten op in de vorm van een clustering van kenmerken en knelpunten van het ontwerpproces van de case. Allereerst vind er een oriëntatie plaats op complexiteit van ontwerpprocessen in het algemeen en complexiteit van infrastructurele ontwerpprocessen in het bijzonder. Vervolgens vind er een oriëntatie plaats op het ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL. Hiervoor worden gesprekken met betrokkenen gevoerd en documenten van de projectorganisatie ZZL en de projectgroep van het Superbus concept bestudeerd. Hiervoor wordt wetenschappelijk- en vakliteratuur bestudeerd. Het resultaat geeft een indicatie van de karakteristieken van het ontwerpproces van de case. De typering van het ontwerpproces van de case geeft aanleiding om het te vergelijken met de bestudering van het theoretisch kader, in de vorm van een oriëntatie op vooruitstrevende ontwerpprocessen in het algemeen en een op SE gebaseerd ontwerpproces in het bijzonder. Hierbij wordt gebruik gemaakt van wetenschappelijke- en vakliteratuur (b). De confrontatie tussen het resultaat van de uitgevoerde analyse op de case van de Superbus infrastructuur ZZL en theoretisch kader levert vanuit een weergave van kansen analyseresultaten op in de vorm van perspectieven voor een andere indeling van het ontwerpproces (c). Deze bevindingen geven aanleiding tot voorstellen en aanbevelingen in de vorm van veranderingen en aanpassingen voor een gewijzigde ontwerpprocesinrichting in de toekomst (d), zodat dit kan leiden tot betere resultaten voor een nieuwe ontwerpgeve van een Superbaan.

2.2.3 Vraagstelling

Op basis van de probleemstelling en het onderzoeksmodel zijn er onderzoeksvragen afgeleid. Deze vragen geven antwoord op de probleemstelling, zodat de probleemstelling concreter wordt. Tevens wordt zodoende een kader geschetst waarbinnen het onderzoek verricht zal worden [Verschuren & Doorewaard, 2005]. De vraagstelling bestaat uit een centrale vraagstelling, een stelling en daaruit afgeleide deelvragen.

Centrale vraagstelling

De centrale vraag die naar aanleiding van de probleemstelling en het onderzoeksmodel geformuleerd kan worden is als volgt:

“Levert de toepassing van een op SE gebaseerde ontwerpmethodiek, met gebruikmaking van vergelijkbare middelen, een ‘beter’ ontwerpresultaat op voor een nieuwe opgave van een Superbaan in vergelijking met het toegepaste ontwerpproces met betrekking tot de ontwikkeling van de Superbus infrastructuur op het ZZL tracé ten behoeve van de Structuurvisie ZZL?”

Stelling

Naar aanleiding van de centrale vraagstelling kan de volgende stelling aangehouden worden:

“De toepassing van een op SE gebaseerde ontwerpmethodiek, met gebruikmaking van vergelijkbare middelen, levert een ‘beter’ ontwerpresultaat op voor een nieuwe opgave van een Superbaan vergeleken met het toegepaste ontwerpproces met betrekking tot de ontwikkeling van de Superbus infrastructuur op het ZZL tracé ten behoeve van de Structuurvisie ZZL”.

Deelvragen

De geformuleerde vraagstelling is nogal compact en tegelijkertijd specifiek en bevat daarom nogal wat elementen die om uitwerking vragen. De centrale vraagstelling is uit te werken in een aantal deelvragen. Volgens Verschuren en Doorewaard [2005] bevat elke deelvraag een specifiek onderwerp, variabele of samenhang uit de centrale vraagstelling. De deelvragen geven antwoord op (een deel van) de volledige probleemstelling.

De volgende deelvragen zijn geformuleerd ter operationalisering van de onderzoeksvraag:

- (1.) “Welke kenmerken en knelpunten levert de beoordeling van de gesprekken met betrokkenen (projectleider & ontwerper) en documenten van de projectorganisatie ZZL en de projectgroep van het Superbus concept in het licht van de mate van complexiteit van het infrastructurele ontwerpproces op?”
- (2.) “Welke typering en karakteristieken van het ontwerpproces van de case geven aanleiding voor een vergelijking met een te onder vangen vooruitstrevend ontwerpproces gebaseerd op SE?”
- (3.) “Welke perspectieven voor een andere indeling van het ontwerpproces vanuit een weergave van kansen levert de vergelijking tussen het ontwerpproces van de case en het op SE gebaseerde ontwerpproces op?”
- (4.) “Wat leert ons de vergelijking tussen het ontwerpproces van de case en het op SE gebaseerde ontwerpproces met het oog op het doen van aanbevelingen en voorstellen in de vorm van veranderingen en aanpassingen voor een gewijzigde ontwerpprocesinrichting in de toekomst, zodat dit kan leiden tot betere resultaten voor een nieuwe ontwerpgevare van een Superbaan?”

2.2.4 Onderzoeksafbakening

Een adequate afbakening met een verantwoorde systematische begrenzing is niet alleen noodzakelijk voor het conceptuele ontwerp, maar voornamelijk voor de methodische verantwoording van het onderzoek. Dit onderdeel bevat een begripsbepaling en tevens wordt het bereik van het onderzoek aangegeven.

Begripsbepaling

Er hebben in de voorgaande paragrafen al eerdere afbakende activiteiten plaatsgevonden, zoals het stellen van een doel, centrale vraag en deelvragen voor het onderzoek. Echter is het nog niet duidelijk wat onder de totale infrastructuur van de Superbus wordt verstaan. Daarom wordt allereerst het begrip Superbus infrastructuur gedefinieerd.

Wat verstaat men onder de Superbus infrastructuur?

De Superbus infrastructuur is op te splitsen in drie systemen, te weten:

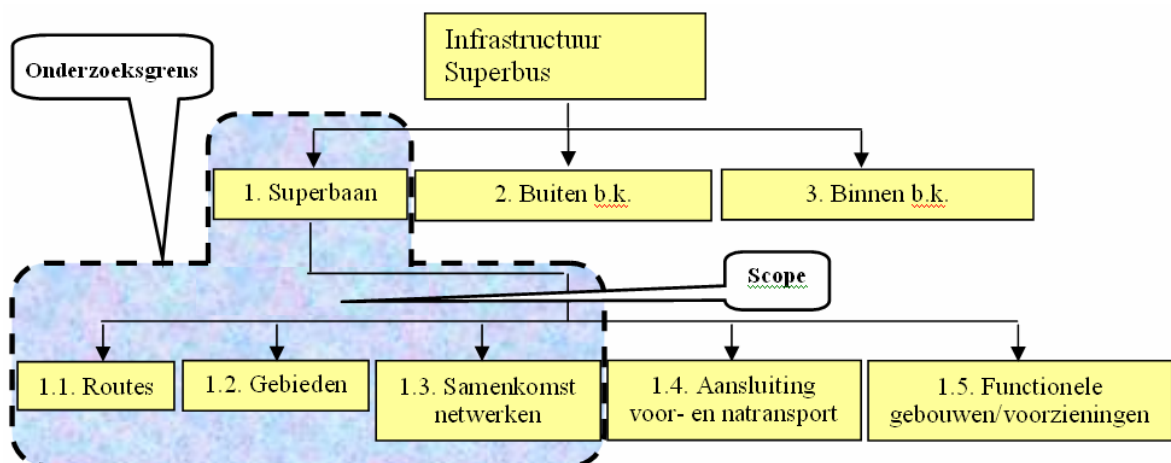
1. Superbaan infrastructuur (snelheid max. 260 km/h);
2. Bestaande of Nieuw weg- en businfrastructuur buiten bebouwde kom (snelheid gem. 90 km/h);
3. Bestaande of Nieuw weg- en businfrastructuur binnen bebouwde kom (snelheid gem. 30 km/h).

De Superbaan infrastructuur (1.), dat op elk ruimtelijk schaalniveau geïntegreerd wordt, bestaat uit de volgende subsystemen:

- 1.1 Routes (Dragers van het plan);
 - 1.2 Gebieden (Ruimtelijke componenten met specifieke leefomgeving);
 - 1.3 Samenkomst netwerken (Door uitwisseling, zoals kruispunten (overgang naar lager niveau) of door bundeling, zoals knooppunten (overgang op zelfde niveau));
 - 1.4 Aansluiting voor- en natransport (Haltes of terminals, zoals transferia of stations);
 - 1.5 (Multi-)functionele gebouwen/voorzieningen (Bv. ritleidingcentrum en kabels & leidingen).
- Er wordt van uitgegaan dat de systemen van 2. en 3. ook deze zelfde subsystemen bevatten.

Bereik van onderzoek

Dit onderzoek richt zich alleen op het ontwerpproces, met in achtneming van de totale levensduur, van de Superbus infrastructuur. De infrastructuur van de Superbus is onderstaand weergegeven in systemen (zie figuur 2-2). Hierbij is de afbakening en de onderzoeksgrens van het onderzoek aangegeven. Voor de scope van het onderzoek zijn onderdelen 1.4 en 1.5 van de infrastructuur voor de Superbaan uitgesloten. Tot de scope van het onderzoek behoren alleen de systemen van 1.1 (Routes) met haar bijbehorende gebieden (1.2) en samenkomst van netwerken (1.3) van de Superbaan.



Figuur 2-2: Bereik van het onderzoek

2.3 Methodische verantwoording

De operationalisering van het onderzoek beschrijft de activiteiten die gedurende het afstudeeronderzoek zullen worden doorlopen om op de vragen uit de vraagstelling een adequaat antwoord te krijgen [Verschuren & Doorewaard, 2005]. Het bestaat uit een beschrijving van de onderzoekstrategie en bevat tevens een uitleg over keuze van het onderzoeksmateriaal.

2.3.1 Onderzoekstrategie

Verschuren en Doorewaard [2005] geven aan dat een afstudeeronderzoek uit een aantal uit te voeren activiteiten bestaat die leiden tot antwoorden op de deelvragen, de centrale vraag en ten slotte de probleemstelling. Deze antwoorden worden verkregen door middel van gewenste gegevens uit de vergaring van relevant materiaal en de verwerking van dit materiaal. De onderzoekstrategie is op basis van het onderzoeksmodel opgesteld. De onderzoeksstrategie bevat per deelvraag verscheidende gegevens, methoden en theorieën (zie tabel 1-2). Nadat de onderzoekstrategie door middel van een tabel is uiteengezet, wordt vervolgens het onderzoek getypeerd. Tevens wordt uitgelegd waarom het een casestudie en een bureauonderzoek betreft.

Tabel 1-2: Onderzoekstrategie

DV	Doel	Strategie	Categorie	Methode
1.	Identificatie ontwerpproces case	Analyse documenten projectorganisatie ZZL en projectgroep Superbus	Case-studie	Tekstuele inhoudsanalyse (Methoden- en bronnentriangulatie)
	Identificatie ontwerpproces case	Analyse gesprekken met projectleider en ontwerper		Face-to-face interviews (Methoden- en bronnentriangulatie)
	Oriëntatie complexiteit ontwerpproessen	Bestuderen theorie complexiteit ontwerpproessen	Bureau-onderzoek	Literatuuronderzoek
	Beoordeling kenmerken, knelpunten en mate complexiteit ontwerpproces case (typering & indicatie)	Analyse casestudie VS theorie complexiteit ontwerpproessen		Secundair onderzoek
2.	Identificatie te ondervangen vooruitstrevend ontwerpproces	Bestuderen analyseresultaten deelvraag 1 vs. theorie vooruitstrevende ontwerpproessen	Bureau-onderzoek	Literatuur-/Secundair onderzoek
	Oriëntatie SE	Bestuderen theorie SE		Literatuuronderzoek
3.	Beoordeling perspectieven voor indeling ontwerpproces case vanuit kansen (typering & indicatie)	Bestuderen analyseresultaten deelvraag 2 & ontwerpproces case vs. theorie SE	Bureau-onderzoek	Literatuur-/Secundair onderzoek
4.	Aanbevelingen & voorstellen (veranderingen & aanpassingen) gewijzigde inrichting ontwerpproces	Bestuderen analyseresultaten deelvraag 1,2 en 3	Bureau-onderzoek	Secundair onderzoek

Onderzoekstypering

De onderzoeksstrategie ten behoeve van het onderzoek kan getypeerd worden als een diepgaand onderzoek, waarbij op een kleinschalige aanpak wordt gestuurd. Dit leidt tot minder generaliseerde kennis, maar stelt wel instaat tot diepgang, detaillering, complexiteit en een sterke onderbouwing met een minimum aan onzekerheid. Volgens Verschuren en Doorewaard [2005] wordt voor dit soort onderzoek een kwalificerende en interpreterende benadering gehanteerd, waarbij vooral verbaal en beschouwend moet worden gerapporteerd.

Casestudie

Tijdens het bestuderen van de case moet diepgaand inzicht en een integraal beeld worden verkregen in de karakteristieken van het gevolgde ontwerpproces tijdens de ontwikkeling van de Superbus infrastructuur op het ZZL tracé ten behoeve van de Structuurvisie ZZL. Hierbij wordt enerzijds gebruik gemaakt van methodentriangulatie in de vorm van (individuele) face-to-face interviews en inhoudsanalyses van tekstueel materiaal en wordt anderzijds gebruik gemaakt van bronnentriangulatie in de vorm van werken met meerdere bronnen.

Bureauonderzoek

Tijdens het bureauonderzoek wordt in vergaande mate het aantal en de soort van te kiezen onderzoekseenheden, de wijze waarop de eenheden worden geselecteerd, de keuze van bronnen en de technieken waarmee de bronnen worden ontsloten en de wijze waarop de gegevens en de literatuur wordt verwerkt tot antwoorden op de vraagstelling bepaald. Hierbij wordt gebruik gemaakt van door anderen geproduceerd materiaal in de vorm van literatuur en van door de onderzoeker bijeengebracht materiaal in de vorm van secundaire data.

2.3.2 Keuze onderzoeksmateriaal

De keuze van het onderzoeksmateriaal is bepaald aan de hand van de onderzoekstrategie. Het onderzoeksmateriaal werpt enig licht op het onderzoeksobject en draagt bij aan de beantwoording van de vraagstelling en de te bereiken doelstelling [Verschuren & Doorewaard, 2005]. Hierbij wordt gebruik gemaakt van door anderen geproduceerd materiaal in de vorm van literatuur, zoals boeken, handboeken, artikelen, scripties, congrespapers en dergelijke waarin wetenschappers hun kennisproducten neerleggen. Tevens wordt hierbij gebruik gemaakt van door de onderzoeker bijeengebracht materiaal in de vorm van secundaire data, zoals empirische gegevens en materiaal dat voortkomt uit interviews (zie tabel 2-2).

Tabel 2-2: Onderzoeksmateriaal

DV	Categorie	Methode	Materiaal
1.	Casestudie	Tekstuele inhoudsanalyses (Methoden- en bronnentriangulatie)	Documenten Superbus Concept, Superbus ZZL tracé en ZZL Internet TUDelft Superbus en RWS ZZL
		Face-to-face interviews (Methoden- en bronnentriangulatie)	Ondervraging projectleider en ontwerper Superbus infra ZZL tracé (TUDelft & INFRAtheke)
	Bureauonderzoek	Literatuuronderzoek	Literatuur complexiteit (infrastructureel) ontwerpproces
		Secundair onderzoek	Empirische gegevens en interviewmateriaal complexiteit (infrastructureel) ontwerpproces
2.	Bureauonderzoek	Literatuur-/Secundair onderzoek	Empirische gegevens deelvraag 1 & Literatuur vooruitstrevende ontwerpprocessen
		Literatuuronderzoek	Literatuur ontwerpproces SE
3.	Bureauonderzoek	Literatuur-/Secundair onderzoek	Empirische gegevens deelvraag 2 & Literatuur SE
4.	Bureauonderzoek	Secundair onderzoek	Empirische gegevens deelvraag 1, 2 en 3

3 Complexiteit van ontwerpprocessen

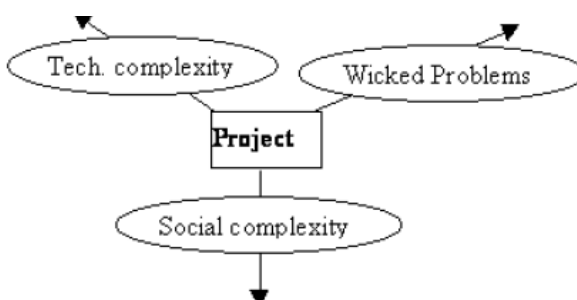
In dit hoofdstuk vindt er een oriëntatie plaats op complexiteit van ontwerpprocessen in het algemeen en complexiteit van infrastructurele ontwerpprocessen in het bijzonder. De complexiteit van een ontwerpproces is te operationaliseren in termen van fragmentatie in de vorm van centrifugale krachten en veroorzaken chaos in een project. De complexiteit van een infrastructureel ontwerpproces is te herkennen aan de onvoorspelbaarheid van het verloop en de uitkomst van een project. Het proces leidt tot velen tegenstrijdigheden, omdat ontwerpopgaven primair gericht zijn op het inpassen van een vormgeving in een bepaalde omgeving. De theoretische analyse in dit hoofdstuk levert vervolgens een clustering van aandachtspunten op in de vorm van een reeks van beoordelingscriteria.

Het hoofdstuk vangt aan (§3.1) met de complexiteit van een ontwerpproces en vervolgt in paragraaf 3.2 met de complexiteit van een infrastructureel ontwerpproces. Paragraaf 3.3 sluit het hoofdstuk af met een samenvatting waarin een reeks van beoordelingscriteria wordt geclusterd.

3.1 Complexiteit van een ontwerpproces

Volgens Baccarini [1996] is de complexiteit van een ontwerpproces te operationaliseren in termen van differentiatie en onderlinge afhankelijkheid. Het is tijdens het ontwerpproces van een project te herkennen aan de hand van relevante dimensies. Volgens Volkema [1988] zijn het aantal elementen, de eigenschappen van de elementen, het aantal interacties tussen de elementen en de organisatie van de elementen in het ontwerpproces aan te wijzen als deze relevante dimensies. Echter stelt Conklin [2001] dat de complexiteit van een ontwerpproces veroorzaakt wordt door de fragmentatie van centrifugale krachten. Koskela en Bertelsen [2003] veronderstellen dat deze krachten een mate van chaos in een ontwerpproces van een project tot gevolg hebben. De onderzoeker heeft gekozen om de complexiteit van een ontwerpproces te operationaliseren in navolging van Conklin [2001] en Koskela en Bertelsen [2003]. In deze paragraaf wordt allereerst het begrip fragmentatie uiteengezet. Ten slotte komt de uitleg van chaos aan bod.

3.1.1 Fragmentatie



De complexiteit van een ontwerpproces is te herkennen aan de fragmentatie van een project. Fragmentatie wordt veroorzaakt door de centrifugale krachten van een ongestructureerd probleem, de sociale complexiteit en de technische complexiteit van een ontwerpproject (zie figuur 3-3). Volgens Conklin [2001] kan de fragmentatie van een project weergegeven worden door middel van de volgende sommatie:

Figuur 3-3: Het ontstaan van fragmentatie door de centrifugale krachten [Conklin, 2001]

Fragmentatie = ongestructureerdheid probleem * sociale complexiteit * technische complexiteit (1)

In deze subparagraaf zullen achtereenvolgens de technische complexiteit, de ongestructureerd van een probleem en de sociale complexiteit beschreven worden.

Technische complexiteit

Naast de dynamiek van een ongestructureerd probleem en de sociale complexiteit is de technische complexiteit van een project ook een potentiële gefragmenteerde kracht tijdens een ontwerpproces. Deze dynamiek van een project is te herkennen aan de externe projectomgeving en omvat richtlijnen, eisen en randvoorwaarde en bronnen en middelen [Conklin, 2001].

Volgens Koskela en Pennanen [2005] is de technische complexiteit van een project ook te omschrijven in de vorm van een natuurlijke basiscomplexiteit. Indien de aard van de basiscomplexiteit wordt geïdentificeerd kan er ordelijk worden omgegaan met de complexiteit van een project. Het zijn kwesties die over het algemeen in het begin aan de hand van de volgende vragen kunnen worden geïdentificeerd:

- Hoe complex is het ontwerp, indien het als een systeem of object wordt gezien?
- Moeten er complexe technologieën worden toegepast in het project?
- Hoeveel interacties vinden er plaats tussen deze technologieën?

Ongestructureerdheid probleem

Tevens veroorzaakt de dynamiek van een ongestructureerd probleem fragmentatie tijdens een ontwerpproces. Het is te herkennen aan de interne projectomgeving en omvat tijd, budget en prestatie-eisen. Tijdens het verkennen van dit gebied geeft het een eigenschap van een probleem of oplossingsruimte en een cognitieve dynamiek weer. Ongestructureerde problemen zijn niet als tam probleem doormiddel van logisch nadenken of methoden op te lossen [Conklin, 2001].

In tegenstelling tot Conklin [2001] geven Koskela, Ballard en Tanhuanpää [2005] aan dat er een optimum opeenvolgingen van ontwerptaken en –activiteiten binnen een ontwerpproces bestaat. Echter hebben interne en externe onzekerheden een negatieve invloed op het optimum opeenvolgingen in het ontwerpproces. Hierdoor ontstaan onefficiënte opeenvolgingen in een ontwerpproces. Deze leiden tot lage productiviteit, langere ontwerptijd en waarde vermindering van de ontwerp oplossing. Door vervolgens sturing- en beheersingsmaatregelen in het ontwerpproces toe te voegen kan er een optimaal resultaat in opeenvolgingen van ontwerptaken en -activiteiten worden geforceerd.

Volgens Conklin [2001] en Ballard en Whelton [2002] kan er ordelijk worden omgegaan met de complexiteit van een project, indien de aard van het ongestructureerde probleem wordt geïdentificeerd. De complexiteit en de dynamiek van een probleemtype en -definitie is uit te drukken in een grote van een gestructureerd (tam) probleem, een matig gestructureerd probleem en ongestructureerd (wicked) probleem.

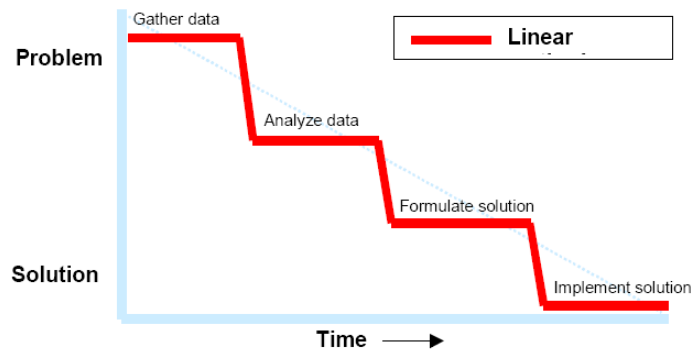
Gestructureerd (tam)

Een probleem is gestructureerd wanneer het einddoel bekend en voorgeschreven is. Een tam probleem heeft de volgende karakteristieken [Simon, 1973; Klir, 1985 en Conklin, 2001]:

1. Heeft een duidelijk gedefinieerde probleemformulering en bezit een hoge mate van zekerheid en kennis.
2. Heeft een duidelijk centrale vraagstelling en einddoel (oplossing).
3. Er bestaan gedefinieerde criteria voor het testen van oplossingen.
4. Het is geschikt voor een analytische oplossingsmethode. Georganiseerde simpliciteitsproblemen. Een objectieve oplossing die goed of slecht is.
5. Behoort tot een klasse van 1 dezelfde problemen met 1 dezelfde oplossingen. Er bestaan gelimiteerde oplossingsalternatieven, omdat het probleem weinig variabelen bevat.
6. Bezit de mogelijkheid om oplossingen uit te proberen en ervan af te wijken.
7. Alle transformaties en formuleringen zijn consistent met wereldwijde regelgevingen.
8. Het bovenstaande is door mensen handelbaar.

Een gestructureerd probleem is volgens een lineair “topdown” proces (watervalmodel) op te lossen (zie figuur 4-3). Het is als volgt te typeren [Conklin, 2001]:

- Wanneer een deel is afgerond kan met het volgende deel van het project begonnen worden. Het is dus een opeenvolgend proces met afbakeningen.
- Vanuit een probleem naar een oplossing werken:
 - Allereerst moet het probleem begrepen worden, waarna het verzamel- en analyseproces van eisen van klanten of gebruikers kan plaatsvinden.
 - Wanneer het probleem is gespecificeerd en de eisen zijn geanalyseerd, kan er een oplossing geformuleerd worden.
 - Hierna kan eventueel de oplossing geïmplementeerd worden.



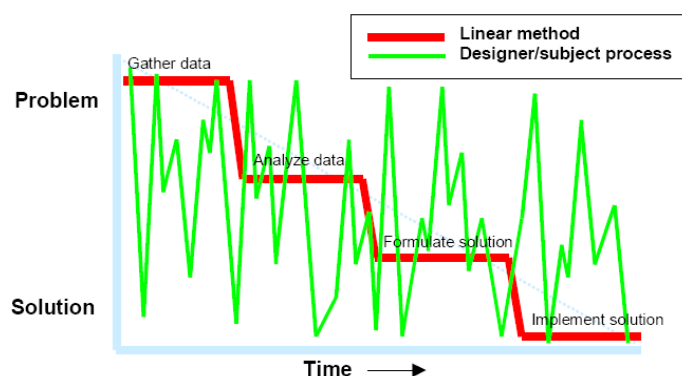
Figuur 4-3: Traditioneel ontwerpproces - ‘Watervalmodel’ [Conklin, 2001]

Matig gestructureerd

Een probleem is matig gestructureerd wanneer de probleemdefinitie een matige structuur heeft. Het probleem mist een duidelijk projectdoel, een aantal proces activiteiten en regels voor besluitvorming om tot de oplossing te komen. Voor de probleemformulering zijn er soms herdefinitie activiteiten nodig.

Een matig gestructureerd probleem is volgens een lineair enkelvoudig cognitief proces (kansgedreven) op te lossen (zie figuur 5-3). Het is als volgt te typeren [Conklin, 2001]:

- Niet lineaire volgorde van activiteiten in het ontwerpproces.
- Complex of innovatief probleem.
- Geeft een intelligent en creatief leerproces weer.



Figuur 5-3: Het enkelvoudige cognitieve ontwerpproces in praktijk – kansgedreven [Conklin, 2001]

Ongestructureerd (wicked)

Een probleem is ongestructureerd wanneer het slecht gedefinieerd en complex is. Het gaat samen met onzekerheid, verschillende doelen en verscheidende betrokkenen. Een ongestructureerd probleem heeft de volgende karakteristieken [Rittel, 1973]:

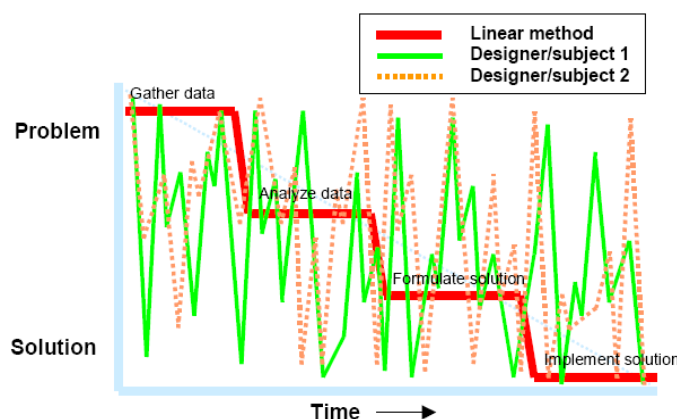
1. *You don't understand the problem until you have developed a solution.*
 - Er is geen duidelijke definitie van het probleem.
 - Het is slecht gestructureerd, grote afhankelijkheid van onderdelen en randvoorwaarden.
2. *Wicked problems have no stopping rule.*
 - Er is geen definitieve oplossing (niet optimaal).
 - Het probleemoplossingsproces eindigt wanneer de middelen op zijn, zoals tijd, geld en energie.
3. *Solutions to wicked problems are not right or wrong.*
 - Een oplossing kan beter, slechter, goed genoeg of niet goed genoeg zijn.
 - Niet objectief vanuit een formule op te lossen.
 - Sociale context: Allerlei partijen hebben een vergelijkbare bagage, interesses en in staat om een beslissing te nemen. Deze beslissingen hangen af van de waarde en doelen van de stakeholders.
4. *Every wicked problem is essentially unique and novel.*
 - Vele factoren en condities zijn ingebed in een sociale context, zodat de oplossingen altijd klant gebonden ontworpen en ingepast worden. Kennis en ervaring zijn hierbij relatieve begrippen.
5. *Every solution to a wicked problem is a "one-shot operation."*
 - Elke mogelijkheid heeft consequenties en het is een leerproces.
6. *Wicked problems have no given alternative solutions.*
 - Creativiteit en beslissingen kunnen leiden tot potentiële oplossingen.

Een ongestructureerd probleem heeft de volgende karakteristieken [Ballard & Whelton, 2002]:

1. Geen probleemdefinitie
2. Geen regel voor einde proces
3. Oplossing niet goed of fout, maar kan beter of slechter zijn
4. Geen tussentijdse of definitieve test
5. Oplossingen hebben consequenties
6. Geen ongelimiteerde set van oplossingen
7. Probleem is in wezen uniek
8. Probleem is mogelijk een symptoom van een ander probleem
9. Talrijke uitleg van problemen
10. Ontwerper heeft geen recht om het verkeerd te hebben

Een ongestructureerd probleem is volgens een meervoudig cognitief proces (kansgedreven) op te lossen (zie figuur 6-3). Het is als volgt te typeren [Conklin, 2001]:

- Een functie van het aantal en verscheidenheid van betrokken partijen in het project.
- Toename sociale complexiteit bij meer betrokken partijen en verscheidenheid in de partijen.



Figuur 6-3: Het meervoudige cognitieve ontwerpproces - kansgedreven ontwerper [Conklin, 2001]

Ongestructureerd probleem tam maken

Vanwege het gelimiteerde korte termijn geheugen van een mens bestaat er de tendens om steeds een complex probleem te reduceren tot een te bevatten probleem. Dit is meestal efficiënt op korte termijn, maar op lange termijn leidt dit snel tot een slecht ontwerp of een falend systeem [Agnew & Brown, 1986]. Volgens Conklin [2001] is een ongestructureerd probleem door het te bestuderen, te simplificeren en te reduceren als volgt op te lossen:

1. Verklein de probleemdefinitie tot een oplosbare formulering (sluit vereiste uit).
2. Neem aan dat het probleem oplosbaar/opgelost is.
3. Specificeer objectieve meetbare parameters waaraan een oplossing moet voldoen.
4. Klasseer het probleem als een al eerder opgelost probleem.
5. Gehoorzaam de taken in een organisatie en vergeet hierbij het probleem.
6. Ga van een paar mogelijke alternatieven uit voor de oplossing en selecteer hieruit één oplossing.

Sociale complexiteit

Naast de dynamiek van een ongestructureerd probleem en de technische complexiteit is de sociale complexiteit van een project ook een potentiële gefragmenteerde kracht tijdens een ontwerpproces. Deze complexiteit wordt veroorzaakt door allerlei betrokken actoren met verschillende wensen. Het heeft een eigenschap van een sociaal netwerk dat een probleem aantrekt. Het is vooral te herkennen in de besluitvormingskracht van de projectorganisatie en omvat de klant, het projectteam en de relatie en afstemming tussen de klant en het projectteam [Conklin, 2001].

Organisatie & netwerk

Volgens Nutt [1984b] moet de begrenzing van de probleemstelling overeenkomen met het niveau van het systeem waarover een organisatie of een individu grip op heeft, verstand van heeft, het noodzakelijke belang er van inziet en controle op kan uitoefenen. Voor het herkennen van een organisatie en een netwerk zijn volgens Robinson [1991], Simone en Schmidt [1993], Gross [1998] en Conklin [2001] de volgende dimensies te operationaliseren:

- Actoren & relaties: De organisatie voor het coöperatieve werkproces en voor het coöperatieve werk op zichzelf.
- Verantwoordelijkheden & taken: Bestaat uit de taak toewijzing naar actoren en verdelen van aansprakelijkheid voor het uitvoeren van taken.
- Interacties & verbanden: Gericht op (non-)verbale interacties tussen betrokkenen en op welke manier deze op elkaar inwerken en collaboreren.
- Middelen: Het primaire vereiste voor het coöperatieve werkproces en het coöperatieve werk op zichzelf.
- Cultuur & taal: Niet alledaagse collectieve activiteiten vereisen effectieve communicatie. Verschillende culturen en talen van groepsleden binnen een projectomgeving brengen perspectieven, intenties, interpretaties, referentiepunten met zich mee die soms onvoorspelbaar en op gedragsregels gebaseerd zijn. Hierbij speelt tevens de polariteit tussen de opdrachtgever (probleemgericht) en opdrachtnemer (oplossingsgericht) een rol.

Wensen & waarden

Tijdens een ontwerpproces zijn de typische gevraagde wensen en waarden van allerlei betrokken actoren binnen een organisatienetwerk complex te achterhalen, omdat deze persoonlijk, veranderlijk over een tijdspad, niet meetbaar, moeilijk uit te drukken en niet expliciet te communiceren zijn. De actoren hechten elk verschillende waarde in bepaalde levensfasen van het bouwwerk (zie tabel 3-3). De overheersende focus is hierbij gericht op het uiteindelijke gebruik van het object, zoals duurzaamheid, functionaliteit en esthetica vanuit het klassieke perspectief en de toekomstwaarde voor toekomstige gebruikers van het bouwwerk en het bouwwerkwaarde tijdens ontwerp en uitvoering vanuit overige perspectieven [Bertelsen & Emmitt, 2005].

Tabel 3-3: Voorbeelden van waarde perspectieven voor bouwwerken [Bertelsen & Emmitt, 2005]

Waarde	Eigenaar	Gebruiker	Maatschappij
Primair	Duurzaamheid.	Functioneel.	Esthetica.
Constructie	Budget en tijd, Fouten en ongelukken.	Betrokkenheid gebruiker, Planning.	Geluidsoverlast, Stofoverlast, Verkeersoverlast.
Gebruik	Investeringswaarde, Kosten beheer en onderhoud, Duurzaamheid.	Flexibiliteit in eigenlijk gebruik, Lucht- en stankhinder, Geluidsoverlast en trillingshinder, Ruimtegebruik, Veiligheid.	Architectuur, Inpassing in omgeving, Milieuaspecten.
Toekomst	Investeringswaarde op lange termijn.	Flexibiliteit voor toekomstig gebruik.	Herkenbaarheid, Uitstraling.

3.1.2 Chaos

De gefragmenteerde krachten hebben consequenties voor de productiviteit en de kwaliteit van een ontwerpproces en zorgen voor een bepaalde mate van chaos in een project. De mate van chaos kan tijdens een ontwerpproces onderscheiden worden in [Koskela & Bertelsen, 2003]:

- Kleinschalige chaos (normale situatie):
 - o Onzekerheid in vooruitgang van deelfasen project.
 - o Verloopt en eindigt ongeveer volgens planning en budget.
 - o Voldoet aan de geplande waarde en functionaliteit.
- Grootschalige chaos:
 - o Onzekerheid in vooruitgang gehele project.
 - o Onzekerheid einddatum en totale kosten.
 - o Onzekerheid waarde en functionaliteit.

Eerst wordt het ontstaan van chaos verklaart, waarna deze subparagraaf wordt beëindigd met de uitleg om chaos te vermijden.

Ontstaan van chaos

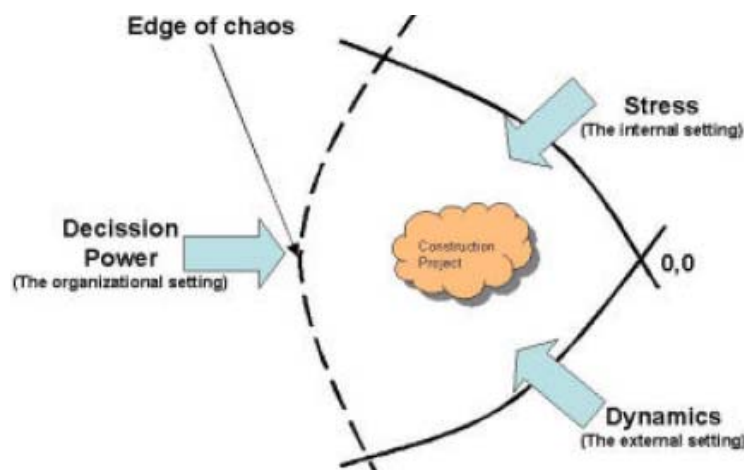
Tijdens de ontwikkeling van een project wordt chaos veroorzaakt door de volgende beïnvloedende problematische factoren [Koskela & Bertelsen, 2003 en Koskela, Ballard en Tanhuanpää, 2005]:

1. Herstelactiviteiten in de vorm van veranderingen in ontwerpdoelen en –criteria, waardoor iteratieve cyclussen in het ontwerpproces nodig zijn.
2. Feedback, waardoor effecten verwerkt moet worden in het ontwerpproces.
3. Wederzijdse afhankelijkheid in de vorm van gebundelde en afhankelijke activiteiten en taken (iteratieslagen met incomplete informatie) of gebrek aan informatie of te late informatie van de klant, zodat kansen op fouten ontstaan.
4. Late aansluiting van een ontwerppartij.
5. Geen balans tussen ontwerpmiddelen.
6. Eerdere gemaakte beslissingen zijn in latere activiteiten en taken vergeten.

Vermijden van chaos

Chaos kan in projecten worden vermeden door de samenbundeling van de centrifugale krachten inzichtbaar te maken [Koskela & Bertelsen, 2003] (zie figuur 7-3):

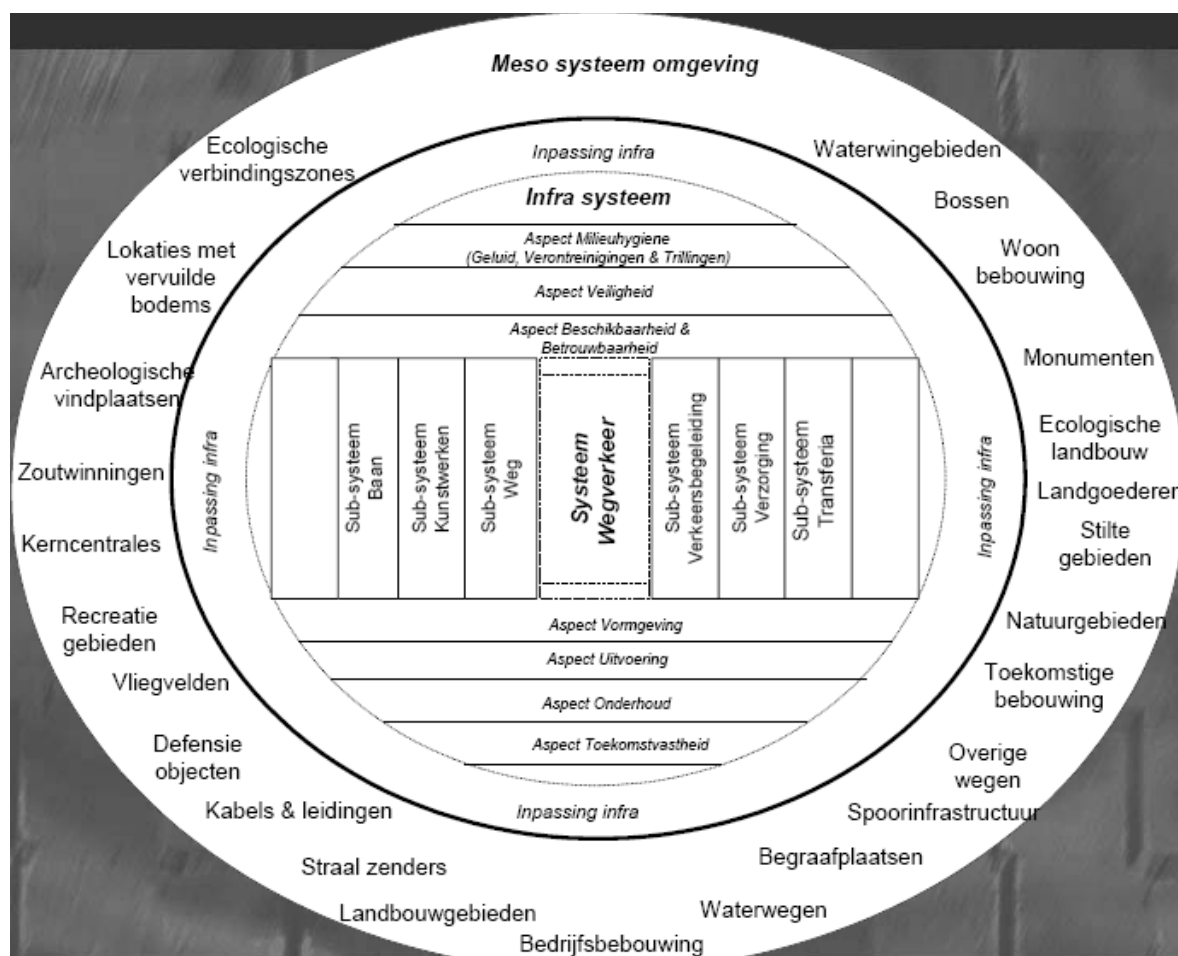
- Hoge dynamiek (technische complexiteit) en grote spanning (ongestructureerdheid probleem) drijft het systeem richting de grens van chaos, maar het systeem voor de besluitvormingskracht (sociale complexiteit) van het team voorkomt deze verschuiving en zorgt voor orde.
- Het gebied wordt bepaald door de natuurlijke basiscomplexiteit van het project. Hoe complexer het project, des te minder ruimte voor dynamiek en spanning vergeleken met de besluitvormingskracht van het team.
- Een normaal bouwproject bevindt zich op de grens van chaos.
- Door de dynamiek en de spanning van het project te reduceren, de besluitvormingskracht van de organisatie te vergroten of beide kan het systeem op orde worden gehouden.



Figuur 7-3: Chaosvermijding door balans tussen de krachten in project [Koskela & Bertelsen, 2003]

3.2 Complexiteit van een infrastructureel ontwerpproces

Het verloop en de uitkomst van een infrastructureel ontwerpproces is onvoorspelbaar, omdat geen weginfrastructureel project hetzelfde is. Het bezit meervoudige ontwerpeisen, criteria, alternatieven en randvoorwaarden die complex te identificeren en te beheersen zijn. Dit proces leidt daarom tot velen tegenstrijdigheden. Een infrastructureel ontwerpproces is namelijk tijdens de ontwerpogave primair gericht op het inpassen van een vormgeving in een bepaalde omgeving (zie figuur 8-3). Van Herk [2003] geeft aan dat dit een creatief proces is, waarbij de kennis en kunde, visie en creativiteit van de ontwerpers het eindresultaat bepaalt. Echter laten ontwerpers zich tijdens het ontwerpproces leiden door technische ontwerp- en inrichtingscriteria in de vorm van ontwerpnormen, richtlijnen, voorwaarden, kwaliteitseisen en bouwtechnische voorschriften. Deze leidraden bepalen in grote lijnen de vorm van het ontwerp. In deze paragraaf zullen achtereenvolgens de veroorzakende factoren van complexiteit aan bod komen: de fasering, de beïnvloedingen, de disciplines, de hoofdaspecten, de programmering en de ontwerp ruimte.

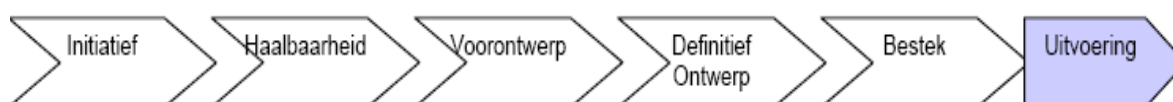


Figuur 8-3: Inpassingfactoren vormgeving infrastructuur in omgeving in ontwerpogave [RWS, 2006]

3.2.1 Faseringen

In een infrastructureel ontwerpproces zijn verschillende ontwerptaken afhankelijk van de fasen in het ontwerp. Volgens Van Herk [2003], RVOI [2001] en DNR [2004] kunnen de volgende vijf ontwerpfasen onderscheiden worden binnen een infrastructureel ontwerpproces (zie figuur 9-3):

- **Initiatiefase:** Deze fase bestaat meestal uit het formuleren van een probleemstelling, doelstelling en het opstellen van een ruimtelijke en een functionele Programma van Eisen;
- **Haalbaarheidsfase:** In deze fase worden oplossingsrichtingen gezocht en de technische haalbaarheid, de economische haalbaarheid, de financiële haalbaarheid en de juridische haalbaarheid onderzocht;
- **Voorontwerpfase:** Hierbinnen vindt de conceptontwikkeling plaats in de vorm van een basisconcept bestaande uit een grondvorm en facetmodellen. Tevens vindt er een weging en keuze voor het voorkeursmodel plaats. Ook kan dit Voorontwerp toegevoegd worden aan een structuurontwerp;
- **Definitiefontwerpfase:** Deze fase bestaat uit het maken van een gedetailleerd ontwerp;
- **Besteksfase:** Het ontwerp is vertaald in een gespecificeerd document. Dit bestek wordt gebruikt voor de uitvoering. Tevens vindt er een evaluatie plaats van het ontwerpproces.



Figuur 9-3: Fasering van een infrastructureel ontwerpproces [Van Herk, 2003]

In een ontwerpproces van een infrastructuur vinden er echter frequent voorruit- en terugkoppelingen met verschillende ontwerpfasen plaats, zodoende dat de gestelde uitgangspunten, doelstellingen en eisen herhaaldelijk getoetst worden. Het ontwerpproces is daarom iteratief cyclisch te noemen [Van Herk, 2003].

3.2.2 Beïnvloedingen

Een ontwerpproces van infrastructuur verloopt langs een reeks van beslissingen, zoals signaleren, erkennen, meewegen, maken, bewaken, die tijdens de diverse fasen worden genomen. Deze grote aantal beslissingen vormen harde randvoorwaarden voor de realisatie van het project en hebben te maken met budget, doorlooptijd, beschikbaarheid, milieu, invloed op eigendommen van derden, invloed op bestaande ondergrondse infrastructuur. Deze beslissingen kunnen hierbij worden beïnvloed door verscheidende factoren. Volgens Huismans, e.a. [2000] kunnen beslissingen in een ontwerpproces beïnvloedt worden door:

- Een persoonlijkheid (filosofie, cultuur, geschiedenis, denkgewoonten en tradities);
- Een opdrachtgever (maatschappelijke context, wet- en regelgeving, economie, situatie, instanties);
- Het programma van eisen (vertaling van opdracht in ruimtelijk en functionele ontwerp);
- De techniek (on)mogelijkheden (vertaling van PvE in ontwerp en uitvoering).

3.2.3 Disciplines

Het is echter belangrijk om het probleem rond de inpassing van de vormgeving juist en tijdig te signaleren. Hierbij is het noodzakelijk dat alle benodigde disciplines tijdens de start van de voorbereidende ontwerpwerkzaamheden in het proces worden betrokken, zodat latere verrassingen en kosten geminimaliseerd worden. In een vroege fase van het proces zijn er namelijk in de regel meer mogelijkheden om het ontwerp aan te passen [CROW, 2002]. Hiermee kan gezegd worden dat een wegontwerp intern en extern, technisch en sociaal complex te noemen is [Van Herk, 2003] (zie tabel 4-3). Een infrastructureel ontwerpproces dient daarom effectief gepland en beheerst te worden door integrale ontwerpteams om de effecten van complexiteit en onzekerheid te minimaliseren [Ballard, Whelton en Tommelein, 2001].

Tabel 4-3: Complexiteit van een infrastructureel ontwerpproces [Van Herk, 2003]

	Technisch	Sociaal
Intern	Verharding, kunstwerken	Meerdere ontwerpers en instellingen: aannemer, ingenieursbureau
Extern	Inpassing in wegennet, ruimtelijke inpassing	Omwonenden, gemeenten

3.2.4 Hoofdaspecten

Tevens wordt bij het ontwikkelen van infrastructuur de keuze van het ontwerp sterk bepaald door hoofdzakelijk drie aspecten volgens Van de Graaf, e.a. [1998]:

- Verbeteren bereikbaarheid en leefbaarheid: Vanuit het besef dat er beperkte fysieke ruimte is en het besef van de invloed die de aanleg of uitbreiding van infrastructuur heeft op de ruimte en op de leefbaarheid. De infrastructuur dient in het geval van dit aspect te voldoen aan een aantal functionele eisen op het gebied van doorstroming, veiligheid en onderhoud.
- Effecten op de omgeving: De effecten op de omgeving worden getoetst aan wettelijke normen, landelijke beleidsdoelen en wensen van betrokkenen. Daaruit blijkt dat aantasting van landschappelijke en ecologische waarden ongewenst zijn, maar doorsnijding door infrastructuur van zwaarwegend nationaal belang onder bepaalde omstandigheden toelaatbaar is, mits compenserende inpassingmaatregelen worden getroffen.

- **Aanleg- en exploitatiekosten:** Voor de aanlegkosten kan indicatief een bepaald bedrag voor het project worden aangenomen. Echter gaat het tussen bepaalde inpassingvarianten, zoals een ligging op maaiveldhoogte, een verdiepte ligging en een tunnel, vooral om een onderlinge afweging tussen de omgevingseffecten en de kosten. Met bepaalde maatregelen kunnen negatieve effecten op het landelijke en stedelijke milieu verder worden verminderd, maar daar staan extra aanlegkosten tegenover. Er kan gesteld kunnen worden dat bij aanleg van nieuwe infrastructuur meer aandacht naar inpassing uitgaat dan bij verbreding van wegen. Hierbij is immers al sprake van een doorsnijding.

3.2.5 Programmering

De start van een infrastructureel ontwerpproces begint in de initiatieffase met het opstellen en ontwikkelen van een Programma van Eisen (PvE), waarin kennis in een formele en systematische taal is beschreven om de wensen in beeld te brengen. Het opstellen van een gedegen PvE is een belangrijke factor voor het welslagen van een infrastructureel ontwerpproces. Veenvliet en Rinket [2001] geven aan dat het proces voor het opstellen van een PvE iteratief verloopt. Het doel en de hoofdstructuur van een PvE worden binnen deze subparagraaf het uiteengezet.

Doel

In het PvE wordt beschreven wat er met het project gerealiseerd moet worden. Volgens Veenvliet en Rinket [2001] heeft een PvE de volgende doelen:

- Het geeft richting aan de zoektocht of ontdekkingstocht binnen een ‘ontwerpruimte’.
- Het wordt gebruikt als toetsingsmiddel voor de beoordeling van de uiteindelijk gekozen oplossing en is hiermee de toetssteen voor de haalbaarheid van de ontwerpopgave;
- Het heeft een gestructureerde communicerende rol tussen betrokkenen (opstellers PvE). Hierdoor wordt het ontwerpproces ingericht en gestuurd. De gebruikers hebben hierbij taken-, bevoegdheden- en verantwoordelijkheden voor het ontwerp en de opstellers en betrokkenen genereren de oplossingen. Er worden hierbij creativiteit- en ordeningstechnieken gebruikt die de benodigde informatie per element vergaard en ordent.

Hoofdstructuur

De vormgeving van het PvE bestaat uit een algemeen toepasbare hoofdstructuur. Deze zorgt ervoor dat aandachtsgebieden die een bijdrage leveren aan de inkadering van het ontwerpprobleem op een gestructureerde wijze in kaart worden gebracht, zodat vroegtijdig een grote mate van zekerstelling voor het vinden van een aanvaardbare oplossing wordt bereikt. De hoofdstructuur wordt project- en procesmatig (dynamisch proces) onderverdeeld in één of meerdere (sub-)elementen.

Normaal gesproken is een hoofdstructuur van een PvE onderverdeeld in vier hoofdstappen, te weten [Veenvliet & Rinket, 2001]:

1. **Algemeen:** Hierbij wordt in kaart gebracht wie de stuwende kracht achter het project is. Tevens wordt hierin het doel van het project beschreven en de betrokkenen genoemd. Ook zijn er ten aanzien van het gebruiksproces prioriteiten toe te wijzen aan de verschillende gebruikers. Minst belangrijke gebruiker wil niet per definitie zeggen: lage prioriteit bij het formuleren en toewijzen van eisen.
2. **Randvoorwaarden:** Op basis van stap 1 worden hierna de randvoorwaarden en de beperkingen in kaart gebracht. Randvoorwaarden zijn onveranderlijke eisen gezien vanuit het project, zoals wetten, normen en voorschriften, natuurlijke en omgeving. Dit zijn ‘begrenzingsen’ die invloed uitoefenen op het totale ontwerp. Het zijn begrenzingsen met een vast gegeven ofwel vaststaand feit. Deze begrenzingsen worden opgelegd door de opdrachtgever, door de betrokkenen, door bestaande omgeving en door natuurlijke randvoorwaarden. Het formuleren van elke randvoorwaarde is direct de eerste test voor het te ontwikkelen ontwerp. Voor elke randvoorwaarde dient een beoordelingscriterium of terwijl een ‘fitcriterium’ te worden gekoppeld, zodat deze zoveel mogelijk kwantitatief objectief meetbaar is.

3. Eisen: In deze stap worden de functionele en niet-functionele eisen op basis van de bevindingen uit stappen 1 en 2 in kaart gebracht. De functionele eisen geven inzicht in dat wat het ontwerp moet kunnen en doen. De niet-functionele eisen geven inzicht in een te verwachte prestatie-eigenschap of kwaliteit van elke functionele eis. Hierbij kunnen de eisen sterk uiteenlopen die door de verschillende actoren zijn geëist.
4. Aandachtspunten: Hierbij worden aandachtspunten voor het betreffende project die van invloed zijn op het vinden van oplossingen in kaart gebracht. Een soort sprokkellijst van punten die niet direct invloed hebben op het ontwikkelen van de eisen, maar die meer gericht zijn op mogelijke oplossingen. Hiermee wordt de aandacht gevestigd op de stap voorwaarts, het ontwerpen zelf. In termen van communicatie kunnen we hier spreken van ‘feedforward’, ofwel ‘wat weet ik van de ontvanger van een boodschap en hoe kan ik deze kennis gebruiken om een zo helder mogelijke boodschap samen te stellen?’

3.2.6 Ontwerpruimte

De ontwerpruimte van een infrastructureel ontwerpproces wordt volgens Van Herk [2003] bepaald door een verzameling van een aantal ontwerpvariabelen binnen het PvE. Wanneer de eisen op een hoger schaalniveau en lagere specificatiegraad gesteld worden, op een globaal niveau in de vorm van een integrale PvE, heeft de opdrachtnemer meer ontwerpruimte. Echter heeft de ontwerper minder vrijheid wanneer de eisen op een lager schaalniveau en een hogere specificatiegraad, op een detail niveau in de vorm van een technische PvE, gesteld worden. Met andere woorden kan dit, in de vorm van grove schetsen van de inpassing van infrastructuur in een gebied, tot in de vorm calculaties van constructies en materialen aan de hand van bestekken [CROW, 2002]. Onder de volgende koppen worden achtereenvolgens binnen deze subparagraaf de specificatieniveaus, de schaalniveaus, het principe van het trechtermodel en de decompositie van systemen uitgelegd.

Specificatieniveaus

Tijdens een ontwerpproces wordt er van grof naar fijn gewerkt in de volgorde van een doel naar een technische oplossing. Hierbij werkt men steeds vanuit een behoefte naar een gedetailleerde oplossing toe. Er kunnen voor een ontwerpproces drie specificatieniveaus onderscheiden worden [Van Herk, 2003]:

- *Doel*: Het doeleinde is afhankelijk van de bestemming. Voor welk doel wordt moet het gebruikt worden? Volgens het CROW [2002] heeft de belasting van het verkeersaanbod (intensiteit en samenstelling verkeer) invloed op het ontwerp van de constructie;
- *Functie(s)*: Dat wat het systeem, de component of het element moet presteren, door bepaalde, bijzondere, werking en verrichting, om het gestelde doel te bereiken. Functies zijn goed te beschrijven door een zelfstandig naamwoord gekoppeld aan een werkwoord met een prestatie-eis. Ook de specificatie van de levensduur is een functionele eis. Volgens het CROW [2002] bepalen de functionele eisen de vormgeving en de constructie van het ontwerp;
- *Technische oplossing*: De uiterlijke gedaantes van concrete zaken, die worden gekenmerkt door plaats, structuur, oriëntatie, materiaal en dimensies. Volgens het CROW [2002] is de keuze van de vormgeving gebaseerd op de mechanische-fysische eigenschappen van de omgeving en de bouwstoffen.

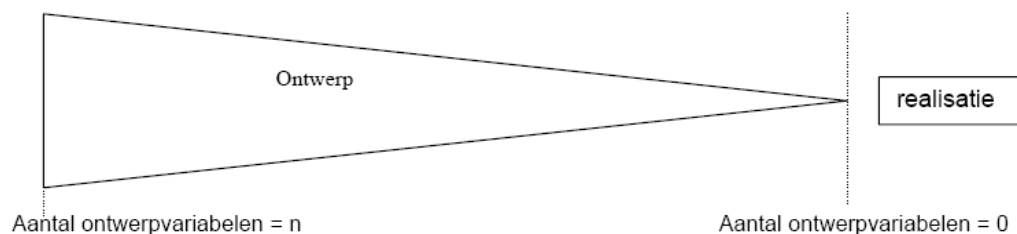
Schaalniveaus

Tijdens een ontwerpproces vindt er een interactie plaats tussen de graad van de vorm en het niveau van het product. Hierbij bepaald de specificatiegraad van de vraag het schaalniveau van het product. Waarbij er van grof naar fijn wordt gewerkt in de volgorde van een systeem naar een bouwstof. In eerste instantie maakt een ontwerper keuzes over de wegverbinding, zoals de gewenste capaciteit, het aantal rijstroken en de geografische ligging. Vervolgens wordt het ontwerp steeds gedetailleerder uitgewerkt, zoals in kruisingen (brug of tunnel) of een verharding (soort mengsel). De volgende schaalniveaus zijn voor weginfrastructuur gedefinieerd [Van Herk, 2003 & CROW, 2004]:

- *Systeem*: Een verkeer- en vervoersysteem door middel van een wegennet, zoals een autosnelweg, spoorlijn, enz.
- *Subsysteem*: Een geheel van subsystemen waaruit een systeem is opgebouwd door middel van een (lijn-)verbinding tussen punt A en B, zoals wegvak, aansluiting, kunstwerk, verkeersbeheersingmaatregel, enz.
- *Component*: Een geheel van componenten waaruit een subsysteem is opgebouwd, zoals een brug, sluis, verharding, bermbeveiliging, geluidsscherm, watergang, enz.
- *Element*: Het geheel van elementen waaruit een component is opgebouwd, zoals een (top-, tussen- of onder-)laag, brugdek, fundering, wegdek, slijtlaag, enz.
- *Materiaal*: Het geheel van materialen waaruit een element is opgebouwd, zoals kleefmiddel, asfalt, beton enz.
- *Bouwstof*: Een geheel van soorten grond- en bouwstoffen waaruit een materiaal is opgebouwd, zoals granulaat, bitumen, enz.

Trechtermodel

Het ontwerpen van infrastructuur verloopt langs een soort trechtermodel. Van Herk [2003] stelt dat de ontwerpruimte gedurende het ontwerpproces afneemt, naarmate de ontwerper vordert en over steeds meer ontwerpvariabelen een beslissing heeft genomen (zie figuur 10-3). Uit een grote variëteit van oplossingen kiezen ze steeds één alternatief. Dit proces herhaalt zich totdat het definitieve ontwerp af is.



Figuur 10-3: Afname van de ontwerpvariabelen tijdens ontwerpproces [Van Herk, 2003]

Decompositie

Volgens Van Herk [2003] wordt vanwege de complexiteit van een ontwerpproces en verschillende specialismen binnen een ontwerpproces het ontwerpwerk gedeclineerd. Dit gebeurt op de manier van ontwerpen van subsystemen, die samengevoegd het totale ontwerp vormen. Van Herk [2003] geeft aan dat men eerst het doel vaststelt en vervolgens de functie. Er wordt dan hierna pas een technische oplossing (vorm) gezocht om aan deze functie te voldoen. Dit proces kan zich dan herhalen op steeds lagere schaalniveaus en wordt hierdoor de ontwerpruimte steeds kleiner (zie tabel 5-3).

Tabel 5-3: Ontwerpproces van grof naar fijn met abstractieniveaus [Van Herk, 2003 & CROW, 2004]

		Specificatiegraad (Vorm)		
		Doel	Functie	Technische oplossing
Schaalniveau (Product)	Systeem			
	Subsysteem			
	Component			
	Element			
	Materiaal			
	Bouwstof			

3.3 Samenvatting

In dit hoofdstuk heeft er een oriëntatie plaatsgevonden op de complexiteit van ontwerpprocessen in het algemeen en op de complexiteit van infrastructurele ontwerpprocessen in het bijzonder. De complexiteit van een ontwerpproces is in paragraaf 3.1 getypeerd in termen van fragmentatie in de vorm van centrifugale krachten. Vervolgens is (§3.2) de complexiteit van een infrastructureel ontwerpproces beschreven aan de hand van een aantal kenmerken, zoals de fasering, de beïnvloedingen, de disciplines, de hoofdaspecten, de programmering en de ontwerpruimte.

De verkregen aandachtspunten uit de theoretische analyse in dit hoofdstuk vormen de opstap tot het komen van een clustering van beoordelingscriteria. Deze uitgevoerde analyse naar de complexiteit van ontwerpprocessen heeft een verhelderende weergave opgeleverd in de vorm van te herkennen karakteristieken van fragmentatie tijdens een ontwerpproject. Zodoende zijn aan de hand van de veroorzakende centrifugale krachten een reeks van beoordelingscriteria opgesteld door onderverdeling naar de ongestructureerdheid van het probleem, de sociale complexiteit en de technische complexiteit (zie tabel 6-3).

Tabel 6-3: Reeks van beoordelingscriteria van complexiteit aan de hand van fragmentatie

Centrifugale krachten:		
Technische complexiteit (externe projectomgeving):	Ongestructureerdheid probleem (interne projectomgeving):	Sociale complexiteit (sociaal netwerk):
Systeem	Procesbeschrijving	Organisatie
Technologieën	Decompositieproces	Netwerk
Ontwerpruimte	Tijdsbesteding	Besluitvormingskracht
Ontwerpgrenzen & inter- acterende omgeving	Proceskosten	Ontwerpomgeving
Toekomstscenario's	Prestatie-eisen	Informatiesystemen
Onderzoek	Eigenschap probleem of oplossingsruimte	
Ontwerpnormen en -richtlijnen	Cognitieve dynamiek	
Reductie probleemonzekerheid en -complexiteit		

Deze aandachtspunten en beoordelingscriteria moeten het mogelijk maken om het ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL te identificeren. Dit moet leiden tot een resultaat in de vorm van een typering van het ontwerpproces van de case. Daartoe wordt in het volgende hoofdstuk de case in het licht geplaatst van het theoretisch kader.

4 Ontwerpproces infrastructuur Superbus

In dit hoofdstuk vindt er een identificatie plaats naar de eigenschappen van het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL. Daartoe wordt het ontwerpproces van het ontwikkelingsproject in het licht geplaatst van het theoretisch kader uit het vorige hoofdstuk ¹. De verkregen reeks van beoordelingscriteria uit de theoretische analyse in het vorige hoofdstuk maakt het mogelijk om het ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL te kunnen typeren. Deze beoordeling levert vervolgens door middel van een clustering van indicatoren analyseresultaten op in de vorm van kenmerken en knelpunten. Daaropvolgend worden de typeringen en karakteristieken van het ontwerpproces van de case herkend.

Allereerst vindt er in paragraaf 4.1 een identificatie van de technische complexiteit van de case plaats. Vervolgens wordt (§4.2) de ongestructureerdheid van het probleem van de case getypeerd, waarna (§4.3) de sociale complexiteit van het ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL wordt herkend. In paragraaf 4.4 wordt er een kostenvergelijking gegeven tussen referentieprojecten en de case. Tot slot wordt er (§4.5) een conclusie gegeven ten aanzien van de kenmerken en knelpunten en de typeringen en karakteristieken van het gevolgde ontwerpproces.

4.1 Technische complexiteit

De dynamiek van de technische complexiteit van het ontwerpproces, gevolgd tijdens de ontwikkeling van de Superbus infrastructuur, is te herkennen aan zijn externe projectomgeving. In deze paragraaf zullen achtereenvolgens de onderdelen uit de reeks van beoordelingscriteria van de technische complexiteit uit het vorige hoofdstuk beoordeeld worden (zie tabel 6-3).

4.1.1 Systeem

Het is een toe te passen punt- tot puntvervoer HOV systeem op een relatieve traditionele lijninfrastructuur. Echter wijkt hierbij de snelheid van maximaal 260 km/u van de Superbus op de Superbaan af, vergeleken met een mobiliteitssysteem gebaseerd op een traditionele busdienst.

4.1.2 Technologieën

Er worden bestaande of in ontwikkeling zijnde technieken toegepast. Echter fluctueert de ervaringskennis sterk bij dezen te gebruiken technieken, waarbij bijvoorbeeld het Modieslab modulaire wegdek op palen en het WinnerWay vloerverwarming als onbekende technieken te bestempelen zijn.

4.1.3 Ontwerpruimte

De ontwerpruimte voor het ontwikkelen van de Superbus infrastructuur op het ZZL tracé is bepaald aan de hand van het opgestelde (integrale) PvE vanuit de projectorganisatie ZZL (zie bijlage B). Tevens zijn HSL en MZB gegevens gebruikt voor het ontwerp, omdat in het integrale PvE deze verplicht zijn gesteld voor hogere ontwerpsnelheden tot 400 km/uur. Het kosteneffectieve ontwerp is ook bepaald vanuit een integraal PvE voor de Superbaan (zie bijlage C).

¹ De analyse van het gevolgde ontwerpproces ten aanzien van de Superbus infrastructuur ten behoeve van de Structuurvisie ZZL is mede tot stand gekomen aan de hand van een interview met Melkert en Smits [2007] (zie bijlage A), tussentijdse gesprekken met Dhr. Melkert en relevante documenten van het ontwerpteam van het Superbus concept en de projectorganisatie ZZL (zie literatuurlijst).

4.1.4 Ontwerpgrenzen & inter-acterende omgeving

De keuze van het tracé gaat uit van een 100% bundeling met de naast gelegen snelwegen (zie bijlage D). Dit levert voordelen op ten opzichte van eigendomsrechten, zodat er geen extra uitgaven door onteigeningen en saneringen ontstaan. Tevens wordt door de bundeling duurzaam omgegaan met ruimtegebruik. Door deze koppeling ontstaan er contactpunten, die enerzijds eisen voor een fysieke scheiding veroorzaken en anderzijds voorwaarden scheppen voor koppeling met andere modaliteiten in de vorm van halteplaatsen. Bezien vanuit de bundeling in relatie met milieu- en geluidsoverwegingen zijn er geen stijgingen van Superbus overlast te verwachten (zie bijlage E).

4.1.5 Toekomstscenario's

Indien het Superbus concept niet rendeert, kan de Superbaan worden gebruikt voor autoverkeer of HOV in de vorm van een vervoersdienst gebaseerd op traditionele bussen. Echter heeft dit consequenties voor de terugverdientijd van het systeem, omdat er van een concessie voor een periode van 30 jaar voor het vervoersysteem van het Superbus concept wordt uitgegaan.

4.1.6 Onderzoek

Voor het bepalen van het oppervlak van de Superbaan zijn er zelfs eisen uit bestaande onderzoeken naar geluid van banden op wegdekken gebruikt, omdat het belangrijk is om te zoeken naar een geoptimaliseerde verhouding tussen band en wegdek. De eisen, rolweerstand, grip, wrijving en geluid zijn namelijk sterk afhankelijk van elkaar.

4.1.7 Ontwerpnormen en –richtlijnen

Aangezien het ontbreekt in het verkeersveiligheidsbeleid aan een duidelijk totaal systeem in de vorm van kaders en systematische normen en richtlijnen voor wegbeheer en de vormgeving van wegen op korte en op lange termijn [Van der Velden, Van den Berg en Sloetjes, 2005], zijn de algemene ontwerpnormen- en richtlijnen gebruikt voor het ontwerpen van een veilige Superbaan infrastructuur. Het CROW [2002a] hanteert hierbij een maximale ontwerpsnelheid van 120 km/uur met een bijpassend alignement en breedte voor de autosnelweg vanwege het gelijkwaardige nationale snelheidsregime. Echter kan er een snelheid van 260 km/uur door de Superbussen op de Superbaan worden gehaald. Bezien vanuit de gunstige eigenschappen van de Superbus ² in samenhang van het meer vrijblijvende karakter van de normen en richtlijnen van het CROW als een wettelijk kader, is deze leidraad toegepast tijdens het ontwerpproces voor het ontwikkelen van een veilige Superbaan.

De constructieopbouw van de Superbaan is aan de hand van deze normen en richtlijnen ontworpen, omdat het belangrijk is voor (HOV-)weginfrastructuur dat uit het oogpunt van de bestuurder en passagier het wegdek vlot, veilig en comfortabel is tijdens de totale levensduur. Tevens zijn er gestandaardiseerde gegevens voor stroefheid en vlakheid gebruikt in de vorm van indexen en waarden en is het dimensioneringsprogramma van het CROW (VENCON 2.0) gebruikt voor het ontwerpen van de betonconstructie van de Superbaan. Ook zijn er standaarden op basis van constructiemonsters en historische gegevens gebruikt voor het dimensioneren van een veilige en solide wegconstructie.

² Het verkeersonveiligheid risico door de hoge snelheid wordt opgeheven door de lage wegligging van de Superbus op het wegdek, het geleiding- en verkeersmanagementsysteem en de automatische besturing voor het waarborgen van het koersverloop. Tevens leveren de innovatieve luchtbanden van de Superbus in dwars- en langsrichting gunstige resultaten op in combinatie met de diffusor die zorgt voor een onderdruk, zodat het voertuig tegen het wegooppervlak wordt aangedrukt. Daarbij genereert de gestroomlijnde busvorm een opwaartse kracht die een minimale wrijving geeft door middel van de compensatie van opwaartse druk.

4.1.8 Reductie probleemonzekerheid en -complexiteit

Het gevolgde ontwerpproces voor de ontwikkeling van het conceptontwerp van de Superbus ZZL infrastructuur heeft zich in de haalbaarheidsfase plaatsgevonden (zie figuur 11-4). Vanwege de vastgestelde deadline voor het indienen van het alternatief ten behoeve van de Structuurvisie ZZL is het ontwikkelingsproces voor het ontwerp en de kostenraming onder tijdsdruk uitgevoerd. Aangezien de haalbaarheidsfase op korte termijn efficiëntie vereist is de complexiteit en de onzekerheid van het probleem geminimaliseerd tot een te bevatten probleem. Daartoe heeft het ontwerpteam van de Superbus infrastructuur de probleemstelling begrensd (zie tabel 7-4). Dit heeft geleid tot een behandelbaar ontwerpproces, waarbij tevens de kennis en kunde, visie en creativiteit van de ontwerpers en de creatieve ontwerpprocesinrichting het eindresultaat bepaald heeft.



Figuur 11-4: Ontwerpproces Superbus infrastructuur in haalbaarheidsfase [Van Herk, 2003]

Tabel 7-4: Reductie van probleemcomplexiteit ontwerpproces Superbus infrastructuur

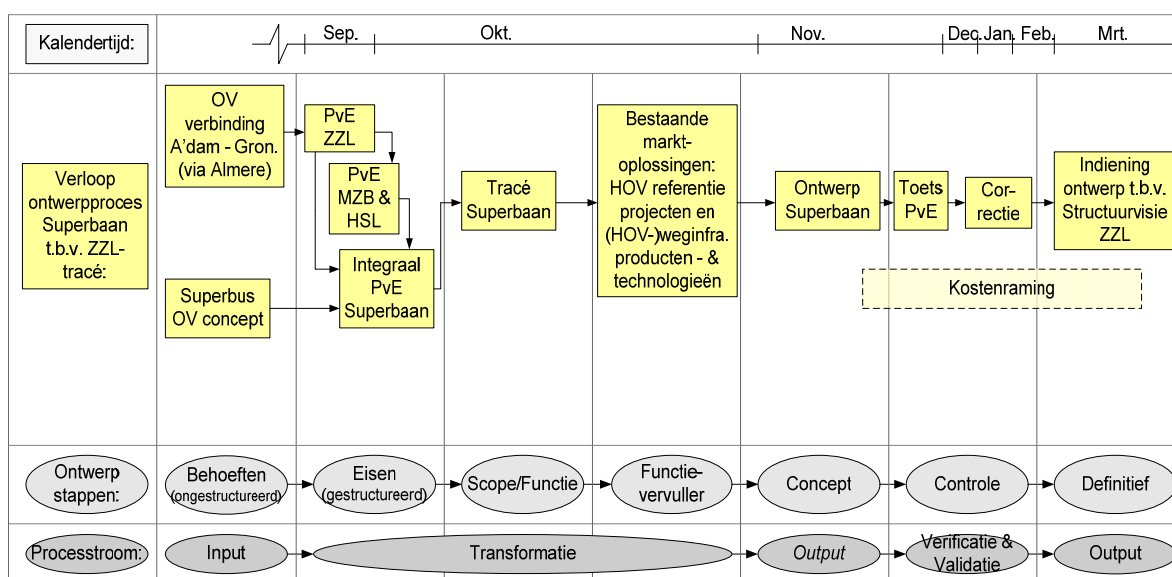
Kenmerken van simplificatie probleemonzekerheid en -complexiteit:
1. Is de probleemdefinitie tot een oplosbare formulering verkleind (zijn vereiste uitgesloten)?
• Één gebruiksscenario: Concessieperiode Superbusverkeer op Superbaan ZZL van 30 jaar. • Twee scenario's voor grondgesteldheid: (On-)voldoende draagkrachtige ondergrond. • Risico's externe omgeving uitgesloten: Veiligheid Superbus concept en Superbaan voldoende gewaarborgd. Bundeling met bestaande infrastructuur geeft geen milieuoverlast en levert geen onteigeningen op.
2. Is er aangenomen dat het probleem oplosbaar is (opgelost)?
• Wetenschappelijk theoretisch onderzoek en ervaring uit praktijk. • Bestaande wet- en regelgeving (incl. ontwerpnormen- en richtlijnen).
3. Zijn er objectieve meetbare parameters gespecificeerd waaraan een oplossing moet voldoen?
• PvE ZZL (incl. PvE MZB & HSL) • PvE Superbaan ZZL (incl. principe Superbus concept)
4. Is het probleem geklasseerd als een al eerder opgelost probleem?
Gebruik gemaakt van bestaande marktoplossingen in de vorm van HOV referentie projecten, bestaande (HOV-)infrastructuur marktproducten en -technologieën.
5. Zijn de taken in een organisatie gehoorzaamd en is het probleem hierbij vergeten?
Uitgegaan van de middelen binnen het projectteam, zoals de niet onuitputtelijke tijd.
6. Is er uitgegaan van een paar mogelijke alternatieven voor de oplossing en is hieruit één oplossing geselecteerd?
• Één eindoplossing (conceptontwerp). • Twee deeloplossingen fundering: Traditioneel ophoogmateriaal & lichtgewicht evenwichtsconstructie. • Twee deeloplossingen afscheiding: Barrier met en zonder een geluidscherm. • Twee deeloplossingen wegdek: Traditionele betonconstructie & 'weg op palen'.

4.2 Ongestructureerdheid probleem

Deze dynamiek van het ontwerpproces, gevolgd tijdens de ontwikkeling van de Superbus infrastructuur ten aanzien van het ZZL tracé, is te herkennen aan zijn interne projectomgeving. In deze paragraaf zullen achtereenvolgens de onderdelen uit de reeks van beoordelingscriteria van de ongestructureerdheid van het probleem uit het vorige hoofdstuk beoordeeld worden (zie tabel 6-3).

4.2.1 Procesbeschrijving

Het verloop van het gevolgd ontwerpproces, ten behoeve van de ontwerpogave van de Superbus infrastructuur voor het ZZL tracé, is weer te geven vanuit een beschrijving van opeenvolgingen in fasen van ontworpen onderdelen (zie figuur 12-4). Tevens is het transformatieproces ten opzichte van opeenvolgingen in ontwerpstappen en een processtroom weergegeven. De informatiedoorstroming en waarde toevoegingen in het gevolgde ontwerpproces zijn door middel van onderdelen en fasen met behulp van een aantal ondersteunende indicatoren nader verklaard.



Figuur 12-4: Verloop ontwerpproces tijdens het ontwerp van de Superbaan

ZZL & Superbus – behoeften (ongestructureerd) – input

Het ontstaan van het ontwerpproces ten behoeve van een Superbaan ontwerp op het ZZL tracé is te herleiden vanuit een tweeledige reden, enerzijds door de behoefte voor de ZZL en anderzijds door de behoefte voor het innovatief Superbus concept. Dit heeft geleid tot het startsein van een onderzoek naar de mogelijkheid van een Superbus OV verbinding op het ZZL tracé als toevoeging aan de Structuurvisie ZZL.

PvE ZZL – eisen (gestructureerd) – transformatie

Het proces voor het ontwerpen van de Superbus infrastructuur op het ZZL tracé is in gang gezet door het opgestelde (integrale) PvE vanuit de projectorganisatie ZZL (zie bijlage B). Het bevat algemene randvoorwaarden waaraan een mobiliteitsvorm moet voldoen ten aanzien van het tracé. In dit document heeft de opdrachtgever vooropgesteld dat de indiening van een mobiliteitsalternatief ten behoeve van de Structuurvisie dient te geschieden in de vorm van een gedetailleerd ontwerp en een daaraan gekoppelde kostenraming op basis van een risicoanalyse. Tijdens dit onderdeel hebben gesprekken met de opdrachtgever duidelijkheid verschaft over de randvoorwaarden en eisen voor het ZZL-tracé.

PvE MZB & HSL – eisen (gestructureerd) – transformatie

In het integrale PvE wordt er tevens beschreven dat voor hogere ontwerpsnelheden tot 400 km/uur HSL en MZB gegevens verplicht zijn toe te passen voor het ontwikkelen van een ontwerp. Dit heeft geleid tot het beschikbaar stellen door de opdrachtgever van historische gegevens van gelijkwaardige projecten, zoals de HSL, de Betuwelijn en Noord-Zuid Lijn. Tevens zijn gegevens van het MZB- en HSL alternatief op het ZZL tracé beschikbaar gemaakt voor het ontwerpteam van de Superbus infrastructuur.

Integraal PvE Superbaan – eisen (gestructureerd) – transformatie

Uit het PvE van de ZZL, -MZB en -HSL en vanuit het Superbus concept is een integraal PvE voor de Superbaan opgesteld (zie bijlage C). Dit integrale PvE is tevens voortgekomen aan de hand van gesprekken met de projectorganisatie ZZL. Het bestaat uit voornamelijk uitgangspunten ten behoeve van een Superbaan ontwerp op het ZZL tracé. Tevens zijn er in een vroeg stadium vanuit de deskundigheid van de projectorganisatie ZZL al uitgangspunten gegeven voor het opstellen van kostenramingen en oplossingsbeschrijvingen.

Tracé Superbaan – scope/functie – transformatie

De bepaling van het Superbaan tracé is afgeleid van het MZB tracé (MZB0 - bundelingalternatief). Het MZB mobiliteitssysteem gaat namelijk uit van een gelijkwaardige ontwerpsnelheid van 250 km/uur. Tijdens het ontwerpproces is dit tracé later leidend geweest voor het ontwerp en de kostenraming. Aan de hand van een gedetailleerde topografische kaart van de ANWB, met het daarop weergegeven ZZL tracé, zijn namelijk hoeveelheid- en kostenschattingen van de benodigde onderdelen voor de Superbaan infrastructuur en zijn kunstwerken gemaakt (zie bijlage D). Dit is gedaan door het nagaan van het aantal kruisingen op het tracé in relatie met het aantal halteplaatsen aan te doen, waarna vervolgens de groottes van de kunstwerken zijn bepaald.

Bestaande marktoplossingen – functie vervuller – transformatie

Het technische ontwerp van de Superbaan is ontstaan vanuit bestaande marktoplossingen in de vorm van HOV referentie projecten, bestaande (HOV-)infrastructuur marktproducten en -technologieën. Vanuit kostenbesparingenoverwegingen is bijvoorbeeld een smal-breedteprofiel toegepast op de kunstwerken voor de Superbus infrastructuur, waarbij de kunstwerkoplossingen voortgekomen zijn uit het ontwerp van de HSL. Zo hebben de luchtbanden van de Superbus geleid tot een keuze van een wegdek voor de Superbaan en is een deel van de Superbaan vanwege ruimtegebrek op palen ontworpen, met gebruikmaking van de expertise van Betonson. Tevens heeft de veiligheid een grote rol gespeeld in het ontwerpen van de infrastructuur. Echter is hierbij rekening gehouden met de gunstige eigenschappen van de Superbus.

Ontwerp – concept – output

Het ontwerpproces heeft uiteindelijk geresulteerd in een “Bouwdoos Infrastructuur Superbus”, waarin alle infrastructurele componenten op een redelijk detail niveau zijn verwerkt voor het Superbus concept als toepassing op de ZZL tracé in de vorm van constructies en materialen.

Toetsing PvE – controle – verificatie & validatie

Voor het toetsen van de gestelde uitgangspunten, doelstellingen en eisen hebben er in deze fase een aantal terugkoppelingen met verschillende ontwerpfasen plaatsgevonden. Tevens vonden er tijdens het complete ontwerpproces een aantal iteratieslagen plaats, waardoor op enkele momenten het ontwerpproces cyclisch werd doorlopen. Deze zijn vaak tot stand gekomen op initiatief van de opdrachtgever naar aanleiding van veiligheidsmaatregelen en kostenramingmethoden. In eerste instantie is namelijk een kostenraming opgeleverd met een onvoldoende kosten- en batenanalyse en zonder een risicoanalyse. Echter heeft men in het PvE duidelijk gemaakt dat er een MKBA inclusief een risicoanalyse methode gebruikt moet worden.

Correctie – controle – verificatie & validatie

Naar aanleiding voor een verplichting van een MKBA inclusief een risicoanalyse is de eerdere raming gewijzigd in een probabilistische kostenraming. Hiervoor werd het ingenieursbureau DHV ingeschakeld. Dit bureau heeft namelijk in het verleden ook een gelijksoortige MKBA ontwikkeld voor de HSL. De opdrachtgever heeft hierna nog een aantal veranderingen doorgebracht, zodat de opstelling van de kostenraming voldeed aan de voorwaarden van de projectorganisatie ZZL. Tevens zijn er op aanraden van de opdrachtgever een aantal wijzigingen doorgebracht in het ontwerp.

Kostenraming – controle/definitief – verificatie & validatie/output

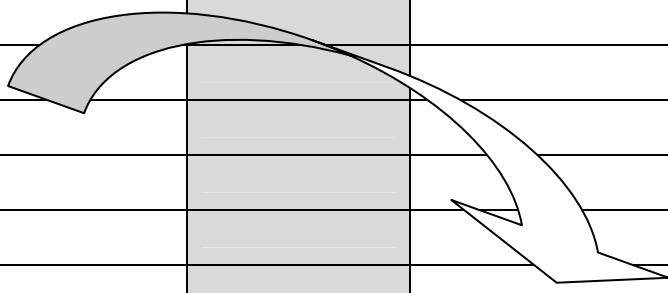
De elementen ontwikkeld in de bouwdoos zijn gebruikt voor een eerste kostenraming van het tracé op hoofdlijnen. Deze resultaten zijn neer gelegd in het document “Kostenraming van het ZZL-tracé voor de Superbus”.

4.2.2 Decompositieproces

Het technische ontwerp van de Superbaan is vooral ontstaan vanuit bestaande marktoplossingen, waarin allerlei noodzakelijke infrastructurele componenten en elementen voor het functioneren van het Superbus concept als toepassing op de ZZL tracé op een redelijk detail niveau zijn verwerkt in de vorm van constructies en materialen. Tijdens het decompositieproces is het totale ontwerp gevormd door de samenvoeging van de ontworpen subsystemen. Het transformatieproces is verlopen in de volgorde van een doel naar een technische oplossing, waarbij de tussenstap van het specificeren van functies grotendeels is overgeslagen (zie tabel 8-4). Er is namelijk vooral gewerkt vanuit een behoefte naar een gedetailleerde oplossing, waarbij het systeem, de componenten en de elementen niet specifiek zijn gespecificeerd op hun gedoelde prestaties.

Tabel 8-4: Het decompositieproces tijdens de ontwikkeling van het Superbaan ontwerp

		Specificatiegraad (Vorm) 		
		Doel	Functie	Technische oplossing
Schaalniveau (Product) 	Systeem			
	Subsysteem			
	Component			
	Element			
	Materiaal			
	Bouwstof			



4.2.3 Tijdsbesteding

Volgens Melkert en Smits [2007] is er een redelijke schatting van het tijdsverloop tijdens het ontwerpproces te maken door het te interpreteren vanuit 3 onderdelen c.q. fasen. Het 1^e onderdeel beslaat de ontwikkeling van de “Bouwdoos Infrastructuur Superbus”, uitgevoerd door adviesbureau INFRATheker. Parallel aan dit onderdeel heeft het 2^e onderdeel plaatsgevonden. Dit 2^e onderdeel bestond uit het bepalen en vaststellen van het Superbaan tracé, uitgevoerd door de TUDelft. Zij geven aan dat deze onderdelen ongeveer kalendertijd van 2 maanden in beslag hebben genomen. In de 3^e fase heeft het beprijsen van het ontwerp plaatsgevonden. In deze periode is het meeste overleg gevoerd en heeft ongeveer tot eind maart 2006 geduurd. Dit maakt het mogelijk om een tijdsbesteding in de vorm van een kalendertijd aan het verloop van het ontwerpproces te koppelen (zie figuur 12-4). Tevens is een geraamde urenbesteding van het ontwikkelingsproces voor het ontwerp van de Superbus infrastructuur op het ZZL tracé gemaakt (zie tabel 9-4).

Tabel 9-4: Inschatting tijdsbesteding ontwerpproces case Superbus infrastructuur

Onderdeel	Actor	Kalendertijd			Arbeidsuren geraamd
		Mnd	Wk	Uren	
Tracé bepaling en vaststelling	TU Delft (Melkert)	3	12	480	160*
Ontwerp	INFRAtheker (Smits)	3	12	480	160*
Kostenraming	TU & INFRAtheker	4	16	640	425**
Probabilistische kostenraming	DHV	1/2	2	-	80
'Weg op palen'	Betonson	1/4	1	-	40***
Totale tijdsbesteding:		7	28	1120	825
* 1/3 werktijd besteed i.v.m. overige bedrijfprocessen					
** 2 pers. hebben 1/3 werktijd besteed i.v.m. overige bedrijfsprocessen					
*** Adviesdienst d.m.v. offerte (niet opgenomen in totale tijdsbesteding)					

4.2.4 Proceskosten

Het projectteam van de TU Delft heeft van het Rijk een vergoeding in de vorm van een bedrag van € 300.000, - gehad voor het uitvoeren van een algemeen haalbaarheidsonderzoek naar het concept van de Superbus. Deze vergoeding stond los van de ontwikkeling van het ontwerp van de infrastructuur voor de Superbus met betrekking tot de indiening als alternatief voor de Structuurvisie ZZL. Echter is wel een bepaald gedeelte gebruikt voor het betalen van de proceskosten voor de ontwikkeling van het ontwerp. Dit bedrag is moeilijk in te schatten en lastig te achterhalen, aangezien de TU Delft een publieke bekostigde instelling is. Daarentegen is het adviesbureau INFRAtheker, ingenieursbureau DHV en Betonson als private organisatie te bestempelen. Tevens is het in de civieltechnische sector gebruikelijk om een adviesdienst te verlenen op basis offertes. In algemene zin zou een schatting van de proceskosten gemaakt kunnen worden door middel van het koppelen van een gebruikelijke ingenieursvergoeding voor een ontwerpopgave in de orde van grote van een bedrag van € 80, - per uur.

4.2.5 Prestatie-eisen

De prestatie-eisen voor het ontwikkelen van de Superbus infrastructuur op het ZZL tracé zijn bepaald aan de hand van het opgestelde (integrale) PvE vanuit de projectorganisatie ZZL (zie bijlage B). In dit document heeft de opdrachtgever vooropgesteld dat de indiening van een mobiliteitsalternatief ten behoeve van de Structuurvisie dient te geschieden in de vorm van een gedetailleerd ontwerp en een daaraan gekoppelde kostenraming op basis van een risicoanalyse. Dit is gedaan door een exploitatieberekening in de vorm van een Maatschappelijke kosten- en batenanalyse (MKBA) en modellering van het alternatief in het Landelijk Model Systeem. De volgende leidraden zijn daarbij gehanteerd:

- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Kosten en baten van toegankelijk stads- en streekvervoer, 2002
- CROW, Standaardkostensystematiek voor infrastructuur publicatie nr. 137, 2^e verbeterde druk, 2002
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Kostenkentallen openbaar vervoer, Centrum Vernieuwing Openbaar Vervoer Rapport 26, 2005

4.2.6 Eigenschap probleem of oplossingsruimte

De complexiteit van het ontwerpproces ten behoeve van de ontwikkeling van de Superbus infrastructuur op het ZZL tracé is deels te achterhalen aan de hand van de gestructureerdheid van het probleem of oplossingsruimte. Deze complexiteit is te identificeren door middel van het probleemtype te typeren als een gestructureerd probleem. De aard van het probleemtype is samen te vatten als een gedeeltelijk tam en matig gestructureerd probleem (zie tabel 10-4).

Tabel 10-4: Identificatie gestructureerdheid probleem van ontwerpproject Superbus infrastructuur

Karakteristiek	Gestructureerdheid
1. Duidelijk gedefinieerde probleemformulering?	• Ja, want er is een scope voor het ZZL-tracé en het HOV-systeem • Gedeeltelijk, want is niet volledig meetbaar.
2. Hoge mate van zekerheid?	• Nee, want er zijn geen historische gegevens over het systeem, zoals gevolgen van Superbus voor Superbaan (veiligheid & constructie) en restzettingen Superbaan • Gedeeltelijk, want er zijn geen historische gegevens over het gehele tracé, zoals grond(water-)gesteldheid, grond(-water-)vervuiling, verwaarlozing, archeologie en kabels & leidingen
3. Hoge mate van kennis?	Gedeeltelijk, want er zijn van het systeem gegevens uit wetenschappelijke testen, zoals karakteristieken banden Superbus op wegooppervlak (wrijving & geluid) en karakteristieken aerodynamica Superbus (geluid & neerwaartse kracht)
4. Duidelijk centrale vraagstelling?	• Ja, want er is een scope voor het ZZL-tracé en het HOV-systeem • Gedeeltelijk, want is niet volledig meetbaar.
5. Duidelijk einddoel (oplossing)?	• Ja, want er is een scope voor het ZZL-tracé en het HOV-systeem • Gedeeltelijk, want is niet volledig meetbaar.
6. Bestaan er gedefinieerde criteria voor het testen van de oplossing?	• Ja, vanuit wet- en regelgeving • Gedeeltelijk, zoals vanuit OVS, PvE HSL&MVB, wet- en regelgeving, normen, voorschriften en richtlijnen, visies en beleid en leidraden, standaarden en handleidingen • Nee, want er bestaat geen wet- en regelgeving van het Superbus systeem.
7. Geschikt voor een analytische oplossingsmethode (georganiseerde simplicitieitprobleem)?	Gedeeltelijk, want er kan gebruik worden gemaakt van bestaande ontwerp- en dimensioneringsmethoden voor infrastructuur.
8. Is er een objectieve oplossing die goed of slecht is?	Gedeeltelijk, want er zijn vergelijkbare beoogde ontwerp en constructie oplossingen die beoordeeld kunnen worden, zoals rail-infra (traditioneel, HSL, tram, enz.), MVB-infra, autoweg-infra en HOV Busbaan-infra
9. Behoort het tot een klasse van 1 dezelfde problemen met 1 dezelfde oplossingen?	Nee, want er zijn verscheidende oplossingen voor de infrastructuur van de Superbaan mogelijk.
10. Bestaan er gelimiteerde oplossingsalternatieven, omdat het probleem weinig variabelen bevat?	Gedeeltelijk, want is vergelijkbare infrastructuur constructie oplossingen voor Superbaan en zekerheid gebruik van Superbaan door Superbus en onderhoud- en hulpdiensten

Tabel 10-4: Identificatie gestructureerdheid probleem van ontwerpproject Superbus infrastructuur

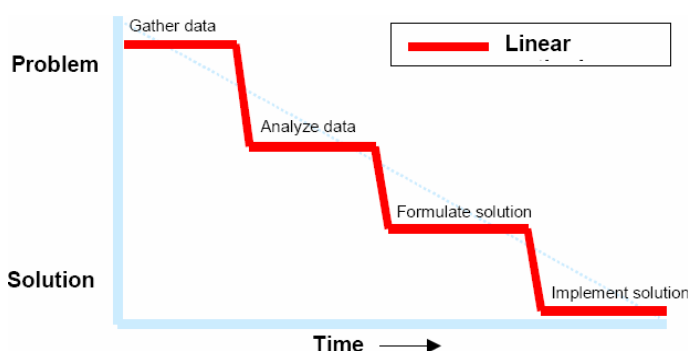
11. Bezit de mogelijkheid om oplossingen uit te proberen en ervan af te wijken.	- Nee, want indien de unieke Superbaan toegepast op het ZZL-tracé niet acceptabel is vanwege bepaalde redenen, is het HOV systeem middels het Superbus concept niet meer mogelijk. - Gedeeltelijk, want indien de unieke Superbaan toegepast op het ZZL-tracé niet acceptabel is vanwege bepaalde redenen, is het mogelijk om van het HOV systeem middels het Superbus concept af te wijken. De bestaande infrastructuur kan (her-)gebruikt worden voor alternatieven mobiliteitssystemen.
12. Alle transformaties en formuleringen zijn consistent met wereldwijde regelgevingen.	Ja, gedeeltelijk en nee, want zie vraag 6.
13. Het bovenstaande is door mensen handelbaar.	Ja, want er kunnen vergelijkbare productieprocessen, gegevens, methoden, enz. worden gebruikt om het probleem op te lossen. Tevens zijn ongeveer alle onzekerheden te achterhalen door praktische en theoretische wetenschappelijke testen, proeven, enz.
Samengevat	
Gestructureerd: Is het einddoel al bekend en voorgeschreven?	- Ten aanzien van het ZZL-tracé bestaat er een Integraal PvE (projectorganisatie ZZL) en een Integraal PvE (projectteam van het Superbus concept). - Ten aanzien van het Superbus concept bestaat er een Integraal PvE (projectteam van het Superbus project).
Matig gestructureerd: Heeft de probleemdefinitie een matige structuur? Mist een duidelijk projectdoel, een aantal proces activiteiten en regels voor besluitvorming om tot de oplossing te komen? Zijn er hierbij soms herdefinitie activiteiten voor nodig ten aanzien van de probleemformulering?	Ten aanzien van het ZZL-tracé: - Het Integraal PvE is gedeeltelijk meetbaar. - Onduidelijkheid over toekomstige procesactiviteiten. Er is geen definitieve planning opgesteld voor het vervolgproces van het ZZL-tracé na de alternatievenstudie ten behoeve van de Structuurvisie ZZL. - Onduidelijke regels voor de besluitvorming om tot een oplossing te komen voor het ZZL-tracé, omdat het afhangt van de politieke besluitvorming. - Wanneer de politiek besluit om verder onderzoek in te stellen naar de haalbaarheid van het ZZL-tracé dan zullen er naar alle waarschijnlijkheid herdefinitie activiteiten nodig zijn voor de probleemformulering. Ten aanzien van het Superbus concept is het projectdoel beschreven in het Integraal PvE en maar gedeeltelijk meetbaar.

4.2.7 Cognitieve dynamiek

De cognitieve dynamiek van het ontwerpproject ten behoeve van de ontwikkeling van de Superbus infrastructuur op het ZZL tracé is te achterhalen aan de hand van opeenvolgingen van taken en activiteiten uit het ontwerpproces. Deze dynamiek is te identificeren door middel van het gevolgde ontwerpproces te karakteriseren als een combinatie van een lineair topdown-, enkelvoudig cognitief- en meervoudig cognitief proces.

Lineair topdown ontwerpproces

Het ontwerpproces is voornamelijk verlopen als een ‘Waterval Model’, omdat er meestal een fase werd afgerond voordat met de volgende stap werd verder gegaan (zie figuur 13-4). Daarom is het als een opeenvolgend proces met afbakeningen te bestempelen, waarbij vanuit een probleem naar een oplossing is gewerkt. Het is gestart vanuit een analyse van het integraal PvE ZZL van de projectorganisatie ZZL, waarna het projectteam van het Superbus concept een oplossing heeft geformuleerd voor het ZZL-tracé in de vorm van een Superbaan aan de hand van een integraal PvE Superbaan. Het kan worden toegeschreven aan de productcomplexiteit, omdat de antwoorden op de

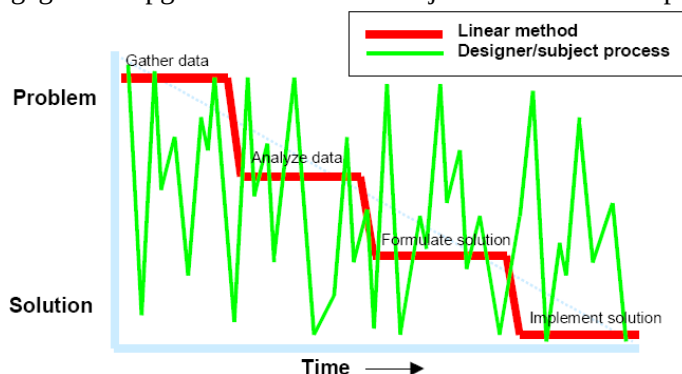


ontwerp vragen ongeveer allemaal te achterhalen waren en nauwelijks berusten op innovatie. Tevens is er een beperkte behandelbare scope toegepast, waarin zoveel mogelijk onduidelijkheden en risico's zijn uitgesloten tijdens het proces, zodat vooral technische marktoplossingen en beperkte middelen (budget en tijdsbestek) hebben geleid tot een concept ontwerp.

Figuur 13-4: Het traditionele ontwerpproces van de Superbaan [Conklin, 2001]

Enkelvoudig cognitief ontwerpproces

Het ontwerpproces is in mindere mate als een enkelvoudig cognitief proces te zien, vanwege de relatieve simpele organisatie van het projectteam (zie figuur 14-4). Hierbij kan het adviesbureau INFRAtheker als hoofdontwerper van de Superbaan worden gezien. Zij hebben hierbij DHV ingehuurd voor gedetailleerde schetsontwerpen en een probabilistische kostenraming. De TUDelft heeft gegevens aangeleverd in de vorm van karakteristieken van de Superbus op een Superbaan. Parallel heeft in opdracht van de projectorganisatie ZZL een onafhankelijk marktonderzoek plaatsgevonden naar de haalbaarheid van de toepassing. Dit onderzoek heeft tevens een aantal gegevens opgeleverd. Daarnaast zijn er verschillende partijen benaderd voor het achterhalen van

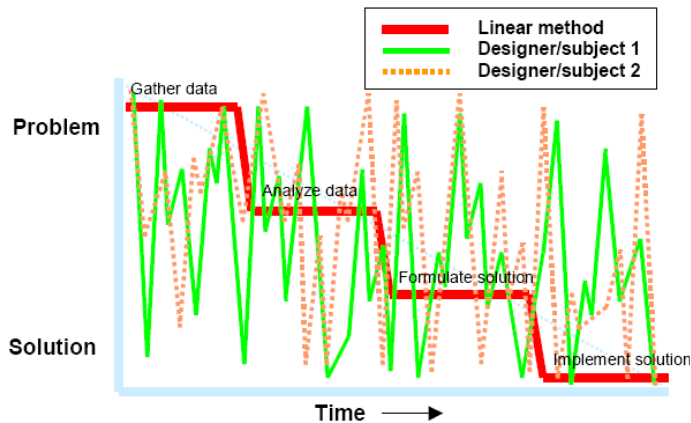


ontbrekende informatie. Dit proces heeft vooral een kansgedreven karakter gehad. Het valt toe te wijzen aan het feit dat er vele bestaande technologieën, oplossingsmethoden en producten zijn gebruikt voor het ontwerp. Het gevolgde ontwerpproces kent daarom een lichte vorm van een niet lineaire volgorde van activiteiten in het proces, wat soms heeft geleid tot een intelligent en creatief leerproces.

Figuur 14-4: Het enkelvoudige cognitieve ontwerpproces van de Superbaan [Conklin, 2001]

Meervoudig cognitief ontwerpproces

Het ontwerpproces is tevens in mindere mate als een meervoudig cognitief ontwerpproces te beschouwen, omdat Movares namens de projectorganisatie ZZL als mede ontwerper van de structuurvisie ZZL verantwoordelijk is geweest voor het standaardiseren van de alternatieven, waarbij zij een aantal keer in interactie zijn geweest met het projectteam van het Superbus concept (zie figuur 15-4). Het adviesbureau INFRAtheker heeft hierbij als opdrachtnemer gefungeerd en het ingenieursbureau Movares is als opdrachtgever opgetreden, wat in verband met het opstellen



van het alternatief voor het ZZL tracé ten behoeve van de Structuurvisie ZZL een aantal noodzakelijke bijeenkomsten heeft opgeleverd. Dit heeft geleid tot extra informatie, opmerkingen en feedback, waardoor iteraties en herstelactiviteiten in het ontwerpproces zijn ontstaan. Dezelfde achtergrond en functies van de partijen hebben een voordeel opgeleverd voor het communicatieproces en geleid tot een professionele opstelling ten opzichte van elkaar.

Figuur 15-4: Het enkelvoudige cognitieve ontwerpproces van de Superbaan [Conklin, 2001]

4.3 Sociale complexiteit

De dynamiek van de sociale complexiteit van het ontwerpproces, gevolgd tijdens de ontwikkeling van de Superbus infrastructuur ten aanzien van het ZZL tracé, is te herkennen in de besluitvormingskracht van de projectorganisatie. In deze paragraaf zullen achtereenvolgens de onderdelen uit de reeks van beoordelingscriteria van de sociale complexiteit uit het vorige hoofdstuk beoordeeld worden (zie tabel 6-3).

4.3.1 Organisatie & netwerk

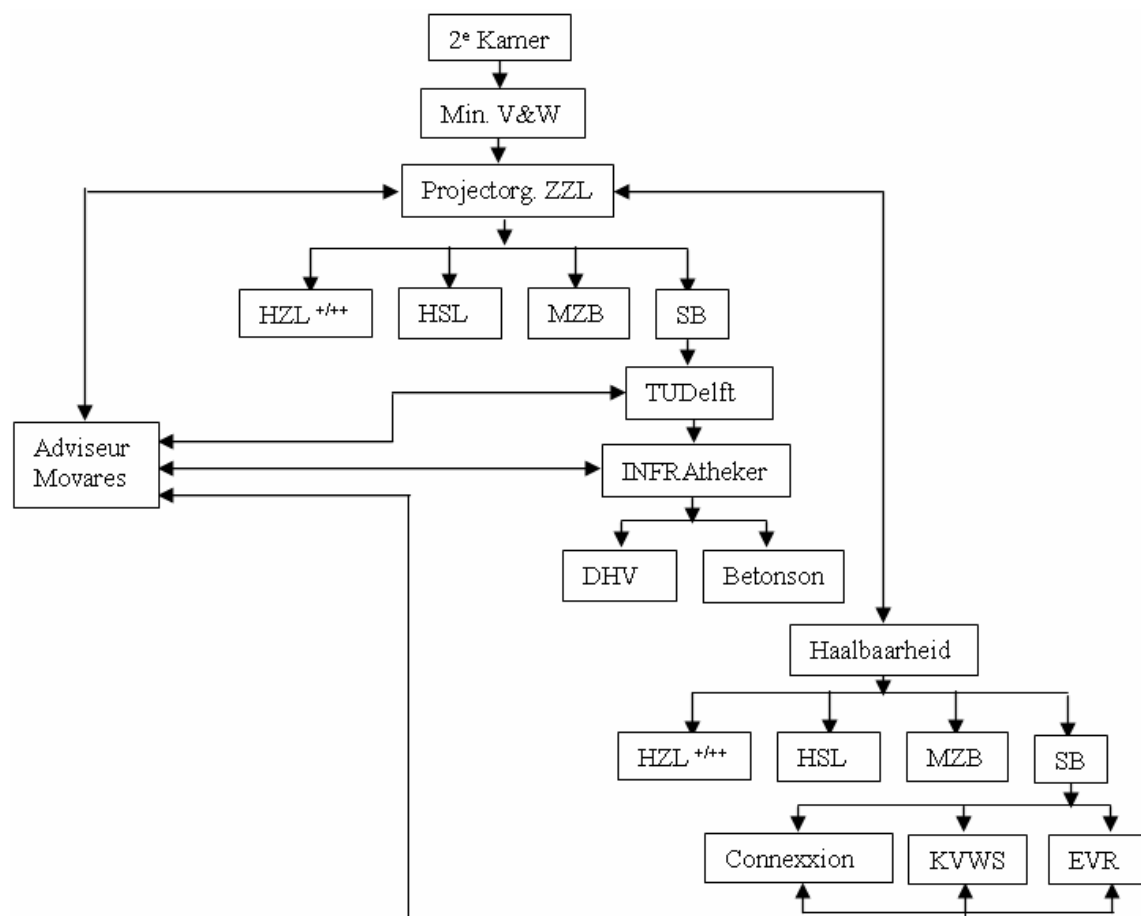
Tijdens het ontwerpen van de infrastructuur voor de Superbus ten behoeve van de Structuurvisie ZZL zijn een aantal partijen betrokken geweest, zoals de projectorganisatie ZZL met Adviseur Movares in zijn gelederen, het Marktconsortium en het projectteam Superbus inclusief de ontwerpers INFRAtheker en DHV. De rollen, verantwoordelijkheden, relaties en interne samenwerking tussen de verscheidende actoren binnen de ontwerpomgeving tijdens de ontwikkeling van de ontwerpogave zijn weergegeven door middel van een actorenanalyse (zie tabel 11-4), een relatieschema (zie figuur 16-4) en een netwerkschema (zie figuur 17-4).

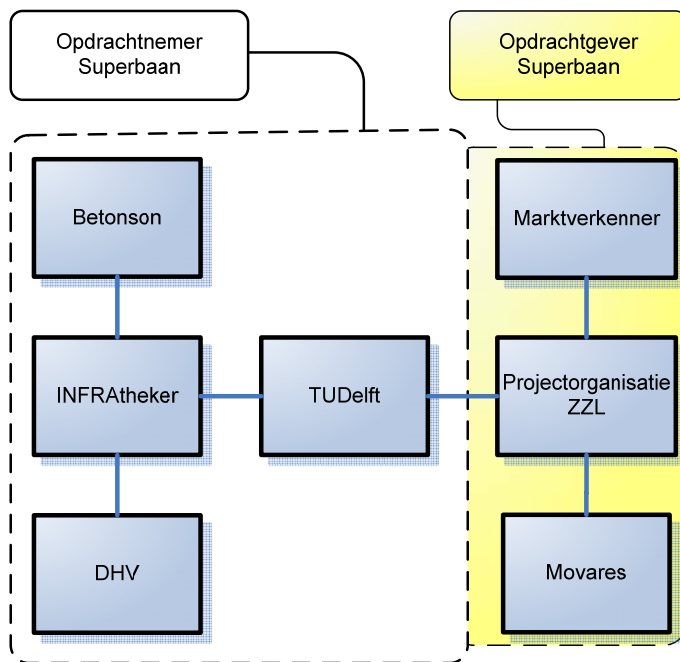
Tabel 11-4: Rollen van actoren en organisaties tijdens het ontwerpproces van Superbus infrastructuur

Organisatie	Actor	Functie	Rol & Verantwoordelijkheid
Projectorganisatie ZZL	Min. V&W, VROM en EZ	Opdrachtgever, ontwerper, adviseur en planner	Adviseren uitwerking ontwerp en kostenraming volgens MKBA Structuurvisie ZZL
	Min. van V&W	Financier	Controleren beleid en regelgeving
	Ingenieursbureau Movares	Ontwerper, adviseur en planner	Adviseren uitwerking ontwerp en kostenraming volgens MKBA Structuurvisie ZZL

Tabel 11-4: Rollen van actoren en organisaties tijdens het ontwerpproces van Superbus infrastructuur

Marktconsortium	Connexxion	Opdrachtnemer en marktverkenner	Verkenning bestaande oplossingen, eenheidsprijzen, projecten en gegevens voorwaarden vervoerswijze
	Volker Wessels Infraontwikkeling	Opdrachtnemer en marktverkenner	Verkenning bestaande oplossingen, eenheidsprijzen, projecten, technische oplossingen en bouwwijze infrastructuur
	Evers Logistics Research	Opdrachtnemer en marktverkenner	Verkenning bestaande oplossingen, eenheidsprijzen, projecten en integratie IRS infrastructuur
Project- c.q. ontwerpteam	Projectteam Superbus (TUDelft)	Opdrachtnemer en ontwerper	Onderzoeken en ontwikkelen Superbus infrastructuur
	Adviesbureau INFRAtheke v.o.f.	Ontwerper	Ontwerpen en ramen kosten infrastructuur Superbus
	Ingenieursbureau DHV	Ontwerper	Ontwerpen, tekenen en ramen kosten infrastructuur Superbus
	Betonson	Ontwerper	Ontwerpen, tekenen en ramen kosten infrastructuur Superbus

**Figuur 16-4: Relatieschema van organisaties tijdens het ontwerpproces van Superbus infrastructuur**



Figuur 17-4: Netwerkschema ontwerpomgeving tijdens ontwerpproces van Superbus infrastructuur

4.3.2 Besluitvormingskracht

De beperkte hiërarchie van het netwerk ontstaan door relatief weinig betrokken partijen binnen de projectomgeving hebben gezorgd voor een krachtige besluitvorming. De polariteit tussen de opdrachtgever (probleemgericht) en opdrachtnemer (oplossingsgericht) heeft geen grote rol gespeeld ten aanzien van het communicatieproces binnen de projectomgeving. Door het tweepartijenstelsel in de vorm van de projectorganisatie ZZL als opdrachtgever met daartegenover het ontwerpteam van de Superbus infrastructuur als opdrachtnemer heeft dit geleid tot een vlotte en voorspoedige ontwikkeling van het Superbaan ontwerp, waarbij tevens de gestructureerde eisendocumenten een relatief hoge bijdrage hebben geleverd, zoals het integrale PvE ZZL van de projectorganisatie ZZL en het integrale PvE Superbaan van het ontwerpteam van de Superbus infrastructuur. Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in een betrouwbare ontwerp kwaliteit en -kwantiteit van het Superbus infrastructuur ZZL tracé ontwerp voor de Structuurvisie ZZL.

4.3.3 Ontwerpomgeving

De ontwerpwerkzaamheden hebben vooral plaatsgevonden binnen eigen ontwerpomgevingen, waarbij de ontwerptaken naast eigen bedrijfsprocessen zijn uitgevoerd. Tijdens het ontwerpproces zijn er in principe wekelijkse overleggen afgelegd met verscheidende betrokkenen. Het voeren van gesprekken vond meestal plaats naar aanleiding van voortgangsrapportages. Deze gesprekken zijn vaak in de vorm van een 1 op 1 situatie belegd hebben plaatsgevonden op verschillende locaties, zoals op het Min. van V&W in Den Haag, op de TUDelft en bij DHV in Amersfoort.

4.3.4 Informatiesystemen

Tijdens de overlegmomenten is vaak gebruik gemaakt van topografische kaarten waarin het tracé stond ingetekend om het één en ander te visualiseren. Om het ontwerp te beheren en controleren heeft er E-mail verkeer met daarin relevante bijlagen plaatsgevonden. Tevens is het internet gebruikt in de vorm van de site van het Superbus project (TUDelft) om de definitieve documenten beschikbaar te maken en heeft de overdracht van informatie ook via Cd-rom's plaatsgevonden.

4.4 Kostenvergelijking

Er wordt gesuggereerd dat de investeringskosten voor de Superbaan opmerkelijk hoger liggen in vergelijking met traditionele HOV busbaan oplossingen. Daarom zijn de waarde en de kosten van componenten en onderdelen van de Superbaan infrastructuur vergeleken met de kostencomponenten en de kostenkengetallen van de RWS [2005] (zie bijlage F). Argumenten voor kostenverschillen tussen de kostenkengetallen en de kostenraming van de Superbus infrastructuur kunnen gevonden worden in de verscheidenheid tussen de omgevingen uit de referentieprojecten en de ZZL. Tevens zijn de verschillen in kosten te verklaren ten aanzien van kunstwerken, verhardingsbreedtes en verschil in te onderhouden producten. Aan de hand van de vergelijkingen en de overeenkomsten met de kostensystematiek en kostenkengetallen van de RWS zijn de kosten van de verschillende onderdelen van de infrastructuur voor de Superbus aannemelijk te achten.

Echter is het grote verschil tussen de totale investeringskosten van de Superbus infrastructuur in vergelijking met de referentieprojecten onduidelijk te achterhalen. Een aanwijsbare reden voor het kostenverschil tussen de totale investeringskosten van de Superbus infrastructuur in vergelijking met de referentieprojecten zou in de richting van de probabilistische kostenramingmethoden kunnen worden gezocht, aangezien er in de praktijk verscheidende technieken voor het opzetten van probabilistische kostenramingen bestaan. Tevens is een kanttekening te plaatsen bij de betrouwbaarheid van de kostenraming, enerzijds ten aanzien van een aantal risicovolle kostencomponenten voortkomend uit complexe technieken die toepassing vinden in het ontwerp van de Superbaan en anderzijds omdat er geen gegevens bestaan over de onderhoudskosten door restzettingen van de Superbaan (zie bijlage G).

4.5 Conclusie

In dit hoofdstuk heeft er een identificatie plaatsgevonden naar de eigenschappen van het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL. Hiervoor is aan de hand van een reeks van beoordelingscriteria de mate van complexiteit van het ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL getypeerd. In paragraaf 4.1 is de technische complexiteit van de case Superbus infrastructuur ZZL aan de hand van beoordelingscriteria uit de externe projectomgeving geïdentificeerd. Vervolgens is (§4.2) de ongestructureerdheid van het probleem van de case aan de hand van beoordelingscriteria uit de interne projectomgeving getypeerd. De sociale complexiteit van het ontwerpproces van de case is aan de hand van het sociale netwerk in paragraaf 4.3 herkend. In paragraaf 4.4 zijn er verklaringen gegeven voor de investeringskostenovereenkomsten en -verschillen ten aanzien van referentieprojecten.

4.5.1 Beantwoording deelvraag 1

De inmiddels verkregen resultaten stellen instaat om deelvraag 1 van het onderzoek te beantwoorden. Na de formulering van deelvraag 1 uit het onderzoeksontwerp, wordt vervolgd met de beantwoording van deelvraag 1 van onderzoek. Deelvraag 1 van het onderzoek luidt als volgt:

“Welke kenmerken en knelpunten levert de beoordeling van de gesprekken met betrokkenen (projectleider & ontwerper) en documenten van de projectorganisatie ZZL en de projectgroep van het Superbus concept in het licht van de mate van complexiteit van het infrastructurele ontwerpproces op?”

Vanuit de beoordeling van de centrifugale krachten is de mate van complexiteit van het ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL getypeerd. De onderverdeling in de technische complexiteit, de ongestructureerdheid van het probleem en de sociale complexiteit heeft geleid tot een clustering van indicatoren. Deze indicatoren hebben analyseresultaten opgeleverd in de vorm van kenmerken en knelpunten ten aanzien van het gevolgde ontwerpproces voor de ontwikkeling van Superbus infrastructuur op het ZZL tracé (zie tabel 12-4).

Tabel 12-4: Kenmerken en knelpunten van ontwerpproces case Superbus infrastructuur ZZL

Technische complexiteit (externe projectomgeving):	
Indicator	Kenmerken & knelpunten:
Technologie	• Gelijk aan traditionele HOV lijninfrastructuur • Snelheid afwijkend Superbus (max. 260 km/u) • Bestaande technieken gebruikt (geen innovatie) • Fluctuatie ervaringskennis in ontwikkeling zijnde technieken
Ontwerpruimte	• Integraal PvE ZZL ○ Algemene randvoorwaarden tracé en mobiliteitsvorm ○ Gegevens en PvE HSL en MZB • Integraal PvE Superbaan ○ Uitgangspunten voor ZZL ○ Superbus principe (technische gegevens) ○ Extra informatie (gesprekken met projectorganisatie ZZL) • Projectscope en -doel gedeeltelijk bekend en voorgeschreven: ○ Niet volledig meetbaar ○ Onduidelijkheden in PvE (extra communicatie nodig geweest) ○ Herdefinitie activiteiten plaatsgevonden (probleemformulering) ○ Wijzigingen in ontwerp- en risicoanalyse hebben geleid tot kosten verhogingen • Probleemstelling begrensd door ontwerpteam Superbus infrastructuur: ○ Behandelbare scope toegepast zonder onduidelijkheden en risico's ○ Alternatieve ontwerpmogelijkheden uitgesloten ○ Geen (historische) gegevens ZZL tracé ○ Geen testcriteria gegevens Superbus en Superbaan
Interacties	• Tracé gebundeld met bestaande infrastructuur: ○ Voordelen t.o.v. eigendomsrechten (onteigeningen & saneringen) ○ Duurzaam omgaan met ruimtegebruik ○ Fysieke scheiding met omgeving benodigd ○ Koppeling modaliteiten (halteplaatsen) ○ Geen milieu- en geluidsoverlast
Scenario's	• Gebruik Superbusverkeer (concessie periode 30 jaar) • Gedeeltelijke aanpasbaarheid Superbaan (Alternatief: auto- of busverkeer) • Alternatief gebruik consequenties voor terugverdientijd (concessie periode Superbus 30 jaar)
Middelen	• Algemene ontwerpnormen- en richtlijnen toegepast (leidraden) • Gestandaardiseerde gegevens op basis van onderzoek (indexen & waarden) • Dimensioneringsprogramma CROW (VENCON 2.0) • Externe partijen benaderd voor achterhalen ontbrekende informatie • Gegevens uit onafhankelijk marktonderzoek

Tabel 12-4: Kenmerken en knelpunten van ontwerpproces case Superbus infrastructuur ZZL

Ongestructureerdheid probleem (interne projectomgeving):	
Indicator	Kenmerken & knelpunten:
Transformatie	- Vanuit één oplossing naar kostenraming gewerkt: - MZB tracé leidend geweest voor hoeveelheid- en kostenschattingen (kruisingen, kunstwerken en halteplaatsen) - Vanuit bestaande marktoplossingen (functievervullers), zoals referentie projecten, marktproducten en –technologieën - Vanuit bestaande HSL kunstwerkoplossingen - Ruimtegebrek heeft geleid tot ‘weg op palen’ (gedeeltelijke oplossing) - Extra informatie, opmerkingen en feedback hebben tot iteraties en herstelactiviteiten geleid: - Reactief ten aanzien van ontwerpwijzigingen veiligheidsmaatregelen en kostenramingmethoden - Speciaal ingenieursbureau ingeschakeld voor probabilistische kostenraming (gelijksoortige kostenramingmethode ontwikkeld voor HSL) - Samenvoeging van subsystemen levert conceptontwerp op: - Elementen en componenten op detail niveau in de vorm van constructies en materialen - Van doel (eisen) naar technische oplossing (functievervullers): - Tussenstap functies overgeslagen (Geen functies geformuleerd) - Cyclische terugkoppelingen en iteratieslagen voor toetsing uitgangspunten, doelstellingen en eisen
Tijd	- Leidend - Totaal 7 maanden (kalendertijd): - Ontwerp & tracé 3 maanden (kalendertijd) - Kostenraming 4 maanden (kalendertijd)
Budget	- Niet leidend - Hoogte onbekend: - Deels vergoeding haalbaarheidsonderzoek gebruikt - Lastig te achterhalen (TUDelft publieke bekostigde instelling) - Advies op basis van offertes (Civ. Tech. sector) - Schatting ingenieursvergoeding € 80,- per uur (+/- € 65.000, -)
Arbeid	- Niet leidend - Totaal 825 manuren: - Tracé 160 manuren - Ontwerp 160 manuren - Kostenraming 425 manuren - Probabilistische kostenraming 80 uur - Deelontwerp ‘weg op palen’ 40 uur
Prestatie-eisen	- Integraal PvE ZZL (incl. gegevens HSL & MZB) - Gedetailleerd ontwerp - Kostenraming (incl. risicoanalyse): - Exploitatieberekening MKBA - Modellering alternatief in Landelijk Model Systeem - Leidraad Standaardkostensystematiek voor infrastructuur CROW

Tabel 12-4: Kenmerken en knelpunten van ontwerpproces case Superbus infrastructuur ZZL

Dynamiek	• Aanpak traditioneel (Civ. Tech. Sector) “Zo doen wij dat altijd”!: - o Aan de hand van ‘Common sense’ - o Geen standaardisatie of procesmethodiek - o Opeenvolgingen bepaald door werkzaamheden (reactief karakter) - o Onbewust zijn toekomstige procesactiviteiten - o Tijdsdruk heeft effectieve en efficiënte ontwerpaanpak bepaald - o Creatieve ontwerpprocesinrichting heeft mede eindresultaat bepaald - o Eindresultaat bepaald door kennis en kunde, visie en creativiteit van ontwerpers • Voornamelijk verlopen als ‘Waterval Model’: - o Fase per fase - o Opeenvolgend proces met afbakeningen • Tevens kansgedreven karakter: - o Niet lineaire volgorde activiteiten - o Intelligent en creatief leerproces - o Iteraties en herstelactiviteiten plaatsgevonden
Sociale complexiteit (sociaal netwerk):	
Indicator	Kenmerken & knelpunten:
Team-samenstelling	• Achtergrond ontwerpers gelijk (cultuur & taal) • Deskundige ontwerpers (ervaring) • Intern en extern expertise gebruikt • Kleine ontwerpomgeving leidt tot beperkte kennis
Samenwerking	• Professionele opstelling (interne en extern) • Ondersteuning projectorganisatie ZZL: - o Uitgangspunten opstelling kostenraming en oplossingsbeschrijvingen ontwerp) - o Duidelijkheid randvoorwaarden en eisen • Gemotiveerde inzet: - o Geleid tot vlotte en voorspoedige ontwikkeling - o Geresulteerd in gedegen ontwerp kwaliteit
Besluitvorming	• Handelbaar door beperkte omvang organisatie: - o Platte hiërarchiestructuur in netwerk - o Weinig betrokken partijen in projectomgeving - o Tweepartijenstelsel door projectorganisatie ZZL (opdrachtgever en ontwerpteam Superbus infrastructuur (opdrachtnemer) - o Geen polariteit tussen opdrachtgever (probleemgericht) en opdrachtnemer (oplossingsgericht) vanuit functies
Communicatie	• Wekelijks overleg (bijeenkomsten & vergaderingen) - o Naar aanleiding van voortgangsrapportages - o Naar aanleiding van afbakening en vaststelling - o Gesprekken vaak 1 op 1 gevoerd • Telefonisch verkeer • Digitaal verkeer (bijvoorbeeld E-mail)
Werkomgeving	• Werkzaamheden binnen eigen bedrijfsomgeving • Taken naast eigen bedrijfsprocessen • Vergaderingen binnen en buiten eigen bedrijfsomgeving

Tabel 12-4: Kenmerken en knelpunten van ontwerpproces case Superbus infrastructuur ZZL

Informatie-systeem	- Tijdens overleg Topografische kaarten ANWB met tracé ingetekend als visualisatie - Digitale (gedeelde) overdrachtmethoden (beheren & controleren): - Definitieve documenten op Internet (site TUDelft) geplaatst - Cd-rom's - E-mail verkeer (incl. benodigde bijlagen)
Kostenvergelijking:	
Indicator	Kenmerken & knelpunten:
Kosten	- Kanttekening 'betrouwbaarheid' kostenraming: - Risicovolle kostencomponenten (complexe technieken) - Geen gegevens onderhoudskosten (restzettingen) - Kosten onderdelen vergelijkbaar met referentieprojecten (aannemelijk) - Totale investeringskosten groot verschil met referentieprojecten: - Ten aanzien van verscheidenheid omgevingen (referentieprojecten vs. ZZL) - Ten aanzien van kunstwerken, verhardingsbreedtes en verschil in te onderhouden producten. - Mogelijk door probabilistische kostenramingmethoden - Verscheidende technieken voor opzetten probabilistische kostenramingen op de markt - Vanuit kostenbesparingenoverwegingen gekozen voor smal-breedteprofiel op kunstwerken

4.5.2 Beantwoording deelvraag 2

De inmiddels verkregen resultaten stellen instaat om deelvraag 2 van het onderzoek te beantwoorden. Na de formulering van deelvraag 2 uit het onderzoeksontwerp, wordt vervolgd met de beantwoording van deelvraag 2 van onderzoek. Deelvraag 2 van het onderzoek luidt als volgt:

“Welke typeringen en karakteristieken van het ontwerpproces van de case geven aanleiding voor een vergelijking met een te onder vangen vooruitstrevend ontwerpproces gebaseerd op SE?”

Vanuit een clustering van indicatoren is het ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL in de vorm van kenmerken en knelpunten getypeerd. Deze indicatoren hebben tevens analyseresultaten opgeleverd in de vorm van typeringen en karakteristieken van het ontwerpproces van de case, zodat het identificeren van een te ondervangen vooruitstrevend ontwerpproces mogelijk wordt gemaakt. In de bovenstaande tabel zijn deze indicatoren met een zwarte tekstkleur weergegeven (zie tabel 13-4). Deze indicatoren geven aanleiding om een te ondervangen vooruitstrevend ontwerpproces te identificeren. Daartoe vind in het volgende hoofdstuk een oriëntatie plaats op de theorie van vooruitstrevende ontwerpproessen in het algemeen en een op SE gebaseerd ontwerpproces in het bijzonder.

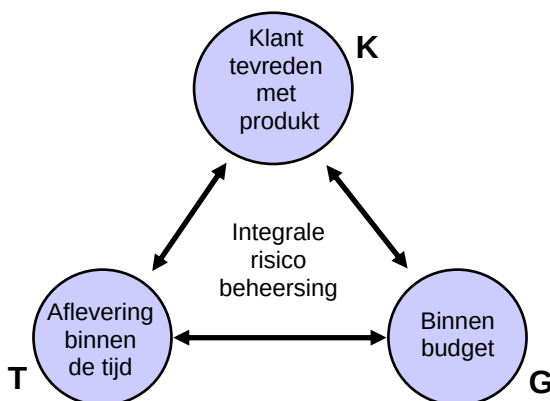
5 Systems Engineering ontwerpproces

In dit hoofdstuk vindt er een oriëntatie plaats op vooruitstrevende ontwerpprocessen in het algemeen en een op SE gebaseerd ontwerpproces in het bijzonder. De verkregen typeringen en karakteristieken aan de hand van de indicatoren van het ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL uit het vorige hoofdstuk maken het mogelijk om een te ondervangen op SE gebaseerd ontwerpproces te identificeren. Daartoe worden de pragmatische principes en de mogelijke bijwerkingen van SE behandeld. Tevens wordt beargumenteerd waarom deze impliciete werkwijze in de civiele sector is ingevoerd. Het SE proces bestaat enerzijds uit een management gedeelte en anderzijds uit het technische onderdeel waarbinnen de taakopvolgingen voor het te ontwikkelen systeem plaats vinden. Tenslotte wordt de waarde van de SE toepassing in projecten aan de hand van factoren en variabelen beschreven. Deze theoretische analyse levert vervolgens een clustering van aandachtspunten in de vorm van een reeks van beoordelingscriteria op.

Het hoofdstuk vangt aan (§5.1) met de beschrijving van vooruitstrevende ontwerpprocessen en vervolgt in paragraaf 5.2 met het op SE gebaseerde ontwerpproces. Vervolgens wordt (§5.3) het SE management proces en (§5.4) het SE technisch proces uiteengezet, waarna in paragraaf 5.5 de waarde van SE wordt beargumenteerd. Paragraaf 5.6 sluit het hoofdstuk af met een samenvatting waarin een reeks van beoordelingscriteria wordt geclusterd.

5.1 Vooruitstrevend ontwerpproces

Een vooruitstrevend ontwerpproces belicht een ideologische aanpak waardoor een project beter kan worden uitgevoerd ten opzichte van een traditionele benaderingswijze. Er zijn een aantal vooruitstrevende methodologiën, zoals SE, VE, Constructability. Het zijn expliciete werkwijzen als kaders voor een transparant integraal ontwikkelingsproces. Zij verbeteren, mits correct toegepast, het inzicht in de kosten, functies, toepassingen en relaties van alle aspecten van het project. Deze leveren, en dat is wetenschappelijk bewezen, aanzienlijke besparingen in geld en tijd op (zie figuur 18-5). Bovendien zorgt de gestructureerde aanpak ervoor dat het overzicht van het project voor de opdrachtgever helder en duidelijk is. Tevens kunnen aanpassingen relatief eenvoudig worden doorgevoerd in het ontwerp zonder het project onnodig te compliceren [Veenvliet, 2001].



Figuur 18-5: Integrale risicobeheersing door vooruitstrevend ontwerpproces [Veenvliet]

Deze expliciete werkwijzen maken een transparante koppeling met holistische representatie methoden mogelijk, zodat de samenwerkende actoren instaat zijn om hun kennis en visies te delen aangaande het probleem. Hierbij wordt het probleem, de relaties van de verschillende perspectieven met de omgeving en de mogelijke oplossingen door middel van een holistische benaderingswijze geschetst. Dit geeft hun de mogelijkheid om alternatieve werkwijzen voor activiteiten te overwegen. [Gross, 1998]. Een aantal werkbare toepassingen zijn hierop gebaseerd, zoals: Issue-Based Information System (IBIS) method [Rittel & Kunz 1970], graphical Issue-Based Information System (gIBIS) system [Conklin 1988], real-time group hypertext system based on the Issue-Based Information System (rIBIS) [Rein & Ellis 1991] en collaborative hypermedia systems (Dolphin or SEPIA) [Haake & Wilson 1992; Neuwirth 1995; Streitz et al. 1994].

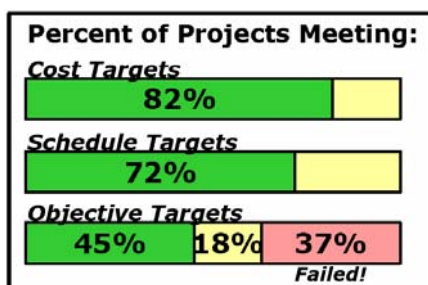
5.2 SE ontwerpproces

Een SE proces bestaat uit een geordende set van technische ontwikkelingstappen en wordt gebruikt voor het oplossen van ontwerp vraagstukken van complexe systemen en producten. Deze aanpakwijze maakt het mogelijk om door onafhankelijk van elkaar te onderscheiden projectfasen het doel van een project te structureren. Het is een interdisciplinaire aanpak die alle technische mogelijkheden bevat en evolueert, verifieert en integreert in een uitgebalanceerd Life Cycle systeem van product- en procesoplossingen die voldoen aan de verwachtingen van de opdrachtgever [Veenvliet, 2001]. De methodologie biedt de mogelijkheid om projectscope afhankelijke activiteiten toe te voegen of te verwijderen en externe en interne interacties tijdens het ontwerpproces te onderhouden en te bewaken. Tijdens het proces worden er specifieke methoden, tools en modellen gebruikt en specialismen ingeschakeld om de taken en activiteiten te volbrengen [IEEE, 1994]. SE bevat de volgende onderdelen: SE en Value management, Requirement en Life Cycle engineering en constructability (prefabricatie en -assemblage en modularisatie).

Het zorgt er tevens voor dat de kloven tussen disciplines ten aanzien van hun verschillen in taal en paradigma's overbrugd worden. Ook wordt creativiteit en synthese in het ontwerpproces gestimuleerd. SE wordt vaak gezien als een gestructureerde wijze van Value Engineering, omdat het ten opzichte van Value Engineering de extra mogelijkheid biedt om onafhankelijke ontwerpmethoden toe te voegen en te verwijderen. Hierdoor wordt er een kapstok voor het projectmanagement gecreëerd, zodat het een bindende structuur tussen de opdrachtgever en opdrachtnemer krijgt. [Veenvliet, 2001]. De paragraaf vangt aan met een uitleg waarom SE in civiele techniek wordt toegepast, vervolgt met de principes en bijwerkingen van SE en eindigt met een beschrijving van het SE management- en technisch proces.

5.2.1 Waarom in civiele techniek?

Het is tot stand gekomen naar aanleiding van te dure projecten, zoals de Deltawerken, de Maeslantkering, de Betuweroute, de HSL en de Randstadrail. Tegelijkertijd merkt niemand het bewust op dat er ook kostenoverschrijdingen in kleinere projecten plaatsvinden. Deze kostenoverschrijdingen ontstaan grotendeels door ontwerp wijzigingen, waardoor de projecten uiteindelijk leiden tot waardevermindering en zodoende niet kunnen voldoen aan de voorafgestelde functionaliteit. Door de talrijke plaatsgevonden ontwerp wijzigingen vallen te dure projecten tevens vaak samen met een te late oplevering. Uit onderzoek is gebleken dat kosten- en planningdoelstellingen vaak niet worden behaald (zie figuur 19-5). Gelijkerwijze worden technische operatie-, functionele- en object doeleinden meestal maar in 45% van de gevallen bereikt. In 37% van de gevallen worden er zelfs geen doelen bereikt en in 18% van de gevallen worden er maar een aantal doelen bereikt [Honour, 2004].



Figuur 19-5: Behalen van kosten-, planning- en projectdoeleinden [Honour, 2004]

De oorzaak van deze problematiek is deels toe wijzen aan de traditionele benaderingswijze die wordt toegepast tijdens ontwerp-opgaven in de civiel technische sector, namelijk: als ik het zo doe gaat het altijd goed, waarom dan anders? De impliciete manier van werken is ontstaan door de beperkte mogelijkheid van kennisverwerking van een mens. Het managen van veel disciplines lukt niet door de overlegcultuur, zodat het leidt tot een moeizaam communicatieproces. Dit maakt het ontwerpproces ondoorzichtig.

Tevens blijkt uit onderzoek dat in praktijk vaak hogere presterende teams gebruik maken van impliciete management werkwijzen ten opzichte van lagere presterende teams. Hierbij is het opvallend dat de gebruikte impliciete management werkwijzen uit dit onderzoek overeenkomsten hebben met het management proces van SE. Ook bleek dat de interne dynamiek (doelen, processen en individuele voldoening) geen invloed had op de uiteindelijke prestatie in het ontwerpproces. Een andere belangrijke bevinding tijdens dit onderzoek is dat een goed gedefinieerd proces samengaat met een goed volbracht project. Tevens gaf vaak bij de volgens doeleinden verlopen projecten de gestructureerde organisatie de doorslag tot succes. Technische moeilijkheden, sociale verstoring en sociale grote waren niet objectief te verbinden aan projectprestaties. Alle gebeurtenissen in de projecten uit het onderzoek verliepen turbulent. Ook heeft de technische expertise geen invloed op sociale turbulente projecten, daarvoor is een technisch proces echter wel belangrijk maar niet voldoende genoeg om een project volgens gestelde doeleinden te volbrengen [Honour, 2004].

Aangezien de kracht van de huidige markt en professionalisering begint op te vallen en de opdrachtgevers steeds meer uitbesteden op de wijze van vraag naar hoogwaardige functionaliteit valt er een duidelijke kentering waar te nemen ten opzichte van benaderingswijzen voor ontwerp-opgaven van nieuwe projecten. Tevens is dit toe te wijzen aan het feit dat budgetten steeds krappere worden, er moet worden voldaan aan Europese aanbestedingsregels, een product of systeem niet kan worden geïsoleerd van zijn omgeving en alle kennis al vastligt in oplossingen, technologieën en methoden. Hierdoor is het bewustzijn ontstaan om kwaliteit te leveren door middel van het beheersen van standaard bouwrisico's, het beheersen en onderkennen van risico's die ontwerpprocessen bedreigen en het borgen van de voorgeschreven processen, zodat deze op de juiste wijze en door de juiste mensen worden uitgevoerd.

Dit heeft geleid tot de invoering van de transparante SE werkwijze in de civiel technische sector, zodat het inzicht in de kosten, functies, toepassingen en relaties van alle aspecten van het project verbeterd worden. Tevens wordt hierdoor beter aan de verwachtingen van de opdrachtgever voldaan en bestaat de mogelijkheid om aanzienlijke besparingen in geld en tijd op te leveren. De impliciete manier van werken door middel van het toepassen van SE doet tevens dienst als een controlemechanisme en leidt vaak in de praktijk tot betere ontwerpresultaten ten opzichte van de traditionele benaderingswijze. Indien de eisen zijn geverifieerd en gevalideerd, de eisen correct zijn afgeleid en in orde zijn en kwaliteitssysteem specifiek voor het project op orde is (wie, wat, wanneer en hoe?), krijgt door de toepassing van de impliciete werkwijze de opdrachtnemer de vrijheid om het ontwerpproces te vervolgen.

5.2.2 Principes

Volgens DeFoe en Van der Ploeg [1993 & 1999] zijn ten aanzien van een ontwerp-opgave de volgende pragmatische principes van SE te hanteren (zie bijlage H):

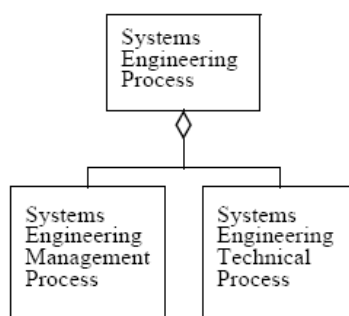
- Ken het probleem, de klant en de gebruiker: Identificeer de behoeften en wensen van de klant in kwantitatieve termen en in prioriteiten. Beschrijf hierna pas het probleem in oplossingsonafhankelijke termen.
- Gebruik effectieve criteria gebaseerd op de vraag om systeembeslissingen te maken: Selecteer criteria die gekoppeld zijn aan de vraag van de klant en aan de eisen. Gebruik hierbij vergelijkingen om de gevolgen te laten zien van de criteria in oplossingen. Sta de klant toe om wijzigingen aan te brengen bij alle te maken keuzes in de ontwikkeling van de oplossing.

- Stel eisen vast en beheer deze: Voer analyses en syntheses voor het vaststellen van eisen en oplossingen uit. Zorg hierbij ervoor dat de klant alle eisen begrijpt en accepteert.
- Identificeer en beoordeel alternatieven om tot een oplossing te komen: Neem de tijd om een breed scala aan oplossingen te genereren. Neem hierbij het 0-alternatief mee, zodat de toegevoegde waarde van het nieuwe systeem van de klant kan worden gemeten.
- Gebruik een systematische ontwerpmethode: Ontleedt de eisen om de ontwerpproblemen te kunnen identificeren en transformeer de eisen in functies. Zoek naar oplossingsprincipes die de functies kunnen vervullen. Evalueer hierna pas aan de hand van de eisen en de criteria.
- Verifieer en valideer eisen en de prestatie van oplossingen: Maak gebruik van geplande evaluaties en inspecties.
- Handhaaf de integriteit van het systeem: Handhaaf de aanwezigheid van SE gedurende het voortbrengingsproces om het technische overzicht van het ontwerpproces te verzorgen. Voorkom hierbij afwijkingen van het proces en in de productwens van de klant.
- Gebruik een helder en goed gedocumenteerd proces: Begin met bestaande principes, voorkom dat twee keer het wiel wordt uitgevonden en leer van eerder opgedane ervaringen. Doorloop het proces consistent gedurende het project en handhaaf hierbij de integriteit van het proces.
- Manage op basis van een plan: Maak een plan dat succes georiënteerd, haalbaar, verdedigbaar en effectief is en de toekomstige verandering op kan vangen en rekening houdt met de geïdentificeerde risico's.

5.2.3 Bijwerkingen

Volgens het INCOSE en de RWS [2006] is het werken met SE niet geheel risicoloos, omdat het namelijk een aantal bijwerkingen heeft. Door de gestructureerde werkwijze vereist het meer documentatie. Tevens vereist SE een andere tegennatuurlijke werkhouding ten opzichte van traditionele ontwerpprocessen, waardoor draagvlak soms moeilijk te krijgen is. In begin gaat het proces vaak samen met vallen en opstaan, daarna wordt het consistent vervolgd als een gestructureerde kapstok of onderlegger. SE is in het begin lastig te vatten, vooral als deze methodiek voor het eerst wordt toegepast. Meestal wordt het nut van SE pas ingezien als het proces eenmaal opgang is gekomen. Daarom wordt geadviseerd om het SE proces zo vroeg mogelijk in projecten op te pakken en te verwerken. Het is belangrijk dat een SE proces wordt gezien als een hulpmiddel.

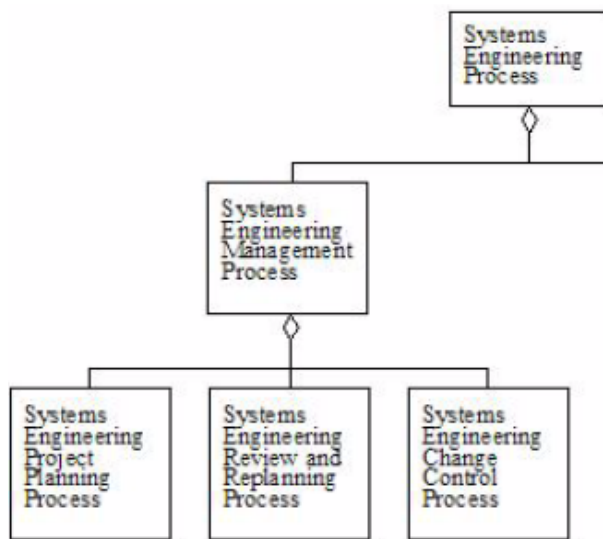
5.2.4 Management- & technisch proces



SE bestaat uit twee belangrijke elementen: het technische kader waar binnen het project zich afspeelt (technisch proces) en het management proces (System Engineering Management) [Oliver, Kelliher en Keegan, 2003] (zie figuur 20-5). Het sturingsmechanisme bestaat enerzijds uit een besturend orgaan die het kan besturen en anderzijds uit een besturend systeem wat en waarmee je het kunt besturen.

Figuur 20-5: Onderverdeling van een SE proces [Oliver, Kelliher en Keegan, 2003]

5.3 SE management proces



Het management proces bestaat door het gebruik van een interdisciplinaire coördinatie uit een bestuurlijke inspanning die zorg draagt voor een controleerbaar en een beheersbaar SE proces binnen het complete project. Door het gebruik van inter-elementaire technische analyses kan het SE proces uit specifieke disciplines bestaan om de elementen van het systeem te creëren, waarbij de vrijheid geboden wordt om het op het systeem en elementen niveau toe te passen. Ten behoeve van het te ontwerpen systeem kan het SE proces tevens een verificatie en validatie applicatie bevatten [Honour, 2004]. Volgens Oliver, Kelliher en Keegan [2003] bestaat het management proces uit een planningsproces, evaluatie- en her planningsproces en een controle en wijzigingsproces (zie figuur 21-5).

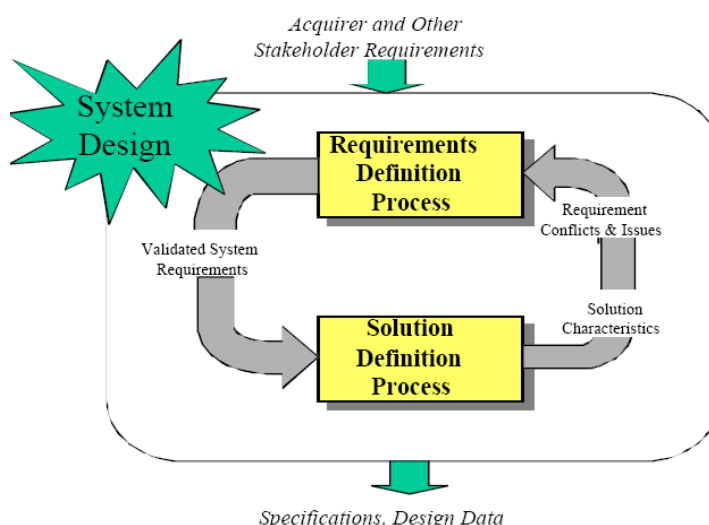
Figuur 21-5: Het management proces binnen SE [Oliver, Kelliher en Keegan, 2003]

Veenvliet [2001] geeft aan dat System Engineering Management (SEM), is gebaseerd op drie primaire activiteiten en nodig zijn om SEM optimaal te kunnen laten functioneren:

1. Een fasering ter controle van het ontwerpproces van het project waaruit ontwerpregels volgen die later ontwerp mogelijkheden leveren.
2. Een SE proces dat zorgt voor een structuur voor het oplossen van ontwerp problemen.
3. Life Cycle integratie dat klanten betreft in het ontwerpproces en zorgt dat het ontwerpproces aanpasbaar is tijdens de projectduur.

5.4 SE technisch proces

Het technische proces van SE wordt in de civiele technische sector vaak als ‘Functioneel Specificeren’ omschreven (zie bijlage I). Het is bedoeld om een bouwproject als een systeem te



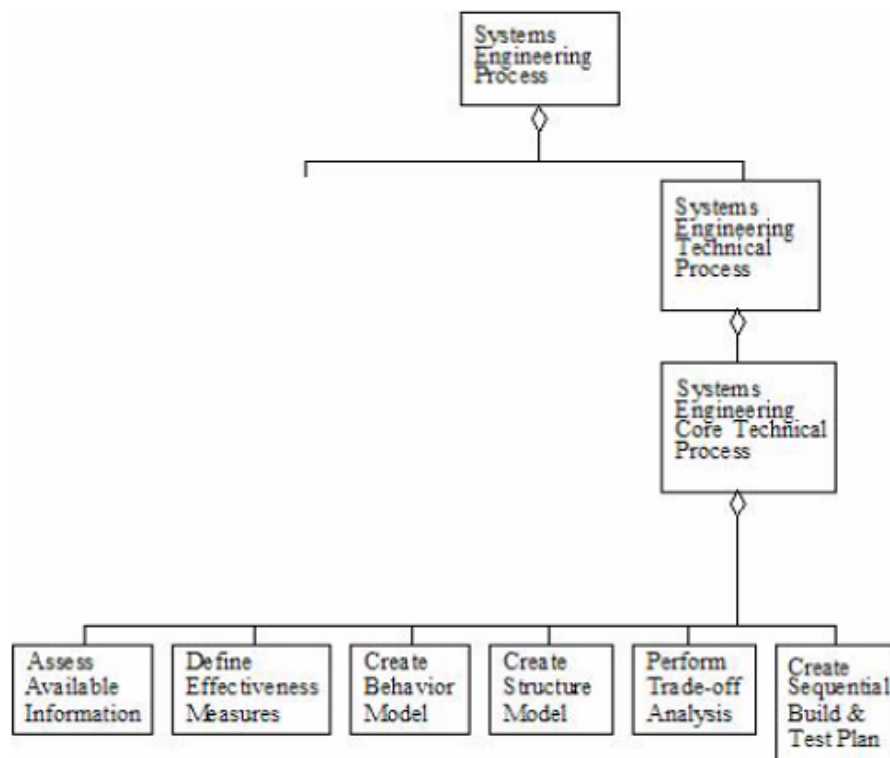
benaderen en om denkprocessen met behulp van bestaande methoden en technieken expliciet te communiceren. Hierbij worden eisen gesteld die van functies zijn afgeleid aan mogelijke oplossingen zonder een invulling te geven aan de oplossing in een iteratief voortdurend proces (zie figuur 22-5). Er ontstaat in dit onderdeel een structuur van specificaties op verschillende niveaus van abstract naar concreet [CROW, 2004]. Allereerst worden taakopvolgingen van SE uiteengezet en daarna wordt het decompositieproces omschreven.

Figuur 22-5: Het iteratieve voortdurende technisch proces van SE [INCOSE, 2004]

5.4.1 Taakopeenvolgingen

Volgens Oliver, Kelliher en Keegan [2003] bestaat het technische proces binnen SE uit de volgende taakopeenvolgingen (zie figuur 23-5):

1. Evalueer en categoriseer beschikbare informatie en verkrijg benodigde informatie.
2. Definieer effectieve meetbare criteria.
3. Definieer het gewenste gedrag.
4. Definieer gestructureerde architecturen en alternatieve modellen.
5. Kies één ontwerp uit deze architecturen en modellen.
6. Creëer een ontwikkelingsplan.



Figuur 23-5: Het technische proces binnen SE [Oliver, Kelliher en Keegan, 2003]

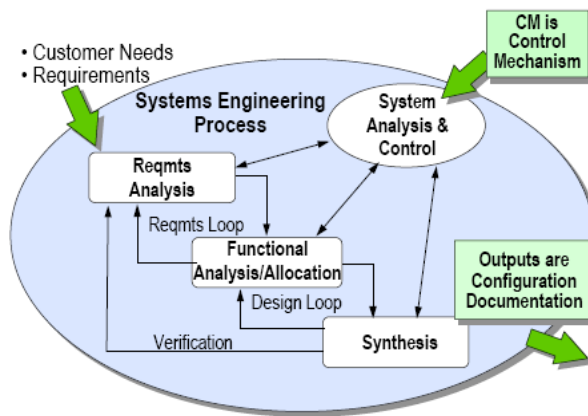
Deze subparagraaf start met een beschrijving van de iteratieve analytische benaderingswijze van SE. Tot slot worden de gefaseerde iteratieve taakopeenvolgingen van SE uiteengezet.

Iteratieve analytische benaderingswijze

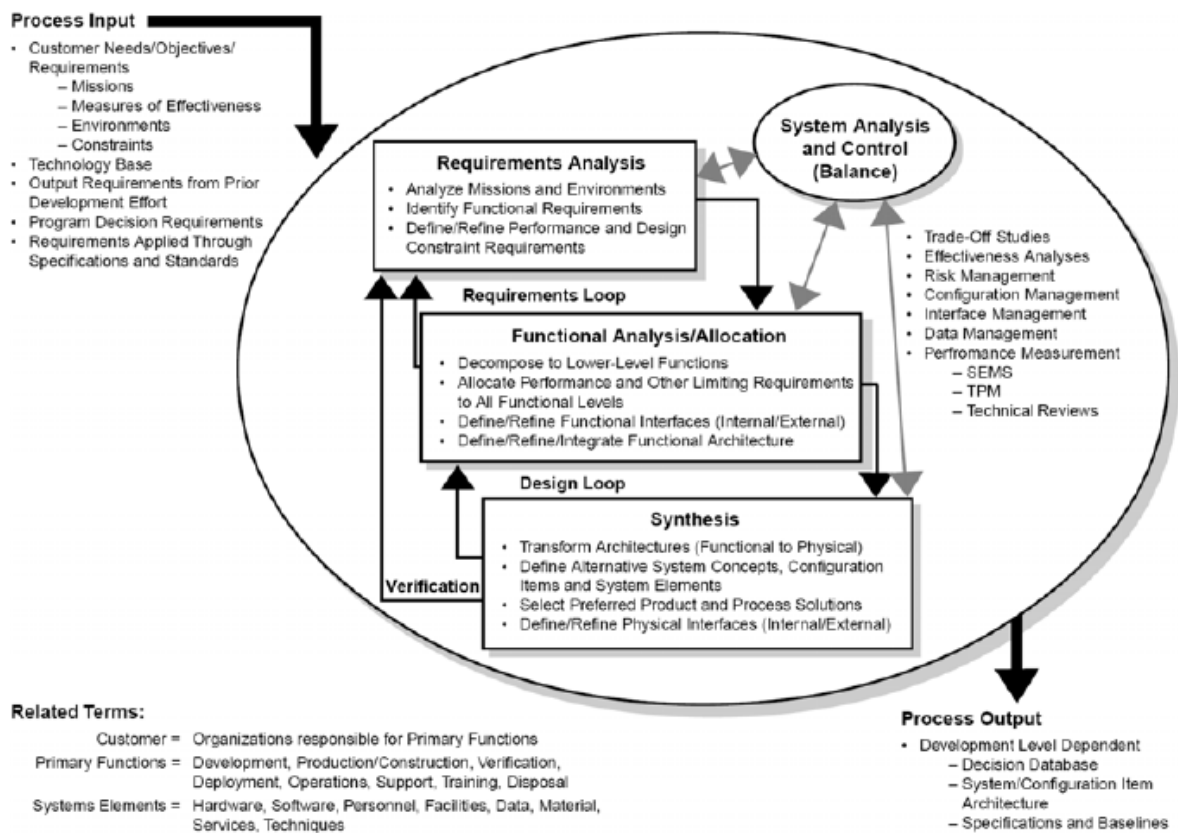
Volgens het DoD [2001] is het technisch proces binnen SE te omschrijven als een iteratieve analytische benaderingswijze en bestaat het uit de volgende onderdelen (zie figuur 24-5 & 25-5):

- Een eisen analyse (Requirements analysis).
- Een functionele analyse en toewijzing (Functional analysis en allocation).
- Een synthese (Synthesis).

Tevens bezit een SE proces een iteratieve eisen cycli (requirements loop) en een iteratieve ontwerp cycli (design loop), zodat beslissingen over operationele en functionele eisen in een ontwerp te controleren zijn.



Figuur 24-5: De iteratieve analytische benaderingswijze van het technisch SE proces [DoD, 2001]

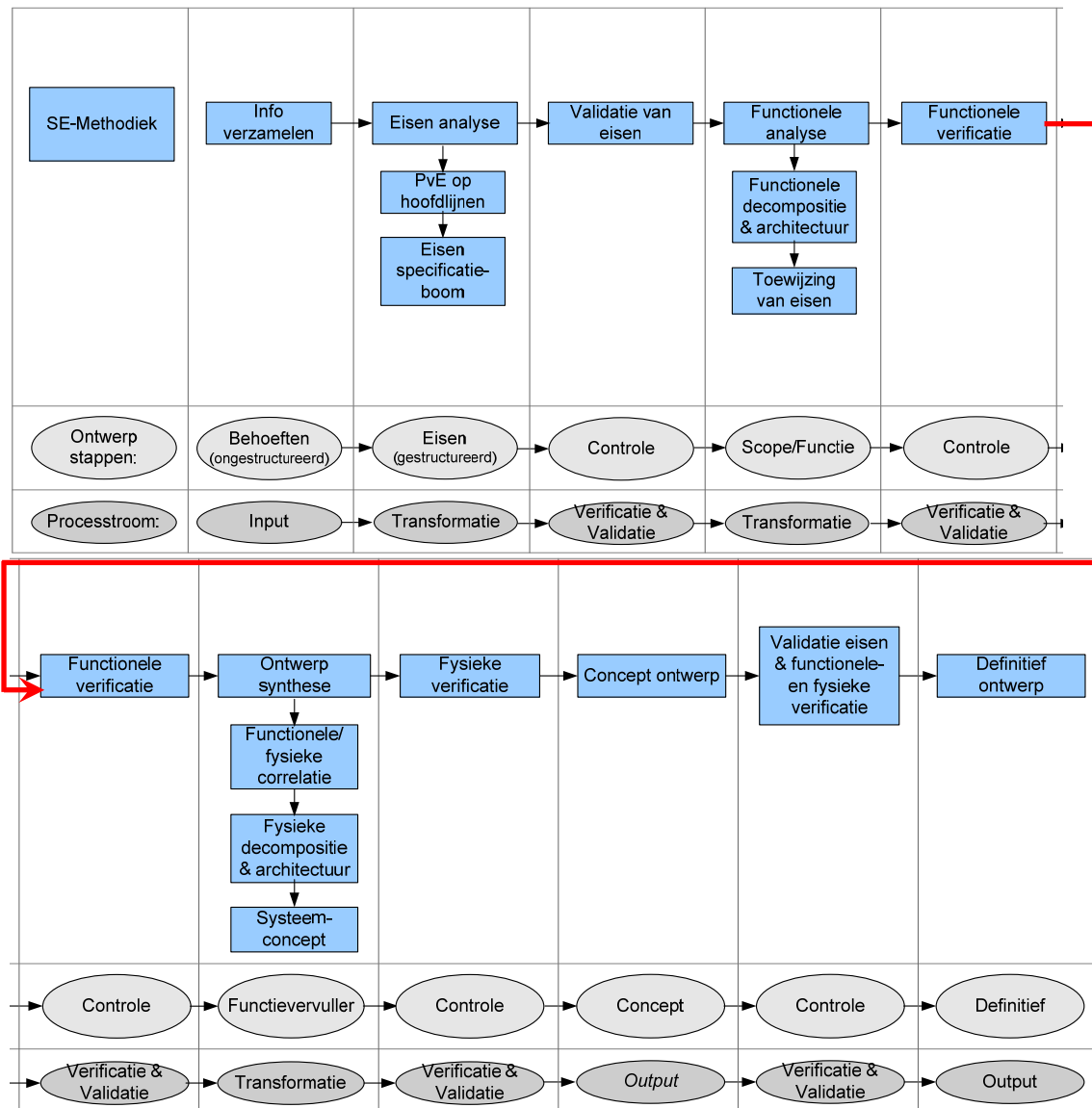


Figuur 25-5: Gedetailleerde weergave iteratieve benaderingswijze technisch SE proces [DOD, 2001]

Gefaseerde iteratieve taakopenvolgingen

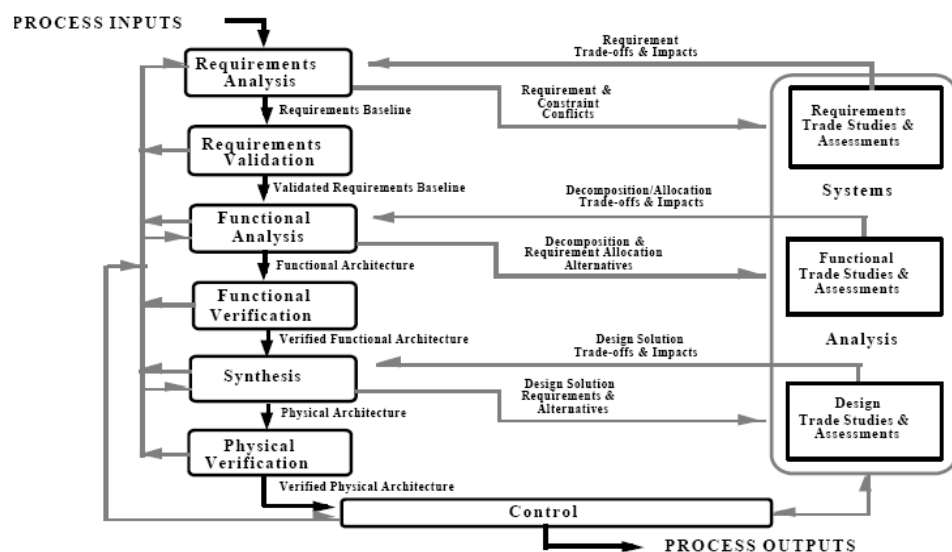
Volgens het IEEE [1994] en het DOD [2001] verloopt gefaseerde iteratieve technische ontwerpproces binnen SE aan de hand van de volgende taakopenvolgingen (zie figuur 26-5):

1. Eisen analyse/Analyse van de vraag
2. Validatie van eisen
3. Functie analyse/Analyse van de functies
4. Functionele verificatie
5. Ontwerp Synthese/Concepten
6. Fysieke verificatie
7. Concept ontwerp
8. Validatie van eisen & Functionele- en Fysieke verificatie
9. Definitief ontwerp



Figuur 26-5: De opeenvolging van faseringen van het iteratieve technische ontwerpproces binnen SE

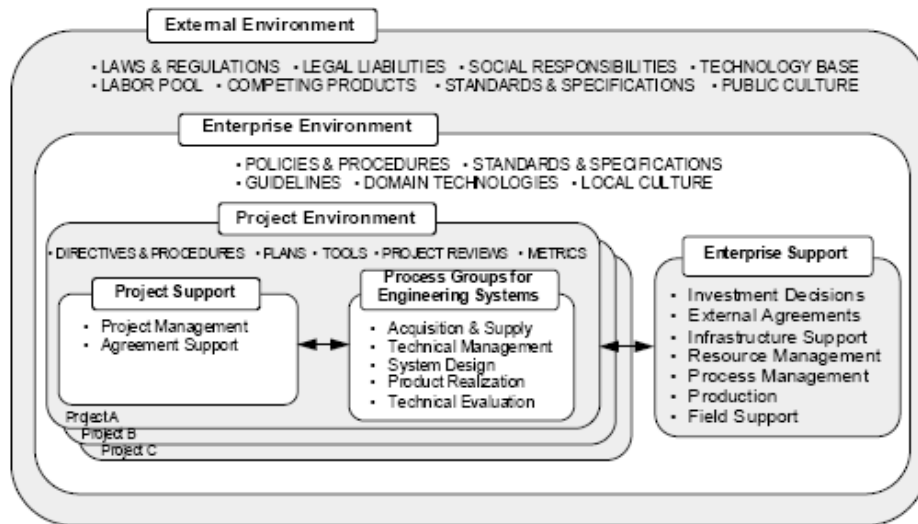
De bovenstaande taakopeenvolging en binnen het gefaseerde technische ontwerpproces van SE worden onderstaand door middel van de bovenste zes gelijknamige stappen uiteengezet in de volgende onderdelen (zie figuur 27-5):



Figuur 27-5: Het iteratieve technische ontwerpproces binnen SE [IEEE, 1994]

1. Eisen analyse/Analyse van de vraag

Het heeft als doel de doelen en eisen van de klant te verfijnen. Hierbij worden randvoorwaarden die een limiet stellen aan de oplossing geïdentificeerd en gedefinieerd (zie figuur 28-5). Het formuleren van de randvoorwaarden is direct de eerste test voor het te ontwikkelen ontwerp. Voor elke randvoorwaarde dient een beoordelingscriterium of terwijl een 'fitcriterium' te worden gekoppeld, zodat deze zoveel mogelijk kwantitatief objectief meetbaar is [Veenvliet, 2001]. Daarna worden de voornaamste prestatiedoelen van de klant gedefinieerd en vertaald in eisen. Deze functionele en prestatie eisen worden gedefinieerd op basis van effectieve meetbaarheideisen geleverd door de klant (zie figuur 29-5).



Figuur 28-5: Bronnen voor identificatie van randvoorwaarden [INCOSE, 2004]

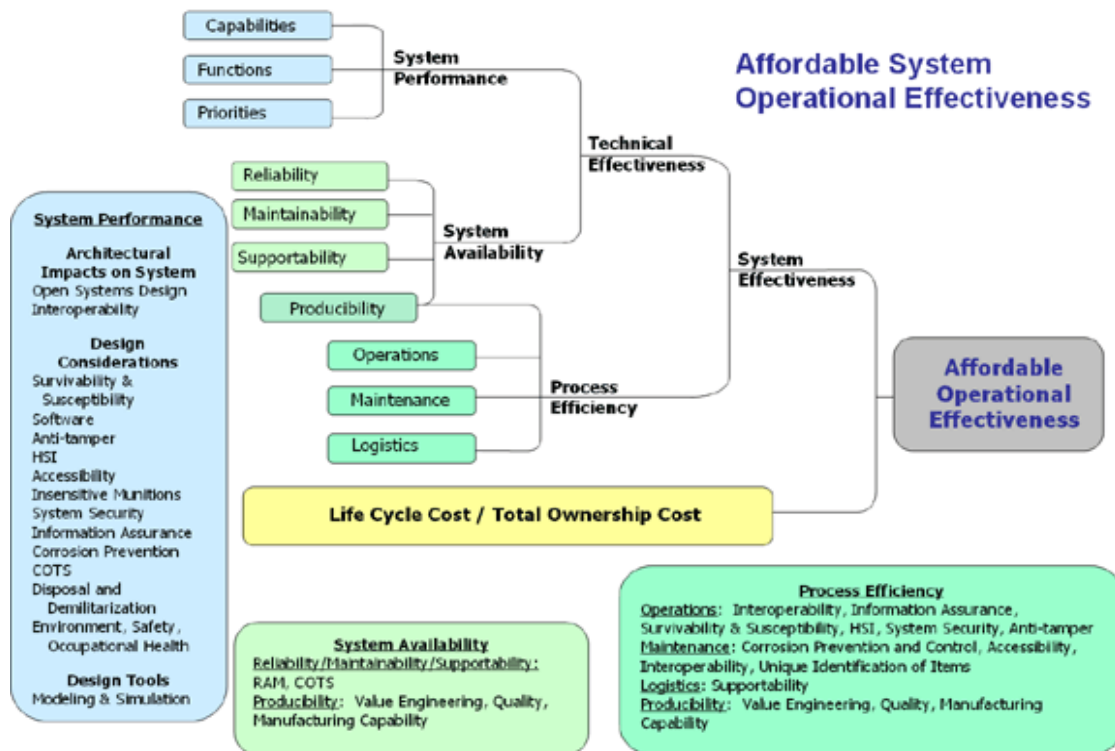
MEASURABLE				
ATTRIBUTE	SURVEILLANCE SATELLITE	COMMUNICATION SATELLITE	SUBMARINE	AIRCRAFT
QUANTITY	Frames/Day, Sq Mi/Day	Throughput (BPS)	No. of Missiles Carried	Wt. of Bombs or Armaments (lb)
QUALITY	Resolution (Ft)	S/N or BER	Targeting Accuracy (ft)	Navigation Accuracy (ft)
COVERAGE	Latitude & Long. (deg)	Latitude & Long. (deg)	Range (mi)	Range (mi)
TIMELINESS	Revisit Time (hr), Proc/Del Time (sec)	Channel Availability on Demand (min)	Time to get on-station (hr)	Time to acquire target (sec)
AVAILABILITY	Launch Preparation Time (days)	Bandwidth Under Stressed Conditions (Hz)	Cruise Duration (days)	Flight Prep Time (min)

Figuur 29-5: Prestatie eisen op basis van effectieve meetbaarheideisen [DoD, 2004]

PvE op hoofdlijnen

In dit onderdeel worden de prestatie eisen onderverdeeld in toegewezen en niet toegewezen eisen door gebruikmaking van de volgende basisvragen (Procedure eisen analyse: 15 taken van IEEE P1220-1994 [IEEE, 1994]) (zie figuur 30-5):

- Operationele verspreiding of opstelling: Waar wordt het systeem gebruikt?
- Profiel of scenario van doel: Hoe volbrengt het systeem haar operatiedoel?
- Prestatie en gerelateerde parameters: Kritische parameters om het operatiedoel te volbrengen?
- Aanwending van milieu: Hoe worden de verscheidende systeem componenten gebruikt?
- Effectieve eisen: Hoe effectief/efficiënt moet het systeem zijn in uitvoeren van operatiedoel?
- Operationele levensduur: Hoe lang wordt het systeem gebruikt door de gebruiker?
- Omgeving: In welke milieus wordt het systeem op een effectieve manier verwacht te opereren?

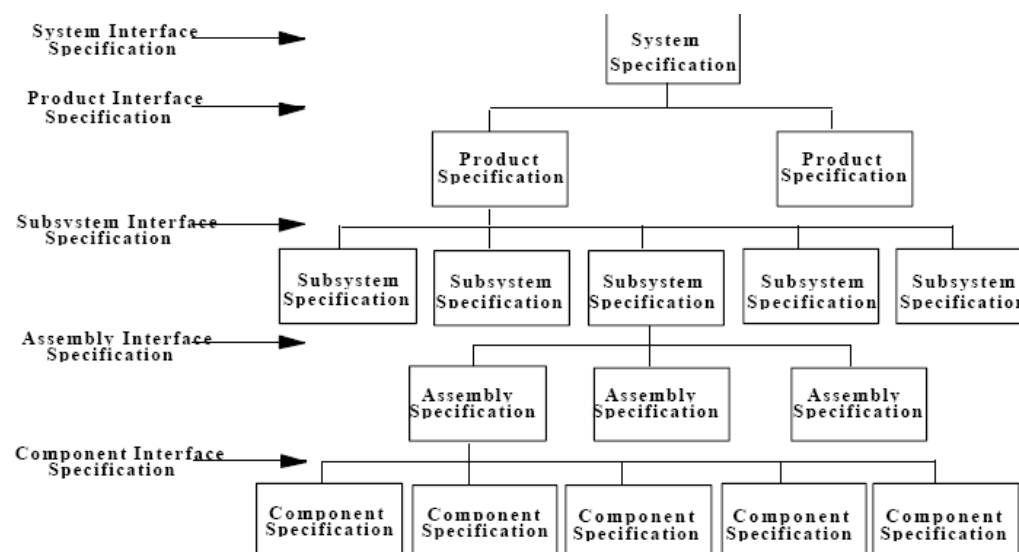


Figuur 30-5: Doelstellingen voor een effectief operationeel systeem [DoD, 2003]

Aansluitend worden er ten aanzien van het gebruiksproces prioriteiten toegewezen aan de verschillende gebruikers. Hierbij wil het niet zeggen dat de minst belangrijke gebruiker een lage prioriteit krijgt toegewezen bij het formuleren en toewijzen van eisen.

Eisen specificatieboom

Hierbij wordt er aan de hand van een analyse van specificaties van eisen, elementen en koppelingen uit het PvE op hoofdlijnen een eisen specificatieboom opgezet (zie figuur 31-5). Tevens worden er specificaties van koppelingen van (sub-)systemen met interne of externe (sub-)systemen, platformen en producten gedefinieerd. De specificatieboom wordt top down opgezet, waarbij steeds elementen onder een systeem op hogere gelegen abstractie niveaus vallen.



Figuur 31-5: Eisen specificatieboom [IEEE, 1994]

2. Validatie van eisen

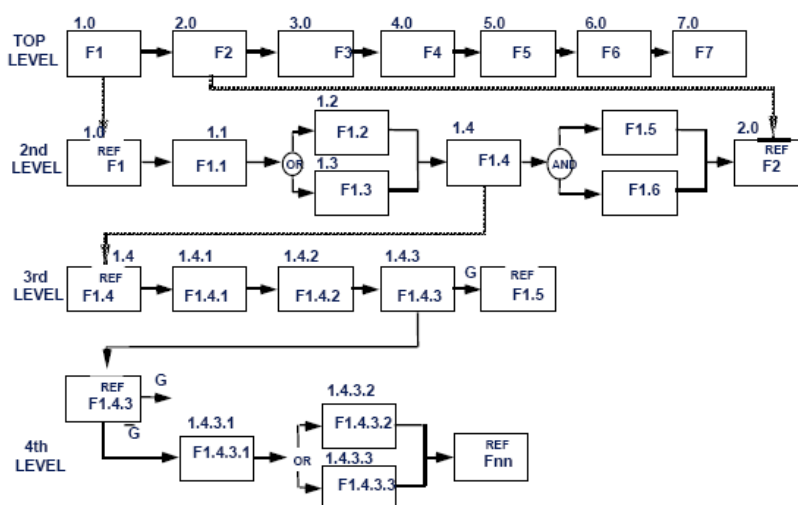
De klantenverwachtingen en de externe randvoorwaarden worden geïdentificeerd door middel van het PvE op hoofdlijnen te evalueren. Tegelijkertijd worden hierbij de operationele mogelijkheden en ondersteunende onderdelen van het systeem tijdens zijn levensduur beoordeeld.

3. Functie analyse/Analyse van de functies

Het heeft als doel het systeem te definiëren in functionele termen. Daartoe worden de functies van het systeem gedecomposeerd naar subsysteem functies. Hierbij wordt achterhaald welke acties het systeem moet uitvoeren. Daarna worden systeem prestatie eisen vertaald naar gedetailleerde functionele en prestatie ontwerp criteria en randvoorwaarden. Hierbij wordt achterhaald op welke meetbare manier de functies moeten presteren. Vervolgens worden alle interne en externe functionele koppelingen geïdentificeerd en gedefinieerd. Ook worden functionele groeperingen geïdentificeerd om koppelingen te minimaliseren en te controleren. Tot slot worden de functionele karakteristieken van bestaande of afgeleide componenten in het systeem bepaald. Deze worden later in de analyse en toewijzing verenigd. De functionele eisen geven inzicht in dat wat het ontwerp moet kunnen en doen en de niet-functionele eisen geven inzicht in een te verwachte prestatie-eigenschap of kwaliteit van elke functionele eis. Hierbij kunnen de eisen sterk uiteenlopen die door de verschillende actoren zijn geëist.

Functionele decompositie & architectuur

In dit onderdeel wordt een functionele architectuur opgezet door een analyse van het functionele gedrag van het systeem onder gevarieerde condities te behandelen. Hierbij worden operationele scenario's geanalyseerd, waaruit functionele modellen kunnen worden gesimuleerd. Tevens worden koppelingen tussen inter-acterende functies tijdens het decompontieren van systeem functies in ondersteunende functies herkend. Om vervolgens het systeem in subfuncties te



decompositiëren worden taak opeenvolgingen en relaties in een Functional Flow Block Diagram (FFBD) gedefinieerd, waarbij alternatieve subfuncties en opeenvolgingen, functionele koppelingen en prestatie eisen te herkennen zijn (zie figuur 32-5). Tot slot wordt een functionele architectuur opgericht, waarbij er ondersteunende functies en prestatie eisen worden toegewezen.

Figuur 32-5: Decompositie van functionele eisen in een Functional Flow Diagram [DoD, 2003]

Eisen toewijzing

Hierbij worden prestaties aan functies toegewezen en wordt naspeurbaarheid van de prestatie eisen van het systeem gecreëerd door middel van een Requirement Allocation Sheet (RAS).

4. Functionele verificatie

In dit onderdeel wordt de compleetheid van de functionele architectuur vastgesteld, door middel van het gevalideerde PvE op hoofdlijnen en de geproduceerde functionele architectuur te controleren op naspeurbaarheid en traceerbaarheid.

5. Ontwerp Synthese/Concepten

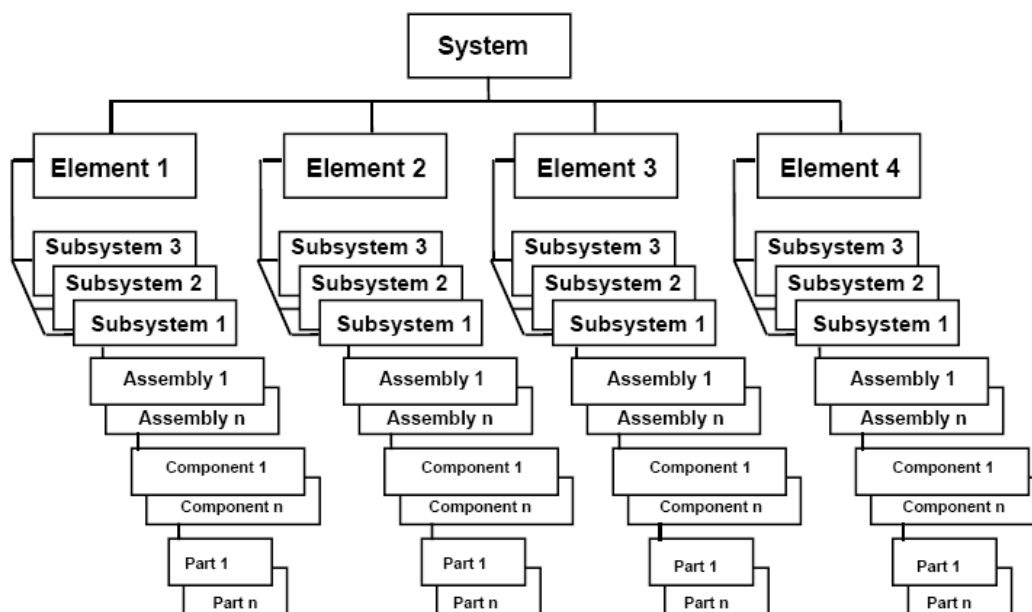
Het heeft als doel de fysieke oplossingen via synthese te bepalen om te voldoen aan klantenwensen en maatschappelijke acceptatie, zoals gedefinieerd in het gevalideerde PvE op hoofdlijnen. Definieer en ontwerp hierbij systeem oplossingen in de vorm van producten. De functionele architectuur wordt hiertoe vertaald in een fysieke architectuur. Hierdoor ontstaat een decompositie van elementen met interne en externe koppelingen, zodat de fysieke architectuur te controleren is op naspeurbaarheid en traceerbaarheid van de geverifieerde functionele architectuur en het gevalideerde PvE op hoofdlijnen.

Functionele/fysieke correlatie

In dit onderdeel wordt de functionele architectuur toegewezen aan een fysieke architectuur door middel van het definiëren van benodigde componenten in de vorm van een Functional / Physical Matrix (FPM). Er ontstaat hierdoor een groepering en allocatie van functies gekoppeld aan (sub-)systemen/producten in de vorm van logische fysieke componenten/elementen. Het is hierbij mogelijk dat een functie of een set van subfuncties toewijsbaar zijn aan meerdere fysieke elementen.

Fysieke decompositie & architectuur

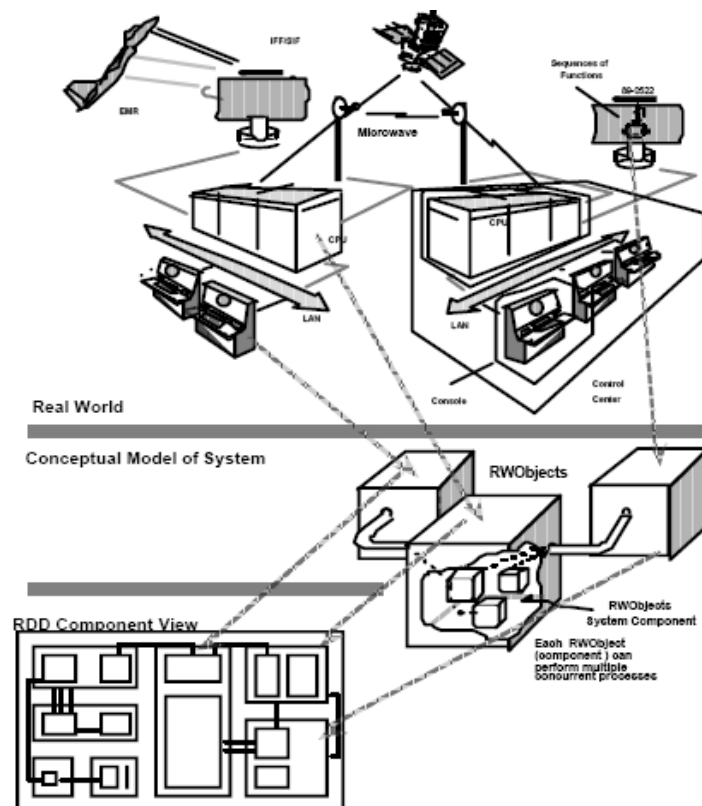
Hiertoe wordt een fysieke architectuur ontwikkeld door middel van het definiëren en traceren van ontwerp oplossingen in de vorm van componenten/elementen en hun relaties in een objectenboom (Object Tree) (zie figuur 33-5).



Figuur 33-5: Fysieke decompositie en architectuur van systeem in een objectenboom [INCOSE, 2004]

Systeemconcept

In dit onderdeel wordt een systeem conceptschets gedefinieerd en getraceerd door middel van een Conceptual Description Sheet (CDS). Tevens zijn hierbij interne en externe fysieke koppelingen en elementen te herkennen (zie figuur 34-5).



Figuur 34-5: Het systeemconcept [INCOSE, 2004]

6. Fysieke verificatie

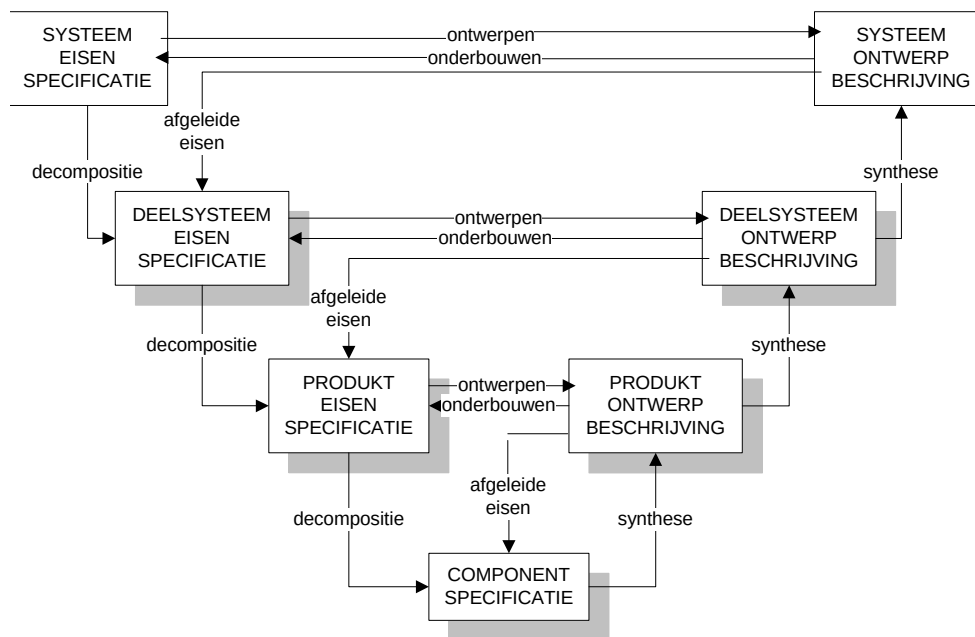
Tijdens dit onderdeel wordt de traceerbaarheid en naspeurbaarheid van het gevalideerde PvE op hoofdlijnen en de geverifieerde functionele architectuur in de fysieke architectuur gecontroleerd. Daartoe moeten de functionele eisen en elementen/componenten tenminste éénmaal aan elkaar correleren.

5.4.2 Decompositieproces

De ontwikkeling van een conceptplan vraagt om inzicht in functievervullers, aard en omvang van de onderlinge relaties en de mogelijkheden tot positionering in de beschikbare ruimte evenals aansluiting aan de omgeving. Decompositie vormt de basis om tot gefaseerde beeldvorming van de inrichting van het conceptplan te kunnen komen. Decompositie is een op analyse gerichte werkwijze, waarin we een verschijnsel willen begrijpen door het uit elkaar te nemen (zie bijlage J). Hiervoor kunnen methoden en technieken gebruikt worden die een expliciete stapsgewijze uitwerking mogelijk maken [Veenvliet, 2005].

Het iteratieve faseringproces, het V-model, van het technisch proces binnen SE is gebaseerd op de strategie van decompositiëren [INCOSE, 2004] (zie figuur 35-5):

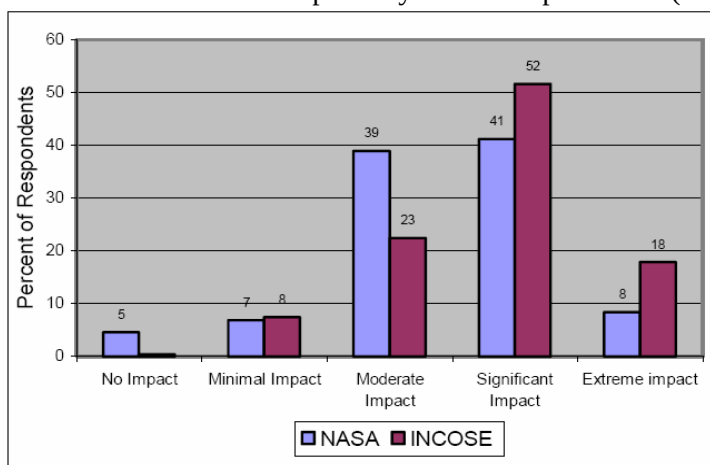
- Eerst het probleem op systeem niveau begrijpen voordat je het probeert op te lossen.
- Zoeken naar alternatieve oplossingen voor het systeem (Niet uitgaan van één oplossing).
- Verifieer en controleer de juiste oplossing op het systeem niveau voordat er gestart wordt met het definiëren van afgeleide eisen voor onderdelen van het systeem door middel van activiteiten en procedures te behandelen van het onderliggende probleem.



Figuur 35-5: Decompositiefasering volgens V-model van technisch SE proces [Veenvliet, 2001]

5.5 Waarde van SE

Uit onderzoek is gebleken dat de toepassing van SE voor gebruikers van hoge waarde kan zijn in het ontwikkelen van complexe systemen of producten (zie figuur 36-5). Volgens Honour [2004]



leidt het toepassen van SE vooral tot een kortere projectplanning en een hogere productkwaliteit. De paragraaf start met de beschrijving van de SE waarde beïnvloedende factoren en bepalende variabelen. Daarna wordt aan de hand van een percentage de optimum inspanning van SE in een project weergegeven. Het besluit met een sceptisch betoog waarin de waarde van de toepasbaarheid en de geschiktheid van SE in de civiele techniek in twijfel wordt getrokken.

Figuur 36-5: Gebruikers hechten hoge waarden aan SE [Honour, 2004]

5.5.1 Beïnvloedende factoren & bepalende variabelen

Volgens Honour [2004] kan elk project ten behoeve van het ontwikkelen van een systeem of product gezien worden als een verband van een waarschijnlijke verhouding van onderlinge afhankelijkheid. Er worden namelijk in het begin van een project management keuzes gemaakt die de parameters vaststellen voor het te beïnvloeden proces, zoals doelen, proces definities, tools en applicaties en personele taaktoewijzingen. Gedurende het project beïnvloeden hierbij vele factoren het uiteindelijke resultaat. Aangezien het resultaat de bereikte waarde van een opgeleverd project bepaald, zijn er een aantal te observeren en te beoordelen waarde voor het toepassen van een op SE gebaseerd ontwerpproces door Honour [2004] herkend:

Technische grote (s)

Het representeert de algemene grote van een ontwikkelingsinspanning en worden bepaald door de volgende factoren, zoals aantal eisen, aantal functies, aantal nieuwe te ontwikkelen delen, de complete ontwikkelingkosten.

Technische complexiteit (x)

Een systeem van elke bepaalde grote kan sneller moeilijker worden gemaakt worden door de complexiteit te vermeerderen, omdat de complexiteit meestal gerelateerd is aan de graad van interacties van aantal systeem componenten.

Technische kwaliteit (q)

Het is te meten door middel van de bestaande situatie van het probleem met het aanstaande doel van de oplossing te vergelijken. De variërende kwaliteit van componenten en producten zijn vaak gebaseerd op percepties van stakeholders. Dit resulteert in subjectieve meetbaarheden.

Technische waarde (v)

Is te herkennen in de keuze van afweging tussen de drie bovenstaande technische factoren. Voor een gegeven tijd, kosten en risico's blijken de drie technische factoren omgekeerde relaties te hebben. De technische grote kan namelijk alleen vermeerderd worden ten koste van de technische complexiteit en/of de technische kwaliteit. Gelijkerwijze kan de technische complexiteit vermeerderd worden indien de technische grote en/of technische kwaliteit wordt gereduceerd. Hetzelfde is waar voor de technische kwaliteit ten opzichte van de technische grote en technische complexiteit. Wanneer de drie gegeven selecties gekwantificeerd worden, is de technische waarde door middel van de volgende formule te representeren:

$$\text{Technische waarde (v)} = \text{Technische grote (s)} * \text{Technische complexiteit (x)} * \text{Technische kwaliteit (q)} \quad (2)$$

Projectduur, -kosten en -risico's

Tevens zijn projectduur (d), projectkosten (c) en projectrisico's (r) te observeren en te beoordelen variabelen voor het herkennen van waarde voor het toepassen van een op SE gebaseerd ontwerpproces. Het zijn factoren ten aanzien van een systeem of product ontwikkeling die meestal door het management worden gebruikt om het proces van het project te beheersen en te controleren.

SE inspanning (SEE)

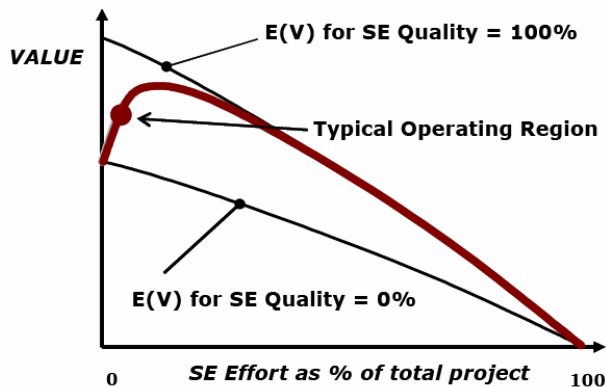
Dit is de te leveren inspanning gedurende het project. Het geeft de effectieve prestatie ten aanzien van uit te voeren SE taken aan. Het is een primaire onafhankelijke te selecteren en te controleren variabel gedurende een systeem ontwikkeling. Wanneer door een groep SE taken worden uitgevoerd, hoeft het werk geen meerwaarde op te leveren voor de kwaliteit van het project. Het bepalen van de SE inspanning leidt tot de volgende formule:

$$\text{SE inspanning (SEE)} = \text{SE kwaliteit} * \text{SE kosten} / \text{Project kosten} \quad (3)$$

In deze representatie kan de SE inspanning worden uitgedrukt in een effectief percentage van de totale kosten van het project. De SE kwaliteit is hierbij moeilijk meetbaar. Echter is het mogelijk om de SE kwaliteit door de project participanten subjectief te laten kwantificeren.

5.5.2 Optimum inspanning

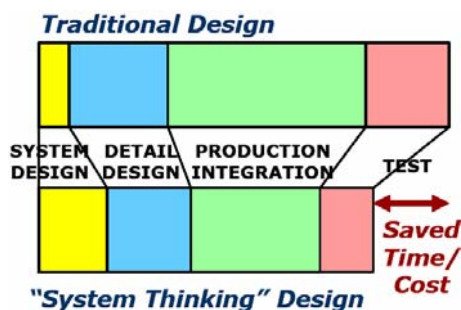
Resultaten uit onderzoek geven aan dat de inzet van een optimale SE proces ongeveer 15-20% van het totale project inspanning in beslag neemt [Honour, 2004] (zie figuur 37-5). In de onderstaande figuur representeert de bovenste zwarte lijn de effectiefste inzet van SE inspanning (100% SE kwaliteit), waarbij er 100% gebruikt wordt gemaakt van SE in een ontwerpproces. De onderste zwarte lijn representeert hierbij de minst oneffectiefste inzet van SE inspanning (0% SE kwaliteit), waarbij er 0% gebruikt wordt gemaakt van SE in een ontwerpproces. Deze lijn is gebaseerd op de traditionele manier van ontwerpen tijdens een ontwerpproces. Het gebruik van een traditionele



ontwerpmanier levert uiteraard ook waarde ten aanzien van het eindresultaat. De rode lijn representeert de waarde van SE ten aanzien van de hoeveelheid inzet van SE inspanning in percentages ten opzichte van de totale projectinspanning. In het geval er geen SE (0%) inspanning wordt toegepast is er geen SE waarde voor het project te verwachten, omdat er geen inzet van SE is voor het project. Wanneer er alleen maar SE (100%) inspanning wordt toegepast is er geen productie en product te verwachten, omdat alle project inzet in SE wordt gestoken.

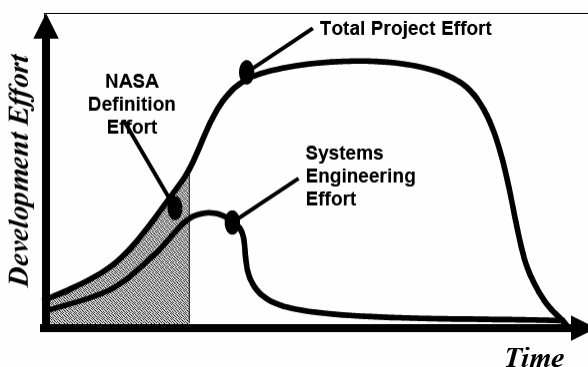
Figuur 37-5: Optimaal inzet SE proces 15-20% van totale project inspanning [Honour, 2004]

Honour [2004] geeft aan dat tijdens het ontwerpen van een complex systeem de intuïtieve waarde van SE ten opzichte van een traditioneel ontwerpproces te herkennen is (zie figuur 38-5). In het geval van een op SE gebaseerd ontwerpproces neemt het voorontwerp meer tijd in beslag vergeleken met een traditioneel ontwerpproces. Er wordt in het geval van een traditioneel ontwerpproces namelijk geen grote nadruk gelegd op het ontwerp van het systeem of product. De intensieve uitgevoerde werkzaamheden uit het voorontwerp tijdens een op SE gebaseerd ontwerpproces, creëert een sneller en gemakkelijker verloop voor het vervolgtraject. Het leidt tot een snellere oplevering van het definitieve ontwerp. Tevens leidt het tot een sneller verloop van de productintegratie- en testfase. Dit resulteert logischerwijs uiteindelijk in tijd- en kostenbesparingen.



Figuur 38-5: Tijd- en kostenbesparingen SE proces vs. een traditioneel ontwerpproces [Honour, 2004]

Volgens Honour [2004] zijn de achterliggende argumentaties van deze snellere en gemakkelijkere ontwikkeling van een op SE gebaseerd ontwerpproces toe te wijzen aan het feit dat de nadruk van de maximale inspanning vooral in het beginstadium tijdens de voorontwerpfase van de ontwerppoging ligt (zie figuur 39-5). Door het gedegen SE proces in het beginstadium consistent, integer en intensief te verankeren en te volgen, wordt hierdoor de betrouwbaarheid voor het verdere verloop van het ontwikkelingstraject ten behoeve van het product of systeem verzekerd.

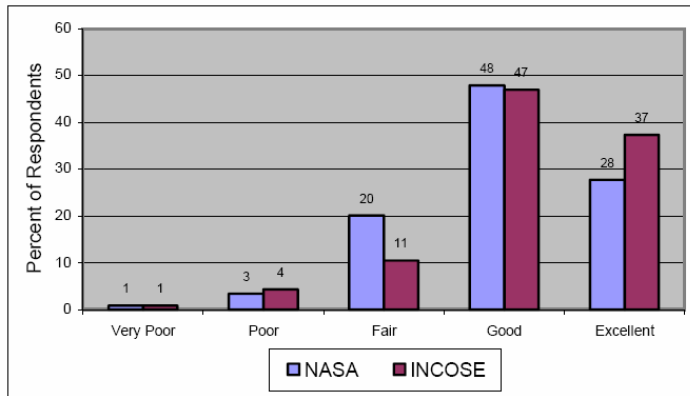


Figuur 39-5: Maximale inspanning SE tijdens beginstadium ontwerpproces [Honour, 2004]

Tevens resulteren de uiteindelijke tijd- en kostenbesparingen door het gebruik van een op SE gebaseerd proces in een hogere systeem- en productkwaliteit [Honour, 2004]. En leidt dit tot een vroegtijdige vermindering van risico's in het ontwerpproces (zie figuur 40-5). Honour [2004] geeft aan dat de inzet van SE tevens de ontwikkelingskwaliteit verhoogd. Deze verhoging en vermeerdering van de kwaliteit van SE heeft positieve effecten op nakoming van de kosten, van de planning en van subjectieve kwaliteiten van het project (zie figuur 41-5). Het optimum van SE inspanning neemt 15-20% in beslag ten opzichte van de totale project inspanning. Dit percentage geldt tevens voor de nakoming van kosten, nakoming van de planning en de nakoming van de subjectieve kwaliteit.

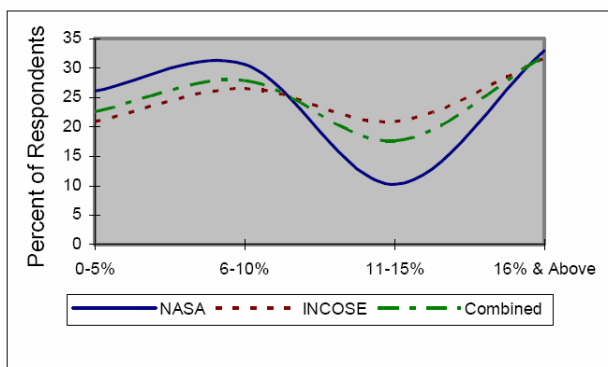
Figuur 40-5: Risicoreductie door toepassing van een SE proces [Honour, 2004]

Wanneer er tijdens projecten een op SE gebaseerd ontwerpproces wordt gehanteerd, wordt er op het huidige moment een budget vrijgemaakt van 3-8% van de totale projectkosten (zie figuur 42-5). Tevens blijkt het dat de kwaliteit van SE inspanning er toe doet, omdat lage kwaliteit van SE toepassingen effectiviteit reduceert (zie figuur 43-5). Uit een vergelijkingsonderzoek van 3



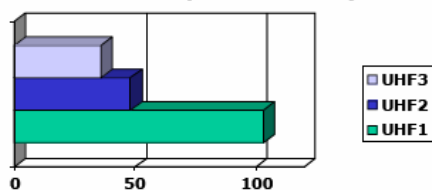
bouwprojecten bleek dat de projectplanning beïnvloed werd door de kwaliteit van de SE inspanning. In project UHF1 werd een lage kwaliteit van SE inspanning geconstateerd. Er werd een gemiddelde kwaliteit van SE inspanning in project UHF2 herkend. Terwijl in project UHF3 er een hoge kwaliteit van SE inspanning heeft plaatsgevonden. Hierbij was het opmerkelijk dat het project UHF3 een hoge systeemcomplexiteit bezat.

Figuur 41-5: Kostenbesparingen door toepassing van SE [Honour, 2004]



Figuur 42-5: Huidige uitgaven van 3-8% voor SE [Honour, 2004]

Overall Development Time (weeks)



Figuur 43-5: Hogere kwaliteit SE inspanning leidt tot verkorting projectplanning [Honour, 2004]

5.5.3 Waarde van toepasbaarheid en geschiktheid in civiele techniek?

Ook worden er vanuit de wetenschap vaak argumenten genoemd die de waarde van de toepasbaarheid en geschiktheid van SE voor civiele technische projecten in twijfel trekken. Er zijn veel argumenten ten opzichte van de geschiktheid van een mathematische methode zoals SE [Sheard, 2000]. Ten eerste is elk ontwikkelingsproces van een systeem of product uniek, zodat het elke ontwikkelde bestaande theorie op wetenschappelijke basis ongeldig maakt. Ten tweede variëren projecten op belangrijke meetbare parameters breed, zoals een grote, de planning en de te accepteren risico's. Deze variëteit leidt tot enkele van te voren verzamelde data in de vorm van gevarieerde punten en gegevens [Mar, 2002]. Ten derde bevat een SE theorie een statische representatie van de menselijke dynamiek van de ontwikkelaars of ontwerpers die vaak septisch wordt beschouwd. Ten vierde wordt SE toegepast voor systemen, waarbij de onderliggende componenten inmiddels in de praktijk feitelijk door elke andere ontwerpmethodiek zijn ontwikkelt [Honour, 1999]. Tevens wordt beweerd dat de hoge gevarieerde applicatie elke mogelijke codificatie verwerpt.

5.6 Samenvatting

In dit hoofdstuk heeft er een oriëntatie plaatsgevonden op vooruitstrevende ontwerpprocessen in het algemeen en een op SE gebaseerd ontwerpproces in het bijzonder. In paragraaf 5.1 zijn vooruitstrevende ontwerpprocessen beschreven. Het op SE gebaseerde ontwerpproces is in paragraaf 5.2 aan de hand van de pragmatische principes en mogelijke bijwerkingen behandeld. Vervolgens is (§5.3) het SE management proces en (§5.4) het SE technisch proces in de vorm van de taakopvolgingen uiteengezet. Ten slotte is in paragraaf 5.5 de waarde van de SE toepassing in projecten door middel van factoren en variabelen beargumenteerd.

De verkregen aandachtspunten uit de theoretische analyse in dit hoofdstuk vormen de opstap tot het komen van een clustering van beoordelingscriteria. Deze uitgevoerde analyse naar vooruitstrevende ontwerpprocessen in het algemeen en een op SE gebaseerd ontwerpproces in het bijzonder heeft een verhelderende weergave opgeleverd in de vorm van te herkennen karakteristieken van SE tijdens projecten. Zodoende zijn aan de hand van de eigenschappen en typeringen van een op SE gebaseerd ontwerpproces een reeks van beoordelingscriteria opgesteld door onderverdeling naar indicatoren (zie tabel 13-5).

Tabel 13-5: Reeks van beoordelingscriteria van een op SE gebaseerd ontwerpproces

Indicator	Typeringen & karakteristieken
Dynamiek	• Gestructureerde systematische stapsgewijze expliciete project aanpak • Integraal interdisciplinair gefaseerd ontwikkelingsproces • Controlemechanisme • Creativiteit en synthese wordt gestimuleerd (proactieve werkwijze) • Transparante iteratieve benaderingswijze (mathematisch gebaseerd) • Een op analyse gerichte werkwijze (decompositie: probleem systeem willen begrijpen door uit elkaar te nemen, voordat je het probeert op te lossen) • In begin lastig te vatten (vereist tegennatuurlijke werkhouding) • Processtart valt samen met vallen en opstaan, daarna gestructureerd en vlot • Voor oplossen complexe ontwerp vraagstukken van systemen • Moet worden gezien als hulpmiddel • Door onafhankelijk te onderscheiden projectfasen is het doel van project te structureren

Tabel 13-5: Reeks van beoordelingscriteria van een op SE gebaseerd ontwerpproces

Flexibiliteit	• (On-)afhankelijke alternatieve managementmethoden (disciplines & applicaties) zijn toevoegbaar, aanpasbaar en verwijderbaar gedurende het gehele proces • (On-)afhankelijke alternatieve ontwerptechnieken (modellen & werkwijzen) zijn toevoegbaar, aanpasbaar en verwijderbaar gedurende het gehele proces • Ontwerpwijzigingen zijn doorvoerbaar gedurende het gehele proces. • Vrijheid toe te passen decompositieniveaus gedurende het gehele proces • Vrijheid in te schakelen specialismen om taken en activiteiten te volbrengen gedurende het gehele proces
Transformatie	• Systematische gestructureerde gefaseerde aanpak bestaande uit een geordende set van technische ontwikkelingstappen (proces van taakopvolgingen) • Gebruik inter-elementaire technische analyses • Vanuit eisen naar functies, vanuit functies naar oplossingen (Start zonder invulling van oplossing) • Identificatie en definitie van relaties en koppelingen (allocatie en correlatie) tussen inter-acterende eisen, functies en functiedragers • Specificatiestructuur in niveaus, abstract naar concreet (decompositie topdown) • Gestructureerde wijze van VE door V-model (Niet alleen basisfuncties, maar ook secundaire en lagere functies) • Ontwerpregels vormen basis voor ontwerp mogelijkheden • Systeem wordt niet geïsoleerd van omgeving tijdens ontwikkelingsproces (koppelingen met interne of externe systemen, platformen en producten) • Evolueert, verifieert en integreert levensduur van systeem • Identificatie/beoordeling van alternatieve oplossingen (Operationele scenario's systeem onder gevarieerde condities) (Niet uitgaan van één oplossing)
Communicatie	• Vereist interdisciplinaire coördinatie • Vereist meer documentatie • Expliciet te communiceren (gedefinieerd ontwikkelingsproces) • Kloven tussen disciplines (verschillen in taal) worden overbrugd • Overzichtelijker voor projectmanagement (kapstok & standaardisatie)
Besluitvorming	• Leidt tot moeilijk te krijgen draagvlak (nut, noodzaak en waarde van implementeren methodiek) • Nut wordt pas ingezien als proces opgang is • Bindende structuur tussen de opdrachtgever en opdrachtnemer (methodiek gekoppeld aan contract) • Indien kwaliteitssysteem specifiek voor project op orde is (wie, wat, wanneer en hoe?), heeft opdrachtnemer vrijheid om ontwerpproces te doorlopen (opdrachtnemer controleert eigen werk) • Gestructureerde organisatie geeft de doorslag tot succes
Informatiesysteem	• Mogelijkheid koppeling van een transparante digitale applicatie voor kennis- en visiedeling • Mogelijkheid koppeling van een transparante holistische representatie methoden (simulatie en visualisatie (alternatieve) modellen in de vorm van eisen, functies en functiedragers)
Tijd	• Vergt meer tijd in voorontwerp (inspanning: methodiek implementeren + ontwerpen systeem) • Leidt tot sneller verloop van het definitieve ontwerp • Leidt tot sneller verloop van de productintegratie- en testfase • Leidt tot sneller verloop van het totale ontwerp (kortere projectplanning door tijdbesparingen in vervolgfases) (indien inspanning 15-20%!)

Tabel 13-5: Reeks van beoordelingscriteria van een op SE gebaseerd ontwerpproces

Arbeid	• Optimum inzet van methodiek 15-20% inspanning van totale project inspanning • Vraagt om intensievere inspanning in voorontwerp (inspanning: methodiek implementeren + ontwerpen systeem) • Leidt tot gemakkelijker verloop van systeemontwikkeling in vervolgfasen (Zo vroeg mogelijk oppakken en verwerken) • Vereist extra sturing door besturend orgaan (management proces)
Kosten	• Inzet proceskosten 3-8% van totale investeringskosten project • Resulteert in kostenbesparingen voor investering in ontwerp (indien inspanning 15-20%!)
Betrouw- baarheid	• Gedegen systeemontwikkeling verzekerd (methodiek uniform en consistent) • Toepassing is niet risicoloos (vereist onderhoud en bewaking door projectmanagement) • Positieve effecten nakoming investeringskosten (indien inspanning 15-20%!) • Positieve effecten op nakoming project planning (indien inspanning 15-20%!) • Positieve effecten op nakoming subjectieve kwaliteit van totaal project (waardevermeerdering van systeem of product) (indien inspanning 15-20%!) • Er wordt beter aan verwachtingen (waarde en functionaliteit) van klant voldaan (hogere systeem- en productkwaliteit) (betere ontwerpresultaten) • Vroegtijdige vermindering van risico's (simulatie en visualisatie risico's in voorontwerp) • Standaard bouwrisico's worden beter beheerst • Ontwerpproces risico's worden beter onderkend en beheerst • Leidt tot minimale ontwerpwijzigingen (doel, eisen en risico's worden vroegtijdig intensief en uitgebreid ontrafeld in voorontwerp) • Verbetert inzicht in investeringskosten van product of systeem • Verbetert inzicht in eisen, functies, functievervullers, externe en interne interacties (relaties) • Traceerbaarheid en naspeurbaarheid (controle: verificatie en validatie) van eisen, functies en functiedragers • Door management proces beter controleerbaar en beheersbaar (onderhoud en bewaking) (toetsbaar & aantoonbaar) • Integere en transparante werkwijze (helder en duidelijk gedocumenteerd proces & methodiek uniform en consistent) • Synthese bepaald succes oplossing (voldaan aan klantenwensen en maatschappelijke acceptatie) • Kwaliteit inspanning doet er toe (lage kwaliteit reduceert effectiviteit) • Mogelijkheid voor project deelnemers om productkwaliteit subjectief te kwantificeren • Integratie klanten in proces door levensduur benaderingswijze (ontrafelen wensen en behoefte gebruikers) • Voorgescreven processen zijn beter geborgd (uitgevoerd op juiste wijze en door juiste mensen)

Deze aandachtspunten en beoordelingscriteria moeten een vergelijking met de ontsloten analyseresultaten uit het ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL mogelijk maken. Dit moet leiden tot een resultaat in de vorm van perspectieven voor een andere indeling van het ontwerpproces vanuit een weergave van kansen. Daartoe wordt in het volgende hoofdstuk de voortgekomen analyseresultaten uit het ontwerpproces van de case geconfronteerd met het theoretisch kader.

6 Alternatief ontwerpproces infrastructuur Superbus

In dit hoofdstuk vindt er een identificatie plaats naar mogelijkheden voor een alternatieve indeling van het ontwerpproces van de Superbus infrastructuur. Daartoe worden de voortgekomen analyseresultaten uit het ontwerpproces van de case vergeleken met het theoretisch kader uit het vorige hoofdstuk. De verkregen reeks van beoordelingscriteria uit de theoretische analyse in het vorige hoofdstuk, bestaande uit typering en karakteristieken van een op SE gebaseerd ontwerpproces, maakt het mogelijk om een gewijzigde ontwerpprocesinrichting te identificeren. Dit levert vervolgens door middel van een clustering van indicatoren vanuit een weergave van kansen analyseresultaten op in de vorm van perspectieven voor een andere indeling van het ontwerpproces. Daaropvolgend worden er mogelijke veranderingen en aanpassingen voor een gewijzigde ontwerpprocesinrichting voorgesteld.

Het hoofdstuk vangt aan met paragraaf 6.1 waarin een uitleg plaatsvindt naar de vermindering van de mate van chaos voor het ontwerpproces van de Superbus infrastructuur. Vervolgens zijn (§6.2) vanuit de SE methodiek kansen en perspectieven voor de te ondervangen kenmerken en knelpunten van het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur geïdentificeerd. De mogelijke in te voeren veranderingen en aanpassingen voor een gewijzigde ontwerpprocesinrichting zijn in paragraaf 6.3 voorgesteld. Tot slot vindt er (§6.4) een conclusie plaats ten aanzien van de kansen en perspectieven en de aanpassingen en veranderingen voor een andere indeling van het ontwerpproces.

6.1 Verminderen van chaos

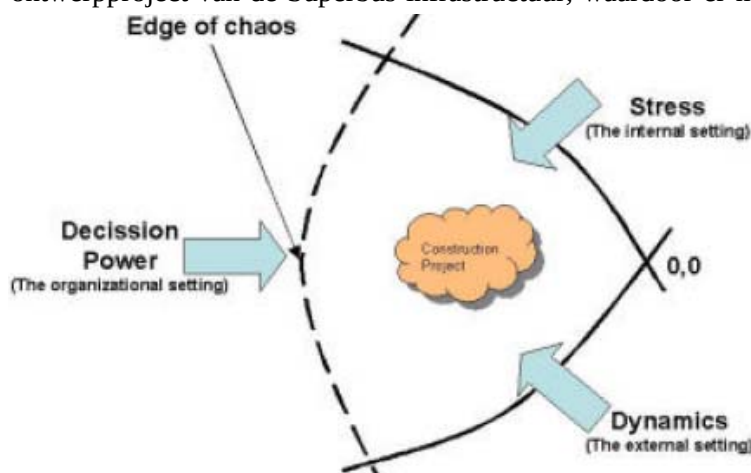
De matige complexiteit van het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur is veroorzaakt door de fragmentatie van centrifugale krachten en hebben een bepaalde mate van chaos in het ontwerpproces van het project tot gevolg gehad. Zij hebben consequenties gehad voor de productiviteit en de kwaliteit van het gevolgde ontwerpproces van de case. Echter is de bepaalde mate van chaos in het project te verminderen wanneer de centrifugale krachten van het ontwerpproces worden geïdentificeerd en gereduceerd. Eerst wordt het ontstaan van chaos tijdens het ontwerpproject van de Superbus infrastructuur verklaart, waarna de paragraaf wordt beëindigd met de uitleg om de mate van chaos in het ontwerpproces te verminderen.

6.1.1 Ontstaan van chaos

Tijdens de ontwikkeling van het ontwerpproject werd de chaos veroorzaakt door een aantal beïnvloedende problematische factoren. Het ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur bezat herstelactiviteiten in de vorm van veranderingen in ontwerpdoelen en -criteria, waardoor iteratieve cyclussen in het ontwerpproces nodig waren. Tevens is er een aantal keer feedback geleverd, waardoor effecten wijzigingen moesten worden verwerkt in het ontwerpproces. De mate van chaos die is opgetreden tijdens het ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur kan als kleinschalige chaos worden bestempeld. Dit is in een normale situatie de gemiddelde natuurlijke basiscomplexiteit voor een standaard project. Een normaal bouwproject bevindt zich namelijk op de grens van chaos. Deze kleinschalige chaos is samen gegaan met de onzekerheid in de vooruitgang van een aantal deelfasen van het ontwerpproces van de case. Echter is het project hierbij wel ongeveer volgens de planning en het budget verlopen.

6.1.2 Vermijden van chaos

De chaos in het ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur kan in de toekomst worden vermeden door de samenbundeling van de centrifugale krachten inzichtbaar te maken en te reduceren. De technische complexiteit (hoge dynamiek) en de ongestructureerdheid van het probleem (grote spanning) hebben het ontwerpproces van de case richting de grens van chaos gedreven, maar de sociale complexiteit (besluitvormingskracht) van het team heeft deze verschuiving enigszins op orde weten te houden. Aangezien het gebied wordt bepaald door de natuurlijke basiscomplexiteit van het project, heeft de kleinschalige chaos een matige invloed gehad. De matige gestructureerdheid van het probleem leidt tot een matige complexiteit van het ontwerpproject van de Superbus infrastructuur, waardoor er minder ruimte voor dynamiek van de



technische complexiteit vergeleken met de besluitvormingskracht van het team is ontstaan. Door de technische complexiteit en de ongestructureerdheid van het probleem van het project te reduceren en de besluitvormingskracht van de organisatie te vergroten of beide is het ontwerpproces ten behoeve van de ontwikkeling voor een Superbaan ontwerp op orde te houden (zie figuur 44-6).

Figuur 44-6: Vermindering van chaos in het ontwerpproces van de case [Koskela & Bertelsen, 2003]

6.2 Kansen & perspectieven

Door het ontwerpproces van de case infrastructuur Superbus met de theorie van de SE methodiek te vergelijken, zijn er kansen en perspectieven te identificeren voor het invoeren van mogelijke wijzigingen in de gevolgde ontwerpprocesinrichting. De perspectieven en kansen beslaan hierbij één of meerdere fasen en geven per onderdeel een te ondervangen knelpunt van het gevolgde ontwerpproces van de case aan. Dit is aan de hand van de verscheidende indicatoren uit eerdere analyses verkregen, zoals door middel van de herkende kenmerken en knelpunten van de case en in de vorm van de typering en karakteristieken van een SE methodiek (bijlage K). De belangrijkste te ondervangen mogelijkheden in de vorm van kansen en perspectieven vanuit een op SE gebaseerd ontwerpproces zijn onderstaand weergegeven (zie tabel 14-6).

Tabel 14-6: Kansen en perspectieven voor ondervanging van knelpunten in ontwerpproces van case

Technische complexiteit (externe projectomgeving) case	
Indicator SE	Kansen & perspectieven SE
Betrouwbaarheid	• Vroegtijdige vermindering van risico's (simulatie en visualisatie risico's in voorontwerp) • Standaard bouwrisico's worden beter beheerst • Ontwerpproces risico's worden beter onderkend en beheerst

Tabel 14-6: Kansen en perspectieven voor ondervanging van knelpunten in ontwerpproces van case

Ongestructureerdheid probleem (interne projectomgeving) case	
Indicator SE	Kansen & perspectieven SE
Dynamiek	• Gestructureerde systematische stapsgewijze expliciete project aanpak • Integraal interdisciplinair gefaseerd ontwikkelingsproces • Creativiteit en synthese worden gestimuleerd (proactieve werkwijze) • Transparante iteratieve benaderingswijze (mathematisch gebaseerd) • Een op analyse gerichte werkwijze (decompositie: probleem systeem willen begrijpen door uit elkaar te nemen, voordat je het probeert op te lossen) • Door onafhankelijk te onderscheiden projectfasen is het doel van project te structureren
Flexibiliteit	• (On-)afhankelijke alternatieve managementmethoden (disciplines & applicaties) zijn toevoegbaar, aanpasbaar en verwijderbaar gedurende het gehele proces • (On-)afhankelijke alternatieve ontwerptechnieken (modellen & werkwijzen) zijn toevoegbaar, aanpasbaar en verwijderbaar gedurende het gehele proces • Ontwerpwijzigingen zijn doorvoerbaar gedurende het gehele proces • Vrijheid in te schakelen specialismen om taken en activiteiten te volbrengen gedurende het gehele proces
Transformatie	• Systematische gestructureerde gefaseerde aanpak bestaande uit een geordende set van technische ontwikkelingstappen (iteratief voortdurend proces van taakopeenvolgingen) • Vanuit eisen naar functies, vanuit functies naar oplossingen (Start zonder invulling van oplossing) • Identificatie en beoordeling van alternatieve oplossingen (operationele scenario's van gedrag systeem onder gevarieerde condities) (Niet uitgaan van één oplossing) • Identificatie en definitie van relaties en koppelingen (allocatie en correlatie) tussen inter-acterende eisen, functies en functiedragers • Systeem wordt niet geïsoleerd van omgeving tijdens ontwikkelingsproces (koppelingen systemen met interne of externe systemen, platformen en producten)
Betrouwbaarheid	• Gedegen systeemontwikkeling verzekerd (methodiek uniform en consistent) • Integratie klanten in proces door levensduur benaderingswijze (ontrafelen wensen en behoefte gebruikers) • Leidt tot minimale ontwerpwijzigingen (doel, eisen en risico's worden vroegtijdig intensief en uitgebreid ontrafeld in voorontwerp) • Verbeterd inzicht in eisen, functies, functievervullers, externe en interne interacties (relaties) • Traceerbaarheid en naspeurbaarheid (controle: verificatie en validatie) van eisen, functies en functiedragers • Positieve effecten op nakoming project planning (indien inspanning 15-20%!)
Tijd	• Vergt meer tijd in voorontwerp (inspanning: methodiek implementeren + ontwerpen systeem) • Leid tot sneller verloop van het totale ontwerp (kortere projectplanning door tijdbesparingen in vervolgfases) (indien inspanning 15-20%!)
Kosten	• Inzet proceskosten 3-8% van totale investeringskosten project

Tabel 14-6: Kansen en perspectieven voor ondervanging van knelpunten in ontwerpproces van case

Arbeid	• Optimum inzet van methodiek 15-20% inspanning van totale project inspanning • Vraagt om intensievere inspanning in voorontwerp (inspanning: methodiek implementeren + ontwerpen systeem) • Leidt tot gemakkelijker verloop van systeemontwikkeling in vervolgfases (Zo vroeg mogelijk oppakken en verwerken) • Vereist extra sturing door besturend orgaan (management proces)
Sociale complexiteit (sociaal netwerk) case	
Indicator SE	Kansen & perspectieven SE
Communicatie	• Expliciet te communiceren (gedefinieerd ontwikkelingsproces) • Kloven tussen disciplines (verschillen in taal en paradigma's) worden overbrugd • Overzichtelijker voor projectmanagement (kapstok & standaardisatie)
Besluitvorming	• Bindende structuur tussen de opdrachtgever en opdrachtnemer (methodiek gekoppeld aan contract) • Indien kwaliteitssysteem specifiek voor project op orde is (wie, wat, wanneer en hoe?), heeft opdrachtnemer vrijheid om ontwerpproces te doorlopen (opdrachtnemer controleert eigen werk) • Gestructureerde organisatie geeft de doorslag tot succes
Informatiesysteem	• Mogelijkheid koppeling van een transparante digitale applicatie voor kennis- en visiedeling • Mogelijkheid koppeling van een transparante holistische representatie methoden (simulatie en visualisatie (alternatieve) modellen in de vorm van eisen, functies en functiedragers)
Betrouwbaarheid	• Door management proces beter controleerbaar en beheersbaar (onderhoud en bewaking) (toetsbaar & aantoonbaar) • Integere en transparante werkwijze (helder en duidelijk gedocumenteerd proces & methodiek uniform en consistent) • Voorgeschreven processen zijn beter geborgd (uitgevoerd op juiste wijze en door juiste mensen)
Kostenvergelijking case	
Indicator SE	Kansen & perspectieven SE
Kosten	• Resulteert in kostenbesparingen voor investering van ontwerp (indien inspanning 15-20%!)
Betrouwbaarheid	• Positieve effecten op nakoming investeringskosten (indien inspanning 15-20%!) • Verbetert inzicht in investeringskosten van product of systeem

6.3 Veranderingen & aanpassingen

De vergelijking tussen het ontwerpproces van de case infrastructuur Superbus en de theorie van een op SE gebaseerd ontwerpproces levert kansen en perspectieven op voor het invoeren van wijzigingen in de gevolgde ontwerpprocesinrichting. Per centrifugale kracht worden de mogelijke veranderingen en aanpassingen weergegeven. Zodoende zijn deze fragmentatie en chaos veroorzakende centrifugale krachten te reduceren en geeft het structuur in het ontwerpproces. De kansen en perspectieven voor aanpassingen en veranderingen zijn per centrifugale kracht weergegeven. Tevens zijn investeringskosten beter inzichtbaar te maken door toepassing van SE.

6.3.1 Technische complexiteit

SE biedt de volgende kansen en perspectieven om de technische complexiteit van de externe projectomgeving te reduceren:

Inzichtbaarheid risico's

De probleemstelling van de ontwerpruimte van het gevolge ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur is gedeeltelijk begrensd door het ontwerpteam van de Superbus infrastructuur, zodat het behandelbaar toegepast kon worden zonder onduidelijkheden en risico's. Echter biedt het SE perspectieven om vroegtijdige vermindering van risico's te creëren door middel van simulaties en visualisaties van risico's in het ontwerp. SE zorgt ervoor dat standaard bouwrisico's beter worden beheerst en de risico's van het ontwerpproces beter worden onderkend.

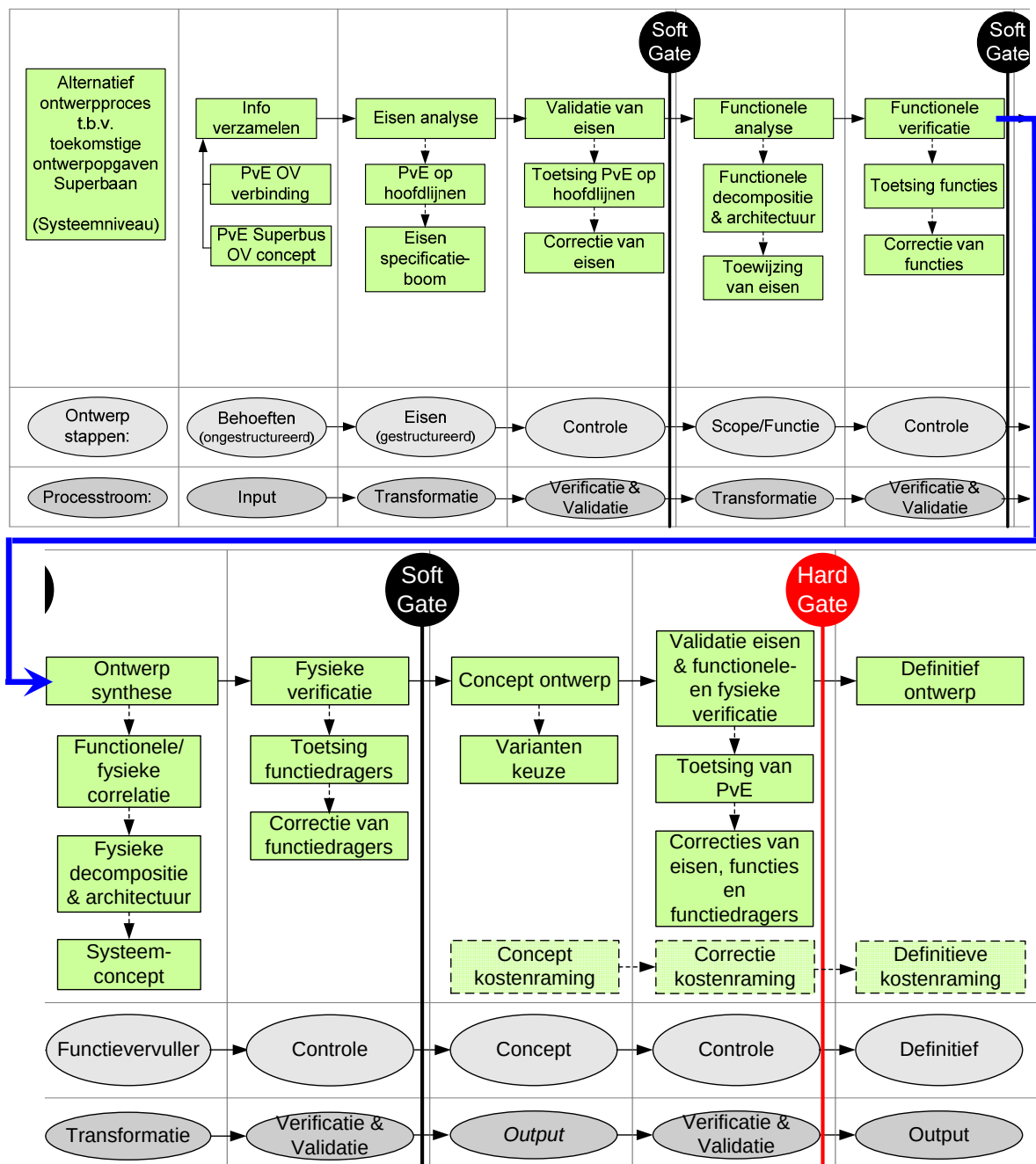
6.3.2 Ongestructureerdheid probleem

SE biedt de volgende kansen en perspectieven om de ongestructureerdheid van het probleem van de interne projectomgeving te reduceren:

Alternatieve ontwerpprocesinrichting

In het ontwerpproces van de case verliep de ontwikkeling van het ontwerp van eisen naar technische oplossingen. Daarbij werd de cruciale tussenstap van functies overgeslagen. In het alternatief ontwerpproces ten behoeve van de toekomstige ontwerpogaven voor de Superbaan wordt deze fase ondervangen door het toevoegen van een stap met een functieanalyse. Er wordt in dit proces vanuit eisen naar functies en vanuit functies naar oplossingen gewerkt, zonder dat daarbij van tevoren invulling wordt gegeven aan de oplossing. Deze systematische gefaseerde aanpak bestaat uit een geordende set van technische ontwikkelingstappen (zie figuur 45-6).

Het is een iteratief voortdurend proces van taakopvolgingen. Het bevat tevens een aantal 'Soft Gates' en een 'Hard Gate' ter afbakening van de eerder gevolgde ontwikkelingsstappen, zodat het niet tot eindeloze iteraties veroorzaakt door ontwerp wijzigingen en herstelactiviteiten leidt. Door deze uniforme en consistente methodiek wordt een gedegen systeemontwikkeling verzekerd. Tevens is het transformatieproces ten opzichte van opvolgingen in ontwerp stappen en een processtroom weergegeven. De informatiedoorstroming en waarde toevoegingen in het gevolgde ontwerpproces zijn door middel van fasen met behulp van een aantal ondersteunende onderdelen nader verklaard. In de bijlage wordt er een voorbeeld ontwerpogave voor een Superbaan op een OV verbinding tussen Drachten en Groningen met behulp van SE uitgewerkt (zie bijlage L), zodat het enige inzicht geeft in de eenduidige structuur voor de intensief te documenteren methodiek.



Figuur 45-6: Te volgen ontwerpstappen voor een alternatief ontwerpproces van de Superbaan

1. Info verzamelen

In deze fase wordt het PvE van de toekomstige OV verbinding beoordeeld en bestudeerd. Tevens wordt het PvE van het Superbus concept toegevoegd aan de ongestructureerde informatie. Deze documenten dienen als input voor het structureren van de eisen.

2. Eisen analyse

Tijdens deze fase worden de doelen en eisen van de klant voor een Superbaan op een OV verbinding verfijnd. Door de integratie van de klanten in het proces en door middel van de levensduur benaderingswijze worden de wensen en behoefte van de gebruikers ontrafeld, zodat dit leidt tot minimale ontwerpwijzigingen in het vervolg proces. Tevens worden de alternatieve oplossingen voor operationele scenario's van de OV verbinding van het systeem onder gevarieerde condities geïdentificeerd en beoordeeld, zodat er niet wordt uitgegaan van één oplossing voor de Superbaan. Het systeem wordt tijdens het ontwikkelingsproces niet geïsoleerd van de omgeving. Hierbij worden de koppelingen tussen de interne of externe systemen, platformen en producten herkend. In het PvE op hoofdlijnen worden deze prestatie eisen onderverdeeld in toegewezen en niet toegewezen eisen. Daarna wordt er aan de hand van een analyse van specificaties van eisen, elementen en koppelingen uit het PvE op hoofdlijnen een eisen specificatieboom opgezet. Tevens worden er specificaties van koppelingen van (sub-)systemen met interne of externe (sub-)systemen, platformen en producten gedefinieerd.

3. Validatie van eisen

De klantenverwachtingen en de externe randvoorwaarden worden geïdentificeerd door middel van het PvE op hoofdlijnen van de Superbaan ten aanzien van de OV verbinding te evalueren en te toetsen. Tegelijkertijd worden hierbij de operationele mogelijkheden en ondersteunende onderdelen van het systeem tijdens zijn levensduur beoordeeld. Hierbij wordt de mogelijkheid geboden om correcties door te voeren ten aanzien van de eisen.

Soft gate:

De fase van het specificeren wordt in deze stap voorlopig afgesloten, zodat er kan worden vervolgd met de functionele analyse. Tijdens de Hard Gate zal er nog éénmaal op dit betreffende abstractie niveau een controle plaatsvinden.

4. Functionele analyse

In dit onderdeel worden de functies van de Superbaan gedecomposeerd naar subsysteem functies. Hierbij wordt achterhaald welke acties het systeem moet uitvoeren en welke meetbare manier de functies moeten presteren. Vervolgens worden alle interne en externe functionele koppelingen geïdentificeerd en gedefinieerd. Tot slot worden de functionele karakteristieken van bestaande of afgeleide componenten in de Superbaan bepaald. In de functionele decompositie en architectuur wordt een functionele architectuur opgezet door een analyse van het functionele gedrag van het systeem onder gevarieerde condities te behandelen. Tijdens de eisen toewijzing worden de prestaties aan de functies toegewezen en wordt naspeurbaarheid van de prestatie eisen van het systeem gecreëerd

5. Functionele verificatie

In dit onderdeel wordt de compleetheit van de functionele architectuur vastgesteld, door middel van het gevalideerde PvE op hoofdlijnen en de geproduceerde functionele architectuur van de Superbaan ten aanzien van de OV verbinding te controleren en te toetsen op naspeurbaarheid en traceerbaarheid. Hierbij wordt de mogelijkheid geboden om correcties door te voeren ten aanzien van de functies.

Soft gate:

De fase van het opstellen van functies wordt in deze stap voorlopig afgesloten, zodat er kan worden vervolgd met het ontwerp synthese. Tijdens de Hard Gate zal er nog éénmaal op dit betreffende abstractie niveau een controle plaatsvinden.

6. *Ontwerp Synthese*

Hierbij worden systeem oplossingen in de vorm van producten gedefinieerd en ontworpen voor een oplossing van een Superbaan op een OV verbinding. De functionele architectuur wordt hiertoe vertaald in een fysieke architectuur. Hierdoor ontstaat een decompositie van elementen met interne en externe koppelingen, zodat de fysieke architectuur te controleren is op naspeurbaarheid en traceerbaarheid van de geverifieerde functionele architectuur en het gevalideerde PvE op hoofdlijnen. In de functionele/fysieke correlatie wordt de functionele architectuur toegewezen aan een fysieke architectuur door middel van het definiëren van benodigde. Er ontstaat hierdoor een groepering en allocatie van functies gekoppeld aan systemen in de vorm van logische fysieke componenten. In de fysieke decompositie & architectuur wordt een fysieke architectuur ontwikkeld door middel van het definiëren en traceren van ontwerp oplossingen in de vorm van componenten en hun relaties in een objectenboom. In het systeemconcept wordt een systeem conceptschets van de Superbaan gedefinieerd en getraceerd. Tevens zijn hierbij interne en externe fysieke koppelingen en elementen van de Superbaan met de omgeving en andere OV verbindingen te herkennen.

7. *Fysieke verificatie*

Tijdens dit onderdeel wordt de traceerbaarheid en naspeurbaarheid van het gevalideerde PvE op hoofdlijnen en de geverifieerde functionele architectuur in de fysieke architectuur van de Superbaan ten aanzien van de OV verbinding gecontroleerd en getoetst. Hierbij wordt de mogelijkheid geboden om correcties door te voeren ten aanzien van de functiedragers.

Soft gate:

De fase van het bepalen van functiedragers wordt in deze stap voorlopig afgesloten, zodat er kan worden vervolgd met de uitwerking van het concept ontwerp. Tijdens de Hard Gate zal er nog éénmaal op dit betreffende abstractie niveau een controle plaatsvinden.

8. *Concept ontwerp*

In deze fase vindt er varianten keuze voor ontwerp oplossingen van de Superbaan op de OV verbinding plaats. Het concept ontwerp wordt bepaald door het succes van de synthese, zodoende er wordt voldaan aan de klantenwensen en de maatschappelijke acceptatie. Tijdens deze fase wordt een concept kostenraming opgezet. De methodiek verbetert hierbij het inzicht in de investeringskosten van de Superbaan. Tevens is het inzicht in eisen, functies, functievervullers, externe en interne interacties verbetert. Er wordt hier niet vanuit één oplossing naar een kostenraming gewerkt, zodat de hoeveelheid- en kostenschattingen van de bestaande marktoplossingen niet leidend zijn.

9. *Validatie eisen & functionele en fysieke verificatie*

In deze fase vindt er een toetsing plaats naar het PvE van een Superbaan OV verbinding. Hierbij wordt de mogelijkheid geboden om correcties door te voeren ten aanzien van de eisen, functies en functiedragers en de kostenraming.

Hard gate:

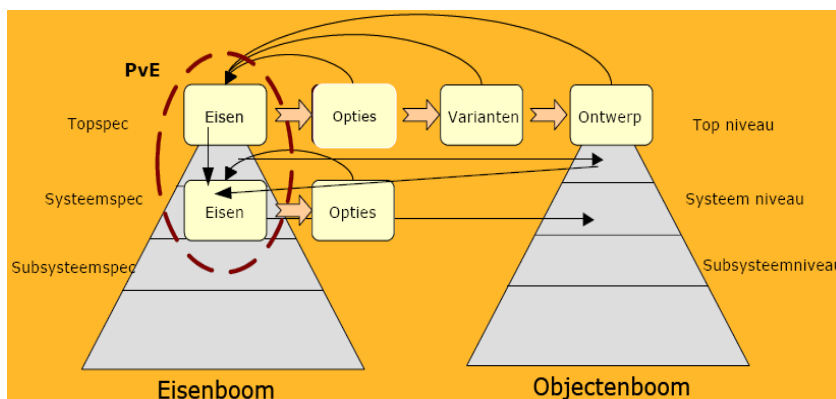
De oplossing op dit betreffende abstractie niveau wordt definitief afgesloten. Hierna kan er vervolgd worden met uitwerken van oplossingen op de lagere liggende niveaus van het systeem.

10. Definitief ontwerp

In deze fase is het ontwerp definitief op een bepaald abstractieniveau uitgewerkt. Tevens is er een definitieve kostenraming gemaakt voor de Superbaan op de betreffende OV verbinding. Het is klaar om als mobiliteitsalternatief ten aanzien van een bepaalde OV verbinding ten behoeve van een haalbaarheidsonderzoek in te dienen voor een structuurvisie. Tevens is het mogelijk om de alternatieve ontwerpprocesinrichting te gebruiken voor een voorontwerp- of definitieve ontwerpfase. Vanwege de toename in belangrijkheid ten aanzien van deze fasen zijn (on-)afhankelijke alternatieve applicaties toevoegbaar, zodat het management proces beter gecontroleerd en beheerst kan worden. Na dit definitieve ontwerp voor een Superbaan op een betreffende OV verbinding op het systeemniveau te hebben uitgewerkt, is het ontwikkelingsproces voor een gedetailleerder ontwerp uit te breiden. Daartoe wordt aan de hand van decompositiëren het systeem op lagere liggende niveaus ontworpen.

Decompositieproces

De SE methodiek biedt perspectieven voor een alternatieve ontwerpprocesinrichting voor toekomstige ontwerpogaven gebaseerd op het V-model. Tijdens het decompositieproces stelt men



eerst het doel vast en vervolgens de functie. Er wordt dan hierna pas een technische oplossing gezocht om aan deze functie te voldoen. Dit proces kan zich dan herhalen op steeds lagere schaalniveaus en wordt hierdoor de ontwerpruimte steeds kleiner (zie figuur 46-6 & 47-6).

Figuur 46-6: Het SE decompositieproces gebaseerd op het V-model [RWS, 2006]

		Specificatiegraad (Vorm)		
		Doel	Functie	Technische oplossing
Schaalniveau (Product)	Systeem	eisen	opties reduceren/varianten afwegen	Het object
	Subsystem			
	Component			
	Element			
	Materiaal			
	Bouwstof			
		eisenboom		objectenboom
		van abstract naar fijn		van abstract naar fijn

Figuur 47-6: Ontwerp van abstract- naar detailniveau [Van Herk, 2003; CROW, 2004 en RWS, 2006]

Flexibiliteit

Aangezien er in het traditionele ontwerpproces van de case weinig vrijheid werd geboden om ontwerpwijzigingen door te voeren biedt het toepassen van de SE methodiek een uitgelezen kans om deze gemiste flexibiliteit aan te brengen. De systematiek biedt namelijk de mogelijkheid om gedurende het gehele proces zonder onnodige complicaties iteratieslagen en herstelactiviteiten door te voeren in het ontwerpproces. Echter zorgt de SE toepassing zelf ook voor minimale ontwerpwijzigingen, omdat de doelen, de eisen en de risico's al vroegtijdig intensief en uitgebreid zijn gedefinieerd in het voorontwerp. Tevens bood het ontwerpproces van de case ten aanzien van de kostenraming geen mogelijkheid om de kostensystematiek te transformeren in een probabilistische kostenramingmethode. Echter biedt de SE methodiek perspectieven om gedurende het gehele proces (on-)afhankelijke alternatieve kostenramingstechnieken toe te voegen en aan te passen.

Toetsbaarheid

In het ontwerpproces van de case hebben er een aantal ongestructureerde terugkoppelingen en iteratieslagen plaatsgevonden voor de toetsing van de uitgangspunten, doelstellingen en eisen van de Superbus infrastructuur ten aanzien van het ZZL tracé. Het proces van de systeemontwikkeling kreeg daardoor een onuniform en onconsistent karakter gekregen. Aangezien de SE methodiek een integere en transparante werkwijze aanbiedt, biedt het controlemechanisme perspectieven om de traceerbaarheid en de naspeurbaarheid van eisen, functies en functiedragers te garanderen, zodat het leidt tot een beheersbaar en aantoonbaar ontwerpproces.

Tijdsbesparing

Het blijkt dat het gebruik van een SE methodiek positieve effecten heeft op de nakoming van een projectplanning. Terwijl de implementatie van de methodiek meer tijd vergt in het voorontwerp, maar uiteindelijk leidt tot tijdsbesparingen in de vervolgfases, verloopt het totale ontwerp toch sneller. Aangezien het gevolgde ontwerpproces van de Superbus infrastructuur zich heeft afgespeeld in de haalbaarheidsfase, is het niet meetbaar te vergelijken.

Inzichtbaarheid proceskosten

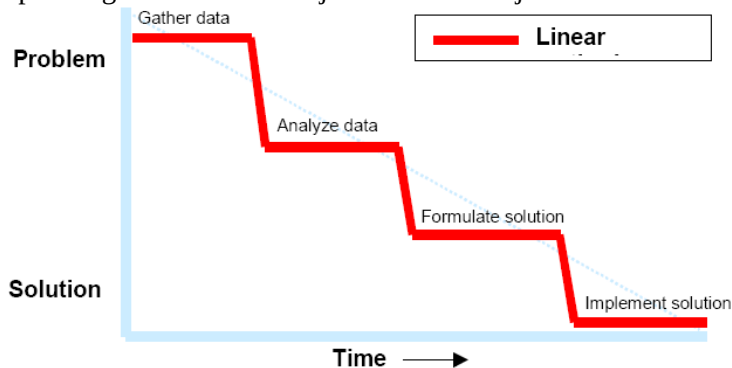
De proceskosten voor de ontwikkeling van het ontwerp van de Superbus infrastructuur waren lastig te achterhalen. Het gebruik van een SE management proces biedt perspectieven voor een betere controleerbaarheid en beheersbaarheid van de proceskosten. Door de integere en transparante werkwijze is het overzichtelijk voor het projectmanagement. De inzet van de SE proceskosten bedragen normaal gesproken 3-8% van de totale investeringskosten voor het ontwerpproject. Aangezien het gevolgde ontwerpproces van de Superbus infrastructuur zich heeft afgespeeld in de haalbaarheidsfase, is het niet meetbaar te vergelijken.

Beheersbaarheid arbeid

Het gebruik van een SE management proces biedt perspectieven voor een betere controleerbaarheid en beheersbaarheid van de arbeid. Door de integere en transparante werkwijze is het overzichtelijk voor het projectmanagement. Een SE processtart valt meestal samen met vallen en opstaan. Het is in begin lastig te vatten, omdat het een tegennatuurlijke werkhouding vereist. Echter verloopt het vervolg daarna gestructureerd en vlot. Terwijl het voorontwerp om een intensievere inspanning vraagt naar aanleiding van het implementeren van de methodiek, leidt het echter tot een gemakkelijker verloop van de systeemontwikkeling in de vervolgfases. Indien er een SE methodiek wordt toegepast dient kwalitatieve inspanning te worden geleverd, aangezien een lage kwaliteit de effectiviteit reduceert. Aangezien het gevolgde ontwerpproces van de Superbus infrastructuur zich heeft afgespeeld in de haalbaarheidsfase, is het niet meetbaar te vergelijken.

Gestructureerde dynamiek

Ten aanzien van de dynamiek van het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur zijn er een aantal kansen aan te grijpen. Door het invoeren van SE in het ontwerpproces wordt er een gestructureerde systematische stapsgewijze expliciete project aanpak gevolgd. Door deze proactieve werkwijze wordt de creativiteit en de synthese gestimuleerd. Tevens is het een transparante en iteratieve benaderingswijze. Echter dient het hierbij wel als hulpmiddel te worden gezien. Door onafhankelijk te onderscheiden projectfasen is het doel van project goed te structureren. Dit leidt tot een hoge betrouwbaarheid van het ontwikkelingsproces. Tevens omdat het gekoppelde management proces voor controle en beheersing zorgt. In het heldere en duidelijk gedocumenteerd proces bepaald de synthese het succes van de oplossing. De voorgeschreven processen zijn beter te borgen, zodat ze op de juiste wijze en door de juiste mensen worden uitgevoerd. Het SE ontwerpproces creëert een gestructureerd lineair “topdown” proces (zie figuur 48-6). Het wordt een opeenvolgend proces met afbakeningen, zodat wanneer een deel afgerond is met het volgende deel van het project kan worden begonnen. Het vanuit een probleem naar een oplossing werken is hierbij leidend. Hierbij wordt allereerst moet het probleem begrepen worden,



waarna het verzamel- en analyseproces van eisen van klanten of gebruikers kan plaatsvinden. Wanneer het probleem is gespecificeerd en de eisen zijn geanalyseerd, kan er een oplossing geformuleerd worden. Hierna kan eventueel de oplossing verder uitgewerkt en gedecomposeerd worden op onderliggende abstractieniveaus.

Figuur 48-6: Gestructureerde dynamiek van SE per abstractieniveau [Conklin, 2001]

6.3.3 Sociale complexiteit

SE biedt de volgende kansen en perspectieven om de sociale complexiteit van het sociale netwerk te reduceren:

Waterdichtheid besluitvorming

Door SE in te voeren biedt dit een aantal kansen voor een interdisciplinaire coördinatie, zodat het gedefinieerde ontwikkelingsproces expliciet te communiceren is. Echter leidt invoering van SE in het begin tot een moeilijk te krijgen draagvlak, omdat de waarde van het implementeren van deze methodiek nog niet bekend is. Het nut wordt pas meestal ingezien als het proces éénmaal op gang is. Indien het kwaliteitssysteem specifiek voor het project op orde is, heeft de opdrachtnemer de vrijheid om het ontwerpproces te doorlopen. Belangrijk is dat een gestructureerde organisatie de doorslag geeft tot het succes van het project. De toepassing is niet risicoloos, omdat het onderhoud en bewaking door projectmanagement vereist. Echter kan door het management proces de integere en transparante werkwijze beter gecontroleerd en beheerst worden. Tevens zijn de voorgeschreven processen beter te borgen tijdens een SE toepassing, zodat het op de juiste wijze en door de juiste mensen uitgevoerd wordt.

Expliciete communicatie

De SE methodiek geeft kansen voor een expliciet te communiceren gedefinieerd ontwikkelingsproces. Echter wordt hierbij wel interdisciplinaire coördinatie vereist. Tevens vereist SE meer documentatie. Indien er kloven zijn ontstaan tussen disciplines zijn ze ideaal te overbruggen door middel van het invoeren van een op SE gebaseerd ontwerpproces. Het voordeel is dat het overzichtelijker is voor het projectmanagement, omdat het als een kapstok kan worden gezien. De methodiek is te koppelen aan het contract, zodat er een bindende structuur tussen de opdrachtgever en opdrachtnemer ontstaat. Indien het kwaliteitssysteem specifiek voor project op orde is, is er geen extra communicatie meer benodigd omdat de opdrachtnemer dan de vrijheid heeft om het ontwerpproces te doorlopen. De opdrachtnemer controleert namelijk zijn eigen werk. Tevens is digitale communicatie mogelijk door koppeling van een transparante applicatie voor kennis- en visiedeling of voor transparante holistische representatie methoden. Echter is de toepassing niet geheel risicoloos, omdat het namelijk onderhoud en bewaking door het projectmanagement vereist.

Digitale werkomgeving

Tijdens het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur zijn er werkzaamheden binnen eigen bedrijfsomgeving uitgevoerd. Echter biedt SE de mogelijkheid om een informatiesysteem te koppelen aan het ontwerpproces, zodat een transparante digitale applicatie voor kennis- en visiedeling kan worden toegepast. Tevens is een koppeling van een transparante holistische representatie methode mogelijk.

Transparant informatiesysteem

Tijdens het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur zijn er visualisaties gebruikt door middel van kaarten. Tevens is er gebruik gemaakt van gedeelde digitale overdrachtsmethoden. Aan de hand het gestandaardiseerd SE ontwerpproces biedt SE kansen voor een overzichtelijker projectmanagement. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van informatiesystemen zoals een transparante digitale applicatie voor kennis- en visiedeling. Tevens is een koppeling mogelijk van een transparante holistische representatie methoden, zodat (alternatieve) modellen kunnen worden gesimuleerd en gevisualiseerd. Echter vereist de toepassing van SE onderhoud en bewaking door het projectmanagement. Door een informatiesysteem is het management proces beter controleerbaar en beheersbaar. Tevens is de werkwijze zeer integer en transparant, zodat er helder en duidelijk gedocumenteerd en gecommuniceerd kan worden.

6.3.4 Kostenvergelijking

SE biedt de volgende kansen en perspectieven om investeringskosten beter int zichtbaar te maken:

Inzichtbaarheid investeringskosten

Na het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur zijn er kanttekeningen geplaatst bij de betrouwbaarheid van de kostenraming, omdat er risicovolle kostencomponenten zijn toegepast. Tevens zijn er geen gegevens voor onderhoudskosten aan de hand van restzettingen. De SE methodiek biedt perspectieven omdat het positieve effecten heeft op de nakoming van investeringskosten. Tevens verbetert het inzicht in de investeringskosten van het systeem. De integere en transparante werkwijze zorgt een beter controleerbaar en beheersbaar management proces. Door het toepassen van SE zijn er kostenbesparingen te bewerkstelligen voor het ontwerp. Aangezien het gevolgde ontwerpproces van de Superbus infrastructuur zich heeft afgespeeld in de haalbaarheidsfase, is het niet meetbaar te vergelijken.

6.4 Conclusie

In dit hoofdstuk heeft er een identificatie plaatsgevonden naar de mogelijkheden voor een alternatieve indeling van het ontwerpproces van de Superbus infrastructuur. In paragraaf 6.1 is uitgelegd dat voor toekomstige ontwerp-opgave voor een Superbaan de mate van chaos te verminderen is, door middel van de gefragmenteerde centrifugale krachten te identificeren en vervolgens deze te reduceren. Daartoe zijn (§6.2) vanuit de empirie de verkregen kenmerken en knelpunten ten aanzien van de case ontwerpproces Superbus infrastructuur vergeleken met de karakteristieken en typering van de SE methodiek. Hiertoe zijn vanuit het op SE gebaseerd ontwerpproces kansen en perspectieven geïdentificeerd om onderdelen in het gevolgde ontwerpproces van de case te ondervangen. Er zijn vervolgens mogelijke door te voeren veranderingen en aanpassingen voor een gewijzigde ontwerpprocesinrichting in paragraaf 6.3 voorgesteld.

6.4.1 Beantwoording deelvraag 3

De inmiddels verkregen resultaten stellen instaat om deelvraag 3 van het onderzoek te beantwoorden. Na de formulering van deelvraag 3 uit het onderzoeksontwerp, wordt vervolgd met de beantwoording van deelvraag 3 van onderzoek. Deelvraag 3 van het onderzoek luidt als volgt:

“Welke perspectieven voor een andere indeling van het ontwerpproces vanuit een weergave van kansen levert de vergelijking tussen het ontwerpproces van de case en het op SE gebaseerde ontwerpproces op?”

Door het ontwerpproces van de case infrastructuur Superbus met de theorie van de SE methodiek te vergelijken, zijn er kansen en perspectieven geïdentificeerd voor het invoeren van mogelijke wijzigingen in de gevolgde ontwerpprocesinrichting. Ten aanzien van het doel om de complexiteit veroorzaakt door de gefragmenteerde krachten te reduceren en de knelpunten en de kenmerken van de case ontwerpproces Superbus infrastructuur te ondervangen zijn daartoe de belangrijkste typering en karakteristieken van een op SE gebaseerde ontwerpmethodiek samengevat:

- Ten aanzien van de technische complexiteit (externe projectomgeving):
 - Beheersing van risico's en inzicht in risico's
- Ten aanzien van de ongestructureerdheid van het probleem (interne projectomgeving):
 - Gestructureerd, proactief, transparant en analytisch
 - Managementmethoden, ontwerp-technieken, ontwerp-wijzigingen inpasbaar
 - Niet uitgaan van één oplossing
 - Systeem niet van omgeving geïsoleerd
 - Verbetert inzicht in behoefte en wensen
- Ten aanzien van de sociale complexiteit (sociaal netwerk):
 - Expliciet te communiceren
 - Overzichtelijker voor projectmanagement
 - Koppeling van digitaal informatie- en visualisatiesysteem
 - Door management proces beter controleerbaar en beheersbaar
 - Voorgeschreven processen zijn beter geborgd
- Ten aanzien van de kostenvergelijking:
 - Resulteert in kostenbesparingen voor investering van ontwerp
 - Positieve effecten op nakoming investeringskosten
 - Verbetert inzicht in investeringskosten van product of systeem

6.4.2 Beantwoording deelvraag 4

De inmiddels verkregen resultaten stellen instaat om deelvraag 4 van het onderzoek te beantwoorden. Na de formulering van deelvraag 4 uit het onderzoeksontwerp, wordt vervolgd met de beantwoording van deelvraag 4 van onderzoek. Deelvraag 4 van het onderzoek luidt als volgt:

“Wat leert ons de vergelijking tussen het ontwerpproces van de case en het op SE gebaseerde ontwerpproces met het oog op het doen van aanbevelingen en voorstellen in de vorm van veranderingen en aanpassingen voor een gewijzigde ontwerpprocesinrichting in de toekomst, zodat dit kan leiden tot betere resultaten voor een nieuwe ontwerpgevare van een Superbaan?”

De vergelijking tussen het ontwerpproces van de case infrastructuur Superbus en de theorie van een op SE gebaseerd ontwerpproces levert kansen en perspectieven op voor het invoeren van wijzigingen in de gevolgde ontwerpprocesinrichting. Per centrifugale kracht worden de mogelijke veranderingen en aanpassingen weergegeven. Zodoende zijn deze fragmentatie en chaos veroorzakende centrifugale krachten te reduceren en geeft het structuur in het ontwerpproces. Ten aanzien van het doel om de knelpunten en de kenmerken van de case ontwerpproces Superbus infrastructuur te ondervangen zijn daartoe de belangrijkste kansen en perspectieven van een op SE gebaseerde ontwerpmethodiek samengevat:

- Ten aanzien van technische complexiteit:
 - Risico's in een vroeg stadium inzichtbaar maken.
- Ten aanzien van ongestructureerdheid probleem:
 - Structuur aanbrengen voor een systematische werkwijze.
 - Een geordende set van taakopvolgingen toepassen.
 - Uitgaan van synthese, middels analysemethode: eis-functie-functiedrager.
 - V-model met abstractieniveaus hanteren, zodat iteraties zijn vastgelegd.
 - Flexibiliteit aanbrengen, zodat zonder complicaties wijzigingen door te voeren zijn.
 - Toetsbaarheid vergroten door naspeurbaarheid en traceerbaarheid te verhogen.
 - Beheersbaarheid processen vergroten door controlemechanisme aan te brengen.
- Ten aanzien van sociale complexiteit:
 - Communicatie expliciet maken door gedocumenteerd proces.
 - Kennis- en visiedeling vergroten door werkomgeving te digitaliseren.
- Ten aanzien van kostenvergelijking
 - Inzichtbaar maken van investeringskosten door gekoppelde kostenraming

Deze bevindingen geven aanleiding tot voorstellen en aanbevelingen in de vorm van veranderingen en aanpassingen voor een gewijzigde ontwerpprocesinrichting in de toekomst, zodat dit kan leiden tot betere resultaten voor een nieuwe ontwerpgevare van een Superbaan. Daartoe vind in het volgende hoofdstuk de eindconclusie van het onderzoek plaats.

7 Conclusie & aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan. Het hoofdstuk vangt aan met paragraaf 7.1 waarin een samenvatting van het onderzoek is gegeven. Hier opvolgend worden conclusies getrokken in paragraaf 7.2 plaats. Tot slot worden in paragraaf 7.3 aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek en vergelijkbare toekomstige ontwerpgegevens.

7.1 Samenvatting

In hoofdstuk 3 is een oriëntatie uitgevoerd op de complexiteit van ontwerpprocessen in het algemeen en op de complexiteit van infrastructurele ontwerpprocessen in het bijzonder. Daaropvolgend zijn middels de theorie van complexiteit kenmerken en knelpunten van het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur ZZL in hoofdstuk 4 geïdentificeerd. Met als doel een verbeterd ontwerpproces te identificeren, is in hoofdstuk 5 een oriëntatie uitgevoerd op de theorie van vooruitstrevende ontwerpprocessen in het algemeen en een op SE gebaseerd ontwerpproces in het bijzonder. Vervolgens zijn middels een vergelijking tussen de theorie van op SE gebaseerde ontwerpprocessen en de te ondervangen knelpunten en kenmerken, kansen en perspectieven voor door te voeren veranderingen en aanpassingen in het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur in hoofdstuk 6 weergegeven. Deze bevindingen geven aanleiding tot conclusies en aanbevelingen voor een gewijzigd ontwerpproces in de toekomst, dat kan leiden tot betere resultaten voor nieuwe ontwerpgegevens van een Superbaan.

7.2 Conclusie

In deze paragraaf worden allereerst de kansen en perspectieven voor een alternatief ontwerpproces weergegeven, waarna er vervolgd wordt met een kritische blik op de waarde van het onderzoek. Daarna wordt de geschiktheid en de waarde van SE in een haalbaarheidsonderzoek beschreven. Tot slot wordt een eindconclusie van het onderzoek getrokken.

7.2.1 Kansen en perspectieven voor een alternatief ontwerpproces

Dit onderzoek heeft zich gericht op het traceren van verbeteringen van het gevolgde ontwerpproces ten behoeve van nieuwe ontwerpgegevens van een Superbaan. In het onderzoek zijn kenmerken en knelpunten van de het gevolgde ontwerpproces geïdentificeerd en zijn kansen en perspectieven voor in geval van een ander ontwerpproces vastgesteld. Deze zijn gegroepeerd naar de volgende aspecten:

1. Inzicht in ontwerp- en bouwisico's
2. Structureren van transformatieproces
3. Bewaking van middelen
4. Inperken van procesdynamiek
5. Organisatievermogen en besluitvorming
6. Kwalitatieve communicatie bevorderen
7. Werkrumte & informatieoverdracht

1. Inzicht in ontwerp- en bouwisico's

Knelpunt/kenmerk: Er zijn bestaande technieken en deeloplossingen gebruikt voor het ontwerp van de Superbaan. Echter fluctueert de ervaringskennis van een aantal toegepaste onderdelen in de conceptoplossing. Deze onzekerheden hebben geleid tot zeer gevarieerde risicoanalyses, waarbij aanzienlijke kostenverhogingen zijn ontstaan in de kostenraming van de Superbus infrastructuur.

Kans/perspectief: Door het toepassen van SE kunnen risico's vroegtijdig inzichtbaar worden gemaakt. Dit wordt gedaan middels simulatie- en visualisatietechnieken. Tevens zorgt SE ervoor dat standaard bouwrisico's beter worden beheerst. En heeft de methodiek positieve effecten op de nakoming en het inzicht van investeringskosten en functionaliteit. Daardoor zijn kostenbesparingen te bewerkstelligen voor het ontwerp.

2. Structureren van transformatieproces

Knelpunt/kenmerk: Er is vanuit voorgeschreven middelen en eigen verkregen gegevens gewerkt, waarbij ontwerpnormen en –richtlijnen zijn toegepast. Extra informatie en opmerkingen hebben geleid tot herstelactiviteiten, waardoor kostenverhogingen zijn ontstaan. Tijdens het proces zijn zoveel mogelijk onduidelijkheden en risico's uitgesloten. Er is vanuit één operationele oplossing naar een kostenraming gewerkt. Hierbij zijn hoeveelheid- en kostenschattingen van het tracé leidend geweest. Er is niet op functionaliteit ontworpen. De toetsingen van doelstellingen zijn ongestructureerd iteratief teruggekoppeld.

Kans/perspectief: Door het invoeren van SE verloopt het proces vanuit eisen via een functionele analyse naar oplossingen, zonder dat daarbij van tevoren invulling wordt gegeven aan de oplossing. SE bestaat uit een uniforme transparante gefaseerde aanpak met een geordende set van technische ontwikkelingstappen. Het bevat afbakening- en controle activiteiten, zodat iteraties cyclisch verlopen. De werkwijze van SE zorgt voor een beheersbaar en aantoonbaar ontwerpproces. SE is gestoeld op informatiedoorstroming en waarde toevoeging. Tijdens het toepassen van SE zijn herstelactiviteiten flexibel door te voeren, zodat een gedegen systeemontwikkeling verzekerd is. Het ontwerpproces van SE verloopt via abstractieniveaus volgens het V-model, zodat de ontwerpruimte als een trechter steeds kleiner wordt.

3. Bewaking van middelen

Knelpunt/kenmerk: Vanwege de deadline voor het indienen van het alternatief is de tijd leidend geweest. De ontwerpkosten en arbeidsuren zijn niet leidend geweest, waardoor deze lastig te achterhalen zijn. In het onderzoek zijn de ontwerpkosten op €65.000, - geraamd. Deze waarde is ontstaan vanuit een schatting van 865 manuren.

Kans/perspectief: De SE methodiek heeft positieve effecten op de nakoming van de projectplanning. Ondanks het intensieve voorontwerp, leidt het uiteindelijk tot tijdsbesparingen. Door de integere en transparante werkwijze is het overzichtelijk voor het projectmanagement. De inzet van de SE proceskosten bedragen normaal gesproken 3-8% van de totale investeringskosten. Een SE processtart valt meestal samen met vallen en opstaan. Het is in begin lastig te vatten, omdat het een tegennatuurlijke werkhouding vereist. Echter leidt het uiteindelijk tot een gemakkelijkere systeemontwikkeling. Het gebruik van een SE management proces zorgt voor een betere controleerbaarheid en beheersbaarheid van de planning, proceskosten en arbeid.

4. Inperken van procesdynamiek

Knelpunt/kenmerk: De aanpak voor het oplossen van het probleem is traditioneel en reactief verlopen, waarbij de werkzaamheden de opeenvolgingen van taken hebben bepaald. Deze creatieve procesinrichting heeft mede onder tijdsdruk het eindresultaat bepaald. Het proces is deels fase per fase verlopen als een opeenvolgend proces met afbakeningen en deels volgens als een kansgedreven karakter in een niet lineaire volgorde van activiteiten.

Kans/perspectief: Door het invoeren van SE wordt er een transparante gestructureerde systematische stapsgewijze expliciete project aanpak gevolgd. Door deze proactieve werkwijze wordt de creativiteit en de synthese gestimuleerd. Door de onafhankelijk te onderscheiden projectfasen is het doel van project goed te structureren. Dit leidt tot een hoge betrouwbaarheid van het ontwikkelingsproces. Het SE ontwerpproces heeft een lineaire structuur als een opeenvolgend proces met afbakeningen.

5. Organisatievermogen en besluitvorming

Knelpunt/kenmerk: De achtergrond van de ontwerpers heeft niet gezorgd voor polariteit. De kleine ontwerpomgeving heeft geleid tot een beperkte kennis. De opstelling is professioneel doch vrij geweest. Tijdens het proces heeft de projectorganisatie voor ondersteuning gezorgd naar aanleiding onduidelijkheden. Het beperkte netwerk en de gemotiveerde inzet hebben geleid tot een voorspoedige ontwikkeling. Dit heeft uiteindelijk het ontwerpresultaat mede bepaald.

Kans/perspectief: SE biedt de mogelijkheid voor een interdisciplinaire coördinatie, zodat het gedefinieerde ontwikkelingsproces expliciet te communiceren is. Echter leidt invoering van SE in het begin tot een moeilijk te krijgen draagvlak. Het nut wordt pas meestal ingezien als het proces éénmaal opgang is. Indien het kwaliteitssysteem specifiek voor het project op orde is, heeft de opdrachtnemer de vrijheid om het ontwerpproces te doorlopen. Belangrijk is dat een gestructureerde organisatie de doorslag geeft tot het succes van het project. De toepassing is niet risicoloos, omdat het onderhoud en bewaking door projectmanagement vereist. Echter kan door het management proces de integrale werkwijze beter gecontroleerd en beheerst worden. De voorgeschreven processen zijn beter te borgen, zodat het op de juiste wijze en door de juiste mensen uitgevoerd wordt.

6. Kwalitatieve communicatie bevorderen

Knelpunt/kenmerk: Er hebben naar aanleiding van voortgangsrapportages wekelijks overleggen plaatsgevonden. Deze zijn meestal 1 op 1 gevoerd. Tevens is hierbij gebruik gemaakt van telefonisch en digitaal verkeer.

Kans/perspectief: De SE methodiek is expliciet te communiceren, omdat het een gedefinieerd ontwikkelingsproces betreft. De werkwijze is overzichtelijker voor het projectmanagement, omdat het als een kapstok dient. Het vereist echter meer documentatie. Tevens is SE te koppelen aan een contract, zodat er een bindende structuur ontstaat tussen betrokken partijen. Indien het kwaliteitssysteem specifiek voor project op orde is, is geen extra communicatie meer benodigd. De opdrachtnemer controleert namelijk zijn eigen werk.

7. Werkruimte en informatieoverdracht

Knelpunt/kenmerk: De werkzaamheden hebben naast eigen bedrijfsprocessen en -omgevingen plaatsgevonden. Echter heeft overleg ook buiten de omgevingen plaatsgevonden. Tijdens overleg is er gebruik gemaakt van topografische kaarten als visualisatie. De informatieoverdracht heeft plaatsgevonden via de traditionele digitale methoden.

Kans/perspectief: SE biedt de mogelijkheid om een informatiesysteem te koppelen aan het ontwerpproces, zodat een transparante digitale applicatie voor kennis- en visiedeling en een holistische representatie methode voor visualisatie en simulatie kan worden toegepast. Echter vereist de toepassing van SE onderhoud en bewaking door het projectmanagement. De werkwijze maakt een helder en duidelijk gedocumenteerd en gecommuniceerd proces mogelijk. Echter is de toepassing niet geheel risicoloos, omdat het namelijk onderhoud en bewaking door het projectmanagement vereist.

7.2.2 Kritische blik op de waarde van het onderzoek

Echter is tijdens dit onderzoek niet bewezen dat het geïdentificeerd gewijzigd op SE gebaseerd ontwerpproces expliciet leidt tot een beter ontwerpresultaat voor een nieuwe opgave van een Superbaan. Het voorgestelde op SE gebaseerde theoretisch ontwerpproces is niet bewezen middels een testcase en daardoor ook niet gevalideerd en geverifieerd middels een expertmeeting. De resultaten uit het onderzoek geven enkel aan dat er naar aanleiding van de onderzochte wetenschappelijke literatuur, vanuit de theorie van complexiteit van ontwerpprocessen en de theorie van op SE gebaseerde ontwerpprocessen, te onderbouwen mogelijkheden liggen om veranderingen en aanpassingen door te voeren ten aanzien van het gevolgde ontwerpproces van de case. Daartoe zijn een aantal te benutten kansen vanuit de SE theorie geïdentificeerd en voorgesteld. SE biedt namelijk perspectieven om een aantal knelpunten uit het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur te ondervangen. Hierbij is het niet uit te sluiten dat de toepassing van een op SE gebaseerd ontwerpproces betere resultaten oplevert voor een nieuw ontwerp van een Superbaan.

7.2.3 Geschiktheid en waarde van SE in een haalbaarheidsonderzoek

Het gevolgde ontwerpproces van de case Superbus infrastructuur is tijdens een haalbaarheidsfase verricht ten behoeve van een concept ontwerp met een kostenraming. Deze fase heeft als doel oplossingsrichtingen te zoeken om technische-, economische-, financiële- en juridische haalbaarheid te onderzoeken. Het project verkeert hierbij in onzekerheid voor toekomstige uitvoering van een definitief ontwerp of implementatie. De vraag is of hierbij de probleemformulering in de toekomst gelijk blijft ten aanzien van de wensen en behoeften. En is het hierbij sterk afhankelijk van de besluitvorming op politiek niveau, waarbij de factoren nut en noodzaak en een vrij te maken budget een beslissende rol spelen. De vraag is of SE, met de daarbij behorende inspanning en middelen, in een dergelijke fase van een project meerwaarde oplevert.

Naar mijn mening is enerzijds de expliciete werkwijze van SE niet efficiënt en effectief om het tijdens een haalbaarheidsfase uit te voeren. Het is naar mijn mening namelijk vrij onwaarschijnlijk dat een ontwerp naar aanleiding van een haalbaarheidsstudie zonder herformulering wordt voortgezet in de opvolgende fasen. De SE methodiek is naar mijn mening effectiever en efficiënter toe te passen voor een ontwerpogave die tijdens een voorontwerp of definitief ontwerp plaats vindt, omdat hierbij het project reeds getoetst is op de haalbaarheid. De toekomstwaarde van het project is daardoor middels een mogelijke tender in de vorm van een definitief ontwerp of uitvoering verzekerd.

De pragmatische principes van SE bieden anderzijds naar mijn mening wel degelijk perspectieven tijdens een haalbaarheidsfase. Naar mijn mening is een minder expliciete vorm van SE effectiever en efficiënter om het doel te bereiken van een haalbaarheidsfase. Er kan hierbij worden gedacht aan een methodiek in de vorm van een VE studie, waarbij op functionaliteit ontwerpen ook een primair principe is. Deze methodiek is veel minder tijdsrovend en dwingt tevens proactief denken en benaderen af. Een ander voordeel van een op SE gebaseerde methodiek wordt geleverd door de flexibiliteit van deze werkwijzen. Zij creëren namelijk allen mogelijkheden voor een hoge mate van aanpasbaarheid in het ontwerpproces, zodat het product of het proces ook expliciet een meerwaarde en toekomstwaarde heeft.

Naar mijn inziens is het hierbij belangrijk dat het doel van een haalbaarheidsonderzoek niet uit het oog verloren wordt. Tevens ligt het principe van SE in de lijn met de huidige verandering van een normen- naar een doelencultuur, waarbij samenwerking het sleutelwoord is. Het is tegenwoordig een trend om langere termijndoelen voor infrastructuurontwikkeling op te stellen. Hierbij gaat men uit van het opstellen van eisen zonder richting te geven aan oplossingen, zodat de markt de vrijheid krijgt om eigen betere oplossingen te bedenken.

7.2.4 Eindconclusie van het onderzoek

Naar mijn mening bieden de onderdelen van een op SE gebaseerd ontwerpproces meer kansen om tot een beter resultaat voor een nieuw ontwerp van een Superbaan te komen. Daartoe is het verstandig om de pragmatische principes van SE zeer beperkt in te voeren in het ontwerpproces voor een toekomstige ontwerpogave. Er zijn een aantal onderdelen uit SE die hiervoor expliciet te gebruiken zijn, zoals VE en LCC. Hierdoor wordt het ontwerpen op hoogwaardige functionaliteit beter geborgd, zodat de toekomstwaarde van het proces en het ontwerpproces wordt vergroot. En tevens de naspeurbaarheid en traceerbaarheid wordt verhoogd, zodat dit uiteindelijk leidt tot een betrouwbare methodiek en een gedegen systeemontwikkeling.

7.3 Aanbevelingen

Tijdens de beschrijving van de conclusies en aanbevelingen zijn er een aantal nieuwe mogelijke onderzoeksvragen ontstaan. Er zijn aanbevelingen voor vervolg onderzoek ten aanzien van het onderzoeksprogramma van de Superbus en de wetenschap weergegeven.

Het is mogelijk om SE als testcase tijdens een haalbaarheidsonderzoek voor nieuwe ontwerpogaven toe te passen, zodat de waarde van een op SE gebaseerde ontwerpprocesinrichting bewezen kan worden. Het moet tevens antwoord geven of het ontwerpresultaat in positieve zin wezenlijk afwijkt van het concept ontwerp van de Superbus infrastructuur. Tevens is de toepassing van VE in de vorm van een 3 á 5 weken durende Value studie inclusief een 1 á 2 week durende workshop te hanteren ten aanzien van een nieuwe ontwerpogave.

Indien er wordt vervolgd met ontwerptraject in een voorontwerp ten aanzien van de ZZL is een alternatief ontwerp op het tracé te maken middels gebruikmaking van SE. Deze methodiek is hierbij toe te passen met als doel een herontwerp op het ZZL tracé te ontwikkelen, zodat het kostenreductie en kwaliteitsvermeerdering oplevert. Tevens is gebruikmaking van VE in de vorm van een herontwerp op het ZZL tracé met als doel kostenreductie en kwaliteitsvermeerdering op te leveren een mogelijke optie. Hierbij kunnen de basisfuncties uit het concept ontwerp geïdentificeerd worden, met als doel op 80% van het ontwerp 20% kostenbesparingen te leveren.

Het is tevens mogelijk om de expliciete waarde en geschiktheid van SE ten opzichte van een haalbaarheidsonderzoek te onderzoeken. Tevens zou de waarde en geschiktheid van SE in een haalbaarheidsonderzoek nader onderzocht kunnen worden in vergelijking met een traditioneel ontwerpproces. Hierbij kan onderzocht worden of SE met het oog op de effectiviteit en efficiëntie een meerwaarde oplevert ten opzichte van de te leveren inspanning.

Begrippenlijst

In het afstudeerrapport worden een aantal begrippen en termen gebruikt die nader omschreven dienen te worden. Dit om de interpretatie van die termen eenduidig te maken en daarmee onduidelijkheden te voorkomen. De betekenis van de termen zijn onderstaand weergegeven.

Ontwerpproces

“Een ontwerpproces is een georganiseerde samenstelling van doelgerichte activiteiten en taakopvolgingen, uit te voeren door mensen, machines, computers of een combinatie van deze, waarbij een set van inputs te transformeren zijn in een set van outputs. Hierbij staat het uiteindelijke gebruik van het ontwerp centraal. Het heeft als doel vroegtijdige onzekerheden in te perken die voortkomen uit het oplossen van een ontwerp-opgave en is onder andere multi-actor, complex en onvoorspelbaar [Veenliet & Rinket, 2001; Van Herk, 2003 en Oliver, Kelliher en Keegan, 2003]”.

Zuiderzeelijn (ZZL)



De ZZL moet een snelle OV-verbinding van Schiphol via Amsterdam-Zuid WTC naar Almere, Lelystad, Emmeloord, Heerenveen, Drachten en Groningen worden en voorziet in een snelle aansluiting met Leeuwarden, zodat het een verbetering van de bereikbaarheid van het noorden en de Noordvleugel van de Randstad beoogd [Marinus, Van der Meijs en Sarink, 2000]. Als mogelijke oplossingen op het ZZL tracé (rode lijn) zijn een aantal openbaar vervoersverbindingen onderzocht, zoals een MZB, een HSL, een intercityverbinding en de Superbus (zie figuur).

Figuur: ZZL tracé (rode lijn: A'dam naar Groningen [Marinus, Van der Meijs en Sarink, 2000]

Superbus concept

Het is een innovatief vraagafhankelijk punt-tot-punt HOV systeem. De gebruikers kunnen hierbij de vervoersdienst via internet of gsm bestellen. Het systeem zal mensen met dezelfde eindbestemming zoveel mogelijk samenbrengen, zodat Superbus weinig of geen tussenstops hoeft te maken bij reizen over langere afstanden. Het concept combineert de snelheid van een HSL met de flexibiliteit en comfortabelheid van een auto, zodat het mobiliteitssysteem kan concurreren met de auto en trein. Het concept gaat uit van voertuigen die met een hoge snelheid van 150 tot 250 km/u op daarvoor aan te leggen eigen ‘Superbanen’ en met normale snelheid op bestaande wegen kunnen rijden [Ockels, 2004 & Melkert, 2006B] (zie figuur).



Figuur: Zijaanzicht van Superbus [Ockels, 2004 & Melkert, 2006]

Bouwdoos Infrastructuur Superbus (BIS)

De BIS bevat een aantal noodzakelijke componenten en elementen voor het functioneren van het innovatieve concept van het HOV Superbus systeem (zie figuur). Het totale ontwerp is gevormd door de samenvoeging van de ontworpen subsystemen. Er is gekozen voor deze decompositie vanwege de complexiteit en verschillende specialisme [Melkert, 2006A]. Hierbij zijn de gehanteerde uitgangspunten voor het concept een zoveel mogelijk gebruik van een vrije baan,



weinig halteplaatsen en mogelijkheden tot hoge snelheden van 250 km/h. Bij het ontwikkelen van deze BIS is uitgegaan van het MZB 0 bundelingvariant tracé. Dit tracé heeft namelijk zoveel mogelijk aansluiting met de bestaande infrastructuur (A4, A10, A2, A9, A1, A6 en A7), zodat dit leidt tot gunstige effecten op inpassing- en geluidaspecten.

Figuur: Infrastructuur voor Superbus [Melkert, 2006A]

Kostenraming van het ZZL tracé voor de Superbus

Er is een kostenraming gemaakt voor het ZZL tracé voor de Superbus [Melkert, 2006B]. Dit heeft een adequate kostenraming opgeleverd voor het Superbus ZZL tracé met een probabilistische benadering. Voor de kostenraming is een vergelijkbaar systeem gebruikt als bij de andere alternatieven vermeld in de structuurvisie van het ZZL tracé. De koppeling van de kosten aan de componenten en elementen heeft geleid tot een gedetailleerde en betrouwbare kostenraming aan de hand van het ZZL tracé op hoofdlijnen. Hierbij is de standaard kostensystematiek van het CROW [2002] gehanteerd.

Bijdragen voor de Strategische Milieubeoordeling van de Superbus (SMB)

In het kader van de Structuurvisie voor de ZZL is ook een SMB uitgevoerd. Dit document levert een bijdrage voor het uitvoeren van een SMB voor de Superbus. In de SMB komen de volgende onderwerpen als landschap, natuur inpassing en vormgeving, geluid, bodem en water, energie, emissies en luchtkwaliteit en externe veiligheid, enz. aan de orde. Het uitgangspunt is hierbij het ontwikkelen van een milieuvriendelijk Superbus concept. Dat heeft zowel betrekking op het voertuig als de benodigde infrastructuur als de exploitatie [Verduyck & Melkert, 2006A].

Marktverkenning Superbus alternatief

Er is een onafhankelijke marktcheck uitgevoerd in opdracht van de projectorganisatie ZZL naar de haalbaarheid van het Superbus concept op het ZZL-tracé. Hiervoor heeft het consortium, bestaande uit Evers Logistics Research, Volkers Wessels Infraontwikkeling en Connexxion, een Businesscase uitgevoerd. Deze opdracht is met name door de projectorganisatie ZZL uitgeschreven met als doel een ontwerp oriëntatie en kostenraming te bewerkstelligen. Hierbij is het bedrag van het concept velen malen lager uitgekomen vergeleken met de kostenraming van het ontwerpteam vanuit de TUDelft van het Superbus concept. Dit consortium heeft in tegenstelling tot de betonnen Superbaan van de TUDelft een asfalt oplossing voor het wegdek gebruikt. De marktpartijen hebben een vergoeding van € 50.000,- ontvangen voor het uitvoeren van de businesscase [Melkert & Smits, 2007].

Fitcriterium

Een fitcriterium geeft aan hoé en óf een zekere oplossing in overeenstemming kan zijn met een bepaalde randvoorwaarde. Een fitcriterium zegt ook iets over de zekerheid of aan een randvoorwaarde kan worden voldaan. Als het fitcriterium niet met zekerheid vastgesteld kan worden dan is de voorwaarde onduidelijk of wordt slecht begrepen. Als er in het geheel geen fitcriterium te bepalen is dan is het vooraf onbekend of de oplossing aan de gestelde voorwaarde zal voldoen [Veenvliet & Rinket, 2001].

Wens of behoefte

Bewust verlangen naar iets, waarvan het onzeker is of men dit wel krijgen kan of terwijl een betrachting [Van Dale, 2007].

Eis

Zeer krachtig verzoek om iets of wat een persoon of zaak verlangt om tot zijn recht te komen [Van Dale, 2007].

Vereiste

Dat wat vereist wordt [Van Dale, 2007].

Uitgangspunt

Beginsel dat of veronderstelling die men aanneemt [Van Dale, 2007].

Functie

Doel dat iets heeft binnen een geheel, werking of rol [Van Dale, 2007].

Literatuurlijst

Boeken / publicaties / rapporten / normen / artikelen / documenten

- Akin, D.L.**, *Systems Engineering Fundamentals*, Principles of Space Systems Design, University of Maryland (VS, 2006)
- Ballard, G. & Whelton, M.**, *Wicked problems in project definition* (VS, 2002)
- Ballard, G., Whelton, M. en Tommelein, I.**, *Application of design rationale systems to project definition – establishing a research project* (VS, 2001)
- Bertelsen, S. & Emmitt, S.**, *The client as a complex system* (VS, 2005)
- Bertelsen, S.**, *Construction as a complex system* (VS, 2003)
- Cluitmans, C., Schoemakers, M., van der Vlist, M., Wassink, B.**, *Effecten en kosten van bereikbaarheidsmaatregelen*, Eindrapport, Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer (Arnhem, 2002)
- Conklin, J.**, *Wicked Problems and Social Complexity* (VS, 2001)
- CROW**, *Aansprakelijkheid beheer openbare ruimte*, publicatie 185, Kenniscentrum voor verkeer, vervoer en infrastructuur (Ede, 2003)
- CROW**, *Handboek wegontwerp*, basiscriteria, publicatie 164a, Kenniscentrum voor verkeer, vervoer en infrastructuur (Ede, 2002a)
- CROW**, *OV-vriendelijke infrastructuur*, publicatie 141, Kenniscentrum voor verkeer, vervoer en infrastructuur (Ede, 1999)
- CROW**, *Richtlijn essentiële herkenbaarheidkenmerken van weginfrastructuur*, publicatie 203, Kenniscentrum voor verkeer, vervoer en infrastructuur (Ede, 2004)
- CROW**, *Richtlijn functionele eisen wegfunderingen*, publicatie 205, Kenniscentrum voor verkeer, vervoer en infrastructuur (Ede, 2004)
- CROW**, *Van functie tot bouwstof*, Leidraad specificeren, publicatie 211, Kennisplatform voor infrastructuur, verkeer, vervoer en openbare ruimte (Ede, 2004)
- DeFoe, J.C. & Van der Ploeg, M.**, *An identification of pragmatic principles: Pragmatische principes van Systems Engineering*, INCOSE & UTwente (Enschede, 1993 & 1999)
- Dijkstra, A. & Hummel, T.**, *Veiligheidsaspecten van het concept 'Bypasses voor Bereikbaarheid'*, Analyse van het concept van TNO Inro 'In het perspectief van Duurzaam Veilig', Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid, SWOV (Leidschendam, 2004)
- Dijkstra, A.**, *Infrastructurele verkeersvoorzieningen en hun veiligheidsaspecten*, betekenis van de verschillende soorten verkeersvoorzieningen voor een duurzaam-veilig verkeers- en vervoerssysteem, Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid, SWOV (Leidschendam, 2003)
- DoD**, *Designing and Assessing Supportability in DoD Weapon Systems*, A Guide to Increased Reliability and Reduced Logistics Footprint (Washington, VS, 2003)
- DoD**, *Handbook Work Breakdown Structure*, MIL-HDBK-881 (Washington, VS, 1998)
- DoD**, *Military Handbook Configuration Management Guidance*, MIL-HDBK-61 (Washington, VS, 1997)
- DoD**, *Military Handbook Configuration Management Guidance*, MIL-HDBK-61A (Washington, VS, 2001)

- DoD**, *Naval Systems Engineering Guide*, Memorandum of understanding for an introduction and promulgation of the naval systems engineering guide, VS-MOU-20 (Washington, VS, 2004)
- DoD**, *Value Engineering Handbook*, Department of Defense, DoD 4245.8-H (Washington, VS, 1986)
- Gross, T.**, *Providing Contextual Information About Stakeholders* (UK, 1998)
- Honour, E.C.**, *Understanding the Value of Systems Engineering*, Honourcode Inc. (VS, 2004)
- Huismans, G., e.a.**, *Verbreiding VPL Omgevingskwaliteiten Ontwerpstrategie*, SWOV & Novem (2000)
- IEEE**, *IEEE Interim Standard 1220-1994*, Trial-Use Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process, Ballot Draft Version 1.1, Institute of Electrical and Electronic Engineers (VS, 2001)
- INCOSE**, *Systems Engineering Handbook*, A “What to” guide for all SE practitioners, International Council on Systems Engineering, Version 2a (VS, 2004)
- Kaper, G.A., e.a.**, *De kunst van het verleiden*, Emoties in het openbaar vervoer, Railforum Nederland (2005)
- Keegan, J.G., Kelliher, T.P. en Oliver, D.W.**, *Engineering Complex Systems with Models and Objects* (New York, VS, 2003)
- Koskela, L. & Bertelsen, S.**, *Avoiding and managing chaos in projects* (VS, 2003)
- Koskela, L. & Pennanen, A.**, *Necessary and unnecessary complexity in construction* (Finland, 2005)
- Koskela, L., Ballard, G. en Tanhuanpää**, *Towards lean design management* (Finland, 2005)
- Kramer, N.J.T.A. & De Smit, J.**, *Systeemdenken*, vijfde druk (Den Haag, 1996)
- Marinus, H., Van der Meijs, R., Sarink, H.**, *Ontwerp, Kosten, Inpassing & Effecten*, Projectorganisatie Zuiderzeelijn (Utrecht, 2000)
- Melkert, J.A.**, *Bouwdoos infrastructuur Superbus*, versie A, TUDelft (Delft, 2006)
- Melkert, J.A.**, *Kostenraming van het Zuiderzeelijntracé voor de Superbus*, versie B, TUDelft (Delft, 2006)
- Melkert, J.A.**, *Modellering van de Superbus in het Landelijk Modelsysteem en bepaling van de uitgangspunten voor de exploitatieberekening*, versie B, TUDelft (Delft, 2006)
- Melkert, J.A.**, *Ontwerpverantwoording en systeembeschrijving Superbus*, versie B, TUDelft (Delft, 2006)
- Melkert, J.A.**, *Veiligheid Superbus*, doc.nr. Superbus#safety#01 issue A, TUDelft (Delft, 2005)
- Melkert, J.A.**, *Voertuigontwikkeling in het kader van het Superbusproject en de toepassing op de Zuiderzeelijn*, versie A, TUDelft (Delft, 2006)
- Ministerie van V&W**, *Aanvullingen op de Strategische Milieubeoordeling Structuurvisie Zuiderzeelijn*, Projectorganisatie Zuiderzeelijn, Min.V&W Personenvervoer & Movares (Den Haag, 2006)
- Ministerie van V&W**, *Kostenkanten openbaar vervoer*, Centrum Openbaar Vervoer Rapport 26, (Rotterdam, 2005)
- Ministerie van V&W**, *Strategische Milieubeoordeling Structuurvisie Zuiderzeelijn*, Projectorganisatie Zuiderzeelijn, Min. V&W Personenvervoer & Movares (Den Haag, 2006)
- NASA**, *Systems Engineering Handbook*, National Aeronautics and Space Administration, SP-610S, NASA/HQ (VS, 1995)

- Ockels, J.**, *Abstract Superbus concept*, Aerospace Sustainable Engineering and Technology (ASSET), Technische Universiteit Delft (Delft, 2004)
- Oomen, J. & Biesboer, F.**, *Superbus Wubbo Ockels beste alternatief voor snelle verbinding naar Noord-Nederland*, In een uur naar Verwegistan, De Ingenieur, editie 6 (Diemen, 2006)
- Ter Huerne, H.L. & Veenliet, K.Th.**, *Functioneel specificeren: de weg naar economisch meest haalbare oplossing*, Kennisplatform voor infrastructuur, verkeer, vervoer en openbare ruimte, UTwente & CROW (Enschede & Ede, 2006)
- Van de Graaf, T., e.a.**, *Met passen en meten wordt de meeste tijd versleten*, Interdepartementaal beleidsonderzoek: Financieel kader ruimtelijke inpassing infrastructuur (Den Haag, 1998)
- Van der Heide, B.**, *HOV om de Zuid, Haalbaarheidsstudie*, DSO-PSO (Utrecht, 2003)
- Van der Heide, B.**, *HOV om de Zuid, Integraal Programma van Eisen*, DSO-PSO (Utrecht, 2005)
- Van der Heide, B.**, *HOV-Zuidradiaal & Autobereikbaarheid Stationsgebied*, Integraal Programma van Eisen, DSO-PSO (Utrecht, 2005)
- Van Herk, S.**, *Meer ontwerpruimte voor wegenbouwers?*, Een analyse van de mogelijkheid en maatschappelijke wenselijkheid bij de aanbesteding van weginfrastructurele projecten in Nederland (Delft, 2003)
- Veenliet, K.Th. & Rinket, M.**, *Naar een Programma van Eisen*, Een gestructureerde aanpak (Enschede, 2001)
- Veenliet, K.Th.**, *System Engineering Fundamentals*, UTwente (Enschede, 2001)
- Veenliet, K.Th.**, *Uitgewerkt voorbeeld ontwikkeling conceptplan voorzieningencentrum op basis van analyse en synthese*, UTwente (Enschede, 2005)
- Veenliet, K.Th.**, *Value Engineering & Functional Analysis in de bouw*, UTwente (Enschede, 2004)
- Verduyckt, T.J. & Melkert, J.A.**, *Bijdragen voor strategische milieubeoordeling van de Superbus*, versie A, TUDelft (Delft, 2006)
- Verschuren, P. & Doorewaard, H.**, *Het ontwerpen van een onderzoek*, derde druk, zevende oplage (Utrecht, 2005)
- Visschedijk, M.A.T., e.a.**, *Onderhoud door restzetting: meten is weten?*, Delf Cluster (Delft, 2006)
- Volkema, R.**, *Problem complexity and the formulation process in planning and design*, Behavioral Science, Volume 33 (VS, 1988)
- Walta, H.**, *De Nieuwe Regeling 2004*, Samenhangende standaardbeschrijving van bouwproces op beroepsniveau, DHV (2004)
- Wentink, C.H.**, *RVOI-2001, Bijlage H: vakgebied projectmanagement*, Witteveen + Bos & ONRI (Den Haag, 2001)

Internpagina

Faculty of Aerospace Engineering, *Onderzoeksprogramma Superbus*, Delft University of Technology, Delft, URL: <http://www.tudelft.nl/live/pagina.jsp?id=f51868f8-2bad-4f43-b22a-d864e926b389&lang=nl>

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *Haalbaarheidsstudie Zuiderzeelijn*, Den Haag, URL: http://www.verkeerenwaterstaat.nl/onderwerpen/openbaar_vervoer/zuiderzeelijn/index.aspx/index.cfm

- Bijlagen -

Afstudeerrapport

Ontwerpproces Infrastructuur Superbus

Perspectieven voor een alternatief ontwerpproces

Door

P.O. van Esch

Inhoudsopgave

BIJLAGE A – INTERVIEW	3
BIJLAGE B – INTEGRAAL PROGRAMMA VAN EISEN ZUIDERZEELIJN.....	10
BIJLAGE C – INTEGRAAL PROGRAMMA VAN EISEN SUPERBAAN.....	13
BIJLAGE D – TRACÉ ZUIDERZEELIJN SUPERBAAN	14
BIJLAGE E – MILIEUEFFECTEN ZUIDERZEELIJN SUPERBAAN	20
BIJLAGE F – KOSTENVERGELIJKING	21
BIJLAGE G – RISICOVOLLE KOSTENCOMPONENTEN	25
BIJLAGE H – PRINCIPES VAN SYSTEMS ENGINEERING.....	26
BIJLAGE I – FUNCTIONEEL SPECIFICEREN.....	29
BIJLAGE J – DECOMPOSITIE (SYNTHESE & ANALYSE)	38
BIJLAGE K – KANSEN & PERSPECTIEVEN VOOR GEWIJZIGDE PROCESINRICHTING.....	39
BIJLAGE L – UITWERKING ONTWERP SUPERBAAN MET BEHULP VAN SYSTEMS ENGINEERING	46

Bijlage A – Interview

Verslag interview

Onderwerp: Analyse ontwerpproces Superbaan
Locatie: TUDelft
Datum: 28-03-07
Tijd: 12:00 uur



Geïnterviewden: **Dhr. Melkert** (TUDelft, Projectmanager onderzoeks- en ontwikkelingsteam Superbus) & **Dhr. Smits** (Adviesbureau INFRAtheke, Ontwerper infrastructuur Superbus)

Interviewer: **Dhr. Van Esch** (UTwente, student)

Inhoud:

- PvE ZZL “opdrachtgever” (input)
 - Eisen Superbaan “opdrachtnemer & ontwerper” (input & transformatie)
 - Ontwerp
 - Transformatieproces
 - Netwerk & betrokken partijen
 - Ontwerpproces Superbaan
 - Budget
 - Ontwikkeling Superbus
-

Vragen:

Ten aanzien van PvE ZZL “opdrachtgever” (input):

1. Door de opdrachtgever (projectorganisatie ZZL) is er vooraf een Programma van Eisen opgesteld met onder andere een aantal beschreven oplossingsgerichte randvoorwaarden. Hoe is met dit pakket omgegaan? Is dit pakket leidend geweest voor het ontwerp? Welke input van de opdrachtgever is specifiek gebruikt voor het ontwerp? Hoe zijn deze eisen gebruikt? Waren er hierbij specificaties aan verbonden in de vorm van opgegeven meetbare eisen (percentages, aantallen, enz.)? Zo ja, welke eisen en de daarbij behorende specificaties?

Antwoord: Dhr. Smits geeft aan dat het ontwerp vooral tot stand is gekomen aan de hand van de HSL gegevens en de MZB gegevens. Hierbij hebben vooral de alignement gegevens een grote rol gespeeld voor de bepaling van het tracé, zoals horizontale en verticale boogstralen en voet- en topbogen. Deze gegevens zijn in het verleden voortgekomen uit het HSL ontwerp en tevens zijn er ook voor deze systemen gegevens beschikbaar met betrekking tot de ZZL. Dhr. Melkert voegt er aan toe dat deze gegevens door de projectorganisatie ZZL & V&W beschikbaar zijn gemaakt voor het projectteam van de Superbus. Tevens is er vanuit de deskundigheid van de projectorganisatie ZZL nagedacht over opstellen van kostenramingen (MKBA) en oplossingsbeschrijvingen (verplicht onderdelenpakket). Deze zijn in een 1^e gesprek met V&W door middel van een (PvE) A4-tje overhandigd. Dhr. Smits geeft aan dat deze manier van eisen opstelling gelijk is aan de grote projecten, zoals de HSL, de Betuwelijn, de Noord-Zuid lijn, enz. Tevens zijn er algemene randvoorwaarden overhandigd voor de oplossing op het tracé van de ZZL. Dhr. Van Esch noemt enkele gevonden en geïnterpreteerde eisen en randvoorwaarden uit zijn voorlopig analyse onderzoek. Dhr. Melkert en Dhr. Smits geven aan dat deze gegevens correct en niet uitgebreider zijn.

2. Door de opdrachtgever zijn voor hogere ontwerpsnelheden tot 400 km/uur het Programma van Eisen HSL&MZB verplicht gesteld om toe te passen voor het ontwerp van een alternatief ten behoeve van de ZZL. Het verticale en horizontale alignement voor het Superbaan tracé is hierbij specifiek bepaald aan de hand van de MZB gegevens. Zijn er nog andere onderdelen uit de MZB gegevens gebruikt voor het ontwerp? Zo ja, welke? En hoe zijn deze gebruikt? Is er overigens gebruikt gemaakt van de HSL gegevens? Wellicht zelfs van de OVS richtlijnen (tot 200 km/uur)? Zo ja, welke? En op welke wijze is hiervan gebruik gemaakt?

Antwoord: Dhr. Smits geeft aan dat hierbij HSL & MZB gegevens specifiek zijn gebruikt voor het alignement van het tracé te bepalen. Echter is op een aantal punten afgeweken van deze eisen voor een alignement, omdat het op sommige punten niet mogelijk was vanwege ruimtegebrek. Dhr. Melkert voegt er aan toe dat de gegevens van MZB 250 km/uur zijn gebruikt voor het tracé. Dhr. Smits vermeldt dat de voet- en topbogen aan de hand van de kunstwerken voor de HSL zijn gebruikt, waarbij ook de gegevens voor de MZB op het HSL-tracé zijn gebruikt. Dhr. Melkert verteld dat er op enkele punten dit tot een snelheidsverlaging heeft geleid, veroorzaakt door krappere boogstralen. Tevens heeft de veiligheid volgens Dhr. Smits een grote rol gespeeld in het ontwerpen van de infrastructuur, waarbij er echter wel rekening is gehouden met de gunstige eigenschappen van de Superbus. Toch heeft dit geleid voor een aantal veiligheidsmaatregelen, zoals barriers, vluchtstroken, enz.

3. Het Superbaan tracé volgt grotendeels het MZB-tracé (MZB0-bundelingalternatief). Waarvoor heeft men gekozen voor dit tracé? Waar heeft dit vooral van afgehangen? Welke factoren speelde hierbij een rol? Welke factoren waren doorslaggevend voor de keuze?

Antwoord: Dhr. Melkert geeft aan dat een 100% bundeling met de naast gelegen snelwegen een streven was voor het verloop van het tracé. Dit betekent wel dat op sommige plekken deze bundeling afwijkt vanwege het verschil tussen de boogstralen van het Superbus alignement en weginfrastructuur alignement. Tevens heeft men als uitgangspunt gehanteerd dat het gebruik van de middenbermen en eventueel zijbermen van de bestaande weginfrastructuur voordelen oplevert ten opzichte van eigendomsrechten. Deze bermen zijn al eigendom van RWS, zodat er geen extra uitgaven hoeven worden meegerekend voor onteigening en sanering. Tevens is dit ook ten opzichte van het milieu een belangrijke reden geweest voegt Dhr. Smits aan toe. Het blijkt dat vanuit geluidsoverwegingen er geen significante stijging van overlast wordt veroorzaakt door de Superbus, zodat bundeling geen extra problemen geeft voor knelpunten op snelwegen. Tevens wordt er ook duurzaam met ruimtegebruik omgegaan.

Ten aanzien van eisen Superbaan “opdrachtnemer & ontwerper” (input & transformatie):

4. Er zijn een aantal uitgangspunten voor het ontwerp van de Superbaan vastgesteld. Hoe is men tot deze uitgangspunten gekomen? Op welke manier zijn deze uitgangspunten geanalyseerd?

Antwoord: Dhr. Melkert verteld dat deze uitgangspunten zijn voortgekomen uit gesprekken met V&W en de projectorganisatie ZZL. Dhr. Smits geeft aan dat deze uitgangspunten en het ontwerp tevens zijn ontstaan vanuit standaardoplossingen van de RWS. De meeste standaardoplossingen voor kunstwerken komen voort uit het PvE en het ontwerp van de HSL. De luchtbanden van de Superbus hebben tot een ontwerp van uitgewassen beton voor de Superbaan geleid, zodat er voldoende grip ontstaat en een beperking van geluidsoverlast door de rolweerstand. Daarbij hebben de winterdiensten van de Superbus geleid tot een duurzame oplossing voor de weg van de Superbaan. Tevens heeft het smalbreedteprofiel op en in kunstwerken geleid tot simpelere oplossingen. Kostenbesparing voor de Super infrastructuur is hierbij een belangrijk uitgangspunt geweest. Vanuit veiligheidsoverwegingen zijn er tevens een aantal maatregelen voortgekomen, zoals barriers, vluchtstroken, enz. Vanuit de aantal halteplaatsen die moeten worden aangedaan en de bundeling met het tracé zijn de aantal kruisingen berekend. De eisen en gegevens voor het deelontwerp van de weg op palen in A'dam zijn door de firma Betonson verstrekt.

5. Zijn er wellicht uitgangspunten afgeleid vanuit eisen van de klant (projectorganisatie ZZL, de ontwerper (INFRAtheke & evt. DHV) of het projectteam van de Superbus (TUDelft)? Zo ja, welke? Op welke manier zijn deze eisen verkregen en geanalyseerd? Zijn er zelf eisen opgesteld? Zo ja, welke? Hoe is men tot deze eisen gekomen?

Antwoord: Dhr. Melkert verteld dat in principe alles vanuit het A4-tje van de projectorganisatie ZZL is ontworpen. Deze randvoorwaarden hebben geleid tot een aantal onderliggende uitgangspunten. Dhr. Smits geeft aan dat de algemene eisen voor weginfrastructuur, zoals vlakheid, duurzaamheid, enz. hierbij tevens hebben geleid tot het verkregen ontwerp. Hierbij zijn vele eisen en oplossingen ontstaan vanuit traditionele busbanen en autosnelwegen.

6. Is er hierbij misschien zelfs onderscheid gemaakt tussen functionele en niet-functionele eisen? Zo ja, welke? En welke onderverdeling is aangehouden? Welke functionele eisen zijn hiervoor gebruikt? Welke specifieke meetbare (kwantitatieve) niet-functionele eisen zijn hiervoor opgesteld?

Antwoord: Er zijn eisen uit bestaande onderzoeken naar geluid van banden op wegdekken gebruikt geeft Dhr. Smits aan. Zo zijn een aantal oplossingen in uitgewassen beton ontstaan. Tevens is het in de toekomst mogelijk om Zeer Open Beton te gebruiken voor het wegdek. Deze eisen hebben ook geleid tot de toepassing van prefab betonplaten op paalfunderingen waardoor het mogelijk geworden is om een zeer open beton aan het oppervlak toe te passen. Belangrijk hierbij is geweest dat deze zijn ontstaan vanuit de eigenschappen van de band van de Superbus en eisen voor het wegdek. Hierbij hebben de zaken geluid, stroefheid, vlakheid, enz. een rol in gespeeld. Dhr. Melkert voegt er aan toe dat de band gegevens zijn ingevoerd in een computermodel, zodat er gegevens zijn ontstaan voor contactgeluid en rolweerstand. Dhr. Smits vertelt dat voor het ontwerp van het wegdek standaard gegevens en eigenschappen (indexen, waarden, enz.) van betonwegen zijn gebruikt (Vencon 2.0). Tevens heeft de veiligheid meegespeeld voor het voorkomen en opvangen van botsingen door de Superbus. Dit heeft geleid tot een aantal eisen voor de barriers.

7. Wanneer de functionele eisen worden bekeken, is er dan tevens vanuit de scope ontworpen? Zijn hierbij ontwerpgrenzen opgesteld? Indien ja, op welke manier is men hiermee omgegaan? Heeft men ontworpen vanuit de werkzaamheden die het systeem moet invullen? Is er bijvoorbeeld een gebeurtenissenlijst opgesteld? Hoe is men hierbij met de inter-acterende omgeving omgegaan? Heeft men rekening gehouden met mogelijke toekomstige scenario's? Zo ja, welke scenario's zijn gebruikt?

Antwoord: Door de koppeling met de snelwegen zijn er vanzelf contactpunten ontstaan met de Superbaan geeft Dhr. Smits aan. Echter geeft dit ook eisen voor een fysieke scheiding van de 2 verschillende vervoerssystemen. Tevens ontstaan hierdoor voorwaarden van koppeling met andere modaliteiten, uitgedrukt in halteplaatsen, enz. Wanneer het blijkt dat het Superbus concept niet werkt kan de Superbaan worden gebruikt voor normaal autoverkeer of als HOV busbaan. Dit heeft wel consequenties voor de terugverdientijd van het systeem. In principe moet een concessie voor een periode van 30 jaar het vervoerssysteem van het Superbus concept beheren en onderhouden. Dhr. Melkert legt uit dat er een speciaal inpassing (interactie met omgeving) overleg heeft plaatsgevonden na de indiening van het concept ontwerp. Dit overleg heeft plaatsgevonden met de expertise van Movares en de RWS (projectorganisatie ZZL). Dit heeft geleid tot een aanpassing bij Emmeloord (watertoren). Hier is een viaduct (niveau +1) teruggebracht naar een aquaduct (niveau -1), omdat deze betreffende watertoren als historisch gebouw werd gezien, terwijl deze nog niet op de werelderfgoedlijst van UNESCO stond.

Ten aanzien van het ontwerp transformatieproces:

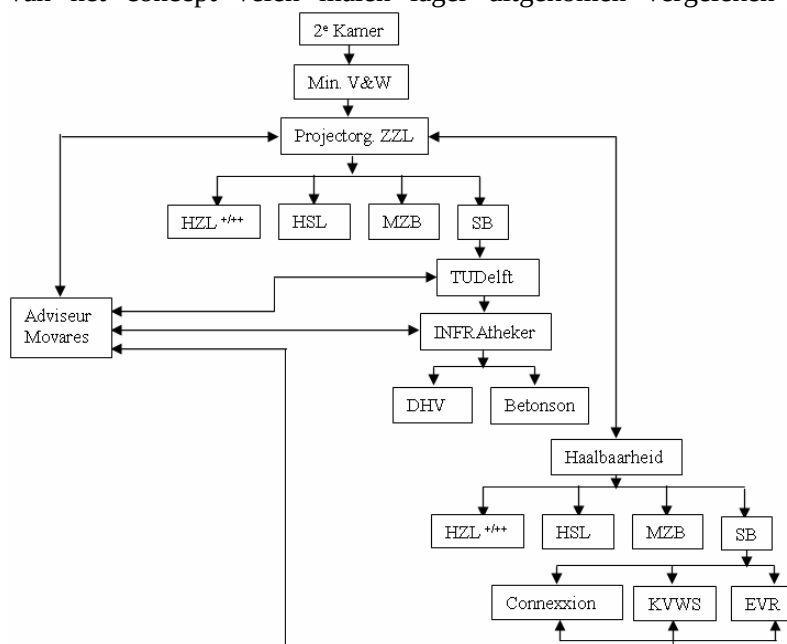
8. Is tijdens het transformatieproces vooral de gedetailleerde kaart van het tracé voor hoeveelheid- en kostenschattingen van de benodigde onderdelen voor de Superbaan infrastructuur en zijn kunstwerken gebruikt? Of zijn er nog andere methoden gebruikt om te komen tot een oplossing van het ontwerp? Zo ja, welke?

Antwoord: Dhr. Melkert geeft aan dat deze topografische kaart van de ANWB leidend is geweest voor het ontwerp en de kostenraming. Hierbij heeft Dhr. Smits een toolbox ingericht voor de infrastructuur van de Superbus en is het tracé bepaald en ingetekend door Dhr. Melkert. Op deze manier zijn de aantal kruisingen gecheckt in de tracé en aan de hand van die kruisingen zijn de groottes van de kunstwerken bepaald die hebben geleid tot een kostenraming. Er hebben wel een aantal iteratieslagen plaatsgevonden in dit ontwerpproces. Deze zijn vooral na aanleiding van de kostenraming manier ontstaan. In het PvE heeft men duidelijk gemaakt dat er een MKBA (inclusief een risicoanalyse) methode gebruikt moest worden voor de indiening van het alternatief. Hiervoor is door INFRAtheker DHV ingeschakeld om een probabilistische kostenraming te maken. DHV heeft in het verleden de kostenraming voor de HSL ontworpen. Aangezien deze methode overeen komt met de methode voor de ZZZ heeft men hun expertise gebruikt om deze uit te werken.

Ten aanzien van netwerk & betrokken partijen:

9. Zijn er nog meer partijen intensief betrokken geweest tijdens het ontwerp van de infrastructuur voor de Superbus naast de Projectorganisatie ZZZ, het Projectteam Superbus, de Ontwerpers INFRAtheker & DHV en de Adviseur Movares, zoals wellicht Ever Logistics Research, KVWS en Connexxion? Zo ja, welke? Wat was hun inbreng? En zijn er prioriteiten toegewezen aan elke gebruiker? Zo ja, wat was de volgorde van belangrijkheid van deze gebruikers?

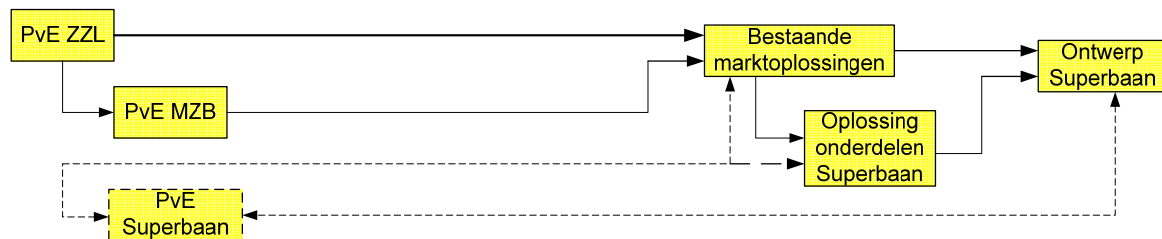
Antwoord: Dhr. Smits geeft aan dat Betonson ook is benaderd met betrekking tot de weg op palen in de omgeving van A'dam. Dhr. Melkert verteld dat er een onafhankelijke marktcheck is uitgevoerd in opdracht van de projectorganisatie ZZZ naar de haalbaarheid van het Superbus concept op het ZZZ-tracé. Hiervoor heeft het consortium, bestaande uit Connexxion, KVWS en ELR, een Businesscase gemaakt. Deze opdracht is met name door de projectorganisatie ZZZ uitgeschreven om een ontwerp oriëntatie en kostenraming te bewerkstelligen. Hierbij is het bedrag van het concept velen malen lager uitgekomen vergeleken met de kostenraming van het



ontwerpteam van het Superbus concept (TUDelft). Dit consortium heeft in tegenstelling tot de betonnen Superbaan van de TUDelft een asfalt oplossing voor het wegdek gebruikt. Deze marktpartijen stonden echter erg positief tegenover het idee van het Superbus concept. Dit heeft later geleid tot het doen besluiten door Connexxion voor het prototype van de Superbus ontwikkeling. Dhr. Melkert licht voor de duidelijkheid de betrokkenen partijen in een netwerkdiagram toe (Zie onderstaande figuur).

Ten aanzien van het ontwerpproces Superbaan:

10. De opdrachtgever heeft in het Programma van Eisen opgesteld dat er een kostenraming moet worden opgeleverd op basis van een risicoanalyse. Dit heeft geleid tot een Superbus concept alternatief bestaande uit een gedetailleerd ontwerp met een daaraan gekoppelde kostenraming. Om dit te bereiken is een marktverkenning uitgevoerd naar bestaande oplossingen en referentieprojecten. Tevens is gebruik gemaakt van het PvE ZZL & PvE MZB. Uit deze stappen zijn onderdelen ontstaan voor het ontwerp van de Superbaan. Is deze beschrijving ongeveer correct? Kan het ontwerpproces wellicht nog gedetailleerder weergegeven en beschreven worden?



Antwoord: Beide heren geven aan dat deze schets overeenkomt met het ontwerpproces ten behoeve van de Superbaan. Dhr. Melkert geeft aan dat er een aantal iteratieslagen hebben plaatsgevonden. Deze zijn vaak toegepast na een vraag van Movares en de RWS. In gesprek met deze partijen zijn er meestal veiligheidsmaatregelen en kostenramingmethoden besproken. In het proces heeft dit geleid tot een verandering van de kostenraming. Om een probabilistische kostenraming te maken werd hiervoor DHV ingeschakeld. Tevens heeft Movares ook nog een aantal veranderingen doorgebracht, zodat de opstelling van de kostenraming voldeed aan de voorwaarden van de projectorganisatie ZZL, zodat deze vergelijkbaar werden met de overige alternatieven. Meestal hebben deze veranderingen in communicatie met de projectorganisatie geleid tot kosten verhogingen.

11. Welke periode is specifiek gebruikt voor het ontwikkelen van het ontwerp voor de Superbus infrastructuur? Eerste vermelding ontwerp infrastructuur namelijk november 2005 (Bespreking concept en uitgangspunten Superbus ZZL door opdrachtnemer TUDelft en INFRAtheker met opdrachtgever Movares.) en laatste vermelding 27 maart 2006 (Vaststelling alternatief Superbus voor Structuurvisie ZZL.).

Antwoord: Dhr. Melkert geeft aan dat de TUDelft in september 2005 INFRAtheker de opdracht heeft gegeven om een bouwdoos te ontwerpen voor de infrastructuur van de Superbus. Deze zijn in de eerste gesprekken met Movares en RWS besproken. Hier opvolgend zijn een aantal wijzigingen doorgebracht in het ontwerp.

12. Als men het ontwerpproces weergeeft in stappen en fasen welke tijdsperiode kan er dan voor elk onderdeel aan gekoppeld worden? Kan men het ongeveer weergeven in een schatting van aantal dagen of wellicht in uren? Welk onderdeel heeft de meeste inspanning gekost?

Antwoord: Dhr. Smits geeft aan dat de 1^e fase bestond uit de ontwikkeling van de BIS (INFRAtheker) en parallel heeft plaatsgevonden aan de 2^e fase, waarin het tracé (TUDelft) is bepaald. Deze fasen hebben ongeveer een periode van 2 maanden in beslag genomen. In deze fasen hebben een aantal gesprekken met Movares en RWS meer duidelijkheid verschaft over de randvoorwaarden en eisen voor het ZZL-tracé. In de 3^e fase heeft het beprijzen van het ontwerp plaatsgevonden. Deze periode heeft het meeste overleg gekost en heeft ongeveer tot eind maart 2006 geduurd. Hierbij zijn hebben vele overleggen plaatsgevonden met Movares en RWS. Belangrijke discussie punten waren hierbij vooral de manier van de opstelling van de risico analyses. Deze hebben een sterke invloed gehad op de uiteindelijke kostenraming van het Superbus concept op de ZZL. Hierbij heeft Movares geëist dat de percentages van de risico's op de kostenramingen van de verschillende alternatieven vergelijkbaar werden.

13. Zijn er tijdens het ontwerpproces een aantal iteratieslagen gebruikt om het ontwerp te controleren? Tijdens welke fasen zijn deze toegepast? Waarom zijn deze toegepast tijdens die betreffende stappen?

Antwoord: Zie antwoord van vraag 12.

14. Er zijn een aantal vermeldingen van bijeenkomsten met betrokkenen (Projectorganisatie ZZL, projectteam Superbus TUDelft, ontwerper INFRAtheker, ontwerper DHV en adviseur Movares). Op welke organisatorische manier zijn deze overleggen verlopen? En wat is hierbij steeds de insteek en het doel geweest van deze vergaderingen? En in welke omgeving werden deze contactpunten meestal gepland? Wordt er gebruik gemaakt van gedeelde informatiesystemen om zodoende het ontwerp te beheren, te controleren en te visualiseren?

Antwoord: In principe hebben er wekelijkse overleggen plaatsgevonden legt Dhr. Melkert uit. Het 1^e gesprek heeft plaatsgevonden op het Min. van V&W. Daarna nog een aantal in Delft op de TU, Utrecht, Amersfoort (DHV). Zelfs een aantal 's avonds op Den Haag CS, waarbij de gesprekken vaak 1 op 1 waren met Dhr. Melkert en andere betrokkenen met expertise. De gesprekken zijn altijd in de vorm van voortgangsrapportages geweest. Tevens zijn er een aantal georganiseerd aan de hand van vragen van de opdrachtnemer of opdrachtgever. Tijdens deze overleggen werd er vaak gebruik gemaakt van de topografische kaarten van de ANWB waarin het tracé stond ingetekend om het één en ander te visualiseren. Hiervan uit zijn vooral de aantal kunstwerken en het alignement bepaald. Verder is er tussendoor veel E-mail verkeer geweest met daarin een aantal relevante bijlagen. Tevens is de site van de TUDelft (Superbus concept) gebruikt om de definitieve documenten op te plaatsen. Dhr. Smits geeft aan dat er verder veel van AutoCAD is gebruik gemaakt en dat de overdracht van informatie ook vaak via Cd-rom's ging.

15. In welke ontwerpomgeving werd er meestal gewerkt? Wanneer dit voor ieder in zijn eigen bedrijfsomgeving was, werd het werk ten behoeve van het ontwerp meestal naast eigen/andere bedrijfsprocessen uitgevoerd?

Antwoord: Beide heren geven aan dat de taken werden uitgevoerd op hun eigen werkplekken. Deze werkzaamheden hebben plaatsgevonden naast de andere bedrijfsprocessen van de beide heren.

Ten aanzien van het budget:

16. De proceskosten die tijdens het ontwerpproces werden uitgegeven zijn leidend geweest voor de ontwikkeling van het ontwerp. Was deze vergoeding die door het rijk is uitgegeven voor de indiening van het alternatief toerijkend voor het te behalen resultaat? Was de hoogte van de vergoeding die werd gehanteerd door het rijk vergelijkbaar met het budget van gelijksoortige projecten of oplossingen?

Antwoord: Dhr. Melkert geeft aan dat de marktpartijen voor hun businesscase (marktcheck c.q. oriëntatie ontwerp en haalbaarheid) 50.000,- euro hebben ontvangen. Het projectteam van de TUDelft heeft een bedrag van 300.000,- euro gehad voor uitvoeren van een algemeen haalbaarheidsonderzoek naar het concept van de Superbus. Deze vergoeding stond los van de ontwikkeling van het ontwerp van de infrastructuur voor de Superbus met betrekking tot de indiening als alternatief voor de Structuurvisie ZZL. Echter is wel een bepaald gedeelte gebruikt voor het betalen van de proceskosten voor de ontwikkeling van het ontwerp van de infrastructuur voor de Superbus (INFRAtheker, DHV en Betonson). Dit bedrag is volgens Dhr. Melkert moeilijk in te schatten en lastig te achterhalen. Dhr. Smits geeft aan dat de goede gemotiveerde inzet van vooral de TUDelft heeft geleid tot een goede samenwerking en een geweldig resultaat. Deze mensen hebben vaak zelfs in de avonden zich ingezet voor het ontwerpen van het concept. Dhr. Smits geeft aan dat het budget voor gelijksoortige projecten moeilijk te vergelijken zijn, omdat het vaak om verschillende vervoerswijzen of een combinatie hiervan gaat, zoals weginfrastructuur en/of OV infrastructuur.

Ten aanzien van ontwikkeling Superbus:

17. Welke ontwerpmethodiek wordt toegepast bij de ontwikkeling van de Superbus? Welke expertise wordt hierbij gebruikt?

Antwoord: Dhr. Melkert geeft aan dat er in principe “common sense” is/wordt gebruikt voor de ontwikkeling van de Superbus. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van deskundigheid en expertise van verscheidende betrokkenen personen in het projectteam. Ervaring is hierbij een doorslaggevende rol in het ontwerpproces. Voor de taakverdeling van de werkzaamheden van de verschillende partijen is er een Work Breakdown Structure opgezet (WBS afgeleid uit de Systems Engineering). Er wordt voornamelijk proefondervindelijk ontwikkeld. Zo zullen bijvoorbeeld de luchtbanden worden getest in modelleer programma’s, proefopstellingen en in de praktijk op de weg. Dhr. Melkert geeft aan dat bandenfabrikant Vredestein op dit moment bezig is met de ontwikkeling van de banden voor de Superbus. Deze luchtbanden hebben andere eisen dan traditionele autobanden. Hierbij speelt voornamelijk de snelheid een belangrijke rol in. Waarschijnlijk worden deze banden zelfs getest op het ‘Nürburgring’ circuit in Duitsland, zodat er een hoge snelheid van ongeveer 250 km/uur kan worden behaald. Tevens geven beide heren aan dat er gezocht moet worden naar een geoptimaliseerde verhouding tussen band en wegdek, omdat de eisen sterk afhankelijk zijn van elkaar (rolweerstand, grip, wrijving, geluid, enz.).

Bijlage B – Integraal Programma van Eisen Zuiderzeelijn

Algemeen

De ZZL moet een snelle OV-verbinding van Schiphol en Amsterdam naar Almere en Groningen worden, zodat het een verbetering van de bereikbaarheid van het noorden en de Noordvleugel van de Randstad beoogd. Onderzocht moet worden in hoeverre deze snelle verbinding tevens de regionaal-economische structuur van het noorden kan versterken. Daarnaast moet worden onderzocht in hoeverre een snelle OV-verbinding een structurerend element kan zijn in de verdere ruimtelijke ontwikkeling van de as Schiphol Amsterdam – Almere en de verbinding van Flevoland met het noorden kan verbeteren [Marinus, Van der Meijs en Sarink, 2000].

Voorgeschreven randvoorwaarden

Ontwerpsnelheden

Bij het ontwerp van de alternatieven vormen de ontwerpsnelheden een belangrijk uitgangspunt. Aanpassingen op dit traject zullen zo moeilijk ingepast kunnen worden, dat de snelheidsverhoging als streven is geformuleerd. Voor het baan- en spoorwegbouwkundig ontwerp moeten ontwerpsnelheden tot 200 km/uur aangehouden worden en voor hogere ontwerpsnelheden kan gebruik gemaakt worden van gegevens van de HSL en de MZB.

Inpassing in omgeving

Gericht op maximaliseren van de positieve effecten en het minimaliseren van de negatieve effecten.

Tracé



Het gehele tracé van de Zuiderzeelijn is in een aantal onderdelen opgesplitst (zie figuur). Het ontwerp van de Hanzelijn is op het traject tussen Schiphol en Lelystad gelijk aan dat van het ZZL-tracé.

Figuur: ZZL tracé (rode lijn) loopt van Schiphol via Amsterdam-Zuid WTC naar Almere, Lelystad, Emmeloord, Heerenveen, Drachten en Groningen en voorziet in een snelle aansluiting met Leeuwarden [Marinus, Van der Meijs en Sarink, 2000]

Voor het Rail-alternatief wordt ten noorden van Lelystad nieuw spoor aangelegd en omvat het ontwerp tevens ten noorden van Zwolle een aantal bocht aanpassingen. Voor het MZB-alternatief via het ZZL-tracé wordt tussen Schiphol en Groningen nieuwe infrastructuur aangelegd. Bij de ontwerpbeschrijving moet in het oog gehouden worden dat in een eventueel vervolgstadium de nadere inpassing geïntegreerd wordt met overige planvorming.

Oplossingsgerichte randvoorwaarden

- Zoveel mogelijk bundeling met bestaande infrastructuur.
- Zoveel mogelijk gebruik van bovengrondse ligging van nieuwe infrastructuur. Echter wanneer dit onaanvaardbaar is, kan voor een verdiepte ligging worden gekozen.
- Zoveel mogelijk aansluiting op bestaande halteplaatsen.
- Zoveel mogelijk de vormgeving van de nieuwe infrastructuur en de daaraan verbonden ontwikkelingen aanpassen aan de kwaliteit van de omgeving.

Natuurlijke randvoorwaarden

- (Grond-)waterstanden
- Bodemsamenstellingen
- Maaiveldhoogten

Omgevingsrandvoorwaarden

- Het streven naar behouden van bestaande bebouwingen of obstakels.
- Het streven naar instandhouding van bestaande infrastructuur.
- Het streven naar behoud van bestaand landschap.

Maatschappelijke kosten- en batenanalyse (MKBA)

Bij het maken van de kostenramingen van de aanleg van de infrastructuur moeten de volgende kostencomponenten onderscheiden worden: conditionering, onder- en bovenbouw, kunstwerken, stations, systemen, energievoorziening, inpassing en algemene kosten.

Conditionering

In dit verband wordt onder conditionering verstaan de kosten die gemaakt moeten worden om:

- de voorbereidende werkzaamheden uit te voeren;
- de benodigde grond te verwerven;
- archeologisch onderzoek uit te voeren;
- de planschade af te handelen;
- kabels en leidingen aan te leggen of te verleggen;

Onder- en bovenbouw

Van deze component maken de volgende kosten deel uit: grondwerk en onderbouw, spoorwerk en onderhoud grond- en spoorwerk en onderbouw.

Kunstwerken

Daar waar geen sprake is toepassen van het ‘normale’ baantype zijn de kosten afzonderlijk opgenomen onder de component kunstwerken. Het gaat daarbij om tunnels, pergolaconstructies, passages van kruisende infrastructuur en dergelijke.

Stations

Onder de component stations wordt onderscheid gemaakt in de ‘spoorse kant’ en de ‘niet-spoorse kant’ van het station. Aan de spoorse kant maken de aanpassingen van het emplacement op bestaande stations en de aanleg van het stationsemplacement bij nieuwe stations deel uit van de kosten. Aan de niet-spoorse kant zijn voor de al bestaande stations geen kosten opgenomen. Voor de nieuwe stations langs het Zuiderzeetracé (Emmeloord, Heerenveen en Drachten) zijn kosten van de aanleg van infrastructuur ter ontsluiting van het station op de infrastructuur in de omgeving van het station opgenomen.

Systemen

Onder systemen zijn de kosten opgenomen voor beveiliging, signalering en telecommunicatie.

Energievoorziening

De component energievoorziening omvat alle noodzakelijk te maken kosten die ten behoeve van de energietoevoer gemaakt moeten worden.

Inpassing

De inpassingkosten betreffen de volgende zaken: noodzakelijke geluidschermen, natuurcompensatie en compensatie van stiltegebieden.

Algemene kosten

Onder algemene kosten wordt verstaan, de kosten die gemaakt worden voor voorbereiding, administratie en toezicht (VAT). Een andere indeling van deze component is: engineering, administratie en toezicht (EAT).

Risico's

Er dient op basis van een risicoanalyse rekening gehouden worden met de invloed van een aantal onzekerheden op het totale kostenniveau. Daarbij zijn dienen de volgende zaken in beschouwing te worden genomen:

- Technische onzekerheid: Hieronder vallen de niet benoemde kostencomponenten. De ervaring leert dat zij in zekere mate aanwezig zijn;
- Inpassingonzekerheid: Hieronder vallen de kosten die volgen uit eisen van de 'omgeving'. Op het gebied van veiligheid, geluid, landschap, natuur en ruimtelijke ordening;
- Marktonzekerheid: Hierin komt een eventueel andere hoogte van aanbesteding als gevolg van schaarste of slechte marktwerking tot uitdrukking.
- Onzekerheden in de kostenraming die wordt veroorzaakt door onzekerheden in hoeveelheden en normale prijsfluctuaties, die betrekking hebben op de voorziene kosten(sub)componenten. Hiermee dient de uitgevoerde risicoanalyse ook inzicht in de onzekerheidsmarge die in de kostenraming zelf aanwezig is te verschaffen, omdat die onzekerheidsmarge een 'scheve verdeling' krijgt, heeft ook die een bijdrage in het uiteindelijke totale kostenniveau.

Bijlage C – Integraal Programma van Eisen Superbaan

Primaire uitgangspunten

- De infrastructuur dient volgens het MZB 0 bundelingvariant tracé te verlopen (A4, A10, A2, A9, A1, A6 en A7).
- De infrastructuur dient geschikt te zijn voor de Superbus met snelheden van maximum 260 km/uur.
- De ontwerplevensduur dient voor de infrastructuur 30 jaar en voor de kunstwerken 100 jaar te zijn.
- De infrastructuur moet 450 p.a.e. (300 Superbus verkeersbewegingen) per etmaal kunnen afwikkelen.
- De infrastructuur dient 325 werkdagen per jaar beschikbaar te zijn.

Secundaire uitgangspunten

- Streven naar zoveel mogelijke inpassing in de omgeving.
- Streven naar zoveel mogelijk gebruik van bestaande infrastructuur.
- Streven naar zoveel mogelijke bundeling met bestaande infrastructuur.
- Streven naar zoveel mogelijke samenwerking met andere bestaande toepassingen voor aansluitingen met bestaand voor- en natransport.
- Er moeten ongelijkvloerse aansluitingen toegepast worden.
- Er moeten voldoende aansluitingsmogelijkheden gecreëerd worden.
- De lokale infrastructuur moet in stand worden gehouden.
- Er moet een vrij liggende baan met afgescheiden haltes en terminals worden toegepast.
- De verkeersdoorstroming dient tijdens het gebruik gegarandeerd te worden.
- Het ontwerp moet flexibel zijn (Uitbreidingen, verbredingen en aansluitingen moeten in de toekomst mogelijk zijn, ook na de ontwerplevensduur).
- De aanleg dient gefaseerd te zijn.
- De uitvoeringstijd moet beperkt blijven.
- Materiaal-, aanleg- en onderhoudskosten van het project moeten beperkt blijven (LCC benadering toepassen).
- Er moet zoveel mogelijk efficiënt omgegaan worden met energie en grondstoffen (Duurzaam Bouwen benadering toepassen).

Bijlage D – Tracé Zuiderzeelijn Superbaan

Uitgangspunt bij de tracering is de aanleg van de Superbaan op maaiveldniveau. De tracering voor de Superbaan is ontwikkeld met als uitgangspunt een volledige bundeling met de bestaande snelweg. Het tracé bestaat uit de verbinding Schiphol – Groningen [Melkert, 2006B].

Het gaat dan om de snelwegen A4, A10, A2, A9, A1, A6 en A7 op de route van de Zuiderzeelijn tussen Schiphol en Groningen. De route voert van Schiphol via de Zuidas, de Gaasperdammerweg, de A1 bij Muiden via Almere en Lelystad over de A6 naar de Noordoostpolder. Van daaruit naar Friesland waar bij knooppunt Joure de A7 wordt genomen. Vandaar via Heerenveen en Drachten naar Groningen. De totale route heeft zo een lengte van ongeveer 195 km. Daarnaast zijn er twee extra takken in het tracé weergegeven. Dat zijn de verbindig Amsterdam Centraal Station – Almere en Drachten – Leeuwarden. Deze tracédelen maken in principe geen deel uit van de infrastructuur voor de Zuiderzeelijn [Melkert, 2006B] (zie figuur).



Figuur: Tracé Superbaan tussen Schiphol en Groningen op topografische kaart [Melkert, 2006B]

De nummering van de gedetailleerde kaart komt overeen met de nummering van de voorgestelde trasering voor de Superbaan. Zwarte nummers = infrastructuur, baan op maaiveldniveau of op palen. Rode nummers = viaduct, brug of doorgang. Lichtblauwe nummers = aquaduct. Groene nummers = fly-over. Donkerblauwe nummers = grote brug. Paarse nummers = onderdoorgang. In de kostenschatting voor het tracé is tevens rekening gehouden met in totaal 100 slootkruisingen en 400 duikers [Merkert, 2006B] (zie tabel 13-B).

Tabel: Voorgestelde trasering voor Superbaan tussen Schiphol en Groningen [Merkert, 2006B]

kaart	nr	lengte (km)	element
Westelijk deel			
25D Amstelveen	0	4.2	vrije busbaan (bestaande infrastructuur)
	1	0.5	fly-over van A4 naar Superbaan
	2	6.3	weg op palen Zuidas eerste deel
	3	0.0	halte A'dam Zuid/WTC (speciale hooggelegen uitvoering)
	3	0.0	2 x invoegstrook
	3	0.0	2 x uitvoegstrook
25G Amsterdam	4	3.5	weg op palen Zuidas tweede deel
	5	1.3	maaiveld
	6	1.1	viaduct
	7	0.5	maaiveld
	8	1.2	fly-over A2-A9
	9	7.3	weg op palen Gaasperdammerweg
	10	1.1	brug Amsterdam-Rijnkanaal
25H Bussum	11	2.3	maaiveld
	12	1.1	aquaduct
	13	1.2	maaiveld
	14	2.2	fly-over A6-A1 kruising Niveau +2
	15	0.4	maaiveld
	16	1.1	viaduct afrit 1
	17	0.3	Hollandse brug (aan zuidzijde bestaande brug)
	18	0.6	maaiveld
	19	1.1	viaduct afrit 2
	20	0.9	maaiveld
26C Huizen	21	1.1	passage langs viaduct afrit 3 op maaiveld niveau
	22	1.0	maaiveld
	23	0.0	doorgang
	24	1.1	maaiveld
	25	0.0	brug
	26	1.1	viaduct afrit 4
	27	0.0	2 x invoegstrook
	27	0.0	2 x uitvoegstrook
	28	1.2	maaiveld

Tabel: Voorgestelde tracering voor Superbaan tussen Schiphol en Groningen [Melkert, 2006B]

	29	0.0	brug
	30	0.3	maaiaveld
	31	1.1	viaduct afrit 5
	32	1.1	brug
	33	1.0	maaiaveld
	34	1.1	viaduct afrit 6
26A Almere Buiten	35	1.6	fly-over A6-A27 naar middenberm
	36	0.2	maaiaveld
	37	0.1	brug
26B Oostvaardersplassen	38	0.0	passage viaduct afrit 7
	39	2.4	maaiaveld met weefvak
	40	0.0	doorgang viaduct afrit 8
	41	4.9	maaiaveld
	42	0.0	passage viaduct praamweg
	43	1.3	maaiaveld
	44	0.0	slootkruising
	45	1.6	maaiaveld
	46	1.1	viaduct over knardijk zandlichaam al aanwezig
	47	1.8	maaiaveld
26E Larserbos	47	3.5	maaiaveld
	48	1.5	viaduct afrit 10 + brug larserpoort
	48	0.0	2 x invoegstrook
	48	0.0	2 x uitvoegstrook
Noordelijk deel			
	49	0.4	maaiaveld
20G Lelystad	49	1.1	maaiaveld
	50	1.5	viaduct+brug lage vaart zandlichaam al aanwezig
	51	1.4	maaiaveld
	52	0.0	passage viaduct runderweg
	53	1.3	maaiaveld
	54	0.0	slootkruising mammoettocht
	55	1.0	maaiaveld
	56	0.0	passage edelhertweg
	57	0.4	maaiaveld
	58	1.1	viaduct afrit 11 zandlichaam al aanwezig
	59	0.0	slootkruising noordertocht
	60	1.1	fly-over van middenberm naar noorden A6
	61	3.3	maaiaveld
	62	0.0	doorgang
	63	4.0	maaiaveld
20F Urk	63	3.1	maaiaveld
	64	0.7	Ketelbrug (aan noordzijde bestaande brug)
	65	1.1	fly-over naar middenberm A6

Tabel: Voorgestelde tracering voor Superbaan tussen Schiphol en Groningen [Melkert, 2006B]

	66	2.5	maaiveld
	67	1.1	viaduct afrit 13 + brug nagelervaat
	68	2.2	maaiveld
	69	0.0	passage viaduct zuidwesterringweg
	70	3.1	maaiveld
	71	1.1	viaduct afrit 14
	72	0.5	maaiveld
21A Ens	73	1.0	passage viaduct nagelerweg + lange onderdoorgang
	73	0.0	2 x duiker
	73	0.0	2 x slootkruising
	74	1.6	viaduct + brug zwolse vaart + viaduct
	74	0.0	2 x invoegstrook
	74	0.0	2 x uitvoegstrook
16C Kuinre	75	0.5	maaiveld
	76	0.0	slootkruising munttocht
	77	0.8	maaiveld
	78	0.0	doorgang viaduct afrit 15
	79	0.7	maaiveld
	80	0.0	slootkruising casteleynstocht
	81	0.4	maaiveld
	82	1.0	onderdoorgang naar middenberm
	83	2.2	maaiveld
	84	0.0	passage viaduct N715
	85	2.3	maaiveld
15H Rutten	85	0.8	maaiveld
	86	0.0	slootkruising
	87	2.2	maaiveld
	88	0.0	passage viaduct ruttenseweg
	89	1.7	maaiveld
15F Lemmer	89	1.4	maaiveld
	90	0.0	passage viaduct hopweg
	91	1.0	maaiveld
	92	1.1	viaduct afrit 17 (zandlichaam al aanwezig)
	93	3.1	maaiveld
	94	0.0	passage viaduct afrit 18
	95	1.2	maaiveld
	96	0.1	brug Tjeukemeer (zandlichaam al aanwezig)
	97	0.4	maaiveld
16A Echterbrug	97	3.2	maaiveld
	98	0.0	passage viaduct afrit 19
	99	1.1	maaiveld
	100	0.0	passage viaduct
	101	1.4	maaiveld
11C Joure	102	1.1	aquaduct

Tabel: Voorgestelde tracering voor Superbaan tussen Schiphol en Groningen [Melkert, 2006B]

	103	0.5	maaiveld
	104	0.5	viaduct over haulster singel
	105	1.3	fly-over knooppunt joure van middenberm naar zuidzijde A7
	106	1.1	viaduct over lokale weg
	107	0.3	maaiveld
	108	0.0	viaduct zonnehoeve
	109	1.3	maaiveld
	110	1.1	viaduct afrit 25
	111	10.6	maaiveld
	112	0.6	brug over heereveense kanaal
	113	0.0	halte Heerenveen
	113	0.0	2 x invoegstrook
	113	0.0	2 x uitvoegstrook
	114	1.2	viaduct over spoor + brug over heeresloot
11D Heerenveen	115	1.2	fly-over knooppunt heerenveen
	116	0.0	doorgang
	117	2.1	maaiveld
	118	1.1	viaduct bij afrit 26a
	119	2.0	maaiveld
	120	1.1	viaduct bij luxwoude
	121	2.2	maaiveld
	122	1.1	viaduct afrit 27
	123	1.5	maaiveld
	124	1.1	brug
	125	0.3	maaiveld
11B Nij Beets	125	1.4	maaiveld
	126	1.1	viaduct afrit 28
	127	0.1	maaiveld
11E Drachten	127	1.6	maaiveld
	128	1.1	viaduct himster finnen
	129	0.0	2 x slootkruising
	129	0.0	6 x duiker
	129	0.8	maaiveld passage langs afrit 29
	130	0.0	2 x invoegstrook
	130	0.0	2 x uitvoegstrook
	131	1.1	viaduct
	132	1.4	maaiveld
	133	1.3	fly-over over knooppunt Azeven
	134	1.7	maaiveld
	135	0.0	doorgang
	136	1.7	maaiveld
	137	1.5	lang viaduct over afrit 31
	138	0.8	maaiveld
11F Marum	138	0.6	maaiveld

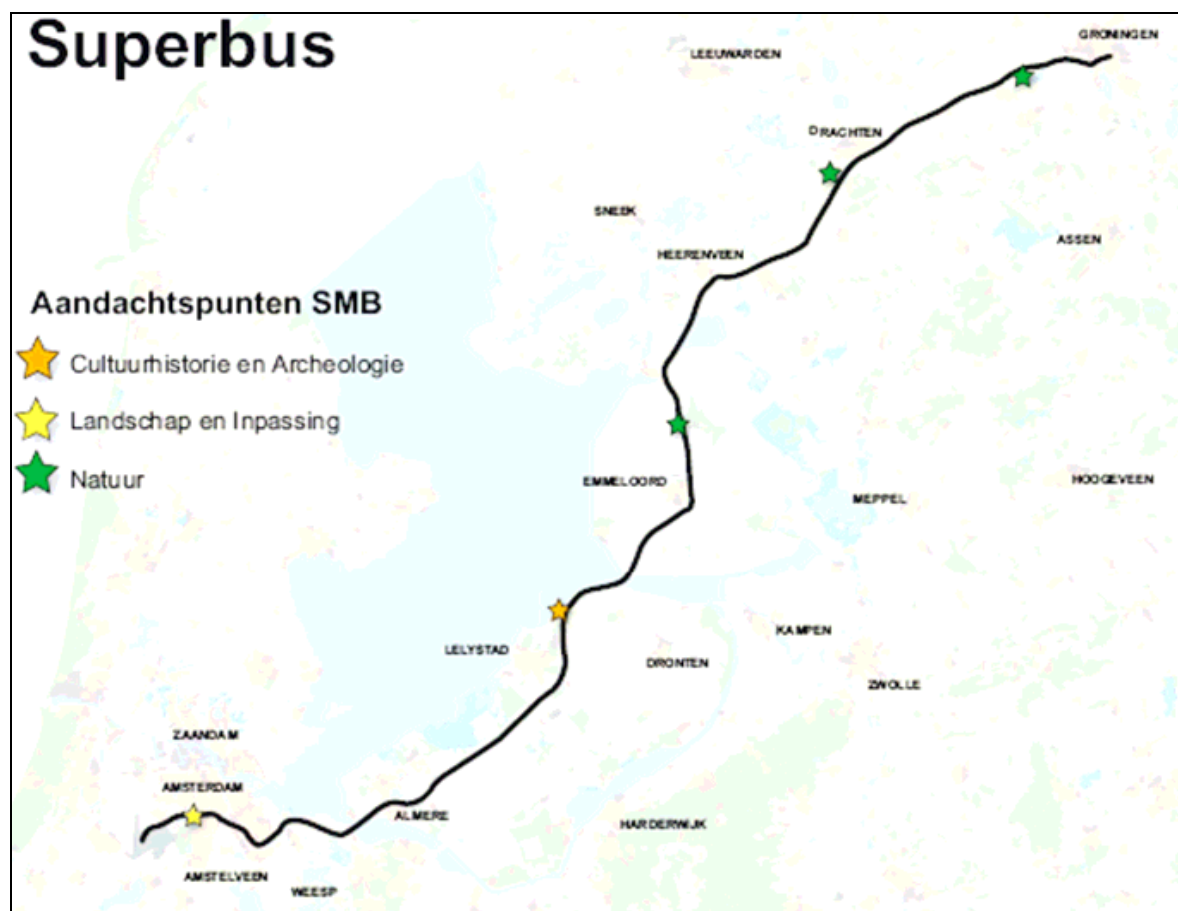
Tabel: Voorgestelde tracering voor Superbaan tussen Schiphol en Groningen [Melkert, 2006B]

	139	0.0	doorgang
	140	1.5	maaiaveld
	141	1.1	viaduct
	142	0.9	maaiaveld
	143	1.1	viaduct afrit 32
	144	0.4	maaiaveld
6H Grootegast	144	0.7	maaiaveld
	145	1.1	viaduct
	146	0.8	maaiaveld
	147	2.0	viaduct afrit 33
	148	0.4	maaiaveld
	149	0.0	doorgang
	150	0.4	maaiaveld
7C Hoogkerk	150	0.8	maaiaveld
	151	1.1	viaduct afrit 34
	152	1.7	maaiaveld
	153	1.1	brug
	154	0.1	maaiaveld
	155	0.0	doorgang
	156	1.1	maaiaveld
	157	1.1	brug munnikensloot
	158	1.8	maaiaveld
	159	1.1	brug koningsdiep
	160	0.2	maaiaveld
7D Groningen	161	1.1	viaduct N372
	162	0.0	halte hoogkerk
	162	0.0	2 x invoegstrook
	162	0.0	2 x uitvoegstrook
	163	0.8	maaiaveld
	164	1.1	brug brullweering
	165	0.2	maaiaveld
	166	3.3	weg op palen
	167	0.0	2 x invoegstrook
	167	0.0	2 x uitvoegstrook

Bijlage E – Milieueffecten Zuiderzeelijn Superbaan

De aanleg en exploitatie van de Superbaan voor de Superbus heeft effecten op de omgeving. Dat is niet vreemd, want zowel de aanleg van de infrastructuur als de exploitatie van de circa 180 km lange verbinding is een ingrijpende verandering. Het gaat om de effecten op bodem en water, cultuurhistorie en archeologie, landschap en inpassing, natuur, geluid, externe veiligheid, energie en emissies [Min. V&W/Projectorg. ZZL, 2006].

De milieueffecten door het gevolg van een Superbus concept op de ZZL-tracé zijn klein, omdat de Superbaan volledig bundelt met de bestaande wegen. Op het tracé van Schiphol naar Groningen wordt steeds naast de bestaande snelwegen of daartussen de Superbaan aangelegd. De Superbaan is een eenvoudige vrije busbaan die geen grote inpassingproblemen met zich mee zal brengen [Min. V&W/Projectorg. ZZL, 2006] (zie figuur).



Figuur: Milieueffecten op ZZL-tracé van Superbus concept [Min. V&W/Projectorg. ZZL, 2006]

Bijlage F – Kostenvergelijking

De kosten van de infrastructuurelementen zijn op basis van kengetallen bepaald en opgezet volgens de standaard Systematiek voor kostenramingen in de GWW. Om tot een realistische kostenraming voor het hele project te komen is een probabilistische ramingmethode toegepast. Daarbij zijn er per onderdeel de onzekerheden in prijs en hoeveelheid vastgesteld en zijn er tevens diverse opslagen in rekening gebracht. Er is een vergelijking gemaakt tussen de kostencomponenten van de Superbaan en de kostenkengetallen van de RWS [2005] voor meer complexe HOV infrastructuur busbaan systemen (zie tabel).

Tabel: Vergelijking tussen kosten Superbaan en kengetallen RWS [2005] HOV infrastructuur

Nr.	Naam	Onderdeel	Kosten (€) Excl. BTW	Eenheid	Range t.o.v. kengetal	Opmerkingen
1	Superbaan Totaal	Systeem	3,8 miljard	-	-	
1A	Superbaan Totaal	Systeem	23,758 miljoen ¹	P km	+ '116' %	
1B	Ondergrens Kengetal Bovengrens	Systeem	5,4 miljoen 11 miljoen 14,9 miljoen ⁶	P km	- 51 % 0 % + 36 %	Investeringskosten HOV infra busbaan
2	Superbaan Onderhoud	Systeem	26,57 miljoen	P j	-	Concessie periode 30 jaar 1% Infra & 1,5% kunstwerken van invest. kosten
2	Superbaan Onderhoud	Systeem	166.063	P km/p j	-	Concessie periode 30 jaar 1% Infra & 1,5% kunstw. van invest. kosten
2A	Superbaan (5% invest. Kosten) Superbaan (10% invest. Kosten)	Systeem	39.583 ² 79.167	P km/p j	- 32 % - 12 %	Concessie periode 30 jaar

¹ Argument investeringskostenverschil:

- Traditionele (HOV-)infrastructuur in stedelijk gebied VS Superbus ZZL tracé in landelijk gebied.
- Kostenkengetallen komen uit (HOV-)infrastructuur projecten in stedelijk gebied.
- Grondgesteldheid speelt geen rol, omdat er draagkracht aanwezig is door geroerde grond en grondverbeteringmaatregelen.
- Infrastructuur aanwezig en leveranciers in omgeving die zorgen voor positieve invloed op logistiek tijdens ontwikkeling infrastructuur.
- VS - Grondgesteldheid zeer ongunstig vanwege poldergebied.
- VS - Logistiek gezien afgelegen van stedelijk gebied.
- VS - Extra voorzieningen, zoals de terminals, kunstwerken, vluchtstroken, voertuigkeringen, enz.

² Argument onderhoudskostenverschil:

- Traditionele (HOV-)infrastructuur bestaande uit 2-strooksbanen bevinden zich in stedelijk gebied, waarbij ze naast of op bestaande wegen zijn gelegen.
- Superbus infrastructuur bestaand uit kunstwerken, terminals, vluchtstroken, voertuigkeringen, rijstroken, enz. waarvoor onderhoudskosten zijn meegenomen in raming.
- Kostenkengetal RWS bevat geen kosten onderhoud kunstwerken en terminals (HOV-)infrastructuur.

Tabel: Vergelijking tussen kosten Superbaan en kengetallen RWS [2005] HOV infrastructuur

Nr.	Naam	Onderdeel	Kosten (€) Excl. BTW	Eenheid	Range t.o.v. kengetal	Opmerkingen
2B	Kengetal (5% invest. Kosten) Kengetal (10% invest. Kosten)	Systeem	68.000 ⁷ 90.000	P km/p j	0 % 0 %	Kosten bij 2-strooks baan
3	Superbaan Vervanging	Systeem	3,23 miljoen	P j	-	Concessie periode 30 jaar 1% Infra & 1,5% kunstw. van invest. kosten
4A	Superbaan met betonverharding Superbaan met Winnerway Superbaan met Modieslab	Component	1,03 miljoen 1,46 miljoen 3,2 miljoen	P km	- 59 % - -	€ 1032 p m Aanlegkosten
4B	Kengetal met asfaltverharding Kengetal met ongewapend beton Kengetal met gewapend beton	Component	1,2 miljoen 1,4 miljoen 2,5 miljoen	P km/breedte 7m	- - 0 %	Oranjewoud Aanlegkosten
4C	Kengetal met asfaltverharding cunetdiepte 3 m Kengetal met asfaltverharding cunetdiepte 1 m Kengetal met asfaltverharding	Component	1,9 miljoen 1,1 miljoen	P km/hoogteligging 1m boven mv	- -	Rijkswaterstaat Aanlegkosten
5A	Superbaan onderdoorgang	Subsysteem	6,89 miljoen	P stuk/breedte 8m/lengte 15m/helling 1,5% en lengte toerit 750m	- 33 %	Aanlegkosten
5B	Kengetal 'Op staal' gefundeerde onderdoorgang Kengetal onderdoorgang op palen gefundeerd	Subsysteem	1,7 miljoen 1,85 miljoen	P stuk/130m lengte/7m breedte	- -	Oranjewoud € 1870,- per m2 Aanlegkosten € 2000,- per m2
5C	Busbaan onder weg Busbaan onder watergang	Subsysteem	10,3 miljoen 21,1 miljoen	P stuk/breedte 40m/max. helling 4%, lengte toerit 168m (weg) en 290m (water)	0 % -	Rijkswaterstaat Paalfund. op trek, bouw. uit tijdelijke damwanden en onderwaterbeton. Aanlegkosten

Tabel: Vergelijking tussen kosten Superbaan en kengetallen RWS [2005] HOV infrastructuur

Nr.	Naam	Onderdeel	Kosten (€) Excl. BTW	Eenheid	Range t.o.v. kengetal	Opmerkingen
6A	Superbaan viaduct	Susbsysteem	1,04 miljoen	P stuk/breedte 10m/lengte 60m/af- en toerit 500m en hoogte 5m	- 23 %	Aanlegkosten
6B	Viaduct op staal gefundeerd Viaduct op paalfundering	Subsysteem	1 miljoen 1,2 miljoen	lengte 40 m, breedte 15 m en hoogte 7,5 m	- 0 %	€ 2000,- per m2 Oranjewoud € 2400,- per m2 Aanlegkosten
6C	Viaduct op staal (1 overspanning) Viaduct op staal (2 overspanningen) Viaduct paalfundering (1 overspanning) Viaduct paalfundering (2 overspanningen)	Subsysteem	2.100 2.000 2.200 2.200	per m2/viaducthoogte 5.50 m, doorrijdhoogte 4.80 m, dekconstructie 0.80 meter, dekbreedte 15 meter, deklengte 40 meter	- - - -	Rijkswaterstaat Aanlegkosten Één middensteunpunt of twee overspanningen en excl. aansluitende aardebaan toeritten.
7A	Bushalte voor Superbaan	Component	432.000	P stuk	- 4 %	Stelpost (zuivere bouwkosten)
7B	Moderne Bushalte	Component	20.000	per richting	-	Stadtwerke München, aangepast aan mobiliteitsbeperking
7C	Halte met design overkapping	Component	450.000	75m lang	0 %	Zuidtangent
8	Terminal voor Superbaan (tracé)	Subsysteem	1,275 miljoen	P stuk	-	Stelpost (zuivere bouwkosten)
9	Hoge terminal (incl. voorzieningen) voor Superbaan	Subsysteem	32,8 miljoen	P stuk	-	Stelpost (zuivere bouwkosten)
10	Reconstructie wegvakken Haarlemmermeeraansluiting Bij 1 aansluiting per 5 kilometer Bij 1 aansluiting per 2 kilometer	Subsysteem	1,4 miljoen 6,8 miljoen 2,9 miljoen 5 miljoen	P km P stuk P km P km	- - - -	Hergebruik bestaande weg. Ombouw autosnelweg 2 rijbanen – regionale stroomweg 1 rijstrook per baan. Incl. grondverwerving en engineering.
11A	Superbaan Bermbeveiliging	Component	200.000	P km	+ 15 %	
11B	Bermbeveiliging	Component	172.700	P km	0 %	

Bijlage G – Risicovolle kostencomponenten

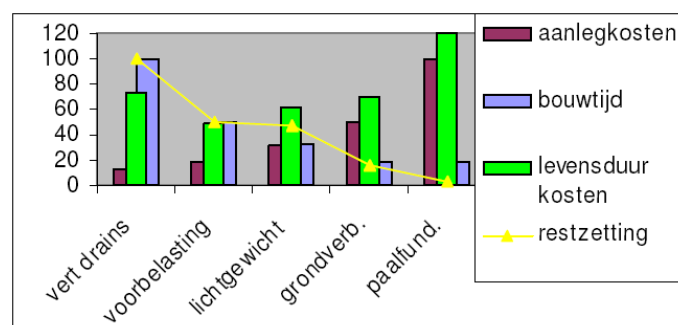
De grootste risicofactoren zijn gepresenteerd in de vorm van een tornadodiagram en is het resultaat van de onafhankelijke probabilistische berekening. Hierbij zijn de uitkomsten van de Monte Carlo simulatie als histogram en S-curve gebruikt, zodat de overschrijdingskansen zijn afgelezen. Uit het tornadodiagram blijkt dat de 10 volgende aspecten het meest hieraan bijdragen [Melkert, 2006B] (zie tabel):

Tabel: Overzicht belangrijkste risico's in de kostenraming [Melkert, 2006B]

	Tracédeel	onderdeel	Relatief risico
1	Lelystad - Groningen	Prijs winnerway vloerverwarming	0,473
2	Schiphol - Lelystad	Kosten weg op palen	0,305
3	Lelystad - Groningen	Nader te detailleren	0,285
4	Schiphol - Lelystad	Prijs viaducten	0,255
5	Schiphol - Lelystad	Prijs winnerway vloerverwarming	0,252
6	Schiphol - Lelystad	Onvoorzien	0,206
7	Lelystad - Groningen	Baan op maaiveldniveau	0,203
8	Lelystad - Groningen	Onvoorzien	0,197
9	Lelystad - Groningen	Kabels en leidingen verleggen of aanpassen	0,174
10	Schiphol - Lelystad	Nader te detailleren	0,157

Onderhoudsrisico's

Om geotechnische ontwerpen veilig te optimaliseren is het volgens Visschedijk, e.a. [2006] door middel van een prognose globaal mogelijk de onderhoudsrisico's voor restzettingen te bepalen door de betrouwbaarheid van voorspellingen te kwantificeren. Tevens ondersteunen deze prognoses daarmee ook ondermeer de formulering van reële langsvlakheidseisen. Dit heeft geleid tot een zeer globale vergelijking van relatieve prestaties en kosten voor verschillende aanlegmethoden over een



periode van 30 jaar (zie figuur). De levensduurkosten zijn de som van de aanlegkosten en geprognosticeerde onderhoudskosten.

De onderhoudskosten zijn bij het toepassen van een traditionele ophoging in verband met restzettingen veel groter dan de onderhoudskosten bij de alternatieve aanlegmethoden [Visschedijk, e.a., 2006].

Figuur: Relatieve kosten en prestaties van verschillende aanlegmethoden [Visschedijk, e.a., 2006]

Bij traditioneel aangelegde rijkswegen bedragen de kosten door restzetting tussen de 1 en 4 miljoen euro per kilometer en overstijgen ze veelal de aanlegkosten. Een betrouwbare prognose van restzettingen is dus essentieel voor een betrouwbare prognose van de kosten gedurende de levensduur [Visschedijk, e.a., 2006].

Bijlage H – Principes van Systems Engineering

Pragmatische principes van Systems Engineering [DeFoe & Van der Ploeg, 1993 & 1999]

Ken het probleem, de klant en de gebruiker:

1. Kruip in de huid van de klant tijdens de ontwikkeling en tijdens het bedenken van de oplossing.
2. Begin met een geldige klantvraag (het probleem).
3. Beschrijf het probleem in oplossingsonafhankelijke termen.
4. Neem niet aan dat de eerste beschrijving van het probleem ook gelijk de beste, of de juiste is.
5. Beschouw het probleem en vindt de juiste oplossing voor het probleem.
6. Bepaal de prioriteiten van de klant (prestatie, kosten, planning, risico's, etc.).

Vraag de klant naar:

1. Nieuwe product ideeën.
2. Product probleem, identificatie van tekortkomingen.
3. Oplossingen voor het probleem.
4. Werk met de klant samen om de gebruikers(groepen) te identificeren die te maken krijgen met het systeem.
5. Gebruik een systematische methode om de vraag en geprefereerde oplossingen van elke gebruikersgroep te identificeren. Hiervoor zijn enquêtes niet voldoende en zijn interviews noodzakelijk.
6. Druk zoveel mogelijk de vraag uit in kwantitatieve termen. Echter belangrijke aspecten die niet precies of in kwantitatieve termen zijn uit te drukken, moeten wel degelijk expliciet worden beschreven.
7. Verduidelijk elke vraag door de mogelijkheden en beperkingen van de technologie aan te geven in relatie met het hogere doel van de klant, de omgeving en het bedrijfsproces.

Gebruik effectieve criteria gebaseerd op de vraag om systeembeslissingen te maken:

Selecteer criteria die gekoppeld zijn aan de vraag van de klant (gebruiker) en aan de systeemeisen, bijvoorbeeld:

1. mission succes, technische prestaties (operational criteria).
2. kosten, planning, kwaliteit en risico (program criteria).
3. faalkansen en onderhoud (integrated logistic support criteria).
4. Handhaaf een op de 'vraag gebaseerde' balans tussen de vaak conflicterende criteria.
5. Selecteer meetbare criteria (objectief en kwantificeerbaar) en druk ze uit in bekende, makkelijke begrijpbare eenheden. Echter, belangrijke criteria die niet kwantitatief te meten zijn, moeten toch expliciet worden meegenomen.
6. Gebruik vergelijkingen om de klant de gevolgen te laten zien op het gebied van prestaties, kosten, planning en risico door de variatie in eisen en oplossingen.
7. Indien mogelijk, gebruik simulatie of (schaal)modellen om keuzes te maken als methode waarbij de technische (engineering) beoordeling zwaar meeweegt. Verhoudingsschalen zijn eerder onderhevig aan fouten.
8. Laat de klant waardeoordelen geven bij alle te maken keuzes.
9. Sta de klant toe om wijzigingen aan te brengen in de eisen en participeer in de ontwikkeling van de oplossing op basis van afwegingen uit oplossingsvarianten.

Stel eisen vast en beheer deze:

1. Identificeer en maak onderscheid tussen gespecificeerde (fundamenteel of essentieel), toegewezen (allocated), impliciet (implied) en afgeleide (derived) eisen.
2. Voer analyses en syntheses proces een niveau proces en dieper uit dan nodig lijkt voor het vaststellen van eisen en oplossingen op elk gegeven niveau.
3. Schrijf een beredeneerde uiteenzetting voor elke eis. Het schrijven van een dergelijke uiteenzetting leidt meestal tot de werkelijke eis.
4. Zorg ervoor dat de klant en de gebruiker alle eisen begrijpen en accepteren.
5. Identificeer en controleer expliciet alle externe interfaces van het proces, data, stroom, mechanisch, etc. Doe hetzelfde voor alle interne interfaces die zijn gecreëerd door de oplossing.
6. Spreek met de, aan beide zijden van de interface, betrokken engineering staf de interface door. Zorg voor schriftelijke overeenstemming van de twee partijen over de plannen voor de klant die de interface documentatie moet goedkeuren.
7. Documenteer de interpretaties van alle eisen. Vertrouw niet alleen op verbale overeenkomsten.
8. Houdt rekening met de onvermijdelijke behoefte om eisen aan te passen en pas de eisen aan als inzicht in de vraag en de beste oplossing gedurende het proces verandert.
9. Pas op voor fundamenteel nieuwe eisen die ten tijde van het proces worden ingebracht. Dit kan grote gevolgen hebben voor het proces.
10. Handhaaf de traceerbaarheid van eisen.

Identificeer en beoordeel alternatieven om tot een oplossing te komen:

Neem de tijd om te innoveren door het genereren van een breed scala aan oplossingen die de vraag dekken. Een veel gemaakte fout is om te al vroeg te komen tot één aangenaam ontwerpconcept in verband met de tijd. Bijvoorbeeld:

1. Het meenemen van op het eerste gezicht onwerkelijke alternatieven geeft vaak meer inzicht in de eisen en geeft een redelijke controle bij het vergelijken van criteria en weegfactoren.
2. Neem het 0-alternatief mee in de keuze voor de oplossing op systeem niveau, zodat de toegevoegde waarde van het nieuwe systeem van de klant kan worden gemeten.

Gebruik een systematische ontwerpmethode:

1. Ontleedt de eisen om de essentiële ontwerpproblemen te kunnen identificeren.
2. Maak functionele structuren.
3. Zoek naar oplossingsprincipes (-richtingen) die de subfuncties kunnen vervullen.
4. Combineer de oplossingsprincipes van de subfuncties om de al gehele functies te vervullen.
5. Selecteer passende combinaties.
6. Vorm de combinaties tot alternatieven.
7. Evalueer elk alternatief met de eisen en de criteria. Bepaal het alternatief met de beste gewogen waarde op het gebied van:
 - a. Effectiviteit.
 - b. Efficiëntie.
 - c. Veiligheid.
 - d. Betrouwbaarheid.
 - e. Produceerbaarheid.
 - f. Testbaarheid.
 - g. Onderhoudbaarheid.
8. Onderzoek hoe de klant het concept op het ‘top-level’ niveau gebruikt, om vervolgens te kunnen bepalen hoe de klant met elk alternatief omgaat en om zo in de behoefte van de klant en de gebruiker te voorzien. Deze invalshoek moet een reflectie zijn op de voorgaande activiteiten uit het (abstracte) ontwerpproces.

Verifieer en valideer eisen en de prestatie van oplossingen:

1. Kwaliteit moet meegenomen worden in het ontwerp, het kan niet bij het testen worden ingebouwd.
2. Maak gebruik van geplande evaluaties en inspecties.
3. Maak prototypes van kritieke elementen.
4. Gebruik in sommige gevallen modellen om de haalbaarheid aan te tonen. Identificeer expliciet en controleer alle modelaannamen.
5. Werk de kritieke en controversiële eisen en ontwerpgebieden eerst uit (descriptief model).
6. Maak een planning voor de verificatie en de validatie van elke eis.
7. Ken de verwachte resultaten voor het daadwerkelijke testen.

Handhaaf de integriteit van het systeem:

1. Handhaaf de aanwezigheid van Systems Engineering gedurende het voortbrengingsproces om het technische overzicht van het ontwerpproces te verzorgen en om de kwesties op het gebied van eisen of techniek op te lossen die ten tijde van het proces voor kunnen komen (bijv. voor beslissingen bij afwijkingen bij testen).
2. Voorkom afwijkingen van het proces en het product.
3. Zorg ervoor dat het systeemontwerp voldoet aan de eisen, de vraag dekt en overeenkomt met de wens van de klant.
4. Zorg ervoor dat de eisen niet alleen op het gebruik van toepassing zijn, maar dat deze van toepassing zijn voor de hele levenscyclus van het systeem.

Gebruik een helder en goed gedocumenteerd proces:

1. Begin met bestaande principes, voorkom dat twee keer het wiel wordt uitgevonden en leer van eerder opgedane ervaringen.
2. Gebruik de principes om een proces te ontwikkelen dat toegesneden is op de vraag, het systeem, de klant en de ontwikkelende organisatie.
3. Doorloop het proces consistent gedurende het project.
4. Train het team in het proces en de toepassing ervan, dit is belangrijk voor de productiviteit, kwaliteit en de reductie van kosten.
5. Gebruik gestandaardiseerde analyse technieken, document formats, ontwerpevaluatie formats, etc. om de consistente toepassing van het proces te versterken.
6. Gebruik al bestaande geautomatiseerde tools indien toepasbaar.
7. Handhaaf de integriteit van het proces, maar voorkom hierdoor niet dat de ‘beste’ oplossing wordt ontdekt of gebruikt.

Manage op basis van een plan:

1. Zorg ervoor dat er een plan wordt gemaakt waarbij de uit te voeren taken een product toegevoegde waarde hebben.
2. Maak een plan dat succes georiënteerd, haalbaar, verdedigbaar en effectief is (bijvoorbeeld op het gebied van kosten) en de toekomstige verandering op kan vangen.
3. Zorg voor een plan dat rekening houdt met de verschillende mogelijkheden ten gevolge van geïdentificeerde risico's.
4. Ontwikkel een plan waarbij de organisatie zich committeert aan systems engineering
5. Voer elke taak volgens het plan uit.
6. Verander het plan als een ervaring aantoont dat er een betere manier is om de taak uit te voeren.

Bijlage I – Functioneel Specificeren

In het proces van specificeren gaat het telkens om het voldoen aan functies (wat moet het onderdeel doen?) en aan randvoorwaarden (waaraan moet het onderdeel voldoen?). Het begint met de functies van het bouwobject als geheel en gaat daarna verder met de functies van de onderdelen. Bij het formuleren van eisen baseert men zich op de probleemdefinitie en de vraagstelling of op de gekozen oplossing één niveau hoger in de piramide eisen. Eisen moeten op alle niveaus zo veel mogelijk meetbaar en toetsbaar worden geformuleerd [CROW, 2004]. De procedure voor het functioneel specificeren bestaat uit de volgende onderdelen:

- analyse van vraag;
- vaststellen van doel en randvoorwaarden;
- analyse van functies;
- vaststellen van eisen;
- mogelijke concepten;
- iteratieve eisen uitbreiden en concepten beperken.

Boomstructuur

Om een complex bouwwerk te kunnen realiseren, moet het proces op een expliciete, eenduidige, meetbare en toetsbare wijze overzichtelijk worden gehouden [CROW, 2004]. Hierbij zijn een aantal ondersteunende disciplines nodig om het proces te borgen. Specificeren is slechts een onderdeel van het totale concept van expliciete werken. De noodzaak van expliciete werken en de mate waarin dat wordt gedaan zijn afhankelijk van persoonlijke denk- en werkwijzen, afspraken en regelgeving, enz. Het instrument is gestoeld op de bekende boomstructuur, waarbij informatiedrager de primaire functie van de boom is. De boom heeft een hiërarchische structuur en deze sluit goed aan bij de van grof naar fijn werkwijze. Alle onderdelen die binnen een bouwobject kunnen worden onderscheiden, moeten zichtbaar worden gemaakt in een specificatieboom, zodat er een boom met verschillende vertakkingen ontstaat. Op basis van deze objectenboom kan een specificatieboom worden opgesteld, waarbij elk object een functie-eis heeft. Hierbij zullen de eisen op verschillende niveaus zijn opgenomen, zodat er een hiërarchie van eisen ontstaat.

Geordende specificatie

De eisen in een specificatie moeten overzichtelijk worden geordend om te kunnen bepalen of de verzameling eisen compleet en consistent is. Bij iedere eis moet worden aangegeven wat de bovenliggende eis is en wat de eventuele relatie met andere eisen is. Ook moet vermeld worden waar de eis vandaan komt en welke keuzes en overwegingen bij de totstandkoming van de eis een rol hebben gespeeld. Ten slotte moeten de rapporten, onderzoeken of besluiten die aan de eis ten grondslag liggen, worden vermeld. Een geordende verzameling moet aan 2 voorwaarden voldoen [CROW, 2004]:

1. De eisen moeten worden ondergebracht in de niveaus (boomstructuur) waarbij naar behoefte een eis weer moet worden opgedeeld in onderliggende eisen;
2. De eisen moeten eenduidig met elkaar verbonden zijn via hun wederzijdse relaties die zijn benoemd in de eisdefinities.

Eenmaal beschikkend over een dergelijke ordening, kan deze vervolgens voor meerdere doelen worden gebruikt [CROW, 2004]:

- Het verschaffen van inzicht voor de verificatie;
- Het ramen van de kosten;
- Het eenduidig koppelen van het bouwobject (inhoud, scope) met tijd en geld;
- Het naspeurbaar, betrouwbaar, bevoegd en communiceerbaar kunnen verwijzen van eisen.

De specificatieboom als instrument

De specificatieboom kan op verschillende manieren worden ingezet als instrument om processen te sturen gedurende de ontwikkeling van het bouwobject van idee naar realisatie [CROW, 2004]:

- Beheerinstrument: eerst wordt de specificatie gemaakt voor het totale systeem, vervolgens worden de daaropvolgende specificaties gemaakt voor onderdelen van het subsysteem, vervolgens voor de componenten enz.
- Ontwerpinstrument: de specificaties zijn een middel om een goed ontwerp te krijgen.
- Afstemmingsinstrument: er is een globale koppeling van de besluitvormingsdocumenten met de niveaus van de specificatieboom

Specificeren

Werken met eisen is een noodzakelijk hulpmiddel voor een expliciete beheersbaar en transparant ontwerpproces. Door zo eenduidig mogelijk bij de start te beschrijven wat de behoeften zijn voor het eindproduct, kunnen in de opeenvolgende projectfasen steeds concretere eisen worden afgeleid uit de voorgaande eisen, zodat de eisen blijven voorlopen op de evolutie van het ontwerp. Er zijn hierbij zes gebruiksdoelen van eisen te noemen [CROW, 2004]:

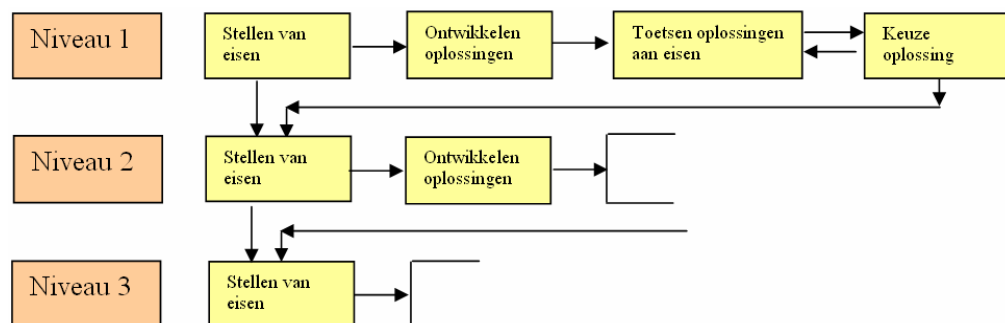
1. Samen in een dialoog eens worden over het PvE;
2. Aansturen van het ontwerpproces;
3. Afleiden van lagere eisen;
4. Beheersen van de scope;
5. Verifiëren van het ontwerp en het resultaat;
6. Wijzigen.

Specificeren is het definiëren van de gewenste eigenschappen van een product door middel van het formuleren van eenduidige, meetbare en consistente eisen. Een verzameling eisen voor een bepaald product noemen we een specificatie. Er zijn twee voordelen van specificeren, te weten [CROW, 2004]:

- Lagere kosten en verkorting doorlooptijd omdat wordt gecommuniceerd met behulp van een specificatie over de gewenste kwaliteit van het product. Hierdoor zijn er minder iteratieslagen nodig om het product te realiseren.
- Hogere kwaliteit omdat de gewenste kwaliteit is geformuleerd in eisen waartegen het product tussentijds en bij oplevering kan worden geverifieerd.

Oplossingsvrij specificeren

Een specificatie moet in een interactief proces van de eisen met de oplossingen van boven naar beneden worden ingevuld [CROW, 2004]. Vanaf het begin van een project moet een expliciet ontwikkelingsproces worden gevolgd waarbij eisen worden vastgelegd, oplossingen worden ontwikkeld, oplossingen aan de eisen worden getoetst en een keuze wordt gemaakt uit de oplossingen. Dit ontwikkelingsproces moet op ieder niveau worden doorlopen (zie figuur).



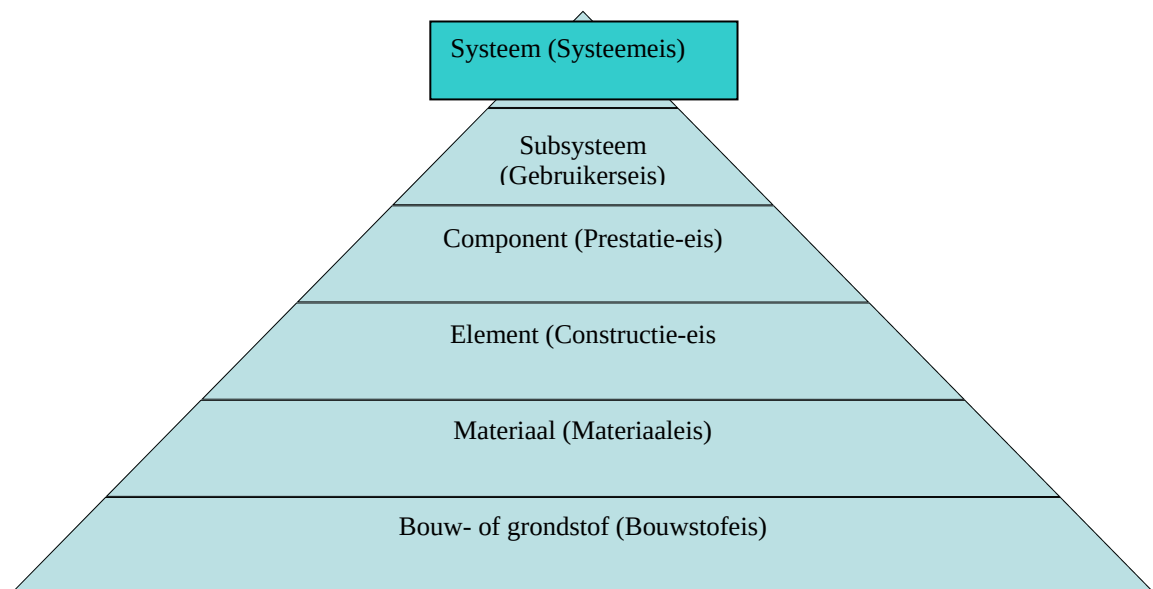
Figuur: Stappen in het ontwikkelingsproces [CROW, 2004]

In het ontwikkelingsproces wordt het ontwerpproces interactief met het specificatieproces doorlopen. Het specificatieproces richt zich hierbij op het opstellen van eisen. De ontwikkeling van eisen verloopt simultaan met het ontwerpproces. De specificaties moeten voortdurend aan de vooraf bedachte oplossingsruimte worden getoetst. Zij moeten steeds voldoende oplossingsruimte bevatten voor een volgende stap. In de eisen moet alleen worden beschreven wat vereist is en niet hoe het vereiste vervuld moet worden. In het specificatieproces zijn de volgende stappen te onderscheiden [CROW, 2004]:

- Stap 1: Structureren van het systeem: Het bouwobject wordt opgesplitst in verschillende delen zodat een boom ontstaat met steeds meer vertakkingen.
- Stap 2: Verzamelen van eisen: Uit diverse bronnen en actoren worden wensen en eisen verzameld voor het te specificeren bouwobject.
- Stap 3: Formuleren van eisen: De formulering van eisen moet op zichzelf ook weer aan eisen voldoen.
- Stap 4: Beheren van eisen: Eisen dienen snel en eenvoudig na te speuren en te controleren te zijn op volledigheid en consistentie om ze gecontroleerd te kunnen wijzigen.

Piramide van eisen

Eisen die de verlangde prestatie van het bouwwerk beschrijven, zijn schematisch op verschillende abstractieniveaus in een piramide van eisen weer te geven [CROW, 2004]. De functie van elk onderdeel van het bouwwerk stelt eisen aan het functioneren van de onderdelen op het niveau eronder. Zo komen we tot een hiërarchie van eisen. Op elk abstractieniveau worden de functies van het verlangde product volledig beschreven. De overgang tussen de niveaus is niet strikt afgebakend, maar vloeit min of meer in elkaar over. De piramide van eisen is slechts een schematisch denkraam, de specificatieboom is het daadwerkelijke gereedschap voor het opstellen van een specificatie (zie figuur). Het beschreven ontwikkelingsproces met interactie tussen het ontwerpproces en het specificatieproces zal steeds weer opnieuw moeten worden doorlopen voor elk niveau in de piramide van eisen.



Figuur: Piramide van eisen [CROW, 2004]

Niveau 1. systeemeis: keuze van oplossing is vrij

De eisen op niveau 1 betreffen de eisen die aan het functioneren van het systeem worden gesteld. Op niveau 1 moeten de functies worden aangegeven die door het systeem moeten worden vervuld en alle kaders waarbinnen de functies moeten vallen. Hierna moeten de gevonden functies naar eisen van het systeem worden vertaald. Op basis van de systeemeisen kunnen diverse oplossingen voor het systeem worden gemaakt. In beleidsrapporten is vaak al voor een bepaalde oplossing gekozen. Daarom hoeven alleen de eisen te worden vastgelegd, die te maken hebben met de gekozen oplossing. Dit kunnen maatschappelijke behoeften en eisen, zoals bereikbaarheid (verkeerscapaciteit), leefbaarheid, veiligheid (comfort) en duurzaamheid zijn. In termen van 'het moet geschikt zijn voor...'. Als systeemeis geformuleerd of uit doelstellingen, uitgangspunten en randvoorwaarden afgeleid, zoals beleidsdocumenten, beheersplannen, diverse normen, richtlijnen en handleidingen.

Niveau 2. gebruikerseis: keuze van het ontwerp is vrij

De eisen op niveau 2 betreffen de subsystemen van het systeem. De eisen van het systeem op niveau 1 moeten naar eisen van het subsysteem op niveau 2 worden vertaald. Alle gebruikerseisen op subsystemeniveau 2 moeten samen voldoen aan de betreffende eis van het systeem op niveau 1. Voor elke functie van het subsysteem moeten vervolgens de eisen van het subsysteem worden geïdentificeerd. Deze subsysteemeisen kunnen ook worden afgeleid uit de systeemeisen op niveau 1 en de subsysteemeisen moeten samen voldoen aan de betreffende systeemeis op niveau 1. De subsysteemeisen worden uiteraard bepaald door de keuze voor het ontwerp. Geverifieerd moeten worden of het ontwerp van de gekozen oplossing voldoet aan de vooraf gestelde eisen. Zo niet, dan moeten de eisen of het ontwerp zodanig worden geherformuleerd tot dat de subsysteemeisen en het ontwerp wel bij elkaar passen. Op basis van de systeemeisen op niveau 1 kunnen wellicht diverse oplossingen voor de subsystemen worden gemaakt. Dit kunnen maatschappelijke behoeften en eisen, zoals veiligheid (comfort), beschikbaarheid (verkeersafwikkeling en capaciteit), leefbaarheid (omgevingshinder), duurzaamheid (natuur en milieu & beschikbare aanleg- en onderhoudsbudgetten) zijn. In termen van 'het moet geschikt zijn voor...'. Als subsysteemeis geformuleerd of uit doelstellingen, uitgangspunten en randvoorwaarden afgeleid, zoals beleidsdocumenten, bestuurlijke afspraken, beheersplannen, diverse normen, richtlijnen en handleidingen.

Niveau 3. prestatie-eis: keuze van de techniek is vrij

De eisen van het subsysteem op niveau 2 moeten naar eisen van de componenten op niveau 3 worden vertaald. Alle afgeleide eisen op componentenniveau 3 moeten samen voldoen aan de betreffende eis van het subsysteem op niveau 2. Voor elke prestatie van de component moeten vervolgens de eisen van de component worden geïdentificeerd. Deze prestatie-eisen kunnen ook worden afgeleid uit de gebruikerseisen op niveau 2. Dit kunnen geluidsbeperkingen, capaciteit, verkeersafwikkeling, begaanbaarheid bouwfase en gebruiksfases, hinder aanleg, onderhoud en sloop, levensduur, realiseerbaarheid, comfort (dag- en nachtzichtbaarheid bij markeringen, oppervlaktekarakteristieken, zoals stroefheid, waterafvoerend en waterdoorlatend vermogen, langs- en dwarsvlakheid) zijn. Afgeleid van gebruikerseisen of uit algemene beleidsverklaringen, tracébesluit of beheersplannen. Zijn aangeduid als algemeen geldende meetbare, materiaalafhankelijke, functionele en kwantificeerbare technische eisen.

Niveau 4. constructie-eis: keuze van de constructie is vrij

De eisen van de component op niveau 3 moeten naar eisen van de constructie op niveau 4 worden vertaald. Alle afgeleide eisen op niveau 4 moeten samen voldoen aan de betreffende eis van de component op niveau 3. Voor elke functie van het element moeten vervolgens de eisen worden geïdentificeerd. De constructie-eisen kunnen ook worden afgeleid uit de prestatie-eisen op niveau 3. Dit kunnen constructie eigenschappen (gedrag en samenstelling), zoals duurzaamheid, stroefheid, stijfheid, vervorminggedrag, sterktegedrag, scheurgevoeligheid, aanhechting, beïnvloeding door klimatologische omstandigheden, buigstijfheid, weerstand tegen elastische en permanente vervorming, lastspreidende vermogen, druk bestendigheid, krimpgedrag, waterdoorlatendheid en vorstheffing, textuur, holle ruimte, rafeling, enz. zijn. Afgeleid van prestatie-eisen. Zijn te kwantificeren en te meten.

Niveau 5. materiaaleis: keuze van het materiaal is vrij

De eisen van het element op niveau 4 moeten naar eisen aan het materiaal op niveau 5 worden vertaald. Alle afgeleide eisen op materiaalniveau 5 moeten samen voldoen aan de betreffende eis van het element op niveau 4. Voor het materiaal moeten vervolgens de eisen worden geïdentificeerd. De materiaaleisen kunnen ook worden afgeleid uit de constructie-eisen op niveau 4. Dit kunnen potentiële materiaaleigenschappen (samenstelling en gedrag), zoals dynamische stijfheid, duurzaamheid, vermoeiing, vervorming, verdichtbaarheid, compatibiliteit, wrijvingseigenschappen, vorst- en vochtgevoeligheid en -bestendigheid, krimp en waterdoorlatendheid, trek- en splijtsterkte zijn. Afgeleid van constructie-eisen. Zijn te kwantificeren en te meten.

Niveau 6. bouwstofeis: de keuze van de bouwstof is vrij

De eisen aan het materiaal op niveau 5 moeten naar eisen aan de bouwstof op niveau 6 worden vertaald. Alle afgeleide eisen op bouwstofniveau 6 moeten samen voldoen aan de betreffende eis van het materiaal op niveau 5. Voor de bouwstof moeten vervolgens de eisen worden geïdentificeerd. De bouwstofeisen kunnen worden afgeleid uit de materiaaleisen op niveau 5. Dit kunnen bouwstofeigenschappen (samenstelling en gedrag), zoals treksterkte, breukrek, vloeï, verwerkingspunt, chemisch-mineralogische-, fysische- en morfologische aspecten, korrelverdeling en -vorm, samenstelling- en poriëngehalte zijn. Afgeleid van materiaaleis of uit standaard RAW-bepalingen. Proceseisen tijdens verwerking en zijn te kwantificeren en te meten.

Ordenen van de specificatie

De basis van een goede specificatie ligt in een rubricering die voldoet aan een aantal eisen. Specificaties met een dergelijke rubricering kunnen op alle type projecten toegepast worden:

- Coherent: eisen van gelijke abstractie zijn gegroepeerd;
- Compleet: alle eisen moeten er in te plaats zijn, er mogen geen eisen overblijven en ontbreken;
- Noodzakelijk: eisen gebruiken als het moet en niet zodra het kan;
- Zichtbare doorvertaling: een hogere eis moet eenduidig op een lager niveau terug te vinden zijn;
- Er moet een directe verbinding zijn met de functies waaraan het systeem moet voldoen;
- Ze moet kunnen fungeren als checklist.

Elke eis binnen de piramide van eisen heeft twee kenmerken die bepalen waar deze geplaatst moet worden: de abstractie van de eis en de soort van de eis (primaire en secundaire eisen, interne en externe raakvlakeisen). Op het hoogste niveau van de piramide van eisen (systeem) worden de meeste abstracte eisen geformuleerd en die vormen het begin van een project. Een abstractieniveau lager (substelsysteem) wordt een detailleringsslag gemaakt. Waar het systeemniveau het project als geheel beschouwd, wordt het project op het substelsysteemniveau in zijn deelsystemen neergezet. Er is nog steeds sprake van een hoog abstractieniveau. Eisen op dit niveau beslaan meerdere, veelal afzonderlijke, subsystemen. De eisen op substelsysteemniveau zijn voldoende gedetailleerd om als basis te dienen voor een eerste ontwerp. Om de gehele verzameling eisen te kunnen rubriceren, kan onderscheid gemaakt worden tussen de eerste twee abstractieniveaus en de daaronder liggende niveaus [CROW, 2004].

Rubricering niveaus systeem en substelsysteem

De eerste twee niveaus zijn abstract en bevatten een redelijk overzichtelijk aantal eisen. Vanwege de abstractie wordt een indeling gebruikt die het hele systeem beschrijft. De hoofdingeling op deze niveaus bestaat uit [CROW, 2004]:

1. Gebruikswaarde: de gebruiksmogelijkheden van het bouwobject;
2. Omgevingswaarde: de invloed van het project op de omgeving, inclusief belevingswaarden;
3. Toekomstwaarde of toekomstvastheid: eisen met betrekking tot aanpassing van de gerealiseerde objecten aan de toekomstverwachtingen en de instandhouding van het bouwwerk; de gebruikswaarde, omgevingswaarde en instandhoudingswaarde over 5, 10 of 25 jaar;
4. Realisatiewaarde: de toe te passen technieken en afhankelijkheden van andere (sub)systemen;
5. Instandhoudingswaarde: alle life-cycle management aspecten;
6. Veiligheid: vervullen van vereiste functies vrij van onaanvaardbare risico's of letsels.

Rubricering lager liggende niveaus

Bij lagere liggende niveaus wordt een indeling naar vervullen functies en andere eisen ingebed in de rubricering. Het aantal eisen dat in de twee opvolgende (en lagere) niveaus voortkomt, is veel groter. Hiernaast daalt het abstractiegehalte en komen de afzonderlijke componenten in beeld. De koppeling met de functies geeft houvast bij het opstellen van de eisen en ze fungeert daarnaast ook als een checklist. Een indeling op basis van functioneren van een systeem is hier van toepassing [CROW, 2004]:

- Betrouwbaarheid: de waarschijnlijkheid dat een object de vereiste functie kan uitvoeren onder gegeven omstandigheden gedurende een bepaalde tijd. De betrouwbaarheid is gerelateerd aan de frequentie van in een tijdsvenster optredende onregelmatigheden die de beschikbaarheid aantasten.
- Beschikbaarheid: het vermogen van een object in een toestand te verkeren om de vereiste functie onder bepaalde omstandigheden op een bepaald moment of gedurende een bepaalde tijd te vervullen, ervan uitgaande dat de vereiste externe hulpbronnen zijn verschaft. De beschikbaarheid is gerelateerd aan de tijd dat de functie beschikbaar is ten opzichte van het tijdsvenster van een jaar. De beschikbaarheid wordt beïnvloed door de duur en het geplande en ongeplande onregelmatigheden die de beschikbaarheid aantasten.
- Onderhoudbaarheid: de waarschijnlijkheid dat een bepaalde activiteit voor actief onderhoud voor een object onder gegeven gebruiksomstandigheden kan worden uitgevoerd volgens vastgelegde voorwaarden en aan de hand van vastgestelde procedures en hulpbronnen.

Verder kunnen hier ook zogenaamde secundaire eisen vermeld worden die niet direct voortkomen uit de primaire behoeften. Secundaire eisen vereisen gedurende het gehele bouwproces speciale aandacht. Zij vallen uiteen in de volgende categorieën [CROW, 2004]:

1. Vormgeving: eisen met betrekking tot uiterlijke vormgeving van gerealiseerde objecten.
2. Gezondheid, hygiëne en milieu: het bouwwerk moet zodanig worden ontworpen en uitgevoerd dat de hygiëne en de gezondheid van bouwers, gebruikers, bewoners en omwonenden geen risico lopen.
3. Hinder/last: het bouwwerk moet zodanig ontworpen en uitgevoerd worden dat de waargenomen last of hinder voor bouwers, gebruikers, bewoners en omwonenden zodanig beperkt blijft dat het hun gezondheid niet bedreigt en hun slaap, rust of werk daarvan geen nadeel ondervinden. Bijvoorbeeld eisen aan toelaatbaar geluid en trillingen tijdens de realisatie en de gebruiksfase.
4. Veiligheid: het bouwwerk en de werkzaamheden voor de realisatie ervan moeten zodanig worden ontworpen en uitgevoerd dat er geen onaanvaardbare risico's zijn. Bijvoorbeeld eisen met betrekking tot de veiligheid tijdens de realisatie- en de gebruiksfase van het bouwobject, zoals eisen met betrekking tot brandveiligheid en gebruiksveiligheid.
5. Duurzaamheid: het bouwwerk moet zodanig worden ontworpen en uitgevoerd dat, gezien de plaatselijke (klimatologische) omstandigheden, een gering verbruik van energie en grondstoffen, voldoende is voor de realisatie en het gebruik van het bouwobject. Bijvoorbeeld eisen met betrekking tot energiezuinigheid zoals energiebesparing en warmtebehoud en duurzaam gebruik van bouwstoffen door bijvoorbeeld hergebruik.

Interne en externe raakvlakeisen

Interne en externe raakvlakken zijn raakvlakken met andere objecten. Externe raakvlakken liggen aan de buitengrenzen van het bouwobject en interne raakvlakken liggen binnen de grenzen van een bouwobject. Voor alle niveaus moeten de externe en interne raakvlakeisen worden vastgesteld. Raakvlakspecificaties zijn per definitie speciaal en sterk afhankelijk van het beschouwde systeem en zal dan hiervoor ook per project een bepaalde indeling gebruikt moeten worden [CROW, 2004].

Externe raakvlakken

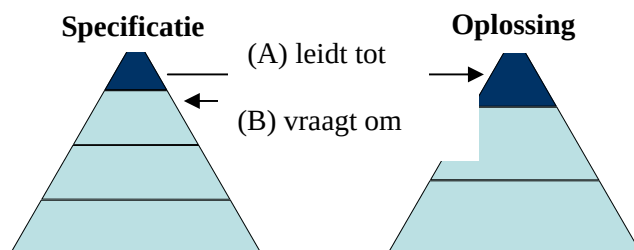
Ieder systeem heeft ook relaties met zijn omgeving, dit zijn de externe raakvlakken [CROW, 2004]. Het gaat hierbij om andere infrastructuur, kabels en leidingen van derden, ecologische verbindingen en waterhuishouding, die niet tot het beschouwde systeem behoren. In de formulering van de externe raakvlakeisen gaat het er om wat het systeem moet doen met de infrastructuur in de omgeving en andersom. Bijvoorbeeld de autosnelweg en de onderliggende weg moeten goed op elkaar aansluiten, omdat de automobilist de overgang van de onderliggende weg naar de autosnelweg niet merkt. De externe raakvlakeisen vloeien voort uit de fysieke situatie aan de buitengrenzen van het systeem autosnelweg. Om de externe raakvlakken op verschillende niveaus te identificeren kan eerst een schema op het systeemniveau worden uitgewerkt. Hierin zal naar voren komen hoe het bouwobject aansluit op zijn omgeving. Heel letterlijk genomen is dat bijvoorbeeld de afrit of de invoegstrook op de autosnelweg. De functies die de (onder)delen van het bouwobject in de omgeving vervullen, moeten worden geanalyseerd. Op grond van deze functies moeten vervolgens de eisen die de omgeving aan de (onder)delen van het bouwobject stelt, worden bepaald. Dit zijn de externe raakvlakeisen. Achtereenvolgens moeten op een dezelfde wijze de externe raakvlakken voor alle subsystemen en componenten worden geïdentificeerd. Steeds zal hierdoor naar voren komen welke andere subsystemen of componenten in de omgeving aanwezig zijn. Hierbij moeten de externe raakvlakkeneisen van niveau 1 niet worden vergeten.

Interne raakvlakken

In ieder project zijn er relaties tussen de onderdelen van het systeem van het bouwwerk [CROW, 2004]. Dit zijn de interne raakvlakken. De interne raakvlakken komen op elk niveau voor behalve op niveau 1 het systeemniveau. Het ene onderdeel beïnvloedt het andere onderdeel in het functioneren. In de specificaties moet goed beschreven zijn hoe de onderdelen met elkaar zijn verbonden, bijvoorbeeld tot welke grens het onderdeel wegverharding loopt en waar het onderdeel viaduct start. Omdat alle onderdelen samen het hele systeem vormen, moet er in formulering van de eisen richting worden gegeven aan de wijze waarop alle onderdelen in elkaar passen. Bijvoorbeeld een uniform wegbeeld voor de weggebruiker en een continu onderhoudssysteem voor de wegbeheerder. Het scherp definiëren van de raakvlakken is vooral relevant als onderdelen van het project apart worden uitgewerkt binnen verschillende disciplines. Voor elk (onder)deel van het bouwobject moeten de interne raakvlakeisen worden vastgesteld. Om de interne raakvlakken te identificeren kan eerst een schema worden opgesteld. Hierin moet naar voren komen welke andere (onder)delen van het bouwobject in de omgeving aanwezig zijn. Hierna kunnen de relaties tussen (onder)delen worden geanalyseerd en de daaruit voortvloeiende eisen worden bepaald. Dit zijn de interne raakvlakeisen.

Ontwikkelingsproces

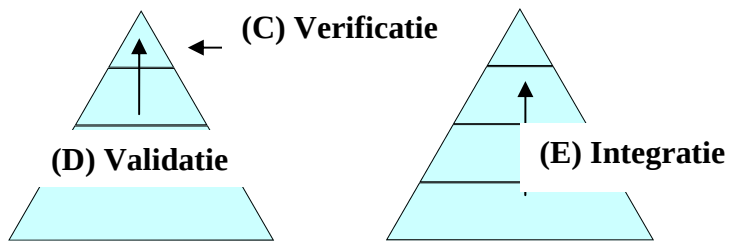
Het opstellen van de specificaties tijdens het ontwikkelingsproces van een Function Analysis vergt een iteratief ontwerpproces [CROW, 2004]. Naarmate men verder in het ontwerpproces komt, worden de specificaties en oplossingen verder uitgewerkt. De linkerpiramide geeft de specificaties of eisen weer die aan het realiseren object worden gesteld (zie figuur). Deze specificaties worden eerst abstract geformuleerd en daarna een bijbehorende ontwerpslag waaruit een nadere uitwerking volgt. De specificaties worden vertaald naar één of meerdere concrete ontwerpen (A), de rechterpiramide. De gekozen oplossing is vervolgens aanleiding om, passend binnen de kaders van eerder gestelde specificaties, aanvullende specificaties met een groter detailniveau te formuleren (B). De oplossingen worden, gelijk opgaand met de specificaties, van abstract naar gedetailleerd uitgewerkt.



Figuur: Specificatieoplossingen [CROW, 2004]

In het ontwerpproces geeft de fasering aan of dat aan de specificatie is voldaan en dat de nieuwe situatie in overeenstemming is met eerder gestelde specificaties en oplossingsrichting (zie figuur). Dit betekent dat in het specificatie- en ontwerpproces de volgende activiteiten worden uitgevoerd [CROW, 2004]:

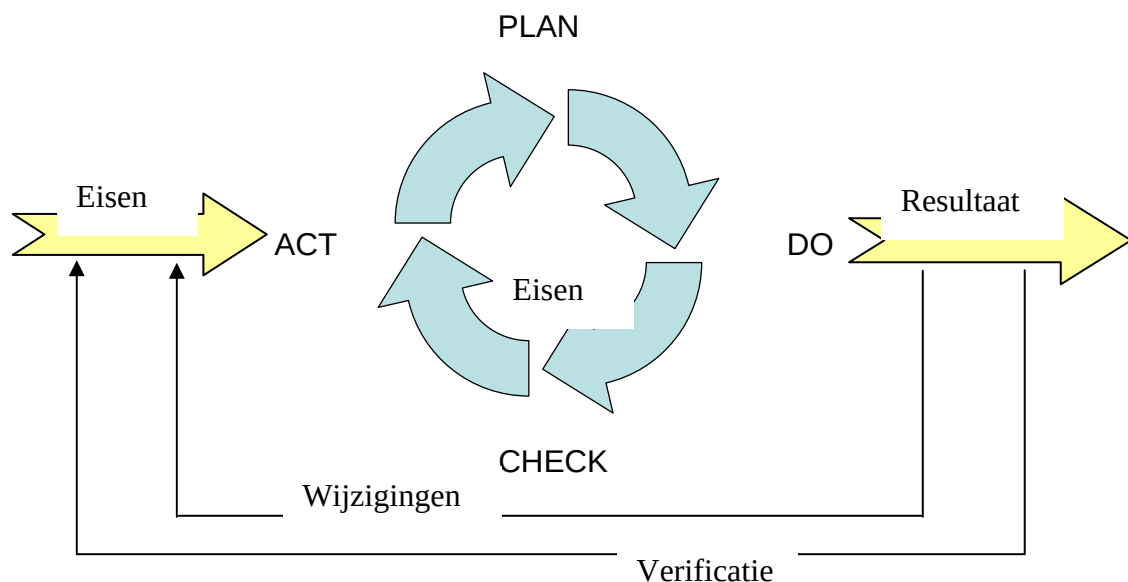
- (C) Verificatie: het toetsen van het ontwerp aan de specificaties.
- (D) Validatie: het toetsen van de eisen aan de eerder op een hoger abstractieniveau geformuleerde specificaties.
- (E) Integratie: toetsen of ontwerputwerkingen van projectonderdelen passen in het totale ontwerp (ook een vorm van validatie).



Figuur: Verificatie-, validatie- en integratieproces tijdens specificeren [CROW, 2004]

Wijzigen van eisen

In de specificatie zijn de eigenschappen vastgelegd, die de gewenste eigenschappen van het te leveren bouwwerk in zijn omgeving definiëren [CROW, 2004]. Het bouwwerk moet bij oplevering aantoonbaar voldoen aan de gestelde eisen. Sturen aan de hand van eisen is een iteratief proces. Om tussentijds vast te stellen of het eindresultaat zal voldoen aan de eisen, is een beheerst proces nodig. De output van het proces (resultaat) wordt tussentijds gecontroleerd, dit wordt verificatie genoemd. Men kan de tot de ontdekking komen dat de eisen niet geheel kloppen en bijgesteld moeten worden. Hierdoor ontstaan wijzigingen. Iteraties zijn noodzakelijk om te komen tot een resultaat dat voldoet aan de eisen (zie figuur).



Figuur: Iteraties tijdens een ontwerpproces bij het verifiëren en het wijzigen [CROW, 2004]

Bijlage J – Decompositie (synthese & analyse)

Decompositie is een op analyse gerichte werkwijze, waarin we een verschijnsel willen begrijpen door het uit elkaar te nemen. Door te begrijpen hoe de onderlinge delen werken, proberen we te weten te komen hoe het samenstel van onderdelen werkt. Het kan in drie fasen worden beschreven volgens Veenvliet [2005]:

1. Het uit elkaar halen van het ding wat we willen begrijpen.
2. Proberen te begrijpen hoe de onderdelen werken.
3. Het begrip van de onderdelen samenstellen tot een begrip van het geheel.

Hierbij gaan we voorbij aan het feit dat essentiële eigenschappen van dingen niet afgeleid kunnen worden uit de eigenschappen van hun delen of de interacties daartussen. Anders gezegd, het geheel is meer dan de som der delen. Als een systeem uiteen wordt genomen verliest het zijn essentiële eigenschappen. Het kan dan niet met analyse begrepen worden. Om dergelijke verschijnselen te begrijpen is systeemdenken nodig. Deze denkwijze is gebaseerd op synthese [Veenliet, 2005]. Volgens Kramer en De Smit [1996] draait synthese om de volgorde van drie stappen in de analyse:

1. Identificeer het omvattende geheel waarvan het ding dat verklaard moet worden een deel is.
2. Verklaar het gedrag of de eigenschappen van het omvattende geheel.
3. Verklaar dan het gedrag of de eigenschappen van het ding, dat verklaard moet worden, in termen van de rol of functie in het omvattende geheel.

Synthese en analyse zijn complementaire processen. In de analyse wordt het verschijnsel dat verklaard moet worden behandeld als een geheel dat moet worden gedeconponeerd in de synthese als een deel van een groter geheel, interactiematrix, vlekkenplan en aderplan. Analyse verkleint dus de focus van de ontwerper en synthese verruimt hem juist. Analyse focust op structuur. Het onthult hoe dingen in elkaar zitten en werken. Synthese focust op functie gedrag en eigenschappen van het geheel als gevolg van de functie van delen. Het onthult waarom dingen werken zoals ze doen. Daarom leidt analyse tot kennis en synthese tot begrip. Analyse maakt het mogelijk om te beschrijven: synthese om te veranderen. Aangezien het vanuit een gedachtegang niet mogelijk is analyse en synthese gelijktijdig uit te werken vinden ze in volgorde plaats. Dit betekent dat gestart wordt met de analyse of met de synthese. In de meeste gevallen starten ontwerpers vanuit een analyse van het ontwerpprobleem via decompositie, wetende dat hiermee essentiële eigenschappen verloren gaan of niet meer zichtbaar zijn in een decompositiemodel. In een vervolgstap wordt via systematische en logische samenvoeging van delen tot subsystemen en systemen, gezocht naar de eigenschappen van deze gehelen. Op deze wijze worden gedrag en eigenschappen van subsystemen en systemen bepaald [Veenliet, 2005].

Bijlage K – Kansen & perspectieven voor gewijzigde procesinrichting

Tabel: Kansen en perspectieven SE voor ondervanging van knelpunten en kenmerken in case

Technische complexiteit (externe projectomgeving):	
Indicator Case	Kenmerken & knelpunten Case
Indicator SE	Typeringen & karakteristieken SE
Ontwerpruimte	• Projectscoope en -doel gedeeltelijk bekend en voorgeschreven: - o Niet volledig meetbaar - o Onduidelijkheden in PvE (extra communicatie nodig geweest) - o Herdefinitie activiteiten plaatsgevonden (probleemformulering) - o Wijzigingen in ontwerp- en risicoanalyse hebben geleid tot kosten verhogingen • Probleemstelling begrensd door ontwerpteam Superbus infrastructuur: - o Behandelbare scope toegepast zonder onduidelijkheden en risico's - o Alternatieve ontwerp mogelijkheden uitgesloten - o Geen (historische) gegevens ZZL tracé - o Geen testcriteria gegevens Superbus en Superbaan
Flexibiliteit	• Ontwerpwijzigingen zijn doorvoerbaar gedurende het gehele proces
Transformatie	• Identificatie en beoordeling van alternatieve oplossingen (operationele scenario's van gedrag systeem onder gevarieerde condities) (Niet uitgaan van één oplossing)
Betrouwbaarheid	• Leidt tot minimale ontwerp wijzigingen (doel, eisen en risico's worden vroegtijdig intensief en uitgebreid ontrafeld in voorontwerp) • Verbetert inzicht in eisen, functies, functie vervullers, externe en interne interacties (relaties) • Vroegtijdige vermindering van risico's (simulatie en visualisatie risico's in voorontwerp) • Standaard bouwrisico's worden beter beheerst • Ontwerpproces risico's worden beter onderkend en beheerst • Door management proces beter controleerbaar en beheersbaar (onderhoud en bewaking) (toetsbaar & aantoonbaar)
Scenario's	• Gebruik Superbusverkeer (concessie periode 30 jaar) • Gedeeltelijke aanpasbaarheid Superbaan (Alternatief: auto- of busverkeer)
Transformatie	• Identificatie en beoordeling van alternatieve oplossingen (operationele scenario's van gedrag systeem onder gevarieerde condities) (Niet uitgaan van één oplossing) • Identificatie en definitie van relaties en koppelingen (allocatie en correlatie) tussen inter-acterende eisen, functies en functiedragers • Systeem wordt niet geïsoleerd van omgeving tijdens ontwikkelingsproces (koppelingen systemen met interne of externe systemen, platformen en producten)
Betrouwbaarheid	• Integratie klanten in proces door levensduur benaderingswijze (ontrafelen wensen en behoefte gebruikers) • Verbetert inzicht in eisen, functies, functie vervullers, externe en interne interacties (relaties)

Tabel: Kansen en perspectieven SE voor ondervanging van knelpunten en kenmerken in case

Ongestructureerdheid probleem (interne projectomgeving):	
Indicator Case	Kenmerken & knelpunten Case
Indicator SE	Typeringen & karakteristieken SE
Transformatie	- Vanuit één oplossing naar kostenraming gewerkt: - MZB tracé leidend geweest voor hoeveelheid- en kostenschattingen (kruisingen, kunstwerken en halteplaatsen) - Vanuit bestaande marktoplossingen (functievervullers), zoals referentie projecten, marktproducten en –technologieën - Extra informatie, opmerkingen en feedback hebben tot iteraties en herstelactiviteiten geleid: - Reactief ten aanzien van ontwerpwijzigingen veiligheidsmaatregelen en kostenramingmethoden - Speciaal ingenieursbureau ingeschakeld voor probabilistische kostenraming (gelijksoortige kostenramingmethode ontwikkeld voor HSL) - Van doel (eisen) naar technische oplossing (functievervullers): - Tussenstep functies overgeslagen (Geen functies geformuleerd) - Cyclische terugkoppelingen en iteratieslagen voor toetsing uitgangspunten, doelstellingen en eisen
Flexibiliteit	(On-)afhankelijke alternatieve managementmethoden (disciplines & applicaties) zijn toevoegbaar, aanpasbaar en verwijderbaar gedurende het gehele proces (On-)afhankelijke alternatieve ontwerptechnieken (modellen & werkwijzen) zijn toevoegbaar, aanpasbaar en verwijderbaar gedurende het gehele proces - Ontwerpwijzigingen zijn doorvoerbaar gedurende het gehele proces - Vrijheid in in te schakelen specialismen om taken en activiteiten te volbrengen gedurende het gehele proces
Transformatie	- Systematische gestructureerde gefaseerde aanpak bestaande uit een geordende set van technische ontwikkelingstappen (iteratief voortdurend proces van taakopvolgingen) - Ontwerpregels vormen basis voor ontwerp mogelijkheden - Vanuit eisen naar functies, vanuit functies naar oplossingen (Start zonder invulling van oplossing) - Identificatie en beoordeling van alternatieve oplossingen (operationele scenario's van gedrag systeem onder gevarieerde condities) (Niet uitgaan van één oplossing) - Identificatie en definitie van relaties en koppelingen (allocatie en correlatie) tussen inter-acterende eisen, functies en functiedragers - Systeem wordt niet geïsoleerd van omgeving tijdens ontwikkelingsproces (koppelingen systemen met interne of externe systemen, platformen en producten)
Communicatie	Overzichtelijker voor projectmanagement (kapstok & standaardisatie)
Besluitvorming	Indien kwaliteitssysteem specifiek voor project op orde is (wie, wat, wanneer en hoe?), heeft opdrachtnemer vrijheid om ontwerpproces te doorlopen (opdrachtnemer controleert eigen werk)

Tabel: Kansen en perspectieven SE voor ondervanging van knelpunten en kenmerken in case

Informatiesysteem	• Mogelijkheid koppeling van een transparante digitale applicatie voor kennis- en visiedeling • Mogelijkheid koppeling van een transparante holistische representatie methoden (simulatie en visualisatie (alternatieve) modellen in de vorm van eisen, functies en functiedragers)
Betrouwbaarheid	• Gedegen systeemontwikkeling verzekerd (methodiek uniform en consistent) • Synthese bepaald succes oplossing (voldaan aan klantenwensen en maatschappelijke acceptatie) • Integratie klanten in proces door levensduur benaderingswijze (ontrafelen wensen en behoefte gebruikers) • Leidt tot minimale ontwerpwijzigingen (doel, eisen en risico's worden vroegtijdig intensief en uitgebreid ontrafeld in voorontwerp) • Verbetert inzicht in investeringskosten van product of systeem • Verbetert inzicht in eisen, functies, functievervullers, externe en interne interacties (relaties) • Door management proces beter controleerbaar en beheersbaar (onderhoud en bewaking) (toetsbaar & aantoonbaar) • Integere en transparante werkwijze (helder en duidelijk gedocumenteerd proces & methodiek uniform en consistent) • Voorgeschreven processen zijn beter geborgd (uitgevoerd op juiste wijze en door juiste mensen) • Traceerbaarheid en naspeurbaarheid (controle: verificatie en validatie) van eisen, functies en functiedragers • Mogelijkheid voor project deelnemers productkwaliteit subjectief te kwantificeren
Tijd	• Totaal 7 maanden (kalendertijd)
Tijd	• Vergt meer tijd in voorontwerp (inspanning: methodiek implementeren + ontwerpen systeem) • Leidt tot sneller verloop van het totale ontwerp (kortere projectplanning door tijdbesparingen in vervolgfases) (indien inspanning 15-20%!)
Betrouwbaarheid	• Positieve effecten op nakoming project planning (indien inspanning 15-20%!)
Budget	• Niet leidend • Hoogte onbekend: - o Lastig te achterhalen (TUDelft publieke bekostigde instelling) - o Schatting ingenieursvergoeding € 80,- per uur (+/- € 65.000,-)
Dynamiek	• Controlemechanisme
Communicatie	• Overzichtelijker voor projectmanagement (kapstok & standaardisatie)
Kosten	• Inzet proceskosten 3-8% van totale investeringskosten project
Betrouwbaarheid	• Door management proces beter controleerbaar en beheersbaar (onderhoud en bewaking) (toetsbaar & aantoonbaar) • Integere en transparante werkwijze (helder en duidelijk gedocumenteerd proces & methodiek uniform en consistent)
Arbeid	• Niet leidend • Totaal 865 manuren

Tabel: Kansen en perspectieven SE voor ondervanging van knelpunten en kenmerken in case

Dynamiek	• Controlemechanisme • In begin lastig te vatten (vereist tegennatuurlijke werkhouding) • Processtart valt samen met vallen en opstaan, daarna gestructureerd en vlot
Communicatie	• Overzichtelijker voor projectmanagement (kapstok & standaardisatie)
Arbeid	• Optimum inzet van methodiek 15-20% inspanning van totale project inspanning • Vraagt om intensievere inspanning in voorontwerp (inspanning: methodiek implementeren + ontwerpen systeem) • Leidt tot gemakkelijker verloop van systeemontwikkeling in vervolgfasen (Zo vroeg mogelijk oppakken en verwerken) • Vereist extra sturing door besturend orgaan (management proces)
Betrouwbaarheid	• Door management proces beter controleerbaar en beheersbaar (onderhoud en bewaking) (toetsbaar & aantoonbaar) • Integere en transparante werkwijze (helder en duidelijk gedocumenteerd proces & methodiek uniform en consistent) • Kwaliteit inspanning doet er toe (lage kwaliteit reduceert effectiviteit)
Dynamiek	• Aanpak traditioneel (Civ. Tech. Sector) “Zo doen wij dat altijd”!: - o Aan de hand van ‘Common sense’ - o Geen standaardisatie of procesmethodiek - o Opeenvolgingen bepaald door werkzaamheden (reactief karakter) - o Onbewust zijn toekomstige procesactiviteiten - o Tijdsdruk heeft effectieve en efficiënte ontwerpaanpak bepaald - o Creatieve ontwerpprocesinrichting heeft mede eindresultaat bepaald - o Eindresultaat bepaald door kennis en kunde, visie en creativiteit van ontwerpers • Voornamelijk verlopen als ‘Waterval Model’: - o Fase per fase - o Opeenvolgend proces met afbakeningen • Tevens kansgedreven karakter: - o Niet lineaire volgorde activiteiten - o Intelligent en creatief leerproces - o Iteraties en herstelactiviteiten plaatsgevonden
Dynamiek	• Gestructureerde systematische stapsgewijze expliciete project aanpak • Integraal interdisciplinair gefaseerd ontwikkelingsproces • Controlemechanisme • Creativiteit en synthese wordt gestimuleerd (proactieve werkwijze) • Transparante iteratieve benaderingswijze (mathematisch gebaseerd) • Een op analyse gerichte werkwijze (decompositie: probleem systeem willen begrijpen door uit elkaar te nemen, voordat je het probeert op te lossen) • In begin lastig te vatten (vereist tegennatuurlijke werkhouding) • Processtart valt samen met vallen en opstaan, daarna gestructureerd en vlot • Moet worden gezien als hulpmiddel • Door onafhankelijk te onderscheiden projectfasen is het doel van project te structureren

Tabel: Kansen en perspectieven SE voor ondervanging van knelpunten en kenmerken in case

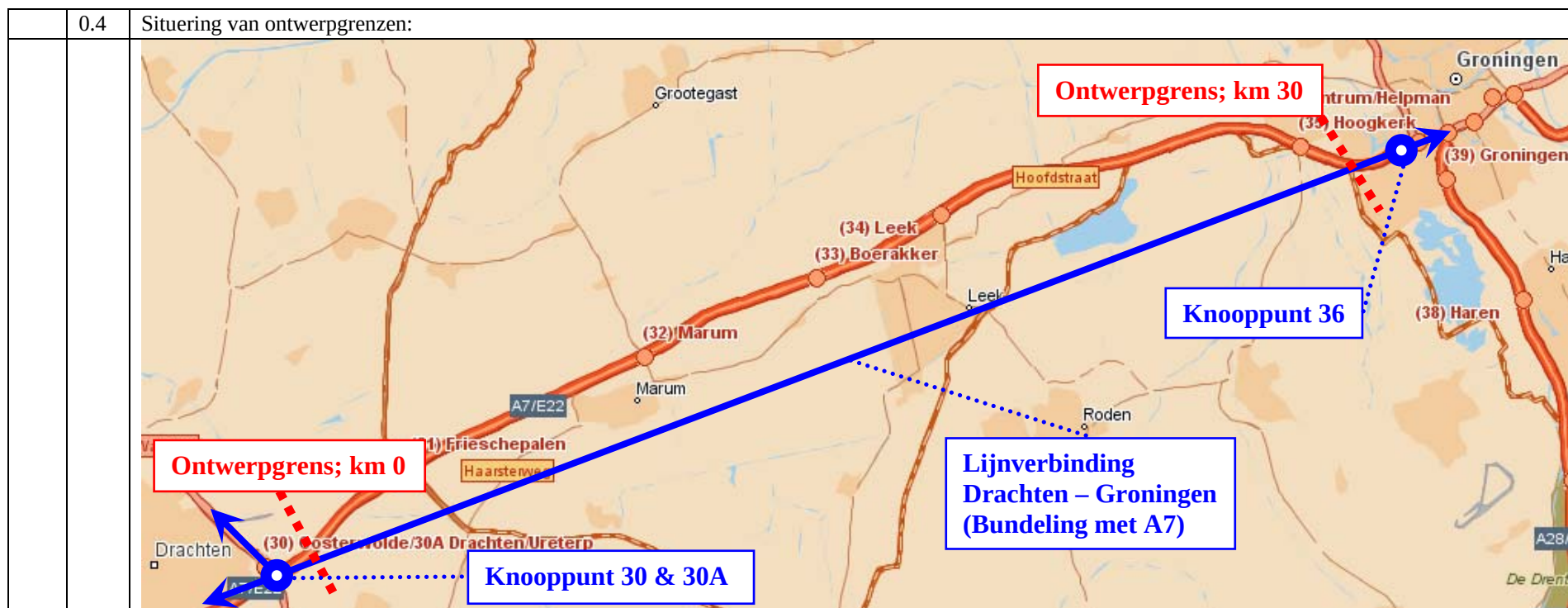
Communicatie	• Overzichtelijker voor projectmanagement (kapstok & standaardisatie)
Betrouwbaarheid	• Door management proces beter controleerbaar en beheersbaar (onderhoud en bewaking) (toetsbaar & aantoonbaar) • Integere en transparante werkwijze (helder en duidelijk gedocumenteerd proces & methodiek uniform en consistent) • Synthese bepaald succes oplossing (voldaan aan klantenwensen en maatschappelijke acceptatie) • Voorgescreven processen zijn beter geborgd (uitgevoerd op juiste wijze en door juiste mensen)
Sociale complexiteit (sociaal netwerk):	
Indicator Case	Kenmerken & knelpunten Case
Indicator SE	Typeringen & karakteristieken SE
Besluitvorming	• Handelbaar door beperkte omvang organisatie: - o Platte hiërarchiestructuur in netwerk - o Weinig betrokken partijen in projectomgeving - o Tweepartijensysteem door projectorganisatie ZZL (opdrachtgever) en ontwerpteam Superbus infrastructuur (opdrachtnemer) - o Geen polariteit tussen opdrachtgever (probleemgericht) en opdrachtnemer (oplossingsgericht) vanuit functies
Communicatie	• Vereist interdisciplinaire coördinatie • Expliciet te communiceren (gedefinieerd ontwikkelingsproces)
Besluitvorming	• Leidt tot moeilijk te krijgen draagvlak (nut, noodzaak en waarde van implementeren methodiek) • Nut wordt pas ingezien als proces opgang is • Bindende structuur tussen de opdrachtgever en opdrachtnemer (methodiek gekoppeld aan contract) • Indien kwaliteitssysteem specifiek voor project op orde is (wie, wat, wanneer en hoe?), heeft opdrachtnemer vrijheid om ontwerpproces te doorlopen (opdrachtnemer controleert eigen werk) • Gestructureerde organisatie geeft de doorslag tot succes
Betrouwbaarheid	• Toepassing is niet risicool (vereist onderhoud en bewaking door projectmanagement) • Door management proces beter controleerbaar en beheersbaar (onderhoud en bewaking) (toetsbaar & aantoonbaar) • Integere en transparante werkwijze (helder en duidelijk gedocumenteerd proces & methodiek uniform en consistent) • Voorgescreven processen zijn beter geborgd (uitgevoerd op juiste wijze en door juiste mensen)
Communicatie	• Wekelijks overleg (bijeenkomsten & vergaderingen) - o Naar aanleiding van voortgangsrapportages - o Naar aanleiding van afbakening en vaststelling - o Gesprekken vaak 1 op 1 gevoerd • Telefonisch verkeer • Digitaal verkeer (bijvoorbeeld E-mail)
Communicatie	• Vereist interdisciplinaire coördinatie • Vereist meer documentatie • Expliciet te communiceren (gedefinieerd ontwikkelingsproces) • Kloven tussen disciplines (verschillen in taal en paradigma's) worden overbrugd • Overzichtelijker voor projectmanagement (kapstok & standaardisatie)

Tabel: Kansen en perspectieven SE voor ondervanging van knelpunten en kenmerken in case

Besluitvorming	• Bindende structuur tussen de opdrachtgever en opdrachtnemer (methodiek gekoppeld aan contract) • Indien kwaliteitssysteem specifiek voor project op orde is (wie, wat, wanneer en hoe?), heeft opdrachtnemer vrijheid om ontwerpproces te doorlopen (opdrachtnemer controleert eigen werk)
Informatiesysteem	• Mogelijkheid koppeling van een transparante digitale applicatie voor kennis- en visiedeling • Mogelijkheid koppeling van een transparante holistische representatie methoden (simulatie en visualisatie (alternatieve) modellen in de vorm van eisen, functies en functiedragers)
Betrouwbaarheid	• Toepassing is niet risicoloos (vereist onderhoud en bewaking door projectmanagement) • Door management proces beter controleerbaar en beheersbaar (onderhoud en bewaking) (toetsbaar & aantoonbaar) • Integere en transparante werkwijze (helder en duidelijk gedocumenteerd proces & methodiek uniform en consistent) • Voorgeschreven processen zijn beter geborgd (uitgevoerd op juiste wijze en door juiste mensen)
Werkomgeving	• Werkzaamheden binnen eigen bedrijfsomgeving • Taken naast eigen bedrijfsprocessen • Vergaderingen binnen en buiten eigen bedrijfsomgeving
Informatiesysteem	• Mogelijkheid koppeling van een transparante digitale applicatie voor kennis- en visiedeling • Mogelijkheid koppeling van een transparante holistische representatie methoden (simulatie en visualisatie (alternatieve) modellen in de vorm van eisen, functies en functiedragers)
Informatiesysteem	• Tijdens overleg Topografische kaarten ANWB met tracé ingetekend als visualisatie • Digitale (gedeelde) overdrachtmethoden (beheren & controleren): - o Definitieve documenten op Internet (site TUDelft) geplaatst - o Cd-rom's - o E-mail verkeer (incl. benodigde bijlagen)
Communicatie	• Vereist meer documentatie • Expliciet te communiceren (gedefinieerd ontwikkelingsproces) • Kloven tussen disciplines (verschillen in taal en paradigma's) worden overbrugd • Overzichtelijker voor projectmanagement (kapstok & standaardisatie)
Informatiesysteem	• Mogelijkheid koppeling van een transparante digitale applicatie voor kennis- en visiedeling • Mogelijkheid koppeling van een transparante holistische representatie methoden (simulatie en visualisatie (alternatieve) modellen in de vorm van eisen, functies en functiedragers)
Betrouwbaarheid	• Toepassing is niet risicoloos (vereist onderhoud en bewaking door projectmanagement) • Door management proces beter controleerbaar en beheersbaar (onderhoud en bewaking) (toetsbaar & aantoonbaar) • Integere en transparante werkwijze (helder en duidelijk gedocumenteerd proces & methodiek uniform en consistent) • Voorgeschreven processen zijn beter geborgd (uitgevoerd op juiste wijze en door juiste mensen)

Tabel: Kansen en perspectieven SE voor ondervanging van knelpunten en kenmerken in case

Kostenvergelijking:	
Indicator Case	Kenmerken & knelpunten Case
Indicator SE	Typering & karakteristieken SE
Kosten	• Kanttekening ‘betrouwbaarheid’ kostenraming: - o Risicovolle kostencomponenten (complexe technieken) - o Geen gegevens onderhoudskosten (restzettingen)
Kosten	• Resulteert in kostenbesparingen voor investering van ontwerp (indien inspanning 15-20%!))
Betrouwbaarheid	• Positieve effecten op nakoming investeringskosten (indien inspanning 15-20%!)) • Verbeterd inzicht in investeringskosten van product of systeem • Door management proces beter controleerbaar en beheersbaar (onderhoud en bewaking) (toetsbaar & aantoonbaar) • Integere en transparante werkwijze (helder en duidelijk gedocumenteerd proces & methodiek uniform en consistent)



Eisen analyse/Analyse van de vraag:

0.	Project en onderneming randvoorwaarden:																																												
0.1	Geaccepteerde ontwikkelde specificaties en baselines voor het SE-proces:																																												
	IEEE P1220, Standard for application and management of the Systems Engineering process [1994]																																												
0.2	Teamtoewijzing en –structuur:																																												
	<table><tr><th>Organisatie</th><th>Naam</th><th>Functie</th><th>Rol / Verantwoordelijkheid</th><th>Taak / Activiteiten</th></tr><tr><td>TU Delft</td><td>Ir. Melkert</td><td>Manager</td><td>System Integrator/Engineer ontwerpproces Superbaan</td><td>Procesleider</td></tr><tr><td>INFRAtheker</td><td>Dhr. Smits</td><td>Ontwerper</td><td>Ontwerper Superbaan</td><td>Opsteller eisen & functies</td></tr><tr><td>DHV</td><td>-</td><td>Kostenrammer</td><td>Probabilistische kostenrammer ontwerp Superbaan</td><td>Opsteller eisen kostenraming</td></tr><tr><td>Betonson</td><td>-</td><td>Constructeur</td><td>Ontwerper prefab onderdelen Superbaan</td><td>Opsteller detail eisen & functies</td></tr><tr><td>Movares</td><td>-</td><td>Adviseur</td><td>Toetsen/Adviseur concept Superbaan</td><td>Toetsen/Adviseur eisen & functies</td></tr><tr><td>Projectorganisatie ZZL</td><td>-</td><td>Opdrachtgever</td><td>Toetsen concept Superbaan</td><td>Toetsen eisen & functies</td></tr><tr><td>Marktverkenner</td><td>-</td><td>Oriënteerder</td><td>Adviseur concept Superbaan</td><td>Adviseur eisen & functies</td></tr></table> Opdrachtnemer Superbaan Opdrachtgever Superbaan Betonson INFRAtheker DHV TU Delft Marktverkenner Projectorganisatie ZZL Movares					Organisatie	Naam	Functie	Rol / Verantwoordelijkheid	Taak / Activiteiten	TU Delft	Ir. Melkert	Manager	System Integrator/Engineer ontwerpproces Superbaan	Procesleider	INFRAtheker	Dhr. Smits	Ontwerper	Ontwerper Superbaan	Opsteller eisen & functies	DHV	-	Kostenrammer	Probabilistische kostenrammer ontwerp Superbaan	Opsteller eisen kostenraming	Betonson	-	Constructeur	Ontwerper prefab onderdelen Superbaan	Opsteller detail eisen & functies	Movares	-	Adviseur	Toetsen/Adviseur concept Superbaan	Toetsen/Adviseur eisen & functies	Projectorganisatie ZZL	-	Opdrachtgever	Toetsen concept Superbaan	Toetsen eisen & functies	Marktverkenner	-	Oriënteerder	Adviseur concept Superbaan	Adviseur eisen & functies
Organisatie	Naam	Functie	Rol / Verantwoordelijkheid	Taak / Activiteiten																																									
TU Delft	Ir. Melkert	Manager	System Integrator/Engineer ontwerpproces Superbaan	Procesleider																																									
INFRAtheker	Dhr. Smits	Ontwerper	Ontwerper Superbaan	Opsteller eisen & functies																																									
DHV	-	Kostenrammer	Probabilistische kostenrammer ontwerp Superbaan	Opsteller eisen kostenraming																																									
Betonson	-	Constructeur	Ontwerper prefab onderdelen Superbaan	Opsteller detail eisen & functies																																									
Movares	-	Adviseur	Toetsen/Adviseur concept Superbaan	Toetsen/Adviseur eisen & functies																																									
Projectorganisatie ZZL	-	Opdrachtgever	Toetsen concept Superbaan	Toetsen eisen & functies																																									
Marktverkenner	-	Oriënteerder	Adviseur concept Superbaan	Adviseur eisen & functies																																									
0.3	Beschikbaarheid en goedkeuring voor gebruik van geautomatiseerde tools (Controle- en beheersmechanisme):																																												
	Microsoft Office, Autodesk, Mindmapping programma's, e.a. benodigde programma's																																												

0.4	Algemene onderneming specificaties:																																																																																																																																													
	Algemene voorschriften en voorwaarden																																																																																																																																													
0.5	Standaarden of richtlijnen:																																																																																																																																													
	• ISO systematiek • OHSAS veiligheidsrichtlijnen • ARBO richtlijnen																																																																																																																																													
0.6	Menselijke arbeid toewijzing in tijd voor het project (planning):																																																																																																																																													
	<table><tr><th>Planning arbeidsuren</th><th colspan="9">Fasen/Taken Systems Engineering</th><th rowspan="10">Totaal per actor</th></tr><tr><th>SE methodiek</th><th colspan="3">Eisen analyse</th><th colspan="3">Functionele analyse</th><th colspan="3">Ontwerp synthese</th></tr><tr><td></td><td>PvE op hoofdlijnen</td><td>Eisen specificatieboom</td><td>Validatie eisen</td><td>Functionele architectuur (FFBD)</td><td>Eisen toewijzing (RAS)</td><td>Functionele verificatie</td><td>Functionele/fysieke correlatie (FPM)</td><td>Objectenboom</td><td>Systeemconcept (CDS)</td><td>Fysieke verificatie</td></tr><tr><td>Naam actor</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TU Delft</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>INFRAtheker</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>DHV</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Betonson</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Movares</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Projectorganisatie ZZL</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Marktverkenner</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Totaal per fase/taak</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>Totaal =</td></tr></table>											Planning arbeidsuren	Fasen/Taken Systems Engineering									Totaal per actor	SE methodiek	Eisen analyse			Functionele analyse			Ontwerp synthese				PvE op hoofdlijnen	Eisen specificatieboom	Validatie eisen	Functionele architectuur (FFBD)	Eisen toewijzing (RAS)	Functionele verificatie	Functionele/fysieke correlatie (FPM)	Objectenboom	Systeemconcept (CDS)	Fysieke verificatie	Naam actor											TU Delft											INFRAtheker											DHV											Betonson											Movares											Projectorganisatie ZZL											Marktverkenner											Totaal per fase/taak										Totaal =
Planning arbeidsuren	Fasen/Taken Systems Engineering									Totaal per actor																																																																																																																																				
SE methodiek	Eisen analyse			Functionele analyse			Ontwerp synthese																																																																																																																																							
	PvE op hoofdlijnen	Eisen specificatieboom	Validatie eisen	Functionele architectuur (FFBD)	Eisen toewijzing (RAS)	Functionele verificatie	Functionele/fysieke correlatie (FPM)	Objectenboom	Systeemconcept (CDS)		Fysieke verificatie																																																																																																																																			
Naam actor																																																																																																																																														
TU Delft																																																																																																																																														
INFRAtheker																																																																																																																																														
DHV																																																																																																																																														
Betonson																																																																																																																																														
Movares																																																																																																																																														
Projectorganisatie ZZL																																																																																																																																														
Marktverkenner																																																																																																																																														
Totaal per fase/taak										Totaal =																																																																																																																																				

PvE op hoofdlijnen (Requirements Baseline):

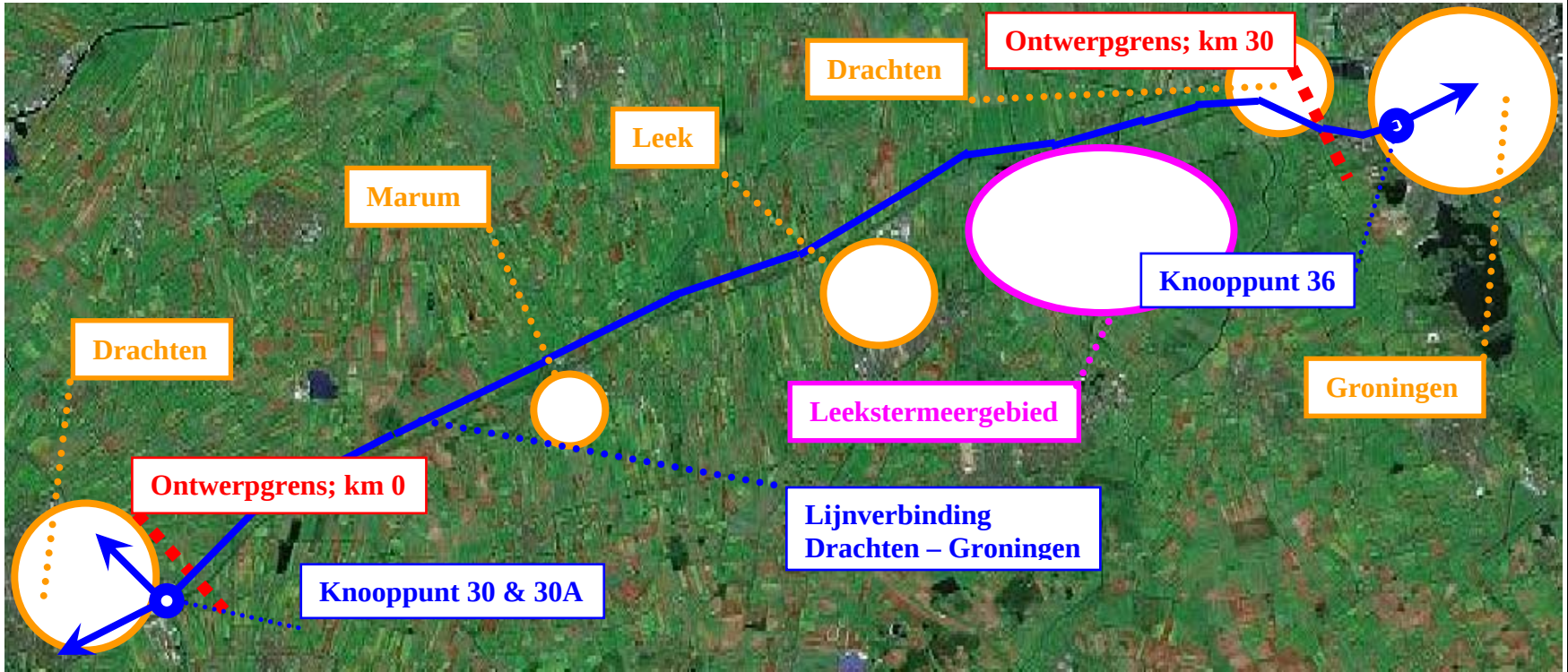
Programma van Eisen op hoofdlijnen:			
Project: Ontwerp Superbaan			
1.	Klanteneisen:		
	1.1	Functionele eisen:	
		Snelle, doelmatige, veilige, duurzame en functionele OV verbinding tussen Drachten en Groningen.	
	1.2	Randvoorwaarden:	
	1.2.1	Oplossingsgericht:	
		• Bovengrondse ligging nieuwe infrastructuur. • Vormgeving nieuwe infrastructuur aanpassen aan kwaliteit omgeving. • Bundeling met bestaande infrastructuur.	
	1.2.2	Omgevingsgericht:	
		1.2.2.1	Algemeen:
			Inpassing gericht op maximaliseren van positieve en minimaliseren van negatieve effecten in omgeving, of terwijl behoud of versterking van een kwalitatieve leefomgeving.
		1.2.2.2	In het bijzonder:
			• Behoud bestaande bebouwingen of obstakels. • Instandhouding bestaande infrastructuur. • Behoud bestaand landschap.
	1.2.3	Ontwerpgericht:	
		• Gebruik van PvE c.q. gegevens HSL & MZB (ontwerpsnelheden tot 400 km/uur).	

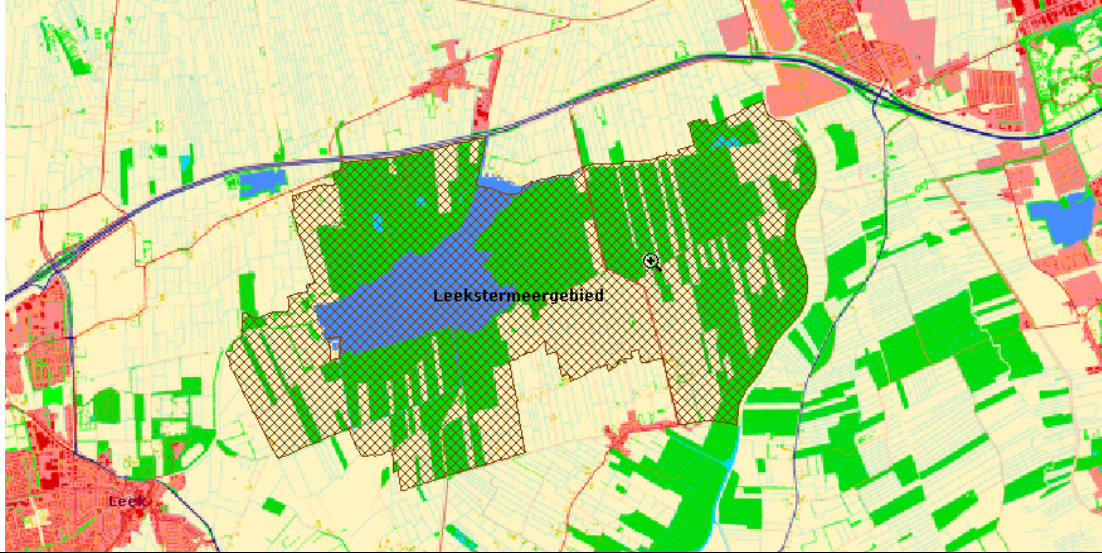
2.	Gebruikerseisen (Gebruikersnaam en -rol van systeem):				
	Gebruikersnaam	Gebruikerrol	Gebruiksfase of -proces	Toegang tot	Ranking prioriteit
	Beheerder & Exploiteur	Leiden en uitvoeren beheer en onderhoud en exploitatie	Allen		Hoog
	Nationale en regionale overheid	Wetshandhaver	Allen		Hoog
	Wetenschapper	Kennis (her-)ontwikkeling	Allen		Gemiddeld
	Ontwerper constructeur	Aantonen (her-)constructie en alignement	Allen		Gemiddeld
	Bouwer	Uitvoeren constructie	Ontwerp, constructie, gebruik en sloop		Gemiddeld
	Sloper	Demonteren en recyclen Superbaan	Sloop		Laag
	Maatschappij	Belangenbehartiger milieu	Allen		Laag
	Consument	Passagier (klant/doelgroep)	Gebruik	Superbus	Laag
	Buschauffeur	Operator	Gebruik	Superbus	Laag
	Beheer & Onderhoudsploeg	Controleren en onderhouden	Gebruik	Superbaan	Laag
	Strooiploeg	Sneeuw en ijsvrij maken infra	Gebruik	Superbaan	Laag
	Ambulancepersoneel	Lichamelijk en geestelijk hulpverleners	Gebruik	Superbaan	Laag
	Brandweerpersoneel	Gevaar en brand bestrijden en EHBO	Gebruik	Superbaan	Laag
	Politiepersoneel	Beheersen ongeluk en EHBO	Gebruik	Superbaan	Laag
	Ontruimingspersoneel	Ontruimen obstakels	Gebruik	Superbaan	Laag
	Militairpersoneel	Inperken terreur en EHBO	Gebruik	Superbaan	Laag
	Automobilist	Vermijden Superbaan	Gebruik	Geen	Laag

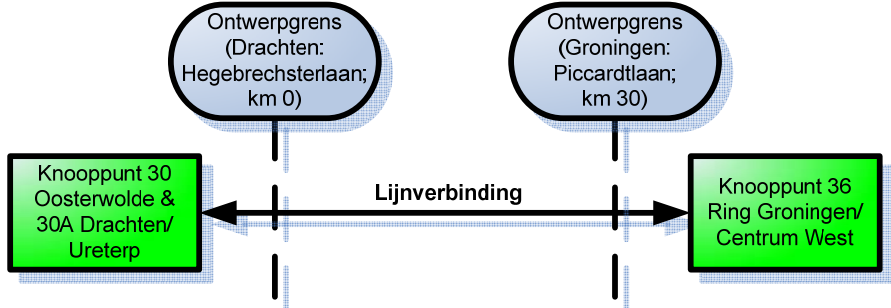
3.	Ontwerpeisen:	
	3.1	Afgeleide eisen:
		- De weg moet veilig zijn (Veiligheid): - Gebruikers moeten voldoende zicht hebben. - De verharding en markering moeten duidelijk zichtbaar zijn. - De verharding moet voldoende stroef zijn. - De weg moet een voldoende dwarshelling bezitten. - De weg moet water kunnen bergen en afvoeren. - Dwarsonvlakheid en langsonvlakheid moeten worden voorkomen. - De weg moet comfortabel zijn te berijden (Veiligheid): - De weg moet water kunnen bergen en afvoeren. - De weg moet een voldoende dwarshelling bezitten. - Dwarsonvlakheid en langsonvlakheid moeten worden voorkomen. - De weg moet betrouwbaar zijn (Veiligheid): - De constructie moet stabiel zijn. - De constructie moet sterk zijn. - De constructie mag niet bezwijken bij hogere (grond-) waterstanden. - De constructie dient bestemd te zijn tegen aanrijding. - De constructie dient tijdelijk bestemd te zijn tegen vuur en hoge temperaturen. - De weg moet vlak zijn (Veiligheid): - Zettingverschillen moeten worden voorkomen. - Dichtheids- en stijfheidverschillen moeten worden voorkomen. - De weg moet beschikbaar zijn (Beschikbaarheid): - De weg moet over voldoende capaciteit beschikken om de doorstroming te garanderen. - De weg moet zo min mogelijk gevoelig zijn voor onderhoud. - De leefbaarheid in de omgeving moet gewaarborgd blijven (Leefbaarheid): - Trillingen, milieu- en geluidsoverlast moeten in de omgeving worden gereduceerd. - Landschappelijke inpassing moet worden geoptimaliseerd. - Er moet zo min mogelijk onderhoud worden gepleegd op de weg. - De weg moet duurzaam zijn (Duurzaamheid): - Weerstand tegen vermoeiing en blijvende vervorming. - Weerstand tegen slijtage deklaag. - Weerstand tegen weersinvloeden.

	3.2	Toegewezen eisen:	
	3.2.1	Prestatie eisen:	
			• De infrastructuur dient geschikt te zijn voor de Superbus met snelheden van maximum 260 km/uur. • De ontwerplevensduur dient voor de infrastructuur 30 jaar en voor de kunstwerken 100 jaar te zijn. • De infrastructuur moet 450 p.a.e. (300 Superbus verkeersbewegingen) per etmaal kunnen afwikkelen. • De infrastructuur dient 325 werkdagen per jaar beschikbaar te zijn.
	3.2.2	Oplossingsgericht:	
			• Er dient een aparte afgescheiden vrijliggende busbaan toegepast te worden. • Er dienen ongelijkvloerse kruisingen toegepast te worden. • Het ontwerp moet flexibel zijn (Uitbreidingen, verbredingen en aansluitingen moeten in toekomst mogelijk zijn, ook na ontwerplevensduur).
4.	Externe randvoorwaarden:		
	4.1	Publieke en internationale wet- en regelgeving:	
	4.1.1	Wet- en regelgeving verplicht:	
			• Bouwbesluit • Tracéwet • MER-procedure (+ aansluitende milieu & veiligheid wetten)
	4.1.2	Wet- en regelgeving optioneel:	
			• Wegenwet • Wegenverkeerswet • Reglement verkeersregels en verkeerstekens • Wet Beheer Rijkswaterstaatswerken
	4.1.3	Visies en Beleid:	
			• Zesde KaderProgramma Verkeer en Vervoer (KPVV) • Veiligheidsvisie Verkeer en Waterstaat • Nationaal Verkeer- en VervoerPlan (NVVP) • Nota Mobiliteit
	4.2	Toestemming benodigde eisen (legaliteit):	
	4.2.1	Normen, voorschriften en richtlijnen:	
			• NEN normen • CROW richtlijnen • SWOV richtlijnen • MVG-richtlijnen (België)

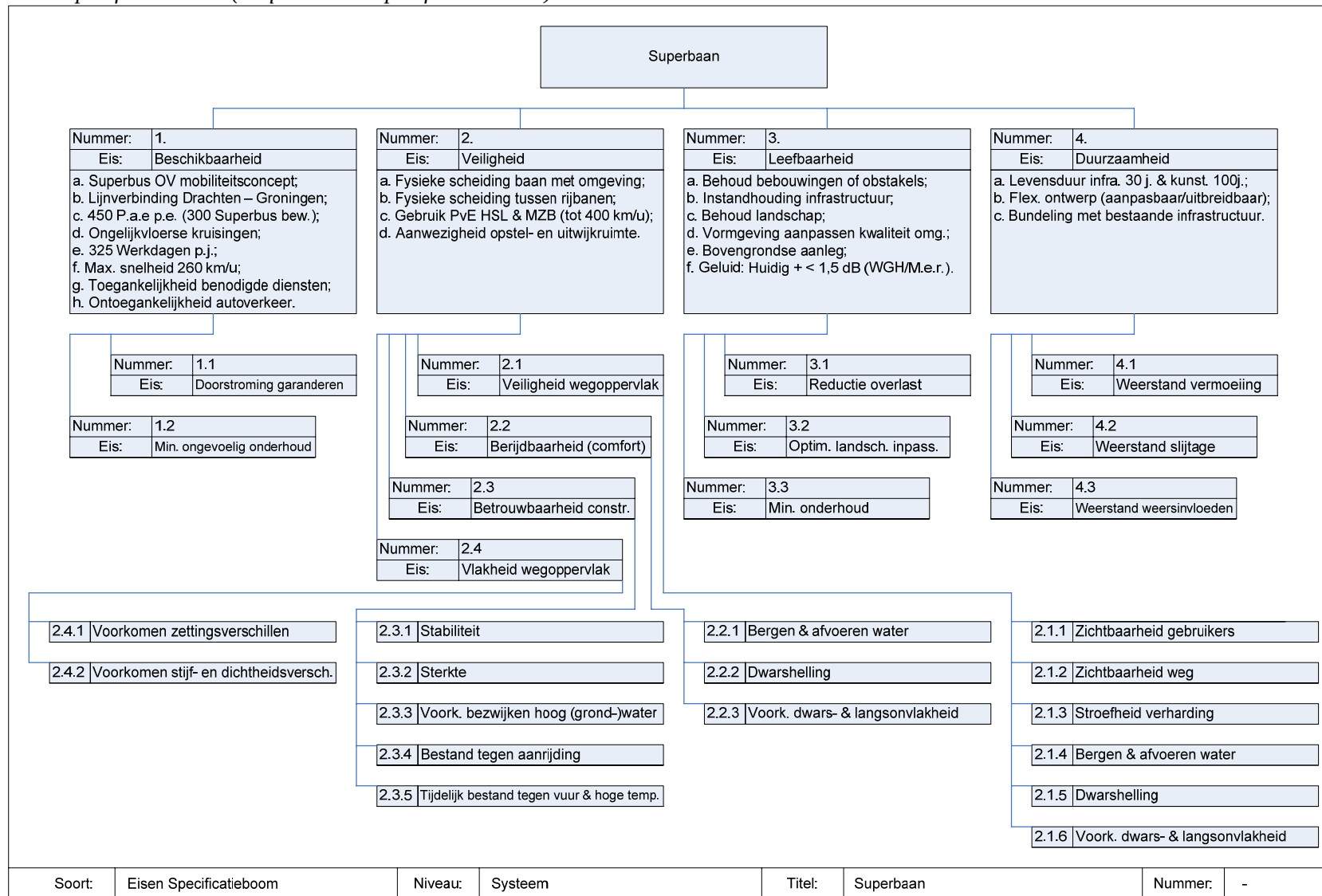
	4.2.2	Leidraden, standaarden en handleidingen:
		• Dimensioneringsproces CROW (bijvoorbeeld VENCON 2.0) • Standaard RAW bepalingen 2000 CROW • Handleiding Wegenbouw Ontwerp Verhardingen RWS • Shell Pavement Design Manual • VNC methode • Nationaal Pakket Duurzaam Bouwen GWW (NPGWW) • Kostensystematiek CROW
	4.2.3	Specificaties & historische gegevens:
		• Kabels & Leidingen Informatie Centrum (KLIC) • Maaiveld- & Waterpeilhoogten • Grond(-water-)gesteldheid • Grond(-water-)vervuiling • Verwaarlozing • Archeologie
	4.3	Natuurlijke randvoorwaarden:
		• Maaiveldhoogten • (Grond-)waterpeilstanden • Bodemsamenstellingen
5.	Functionele en fysieke koppelingen c.q. aansluitingen:	
	5.1	Interacties tussen interne systeemelementen:
		• Koppeling tussen rijstrook en vlucht- c.q. dienststrook op rijbaan. • Fysieke scheiding tussen rijbanen. • Fysieke koppeling tussen rijbanen (t.b.v. benodigde diensten).
	5.2	Interacties van aansluitende en gekoppelde externe systemen:
		• Superbus verkeer incl. overige gebruikers. • Natuurlijke- en gecultiveerde omgeving. • Fysieke scheiding tussen Superbaan en berm (incl. overige leefomgeving). • Fysieke koppeling tussen Superbaan en autosnelweg A7 (t.b.v. benodigde diensten). • Fysieke scheiding tussen Superbaan en autosnelweg A7 (ontoegankelijkheid autoverkeer).

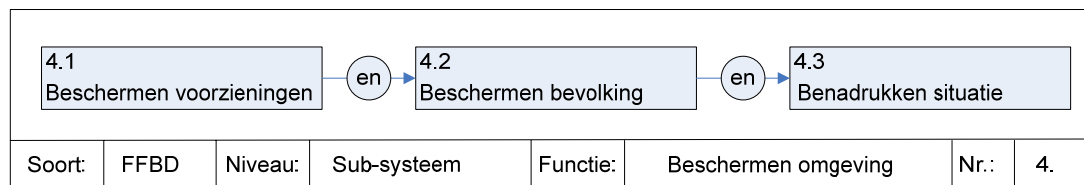
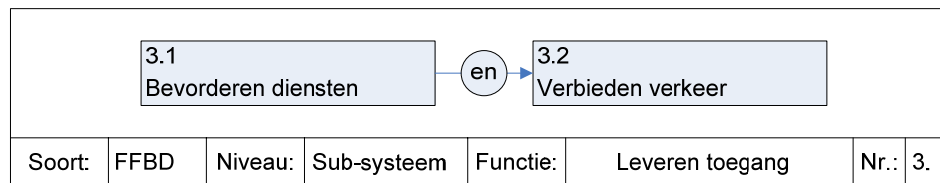
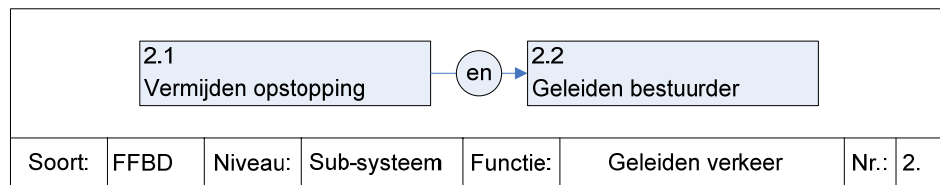
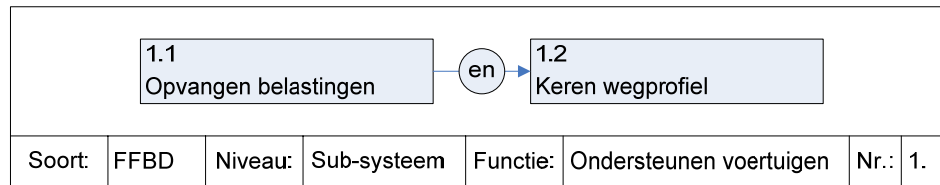
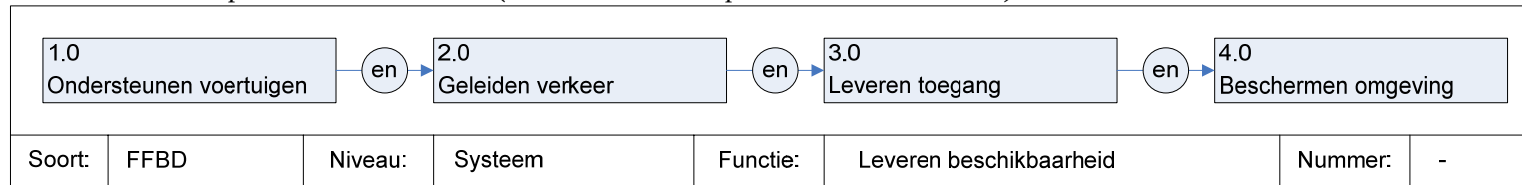
6.	In aanraking met milieu & omgeving (factoren):
6.1	Natuurlijk milieu of gecultiveerde omgeving waarin het systeem en zijn onderdelen opereren of worden gebruikt:
	• Rood: Bebouwde gebieden en woonkernen (Drachten, Marum, Leek, Hoogkerk en Groningen). • Groen: Polderlandschap met overwegend landbouwgrond. • Blauw: Natuurgebied Leekstermeer (Tussen Leek en Hoogkerk, grenzend aan A7, VHR “Natura 2000 netwerk”) en verscheidende waterlopen en –partijen. • Grijs: Infrastructuur Snelweg A7 (Drachten – Groningen) en verscheidende wegen en kruisingen.
	
6.2	Weercondities:
	Allen mogelijk, zoals regen, sneeuw, zon, wind, ijs, stof, mist, enz.
6.3	Temperatuurbereik en- reikwijdte:
	Normaal = -10°C tot +30°C Extreem = -30°C tot +40°C

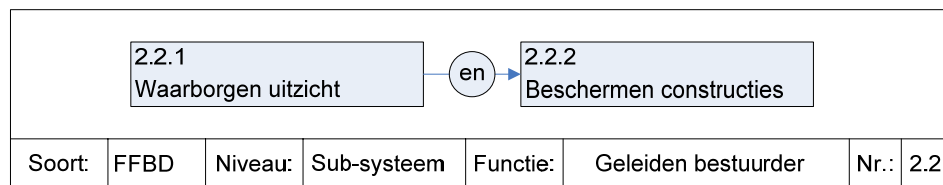
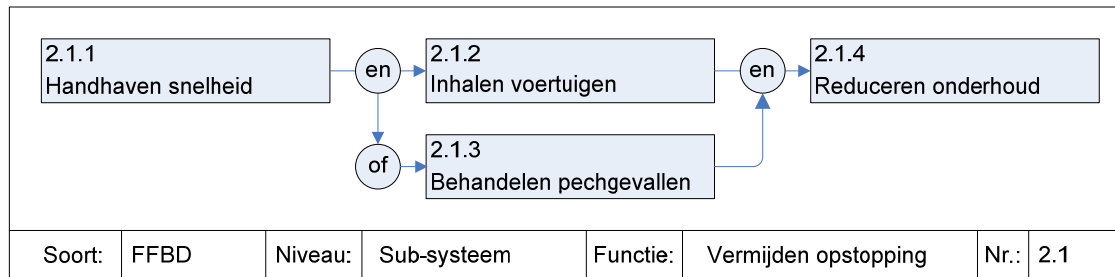
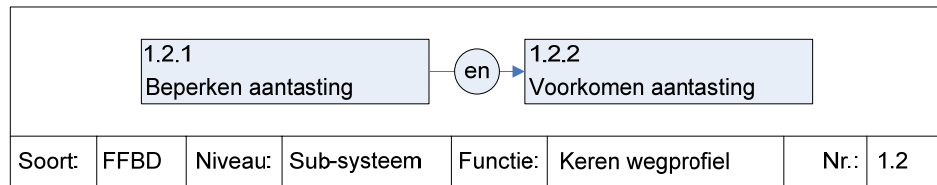
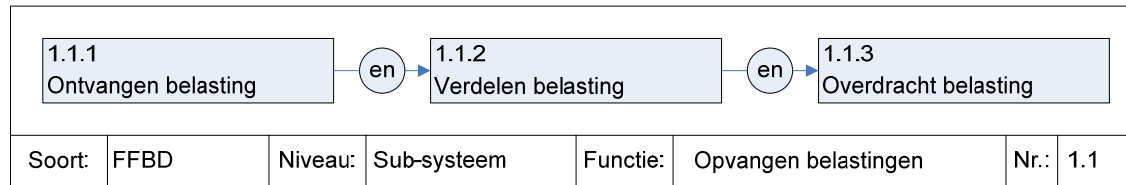
6.4	Natuurlijke omgeving:
	• Groen: Polderlandschap met overwegend landbouwgrond (Friesland & Groningen) & Natuurgebied Leekstermeer (Tussen Leek en Hoogkerk, grenzend aan A7, VHR “Natura 2000 netwerk”). • Blauw: Natuurgebied Leekstermeer (Tussen Leek en Hoogkerk, grenzend aan A7, VHR “Natura 2000 netwerk”) en waterkruisingen (Afvoerkanaal (Drachten), Oude Diep en Schipsloot (Marum), Letterberdiep en Munnikesloot (Leek) en Koningsdiep (Hoogkerk)). Leekstermeergebied: Op grens van Groningen en Drenthe, vormt een "binnendelta". Het uitgestrekte, laaggelegen veengebied, aan de noordzijde begrenst door de hoge Groninger klei en aan de zuidkant door de uitlopers van het Drentse zand, vormt een soort pan met als centrum het Leekstermeer. 
6.5	Biologisch:
	Allen mogelijke soorten in Friesland & Groningen, zoals dieren, insecten, vogels, paddestoelen, enz. Vogels Leekstermeer (VHR): Porseleinhoen, kwartelkoning, roerdomp, rietzanger, kolgans, brandgans, smient en slechtvalk.
6.6	Tijd:
	Allen mogelijk, zoals avond, dag, nacht, schemering, enz.
6.7	Kunstmatig ingeleid:
	• Rood: Bebouwde gebieden en woonkernen (Drachten, Marum, Leek, Hoogkerk en Groningen) en industriegebieden (Azeven Noord (Drachten), De Hoek en Marumerlage (Marum), Leeksterhout (Leek) en Kranenburg (Groningen)). • Grijs: Infrastructuur Snelweg A7 (Drachten – Groningen), knooppunten (N31/N381 & N358 (Drachten), N980 (Marum), N388 & N372 (Leek), N372 (Hoogkerk)) en wegkruisingen (De Feart/Verbindingsweg (Drachten), Postdijk, Parallelweg/Verlengde Wilpsterweg, Lietsweg/Mienscheer (Marum), Schilligepad, Hoofdstraat, ndute (Leek), Matsloot/Rodewolderdijk, Peizerweg (Hoogkerk)).

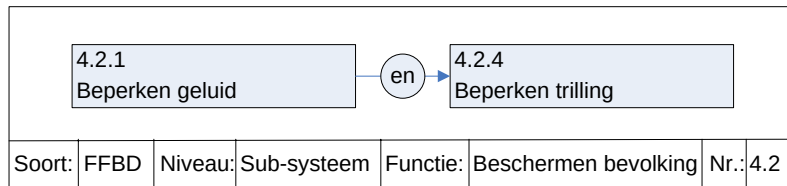
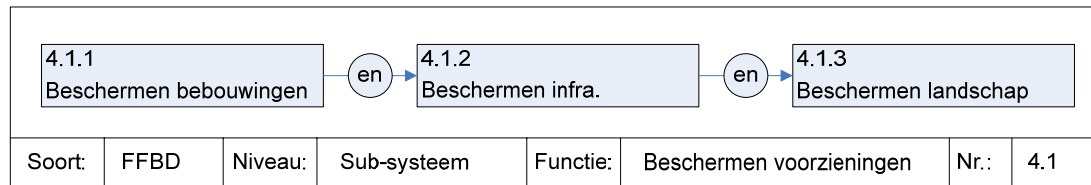
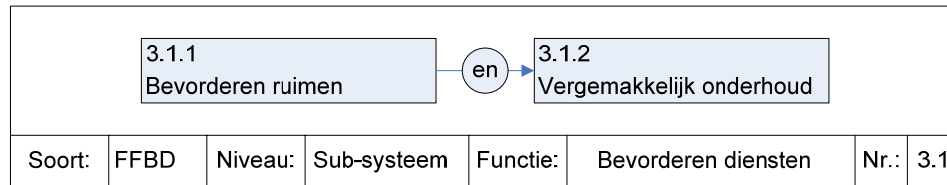
7.	Operationele scenario's van systeem (operatiedoel):	
	Over zijn gehele levensduur beschikbaarheid bieden aan het Superbus OV mobiliteitsconcept door middel van een lijnverbinding tussen Drachten en Groningen.	
		
8.	Manier van operationeel gebruik:	
8.1	Verschillende manieren van operationeel gebruik van het systeem of product:	
	1. Normaal gebruik: Superbusverkeer tussen Drachten en Groningen (incl. periodieke beheer- en onderhoudsdiensten). 2. Calamiteit: Geen of minder Superbusverkeer tussen Drachten en Groningen (incl. intensief hulp-, beheer- en onderhoudsdiensten). 3. Intensief gebruik: Verbreding c.q. uitbreiding van Superbaan. Meer Superbusverkeer tussen Drachten en Groningen (incl. periodieke beheer- en onderhoudsdiensten). 4. Afwijkend gebruik: Superbusverkeer tussen Drachten en Groningen niet meer mogelijk. De bestaande infrastructuur kan (her-)gebruikt worden voor alternatieven mobiliteitssystemen (incl. periodieke beheer- en onderhoudsdiensten). 5. Onacceptabel gebruik: Afbraak van Superbaan. Superbusverkeer tussen Drachten en Groningen niet meer mogelijk.	
8.2	Bepalende condities van de verschillende manieren van operationeel gebruik:	
	1. Normaal gebruik: Beschikbaarheid 2. Calamiteit: Bereikbaarheid & Beschikbaarheid 3. Verbreding c.q. uitbreiding: Beschikbaarheid, Aanpasbaarheid en Modulariteit 4. Afwijkend gebruik: Herbruikbaarheid & Flexibiliteit 5. Onacceptabel gebruik: Herbruikbaarheid, Demonteerbaarheid & Modulariteit	
9.	Functionele eisen (Definieer wat het systeem moet volbrengen of instaat zijn om te doen):	
	Het infrastructuur systeem (Superbaan) moet tijdens zijn gehele levensduur het Superbus OV mobiliteitsconcept mogelijk maken op de verbinding tussen Drachten en Groningen.	
10.	Levensduurcyclus eisen (Operationele levensduur door gebruiker):	
	Infrastructuur 30 jaar en kunstwerken 100 jaar.	

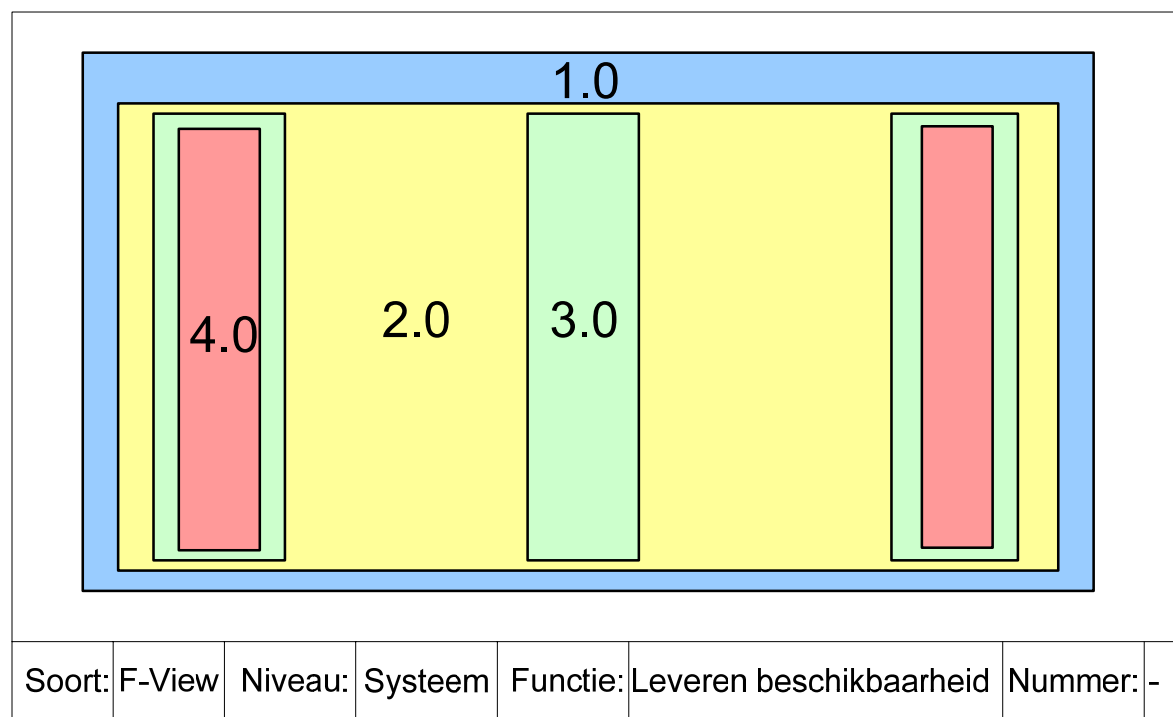
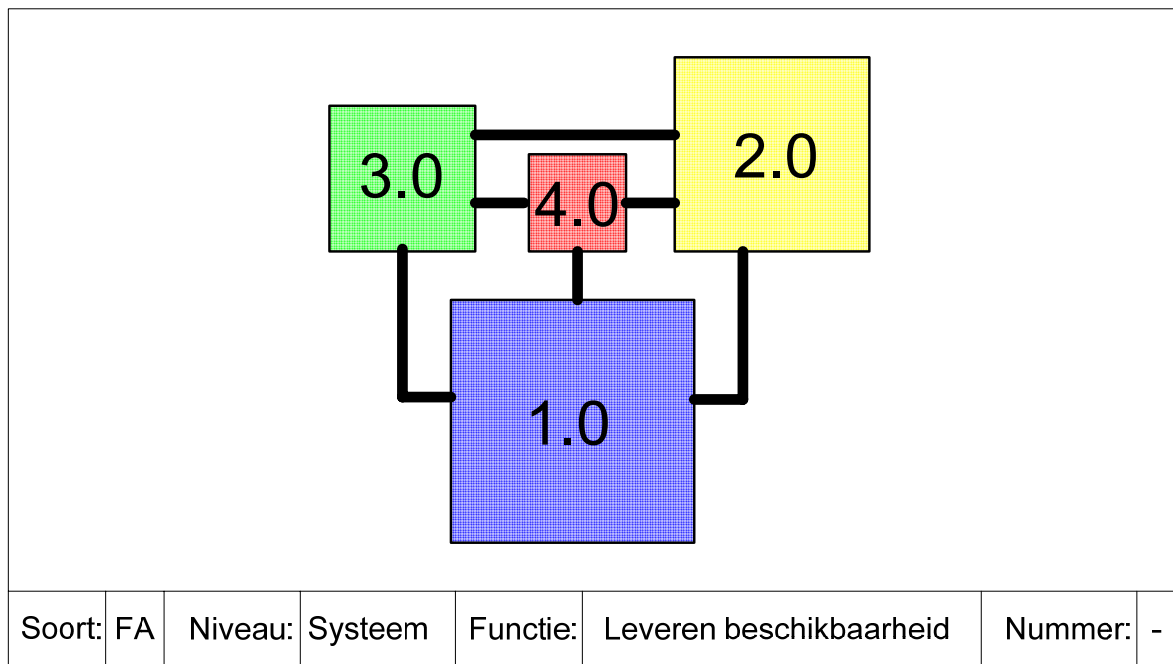
11.	Systeem effectieve meetbaarheid eisen (Prestatie-eisen voor elke functie, voor een hoger abstractieniveau, van het systeem. & Meetbare technische parameters voor systeem prestatie eisen om het operatiedoel te volbrengen):	
	11.1	Beschikbaarheid
		1. Superbus OV mobiliteitsconcept. 2. Lijnverbinding Drachten – Groningen. 3. 450 p.a.e. (300 Superbus verkeersbewegingen) per etmaal. 4. Ongelijkvloerse kruisingen. 5. 325 werkdagen per jaar. 6. Snelheden van Superbus max. 260 km/uur. 7. Toegankelijkheid voor onderhouds- en hulpdiensten. 8. Ontoegankelijkheid voor autoverkeer.
	11.2	Veiligheid:
		1. Fysieke scheiding tussen Superbaan en omgeving (incl. berm). 2. Fysieke scheiding tussen rijbanen. 3. Gebruik gegevens en PvE van HSL & MZB (ontwerpsnelheden tot 400 km/u). 4. Aanwezigheid van opstel- en uitwijkruimte op rijbaan (vluchtstrook c.q. dienststrook t.b.v. Superbusverkeer en overige benodigde diensten).
	11.3	Leefbaarheid:
		1. Behoud bestaande bebouwingen of obstakels. 2. Instandhouding bestaande infrastructuur. 3. Behoud van bestaand landschap. 4. Vormgeving aanpassen aan kwaliteit omgeving. 5. Bovengrondse aanleg. 6. Geluidsniveau: verkeersbijdrage + < 1,5 dB (WGH & M.e.r.).
	11.4	Duurzaamheid:
		1. Levensduur infrastructuur 30 jaar en kunstwerken 100 jaar. 2. Flexibel ontwerp (toekomstige aanpasbaarheid, zoals verbredingen, aansluitingen of uitbreidingen). 3. Bundeling met bestaande infrastructuur.

Eisen Specificatieboom (Requirements Specification Tree):

Functionele decompositie & architectuur (Functional Decomposition & Architecture):





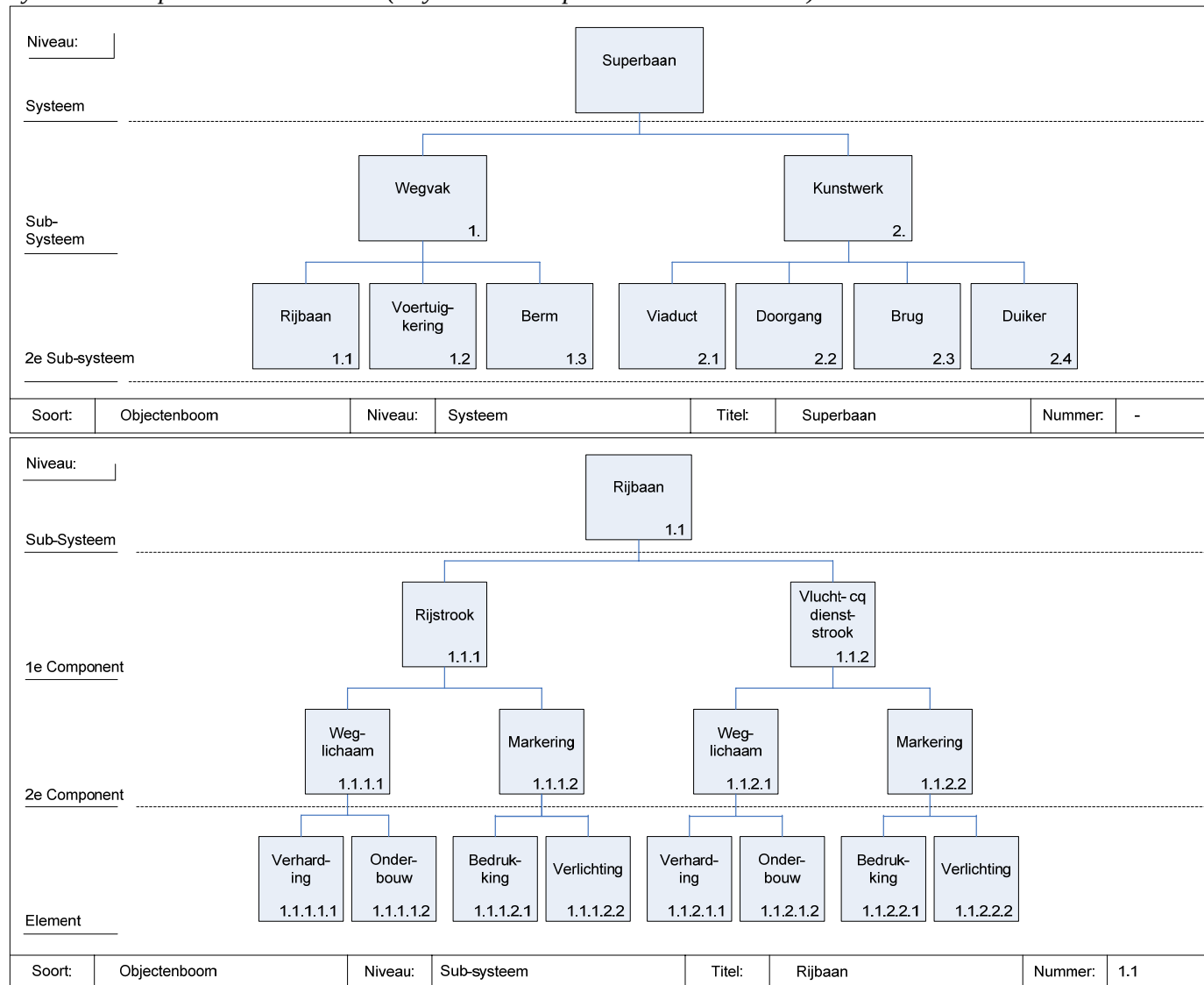


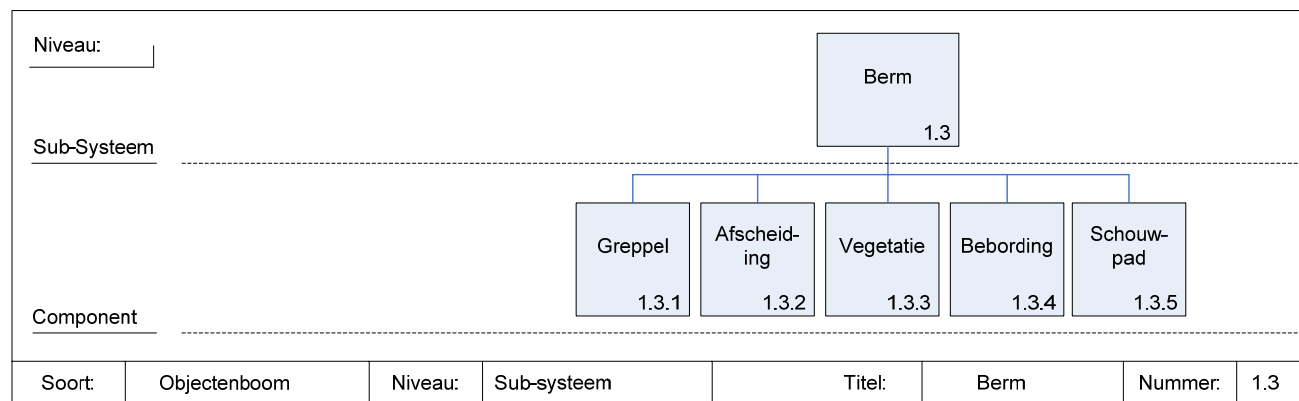
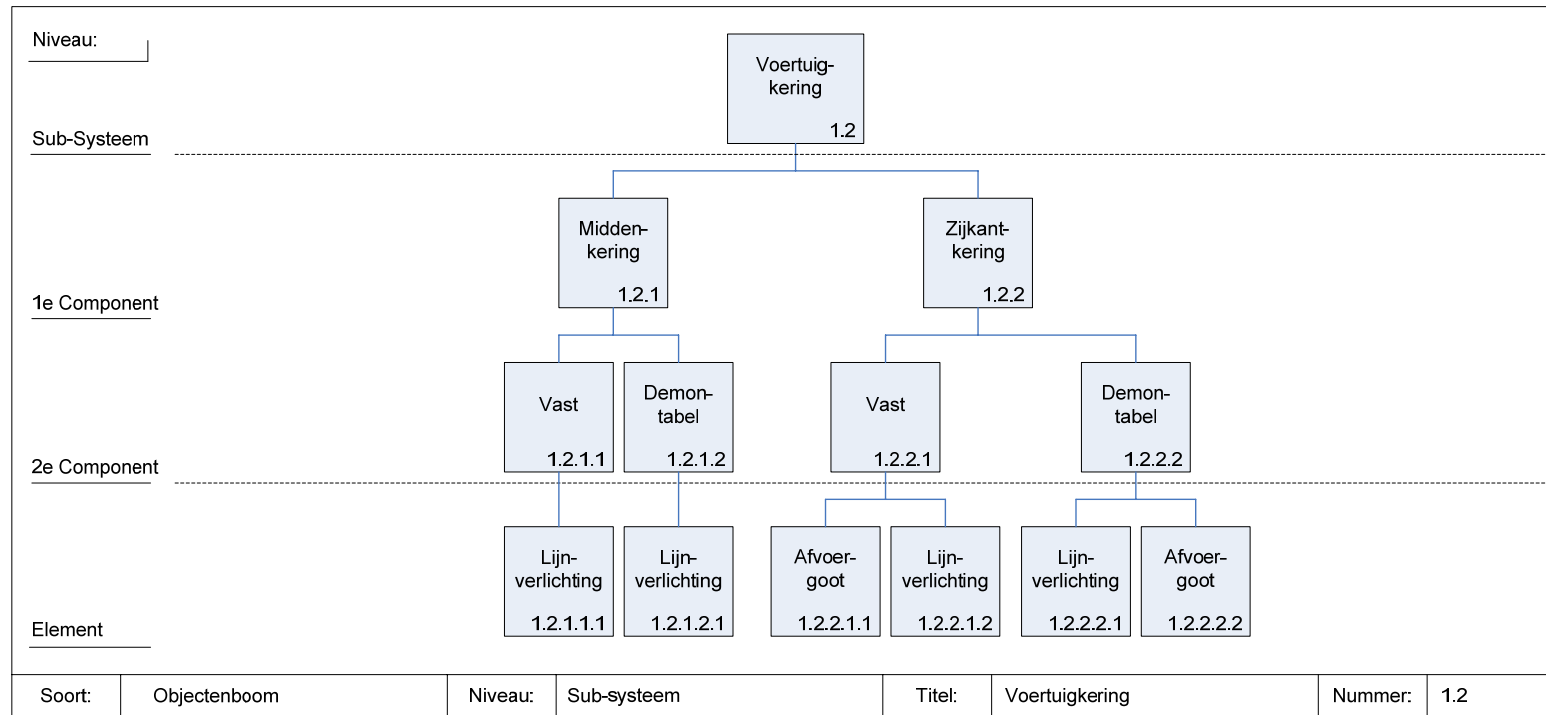
Eisen toewijzing (Requirement Allocation):

Eisen toewijzingsoverzicht			
Functies		Eisen	
Functie Nr.	Functie Naam	Eis Code	Functionele Prestatie- & Ontwerpeisen
1.0	Ondersteunen voertuig	1.a 1.c 1.e 1.f 1.g 4.a	Superbus OV mobiliteitsconcept 450 P.a.e. p.e. (300 Superbus bew.) 325 Werkdagen p.j. Max. snelheid 260 km/u Toegankelijkheid benodigde diensten Levensduur infra. 30 j. & kunst. 100 j.
2.0	Geleiden verkeer	1.a 1.b 1.c 1.e 1.f 1.g 2.a 2.b 2.c 2.d	Superbus OV mobiliteitsconcept Lijnverbinding Drachten – Groningen 450 P.a.e. p.e. (300 Superbus bew.) 325 Werkdagen p.j. Max. snelheid 260 km/u Toegankelijkheid benodigde diensten Fysieke scheiding baan met omgeving Fysieke scheiding tussen rijbanen Gebruik PvE HSL & MZB (tot 400 km/u) Aanwezigheid opstel- en uitwijkruimte
3.0	Leveren toegang	1.g 1.h 2.d 4.c	Toegankelijkheid benodigde diensten Ontoegankelijkheid autoverkeer Aanwezigheid opstel- en uitwijkruimte Bundeling met bestaande infrastructuur
4.0	Beschermen omgeving	1.d 2.a 3.a 3.b 3.c 3.e 3.f 4.c	Ongelijkvloerse kruisingen Fysieke scheiding baan met omgeving Behoud bebouwingen of obstakels Instandhouding infrastructuur Behoud landschap Bovengrondse aanleg Geluid: huidig + < 1,5 dB (WGH/M.e.r.) Bundeling met bestaande infrastructuur
1.1	Opvangen belastingen	1.a 1.c 1.e 1.f 4.a	Superbus OV mobiliteitsconcept 450 P.a.e. p.e. (300 Superbus bew.) 325 Werkdagen p.j. Max. snelheid 260 km/u Levensduur infra. 30 j. & kunst. 100 j.
1.2	Keren wegprofiel	2.a 2.b	Fysieke scheiding baan met omgeving Fysieke scheiding tussen rijbanen
2.1	Vermijden opstopping	1.d 1.g 1.h 2.d	Ongelijkvloerse kruisingen Toegankelijkheid benodigde diensten Ontoegankelijkheid autoverkeer Aanwezigheid opstel- en uitwijkruimte
2.2	Geleiden bestuurder	2.a 2.b 2.d	Fysieke scheiding baan met omgeving Fysieke scheiding tussen rijbanen Aanwezigheid opstel- en uitwijkruimte
3.1	Bevorderen diensten	1.g 2.d 3.e	Toegankelijkheid benodigde diensten Aanwezigheid opstel- en uitwijkruimte Bovengrondse aanleg
3.2	Verbieden verkeer	1.h 2.b	Ontoegankelijkheid autoverkeer Fysieke scheiding baan met omgeving
4.1	Beschermen voorzieningen	2.a	Fysieke scheiding baan met omgeving
4.2	Beschermen bevolking	2.a	Fysieke scheiding baan met omgeving
4.3	Benadrukken situatie	2.a 3.d	Fysieke scheiding baan met omgeving Vormgeving aanpassen kwaliteit omg.

1.1.1	Ontvangen belasting	1.a 1.c 1.e 1.f 4.a	Superbus OV mobiliteitsconcept 450 P.a.e. p.e. (300 Superbus bew.) 325 Werkdagen p.j. Max. snelheid 260 km/u Levensduur infra. 30 j. & kunst. 100 j.
1.1.2	Verdelen belasting	1.a 1.c 1.e 1.f 4.a	Superbus OV mobiliteitsconcept 450 P.a.e. p.e. (300 Superbus bew.) 325 Werkdagen p.j. Max. snelheid 260 km/u Levensduur infra. 30 j. & kunst. 100 j.
1.1.3	Overdragen belasting	1.a 1.c 1.e 1.f 4.a	Superbus OV mobiliteitsconcept 450 P.a.e. p.e. (300 Superbus bew.) 325 Werkdagen p.j. Max. snelheid 260 km/u Levensduur infra. 30 j. & kunst. 100 j.
1.2.1	Beperken aantasting	2.a 2.b 3.e	Fysieke scheiding baan met omgeving Fysieke scheiding tussen rijbanen Bovengrondse aanleg
1.2.2	Voorkomen aantasting	2.a 2.b 3.e	Fysieke scheiding baan met omgeving Fysieke scheiding tussen rijbanen Bovengrondse aanleg
2.1.1	Handhaven snelheid	1.d 1.f 1.h 2.d	Ongelijkvloerse kruisingen Max. snelheid 260 km/u Ontoegankelijkheid autoverkeer Aanwezigheid opstel- en uitwijkruimte
2.1.2	Inhalen voertuig	2.d	Aanwezigheid opstel- en uitwijkruimte
2.1.3	Behandelen pechgevallen	1.g 2.d	Toegankelijkheid benodigde diensten Aanwezigheid opstel- en uitwijkruimte
2.1.4	Reduceren onderhoud	4.a 4.b	Levensduur infra. 30 j. & kunst. 100 j. Flex. ontwerp (aanpasbaar/uitbreidbaar)
2.2.1	Waarborgen uitzicht	1.d 2.a 2.b 3.e	Ongelijkvloerse kruisingen Fysieke scheiding baan met omgeving Fysieke scheiding tussen rijbanen Bovengrondse aanleg
2.2.2	Beschermen constructies	1.d 1.h 2.a 2.b 3.e 4.a	Ongelijkvloerse kruisingen Ontoegankelijkheid autoverkeer Fysieke scheiding baan met omgeving Fysieke scheiding tussen rijbanen Bovengrondse aanleg Levensduur infra. 30 j. & kunst. 100 j.
3.1.1	Bevorderen ruimen	1.d 1.g 2.b 2.d	Ongelijkvloerse kruisingen Toegankelijkheid benodigde diensten Fysieke scheiding tussen rijbanen Aanwezigheid opstel- en uitwijkruimte
3.1.2	Vergemakkelijk onderhoud	1.d 1.g 2.d 4.b	Ongelijkvloerse kruisingen Toegankelijkheid benodigde diensten Aanwezigheid opstel- en uitwijkruimte Flex. ontwerp (aanpasbaar/uitbreidbaar)

4.1.1	Beschermen bebouwingen	2.a 3.a 4.c	Fysieke scheiding baan met omgeving Behoud bebouwingen of obstakels Bundeling met bestaande infrastructuur
4.1.2	Beschermen infra.	1.d 2.a 3.b	Ongelijkvloerse kruisingen Fysieke scheiding baan met omgeving Instandhouding infrastructuur
4.1.3	Beschermen landschap	2.a 3.c 3.d 4.c	Fysieke scheiding baan met omgeving Behoud landschap Vormgeving aanpassen kwaliteit omg. Bundeling met bestaande infrastructuur
4.2.1	Beperken geluid	3.e 3.f 4.c	Bovengrondse aanleg Geluid: huidig + < 1,5 dB (WGH/M.e.r.) Bundeling met bestaande infrastructuur
4.2.2	Beperken trilling	3.e 3.f 4.c	Bovengrondse aanleg Geluid: huidig + < 1,5 dB (WGH/M.e.r.) Bundeling met bestaande infrastructuur

Fysieke decompositie & architectuur (Physical Decomposition & Architecture):



Conceptschets Systeem (Conceptual Description):