

Systems Engineering bij de Hanzelijn

Een onderzoek naar de inzet van Systems Engineering binnen de Hanzelijn

Bacheloreindrapport

L. Krol

Augustus 2007



Systems Engineering bij de Hanzelijn

Een onderzoek naar de inzet van Systems Engineering binnen de Hanzelijn

Bacheloreindrapport

Versie : V1.0
Datum : 20 augustus 2007
Status : Definitief



Colofon

Auteur

L. Krol

Student Civiele Techniek
Universiteit Twente

Studie

Civiele Techniek
Universiteit Twente

Begeleider

Ir. K.Th. Veenvliet

Opdrachtgever

DHV
Unit Transfer & Rail

Begeleider

Ing. H.G.M van Leeuwen

Opdrachtgever	: DHV
Project	: Systems Engineering bij de Hanzelijn
Omvang rapport	: 60 pagina's
Auteur	: L. Krol
Datum	: 20 augustus 2007

Voorwoord

Beste lezer,

In een paar week tijd kan kennis bijzonder toenemen. Aan het begin van mijn stage wist ik van het bestaan van Systems Engineering niet eens af. Nu ligt er een rapport, waarin Systems Engineering het onderwerp is.

Nu, richting het eind van mijn stage, kan ik terugkijken op een leerzame periode. Niet alleen over Systems Engineering heb ik veel geleerd, maar ook over DHV als bedrijf.

Mijn dank gaat uit naar allen die mij hebben geholpen bij het doen van dit onderzoek en het maken van het rapport. Met name wil ik de heer Veenfliet bedanken als begeleider vanuit de universiteit voor het geleverde commentaar en de aanscherpingen van het onderzoek. Als begeleider vanuit DHV wil ik de heer Van Leeuwen bedanken voor de tijd en moeite bij het ondersteunen en bekritisieren. Daarnaast wil ik familie en vrienden bedanken voor hun interesse en hun bemoediging tijdens mijn stage.

Ik hoop dat u dit werk met plezier zult lezen, ondanks het soms wat theoretische en abstracte gehalte.

Lieuwe Krol

Amersfoort, 21 augustus 2007

Samenvatting

Vanuit ProRail worden steeds vaker opdrachten uitgegeven die met behulp van Systems Engineering (SE) uitgewerkt dienen te worden. Binnen de markt van de civiele techniek is dit een vrij nieuw principe, waardoor er nog veel kennis opgedaan moet worden over de praktijk van SE.

In het kader van de Hanzelijn (contractdeel Oude Land), die uitgevraagd is met SE, moet DHV van een tweetal grote kunstwerken het definitieve en uitvoeringsgereed ontwerp maken. DHV werkt hierbij voor de opdrachtnemer Advin van ProRail.

In dit rapport wordt eerst een algemeen beeld geschetst van SE naast het beeld van de traditionele manier van werken. Hieruit blijkt dat er ten opzichte van de traditionele manier een aantal extra processen uitgevoerd dient te worden. Concreet zijn dit de wijze van het omgaan met gestelde eisen en de manier waarop deze zich vertalen naar het ontwerp van objecten. Daarnaast gaat SE over de manier waarop ontwerpkeuzes gemaakt en gedocumenteerd worden. Voor een ontwerp dienen alternatieven en varianten via een trade-off matrix te worden afgewogen, waarna de beste variant gekozen wordt. Een laatste kenmerkend proces is het verifiëren en valideren van de gemaakte keuzes aan de vooraf gestelde eisen.

De praktijk waarin dit toegepast dient te worden kent zijn gebreken. Bij het definitieve ontwerp van een tweetal kunstwerken voor de Hanzelijn is een tamelijk traditioneel proces gevolgd. Hierbij is geen of weinig aandacht besteed aan de voornoemde SE-processen. Ten aanzien van de eisen zijn deze niet een niveau dieper uitgewerkt. Voor het ontwerp geldt dat er niet veel ontwerpkeuzes te maken waren, omdat het voorontwerp dusdanig gedetailleerd was dat er weinig vrijheidsgraden overbleven. Om deze reden viel er weinig af te wegen. Wel zijn er kleine wijzigingen bijgehouden, zoals het aanpassen van de dimensionering. Aan het verificatieproces is weinig aandacht besteed. Niet duidelijk is wie hier verantwoordelijk voor is en hoe dit moet gaan gebeuren. Met name dit aspect verdient in de toekomst extra aandacht.

Geconcludeerd kan worden dat er met name in de praktijk nog het nodige werk te verzetten is. SE moet nog in de processen geïntegreerd gaan worden om te voldoen aan de eisen die ProRail stelt aan SE.

Aanbevelingen voor de toekomst zijn dat binnen DHV de kennis van en over SE verder in de organisatie verspreid moet worden. Nu zijn er wel een paar mensen die verstand van zaken hebben, maar lang niet iedereen die betrokken is in een SE-proces, weet wat SE is. Te meer vanwege het feit dat ProRail binnen twee jaar 80% van de opdrachten wil aanbesteden met SE, is het noodzakelijk om hier tijd en moeite in te steken. Voor een succesvolle implementatie van SE moet aan drie aspecten gewerkt worden: mensen, techniek en processen. Mensen moeten worden voorgelicht of opgeleid in de materie van SE, beschikbare technieken moeten worden omgevormd zodat ze geschikt zijn voor het gebruik bij SE en processen moeten worden bedacht om alle specifieke SE-stappen uit te kunnen voeren.

Inhoudsopgave

Lijst met figuren en tabellen	8
Lijst met figuren	8
Lijst met tabellen	8
1. Inleiding	9
2. Onderzoeksontwerp	10
2.1. Inleiding.....	10
2.2. DHV - de organisatie	10
2.3. Probleemkader.....	10
2.4. Conceptueel ontwerp	12
2.4.1. Probleemstelling.....	12
2.4.2. Doelstelling	12
2.4.3. Vraagstelling	12
2.4.4. Afbakening.....	13
2.4.5. Op te leveren product	13
2.5. Onderzoektechnisch ontwerp	14
2.6. Belang	14
3. Systems Engineering	15
3.1. Inleiding.....	15
3.2. Theorie van SE	15
3.2.1. Systemen.....	15
3.2.2. Karakteristieken	16
3.2.3. Functioneel specificeren van eisen	20
3.3. Toepassing	22
4. Ontwerpproces: traditioneel en geïntegreerd	23
4.1. Inleiding.....	23
4.2. Traditioneel ontwerpproces.....	23
4.3. Geïntegreerd ontwerpproces	25
4.4. Verschillen	26
4.5. Kwaliteitsborging	27
4.5.1. Methoden	28
5. Veranderingen in de werkwijze	29
5.1. Inleiding.....	29
5.2. Verschillen tussen oud en nieuw	29
5.3. Verwachtingen opdrachtgever	30
5.3.1. SVI ²⁰⁰⁶	30
5.3.2. Projectdocumentatie	30
5.3.3. Mankementen	31
5.4. Methodieken.....	31
5.4.1. Algemeen	31
5.4.2. Ontwerpproces.....	33
5.4.3. Verificatie en validatie	35
5.4.4. Verschillen met de Leidraad SE.....	35
6. Casestudie: Hanzelijn	36
6.1. Inleiding.....	36
6.2. Documentatie Hanzelijn	36
6.3. Gesprekken	36

6.4. Analyse van het gebruik van SE.....	37
6.4.1. Ontwerpproces.....	37
6.4.2. Afwegingen	38
6.4.3. Verificatie en validatie	38
7. Conclusies en aanbevelingen.....	40
7.1. Conclusie.....	40
7.2. Aanbevelingen	42
Bronvermelding	44
Bronnen.....	44
Gesprekken.....	44
Presentaties.....	44
Projectgegevens	45
Lijst met afkortingen	46
Inhoudsopgave bijlagen	47

Lijst met figuren en tabellen

Lijst met figuren

figuur 1: Projectorganisatie Hanzelijn	11
figuur 2: Onderzoeksmodel	14
figuur 3: Systeem en systeemcontext (bron: ISO, 2002)	16
figuur 4: Interactie eisen en ontwerp	17
figuur 5: V-model (bron: ProRail, RWS, 2007)	18
figuur 6: Ontwerpproces met SE (bron: RWS, ProRail, 2007)	19
figuur 7: Traditioneel ontwerpproces	23
figuur 8: Afwijking van het PvE in de loop van een project.....	24
figuur 9: Opbouw mono-disciplinair civieltechnisch projectteam.....	25
figuur 10: Overzicht verschillende contractvormen (bron: RWS, 2005 [2])	26
figuur 11: Overzicht verantwoordelijkheden bij contractvormen (bron: RWS, 2005 [2]) ...	26
figuur 12: Deming-cirkel	27
figuur 13: Ontwerpstructuur met SE	34
figuur 14: Organogram DHV Holding B.V (bron: DHV (2007) [1])	48
figuur 15: Organogram Ruimte en Mobiliteit (bron: DHV (2007) [1])	49
figuur 16: Overzicht Hanzelijn (deel 1 van 2, Nieuwe Land).....	56
figuur 17: Overzicht Hanzelijn (deel 2 van 2, Oude Land)	56
figuur 18: Organisatie Hanzelijn	57
figuur 19: Schematisch overzicht intakking Hanzelijn	57
figuur 20: Overzicht tracé bij Hattem	58
figuur 21: Overzicht tracé bij Kampen.....	58

Lijst met tabellen

tabel 1: Eisen aan eisen (bron: RWS, 2005 [1] en RWS, 2007)	21
tabel 2: Aspecteisen (bron: RWS, 2005 [1])	22
tabel 3: Schematische fasering traditioneel ontwerpproces.....	23
tabel 4: Overzicht verschillen tussen traditioneel en SE	29
tabel 5: Overzicht documentatie per processtap.....	33
tabel 6: Interactie doelen en deelvragen.....	52

1. Inleiding

Het beheersen van grote infrastructurele projecten blijkt vaak lastiger te zijn dan vooraf gedacht wordt. Problemen kunnen op allerlei fronten ontstaan door gebrek aan communicatie, onvoorziene veranderingen (met name vanuit wijzigingen van (omgevings-) eisen) of niet-onderkende risico's. Bij recente projecten als de HSL-Zuid en de Betuwelijn is op een aantal van de voornoemde aspecten slecht gescoord. Maatschappelijk heeft dit veel stof doen opwaaien en is er behoefte gekomen aan inzichtelijke en overzichtelijke procedures in het hele project. Dit is versterkt door de bouwfraude. Zo is de behoefte bij opdrachtgevers ontstaan om projecten helder en gestructureerd aan te pakken.

Een geschikte methode daarvoor is *Systems Engineering*.

Systems Engineering (SE) is een nieuwe methodiek die oarmrd is door ProRail en Rijkswaterstaat. Doel van deze methode is een transparante en betere beheersing van processen, ingegeven door de opdrachtgever bij een terugtrekkende overheid, die van de markt verwacht dat op een adequate en efficiënte manier wordt aangetoond dat de oplossing aan de gestelde eisen voldoet.

Binnen de afdeling Transfer & Rail van DHV is ProRail de grootste opdrachtgever. Doordat ProRail van zijn opdrachtnemers verwacht dat deze gebruik maken van SE, moet het ontwerpproces enigszins veranderen. Er moet dus in kaart gebracht worden wat de specifieke SE-stappen zijn en hoe en waar deze ingezet moeten worden in het proces van ontwerp en realisering.

In dit rapport zal eerst de opzet van het onderzoek (hoofdstuk 2) besproken worden, gevolgd door de theorie van SE (hoofdstuk 3) en de huidige manier van werken (hoofdstuk 4). Dit moet inzicht geven in de veranderingen die er staan te wachten door de invoer van SE (hoofdstuk 5). Vervolgens wordt in hoofdstuk 6 een casestudie gedaan naar het gebruik van SE bij de Hanzelijn. Op grond hiervan kunnen conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan worden over wat er nu gebeurt en wat er nog moet gebeuren om SE goed in te voeren en toe te passen (hoofdstuk 7).

2. Onderzoeksontwerp

2.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de achtergrond van het probleem en de manier waarop dit onderzoek aangepakt gaat worden. Allereerst wordt een korte beschrijving van DHV gegeven (§2.2). Daarna wordt verder ingegaan op het probleem zelf: wat is het kader van dit onderzoek (§2.3)? Vervolgens wordt ingegaan op de manier waarop het probleem gedefinieerd (§2.4) en aangepakt (§2.5) wordt. Tot slot volgt het belang van dit onderzoek (§2.6).

2.2. DHV - de organisatie

DHV is een advies- en ingenieursbureau dat zich op veel aspecten van de civiele techniek richt. DHV wordt gekenmerkt door 6 markten waarop het actief is: water, industrie, bouwen, milieu, mobiliteit en luchthavens. Deze markten worden vanuit 4 zogenaamde business groups, te weten Water, Bouwen en Industrie, Ruimte en Mobiliteit en Aviation, gespeeld. Wereldwijd is DHV actief in tientallen landen in Europa, Azië, Afrika en Noord-Amerika.

Dit onderzoek wordt uitgevoerd binnen de unit Transfer & Rail. Deze unit maakt deel uit van de businesslijn Ruimte, die weer onderdeel is van de businessgroup Ruimte en Mobiliteit. In bijlage A is, naast een uitgebreide beschrijving van DHV, het organogram van DHV te vinden.

2.3. Probleemkader

De laatste jaren vindt er in de bouwwereld een verschuiving plaats van rollen en taken. Steeds vaker geeft de opdrachtgever ook het ontwerp van het project uit handen, om zo de opdrachtnemer de ruimte te bieden voor de zogenaamde Design & Construct-contracten (INCOSE SIG Infra, 2004). Voor de opdrachtgever gaat de rol dus veranderen naar het specifiekere verwoorden van de eisen en wensen waar een ontwerp aan moet voldoen. Voor de opdrachtnemer komt er een taak bij doordat er nu ook ontworpen moet worden. Deze verschuiving heeft alles te maken met de roep om heldere en inzichtelijke procedures voor het ontwerp. Mede door de bouwfraude is deze verandering in gang gezet. (Rijkswaterstaat [RWS], ProRail, 2007)

Systems Engineering

Een methode die hiervoor in toenemende mate gebruikt wordt, is de methode Systems Engineering (SE). Systems Engineering biedt een geïntegreerde en gestructureerde set methodieken om projecten succesvol te verwezenlijken en te beheren. SE is dus een werkwijze die de rollen en taken van alle betrokkenen vastlegt binnen de levensloop van een bouwwerk, vanaf de planontwikkeling naar realisatie tot en met vernieuwing of sloop. Een aanpak die op ieder moment - ook na afloop - helder inzicht geeft in de keuzes die tijdens het proces zijn gemaakt (RWS, ProRail, 2007). SE gaat uit van een levenscyclusbenadering. Door deze benadering wordt de oplossing van een probleem gestuurd naar maximale prestatie en kwaliteit over de hele levenscyclus.

Binnen de ontwikkeling van SE binnen de GWW-sector nemen RWS en ProRail als opdrachtgevers een trekkende rol op zich, getuige de door deze organisaties opgestelde leidraad. Deze twee grote opdrachtgevers besteden steeds vaker complete opdrachten uit aan aannemers, ingenieursbureaus en consortia in de vorm van geïntegreerde contracten. In het verleden werden keuzes vaak gemaakt op basis van het inzicht van de ontwerper. Dit hoeft niet direct verkeerd te zijn, maar het verschaft geen duidelijkheid en transparantie van de keuze. Daarnaast wordt steeds meer vanuit Europa de regelgeving

bepaald. Zo is de opdrachtgever nu verplicht de verificatie en de validatie van het ontwerpproces te verankeren. Met behulp van SE kan dat gebeuren. (RWS, ProRail, 2007)

Verandering

Een belangrijke aanleiding voor het gebruik van SE door ProRail en Rijkswaterstaat was de behoefte aan een methodiek om geïntegreerde contracten zo op de markt te zetten dat de ontwerpkeuzes traceerbaar en verantwoord zijn. Dit vereist voor zowel opdrachtgevende als opdrachtnemende partijen een andere manier van werken. In het traditionele ontwerpproces werd de aannemer pas ingeschakeld als het probleem op papier was opgelost. Het ontwerp lag dus volledig bij de opdrachtgever. Met het bestek als resultaat van het voortraject kon de aannemer aan de slag om te bouwen wat nodig was. Met geïntegreerde contracten wordt er beter ingespeeld op de markt, door gebruik te maken van creativiteit en efficiëntie van deze bedrijven. De concurrentie tussen de marktbedrijven wordt dus niet langer alleen bepaald door de prijs, maar ook door de voorgestelde oplossing of proces. (RWS, ProRail, 2007)

Deze verandering in de manier van werken vereist een verandering in verplichtingen. De opdrachtnemer moet aan de opdrachtgever duidelijk kunnen maken waarom hij bepaalde keuzes heeft gemaakt, om zo te voldoen aan de eis van validatie en verificatie. Met SE zullen opdrachtgever en opdrachtnemer dus een ander soort proces gaan volgen bij de uitvoering van projecten.

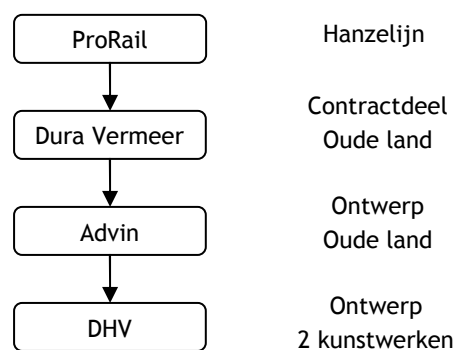
Hanzelijn

Een van de eerste projecten waar SE toegepast wordt is de bouw van de Hanzelijn. Deze lijn vormt de verbinding tussen Zwolle en Lelystad en heeft als doel de reistijd tussen het Noorden en de noordelijke randstad aanzienlijk te verkorten (ProRail, 2007).

In de voorfase heeft Arcadis een MER opgesteld en een tracéstudie uitgevoerd voor de Hanzelijn. Vervolgens is de bouw van het tracé verdeeld in een aantal contractdelen. Zo zijn BAM Civiel en Van Oord bezig met de bouw van het deel in Flevoland. Inmiddels is Ballast Nedam begonnen met de bouw van de tunnel onder het Drontermeer door. Voor de bouw van het deel op het 'Oude Land' is Dura Vermeer verantwoordelijk.

De taak van DHV hierin is het controleren van het spoorontwerp van het 'Oude Land'-deel, tussen Zwolle en het Drontermeer en het uitwerken van 2 kunstwerken. Al deze activiteiten worden uitgevoerd voor Advin, het adviesbureau van Dura Vermeer.

De projectorganisatie van het project Hanzelijn is weergegeven in figuur 1.



figuur 1: Projectorganisatie Hanzelijn

2.4. Conceptueel ontwerp

2.4.1. Probleemstelling

Systems Engineering is voor het eerst toegepast in de telefoniesector als methode om operabiliteit tussen de verschillende delen van het telefoonsysteem te realiseren. Gedurende de Tweede Wereldoorlog werd SE vooral toegepast bij de ontwikkeling van complexer wordende militaire systemen. Sinds de jaren '50 werd SE steeds meer gebruikt, vooral in de luchtvaart-, ruimtevaart- en wapenindustrie. (RWS, ProRail, 2007) Door de wapenwedloop werden oorlogssystemen steeds geavanceerder en complexer. Met behulp van SE kon dit probleem getackeld en beheerst worden. Door de gestructureerde opbouw kon elke keuze verantwoord worden en op later datum uitgezocht worden waarom er een bepaalde keuze was gemaakt. Inmiddels wordt SE ook in toenemende mate gebruikt bij civieltechnische projecten. Dit komt naar voren in de beleidsdocumenten van RWS en ProRail waarin ze SE zien als een goede mogelijkheid om gestructureerd complexe problemen aan te pakken en te beheersen.

Het theoretische kader van SE, de ISO/NEN 15288 is wel beschikbaar, maar de vertaalslag is nog lang niet altijd goed gemaakt of te maken. Op dat gebied is er dus een leemte in de kennis. DHV moet nu de vertaalslag gaan maken, om het beleid van Rijkswaterstaat en ProRail uit te kunnen voeren. Hierbij is DHV vooral op zoek naar handvatten om SE in de praktijk te kunnen brengen.

Zowel opdrachtgever als opdrachtnemer weet vaak niet wat er precies verwacht moet worden van de integratie van SE in projecten. Er zijn meer vragen dan antwoorden. Voor DHV als opdrachtnemer is het van belang hier meer kennis over op te doen en te kijken waar er veranderingen nodig zijn en wat er moet gebeuren. Om er achter te komen wat er allemaal moet veranderen is een vergelijkend onderzoek noodzakelijk, waarin de 'oude' werkwijze wordt vergeleken met de 'nieuwe' werkwijze. Omdat er bij beide partijen veranderingen plaats vinden, is het ook goed om een vergelijking te maken tussen beide partijen. De vraag die daarbij gesteld kan worden, is wat de opdrachtgever verwacht ten aanzien van de invoer van SE in (geïntegreerde) projecten. Wat verwacht deze bijvoorbeeld van de eindproducten die geleverd moeten worden?

Concreet luidt de probleemstelling:

Binnen DHV ontbreekt het aan praktische tools om Systems Engineering toe te passen in het ontwerpproces.

2.4.2. Doelstelling

Met de gegeven probleemstelling luidt de doelstelling:

Beschrijf het ontwerpproces voor de Hanzelijn waarbij gebruik gemaakt wordt van Systems Engineering en probeer hierbij een of meerdere tools uit te lichten die hierbij worden ingezet.

2.4.3. Vraagstelling

Op welke wijze zijn Systems Engineering tools toe te passen binnen de projectactiviteiten van de Hanzelijn?

Deelvragen

1. Wat is het theoretische kader van SE om projecten te beheersen?
 - a. Wat is de historie van SE?
 - b. Wat zijn voor- en nadelen van het gebruik van SE?
2. Hoe wordt in de huidige werkwijze van de (infra-)ontwerpafdeling voor civieltechnische constructies binnen DHV een ontwerp opgezet?

- a. Wat is de bestaande methode om projecten aan te pakken?
 - b. Wat zijn impliciete keuzes die er gemaakt worden tijdens ontwerp en realisatie van projecten?
3. Hoever is de (infra-)ontwerpafdeling binnen DHV met de invoer van SE in het ontwerpproces?
 - a. Welke projecten zijn er al gaande met betrekking tot SE?
 - b. Wat zijn de ervaringen hiermee?
 - c. Welke problemen worden er geconstateerd?
 - d. Wat voor toekomst zien de ontwerpafdeling in SE?
4. Welke verwachtingen hebben opdrachtgever ProRail en Dura Vermeer ten aanzien van het gebruik van SE bij de kunstwerken voor de Hanzelijn?
 - a. Welke verwachtingen hebben ProRail en Dura Vermeer?
 - b. Welke waarde hechten ze aan SE?
 - c. Hoever zijn ze zelf met de invoer van SE?
 - d. Welke problemen worden er geconstateerd?
5. Welke verschillen zijn er tussen de theorie, de praktijk en de wensen van de opdrachtgevers?
6. Op welke wijze moet het “Oude Land”-contract van de Hanzelijn worden vorm gegeven om te voldoen aan SE?

Antwoord op deze vragen moet leiden tot inzicht in de verschillen tussen de oude en nieuwe werkwijze en verschillen tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. Een analyse van de resultaten moet dus leiden tot inzicht in de bottlenecks en aanbevelingen voor de voortgang van de invoer van SE.

2.4.4. Afbakening

Omdat de materie voor DHV vooral nog in theorie bestaat, is het niet waarschijnlijk dat dit onderzoek het hele probleem zal oplossen. Veel mensen zijn nog bezig met het vormen van een visie ten aanzien van SE. Weinig mensen hebben een idee hoe het toekomstige werkproces er uit zal zien. Met dit onderzoek wordt geprobeerd een deel van dat gat gevuld te krijgen.

In dit onderzoek wordt vooral ingegaan op welke veranderingen er moeten plaats vinden. Slechts ten dele wordt aangegeven met welke middelen die veranderingen moeten worden gerealiseerd.

Vanwege de duur van het project Hanzelijn valt een eventuele evaluatie buiten de scope van dit onderzoek.

2.4.5. Op te leveren product

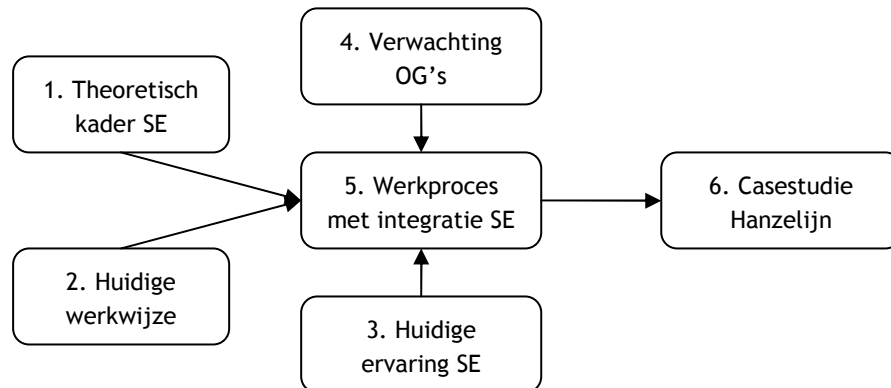
Wanneer het engineeringsproces als geheel beschouwd wordt, is er ergens een lijn te trekken waar de opdrachtgever de opdracht overdraagt aan de opdrachtnemer. Doordat het gebruik van SE voor beide partijen gevolgen heeft, zal aan beide zijden het engineeringsproces veranderen. Aangezien er aan de zijde van de opdrachtgever al meer ervaring is met het gebruik van SE en de taak van DHV bij de Hanzelijn gericht is op de opdrachtnemende zijde zal er afgebakend worden naar de opdrachtnemende zijde, het ontwerpproces. Op te leveren product

Doel van dit onderzoek is het formuleren van een stappenplan. Met dit stappenplan kan binnen het deelproject van DHV aan de Hanzelijn SE ingezet worden. In het stappenplan moet naar voren komen welke aanpassingen er moeten komen en hoe deze ingezet moeten worden.

Daarnaast wordt geprobeerd (algemene) aanbevelingen te doen ten aanzien van hetgeen er moet veranderen om SE verder te implementeren in het ontwerpproces van DHV. Hierbij

wordt niet uitgebreid beschreven hóe bepaalde (deel)processen uitgevoerd moeten worden, maar alleen wélke (deel)processen het betreft.

2.5. Onderzoektechnisch ontwerp



figuur 2: Onderzoeksmodel

Om tot een werkproces te komen waarin SE is geïntegreerd, is kennis nodig van vier verschillende aspecten (zie figuur 2):

1. *Theoretisch kader SE*: Kennis over de theorie van SE is nodig om beeld te krijgen wat de typische handelingen zijn wanneer gewerkt wordt met SE.
2. *Huidige werkwijze*: De huidige werkwijze laat in vergelijking met de werkwijze volgens SE zien wat er moet veranderen. Daarom is een inventarisatie hiervan noodzakelijk. Verder levert deze stap informatie op over hoe er gedacht wordt door ontwerpteams over de invoer van SE.
3. *Huidige ervaring SE*: De ervaringen die al bekend zijn met het gebruik van SE, verschaffen inzicht in probleemsituaties. Kennis hiervan kan worden ingezet om verdere integratie van SE te versoepelen.
4. *Verwachting opdrachtgevers*: Om aan te sluiten bij de wensen van de opdrachtgevers is het nuttig om hier onderzoek naar te doen. Een werkwijze waar de opdrachtgever niets in ziet is niet relevant.

Met deze vier ‘bouwstenen’ kan een werkwijze worden opgesteld, die in de praktijk toe te passen is. Dit zijn de stappen 5 en 6 in het model van figuur 2.

5. *Werkwijze*: Met de input van de eerste vier stappen, kan een werkwijze opgesteld worden waarmee in de praktijk aan de slag gegaan kan worden.
6. *Casestudie Hanzelijn*: De Hanzelijn is een concreet project waarbij SE gebruikt moet gaan worden. Met de in 5 beschreven werkwijze kan hier invulling aan gegeven worden.

Dit onderzoeksmodel is tevens de leidraad voor de aanpak van dit onderzoek. In bijlage B is het Plan van Aanpak opgenomen.

2.6. Belang

Voor DHV is het van belang om inzicht te krijgen in de veranderingen, zodat bekend wordt wat er moet veranderen om SE te integreren in de bedrijfsvoering en hoe deze veranderingen ingevoerd moeten worden. De invoer van SE wordt namelijk verplicht gesteld door de opdrachtgevers, die daarmee voldoen aan de Europese regelgeving omtrent de mogelijkheid tot het verifiëren en valideren van ontwerpproces.

Niet alleen DHV wordt geconfronteerd met het gebruik van SE. Ook de concurrentie moet het bedrijfsproces veranderen om aan de nieuwe eisen te voldoen. Voor DHV is het dus zaak om, als het de concurrentie voor wil blijven, snel en adequaat SE in te voeren in het bedrijfsproces.

3. Systems Engineering

3.1. Inleiding

Om grip te krijgen op de problematiek is het noodzakelijk te weten wat er met SE gedaan kan worden. In dit hoofdstuk wordt het theoretische model van Systems Engineering in kaart gebracht. Veel informatie is afkomstig uit de *Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector*. Dit is een uitgave van ProRail en Rijkswaterstaat (RWS), in samenwerking met Bouwend Nederland en de ONRI.

Allereerst zal de theorie van SE besproken worden (§3.2), daarna zal ingegaan worden op de toepassing van SE (§3.3)

3.2. Theorie van SE

De definitie, zoals die gegeven wordt door de leidraad luidt:

Systems Engineering biedt een geïntegreerde en gestructureerde set methodieken om projecten succesvol te verwezenlijken en te beheren.

De kernelementen uit de gehanteerde definitie die dit beschrijven kunnen als volgt samengevat worden:

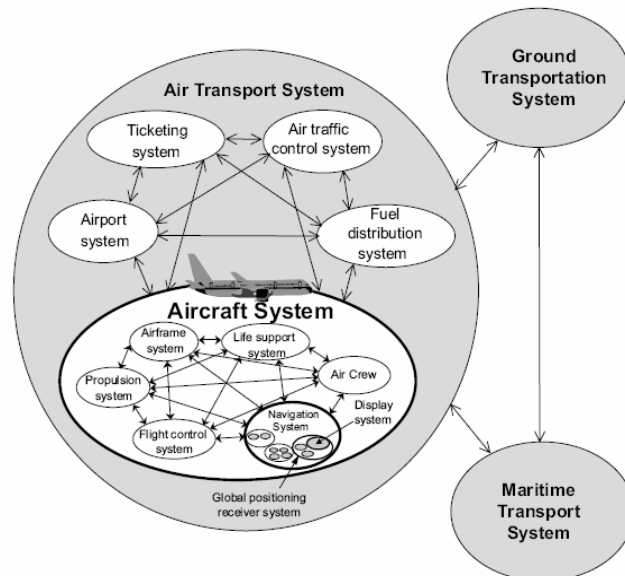
- het op een gestructureerde wijze specificeren van een behoefte;
- het op een gestructureerde wijze ontwerpen van een passende oplossing bij de behoefte;
- het op een correcte wijze realiseren van deze oplossing;
- het op een juiste wijze beheren van de gerealiseerde oplossing;
- het op een juiste wijze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

Bovenstaande maakt duidelijk dat Systems Engineering een methodiek is die de gehele levenscyclus van projecten ondersteunt. (RWS, ProRail, 2007)

3.2.1. Systemen

Systems Engineering is gericht op het systeemdenken. Voor ProRail en Rijkswaterstaat zijn de systemen vooral gericht op de infrastructuur. Dit zijn de hoofdwaterstructuur, het hoofdwegen-, het hoofdspoorwegen- en het hoofdvaarwegennet. Een systeem wordt opgebouwd uit een aantal subsystemen, die samen het geheel vormen. Op een hoger abstractieniveau kan, wat een subsysteem voor een opdrachtgever is, een systeem zijn voor de opdrachtnemer. In figuur 3 is dit schematisch weergegeven.

Binnen SE wordt het systeem opgedeeld in subsystemen, die weer opgedeeld worden in componenten. De componenten worden samengesteld uit elementen.



figuur 3: Systeem en systeemcontext (bron: ISO, 2002)

3.2.2. Karakteristieken

Binnen SE zijn drie kenmerkende onderdelen te onderkennen. Dit zijn:

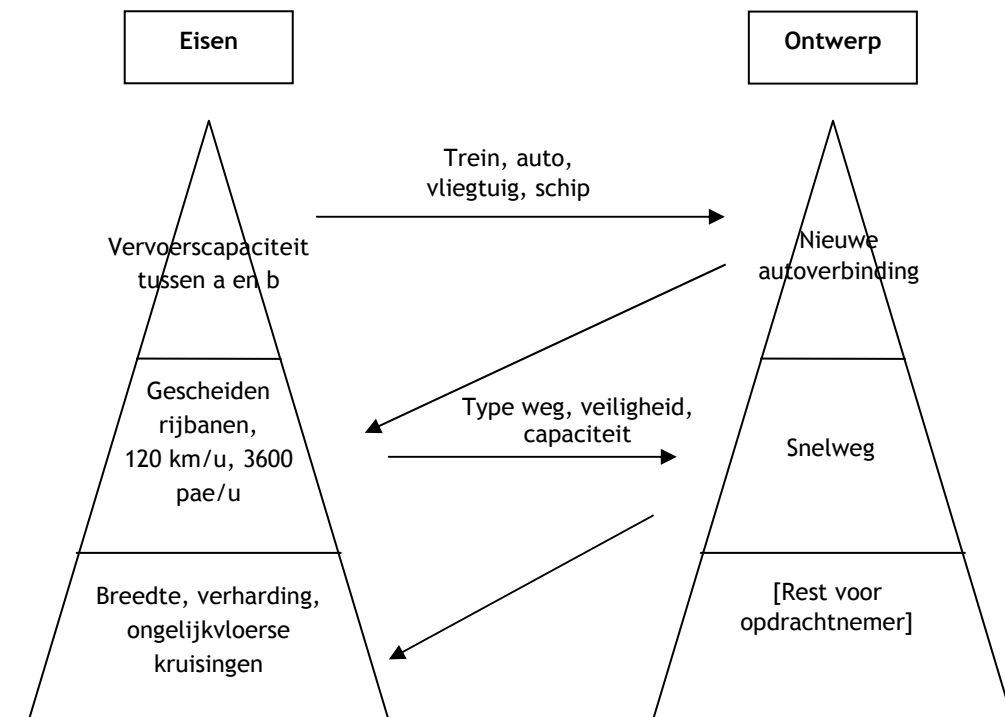
- Splitsen van specificatie en ontwerpen;
- Verifiëren en valideren;
- De levenscyclus als uitgangspunt.

Splitsen van specificatie en ontwerpen

Het is vaak makkelijker om gewoon te gaan ontwerpen en met de opdrachtgever af te stemmen of het ontwerp voldoet aan de eisen. Maar juist door het uit elkaar trekken van eisen en ontwerp, wordt vooraf eerst het probleem goed uiteen gerafeld. Met SE wordt geprobeerd om deze twee verschillende stappen uit elkaar te trekken.

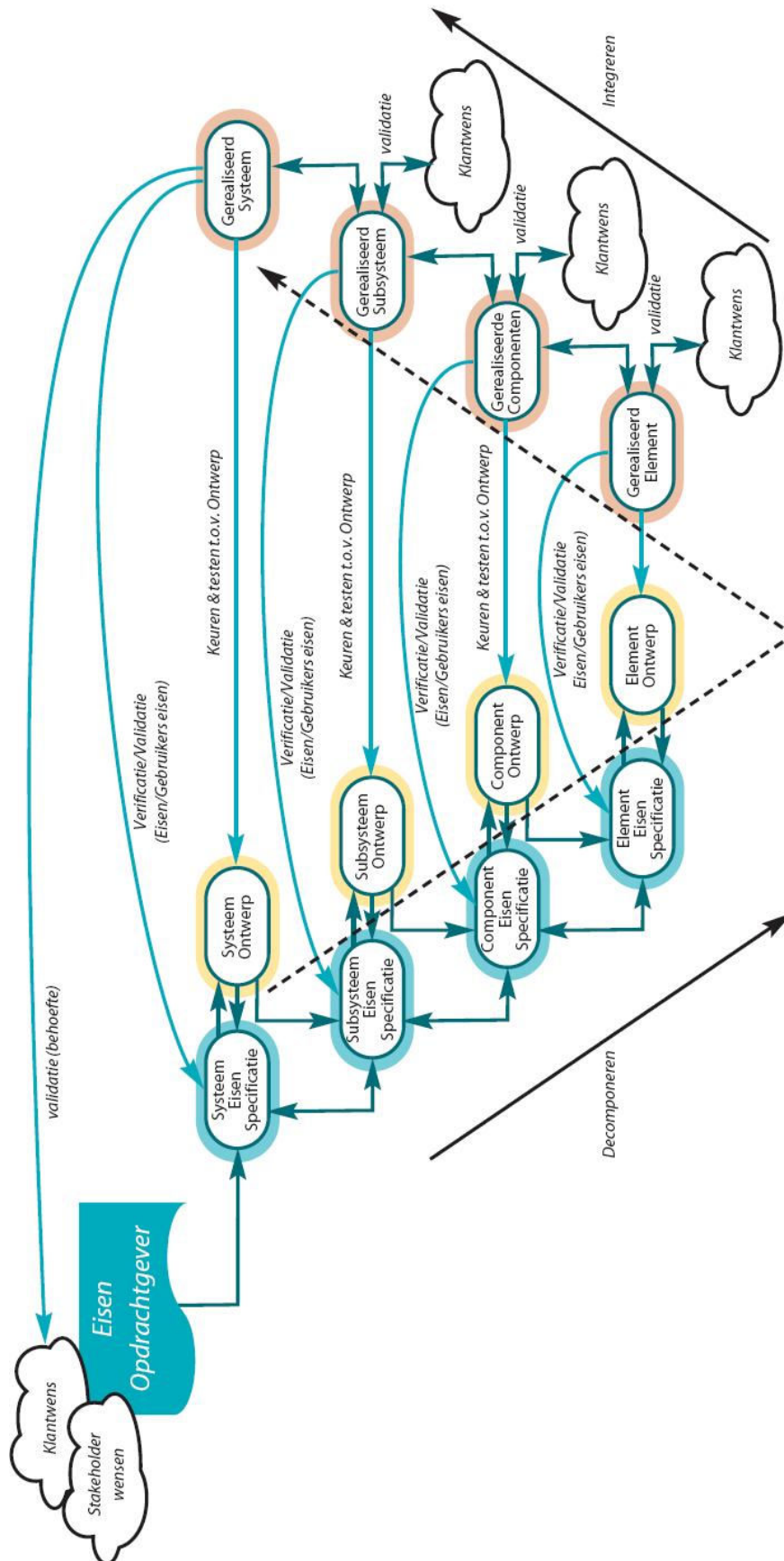
In het traditionele ontwerp wordt het Programma van Eisen (PvE) geïnterpreteerd door de ontwerper, die er vervolgens een ontwerp bij maakt. Het schetsontwerp wordt de input voor alle volgende fases en er wordt weinig teruggerepen op het PvE. De procesgang binnen Systems Engineering gaat uit van twee parallel lopende processen (eisen en ontwerp) om deze splitsing te realiseren. De eisen sturen het ontwerp.

Aan de hoofdeisen worden subeisen gekoppeld, waar vervolgens weer sub-subeisen aan gekoppeld worden. Zodoende ontstaat een eisenboom. Parallel aan dit traject wordt het ontwerp steeds verder gedetailleerd, gelijk met het detailleren van de eisen. Op het hoogste niveau kan een eis geformuleerd worden als: de vervoerscapaciteit tussen A en B dient vergroot te worden. De oplossingsruimte is nog zeer groot, want moet dit een trein- of een autoverbinding zijn? Moet dit een nieuwe verbinding zijn of dient de bestaande infra beter benut te worden? Deze ontwerp-vrijheid leidt tot nieuwe eisen, wanneer er gekozen wordt voor een bepaald principe. Als er gekozen wordt voor een nieuwe autoverbinding, kunnen er eisen gesteld worden aan bijvoorbeeld de capaciteit, de snelheid en de veiligheid waar de verbinding aan moet voldoen. De opdrachtgever specificeert zijn eisen en wensen tot een bepaald niveau en geeft daarbij de stappen die hij heeft doorlopen in het ontwerpproces. Vanaf dat niveau draagt hij de opdracht over aan de opdrachtnemer. De opdrachtnemer werkt het ontwerp vervolgens uit tot een detailniveau waar eisen en ontwerp samenvallen en het ontwerp dus aan de eisen voldoet. In figuur 4 is een voorbeeldsituatie gegeven waarin te zien is hoe dit proces kan lopen.



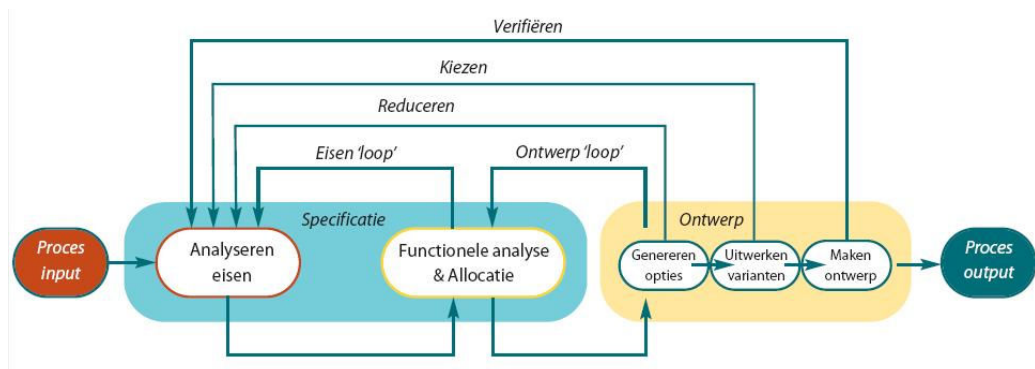
figuur 4: Interactie eisen en ontwerp

Het steeds specifiekere verwoorden van de eisen wordt het decomponeren genoemd. Eisen worden steeds verder uitgesplitst tot het gewenste detailniveau is bereikt. Elk eisenniveau heeft zijn eigen ontwerpdetail en elk detail moet passen in het grotere geheel. Het proces waarbij deze ontwerpstappen samengevoegd worden, wordt het integreren van het ontwerp genoemd. Tussen alle stappen wordt het ontwerp aan de eisen getoetst en worden nieuwe eisen afgeleid uit het ontwerp. Als laatste worden het ontwerp en de realisatie als geheel getoetst aan de eisen en wensen van de gebruikers (INCOSE, 2006). In figuur 5 is dit proces schematisch weergegeven.



figuur 5: V-model (bron: ProRail, RWS, 2007)

Hoe kom je van eisen tot ontwerp? Op elk niveau (systeem, subsysteem, component, element) wordt in principe hetzelfde traject gevolgd om tot een ontwerp te komen. In figuur 6 is aangegeven hoe dit iteratieve proces plaatsvindt. Op elk niveau worden eerst de eisen uiteen gerafeld en geanalyseerd (eerste loop). Deze eisen worden gekoppeld aan “eisenvervullers”, objecten. Het object moet vervolgens zo ontworpen worden dat het voldoet aan de eisen (tweede loop). Als het ontwerp eenmaal voltooid is, moet het gecontroleerd worden aan de vooraf gestelde eisen. Voldoet het aan de ontwerpeisen, dan is het deelontwerp voltooid. Het ontwerp is daarmee dus een invulling van de eisen en niet expliciet de detaillering van het ontwerp op hoger niveau. Als vervolgens doorgegaan wordt naar een lager niveau, blijven de eisen leidend in het ontwerp en niet het ontwerp dat op een niveau hoger gemaakt is.



figuur 6: Ontwerpproces met SE (bron: RWS, ProRail, 2007)

Verifiëren en valideren

Gebruik makend van SE is het mogelijk om op elk moment - voor, tijdens en na de realisatie - het ontwerp te controleren op de gemaakte keuzes. Deze inzichtelijkheid van het ontwerpproces wordt door Europa geëist (RWS, ProRail, 2007). Binnen SE zijn er twee termen die hiermee verband houden: verificatie en validatie.

Verificatie is er op gericht *“to confirm that the specified design requirements are fulfilled by the system”* (ISO 15288, 2002). Doel van verificatie is het aantonen dat het (deel)product aan de gestelde eisen voldoet. Verificatie (of keuring) gebeurt al tijdens de ontwerp- en realisatiefase en kan op verschillende manier gedaan worden. Een veel gebruikte methode is door te eisen dat gebruikte grondstoffen gecertificeerd zijn. Op die manier wordt gewaarborgd dat grondstoffen krachten kunnen weerstaan. Andere methoden zijn testen of analyses van het object.

Validatie is er op gericht *“to provide objective evidence that the services provided by a system when in use comply with stakeholders’ requirements”* (ISO 15288, 2002). Het validatieproces vindt plaats na realisatie van het gehele systeem.¹ Doel van validatie is het aantonen dat de prestaties die het systeem als geheel levert, voldoen aan de gestelde eisen.

Verificatie versus validatie;

Verificatie = een check of het object *juist* gebouwd is.

Validatie = een check of het *juiste* object gebouwd is.

¹ Hierbij dient opgemerkt te worden dat een systeem niet voor iedereen hetzelfde is. Voor een opdrachtgever kan een camerasysteem een subsysteem zijn, terwijl dit voor de cameraleverancier een compleet systeem is. In een dergelijk geval vindt validatie ook plaats, maar dan door de leverancier. Zie ook §3.2.1.

De levenscyclus als uitgangspunt

SE is gericht op de levenscyclus van een project. Doordat in een systeem meerdere deelsystemen verschillende levenscycli hebben, ontstaat er een interactie tussen de deelsystemen wanneer het gaat om onderhoud en vervangbaarheid van deelsystemen en objecten. Geïntegreerde contracten worden steeds vaker opgesteld om daar rekening mee te houden. Door ook het onderhoud bij de opdrachtnemer onder te brengen, wordt gewaarborgd dat het product zo gerealiseerd wordt dat de kwaliteit dusdanig is dat de beheerder er het minste onderhoud aan heeft en de functies ook op termijn gehandhaafd blijven. Wanneer een opdrachtnemer een slimme manier heeft om het beheer en onderhoud efficiënt uit te voeren, moet daar (mogelijk) al bij het ontwerp rekening mee gehouden worden. Het voordeel hiervan is dus een efficiënte en innovatieve oplossing.

De afgelopen jaren zijn er veel normen geschreven over SE. Deze zijn samengevat in ISO/IEC 15288:2002 “Systems Engineering - System life cycle processes”. De processen die in deze norm beschreven worden zijn de volgende:

1. Specificatieproces van eisen van belanghebbenden: zet de behoeften en wensen van belanghebbenden om in een gezamenlijke reeks eisen;
2. Eisenanalyseproces: vertaal deze eisen in meetbare systeemvereisten en functies van het systeem;
3. Architectuurontwerpproces: breng de oplossing tot stand die aan de systeemvereisten voldoet;
4. Invoeringsproces: bouw de systeemonderdelen;
5. Integratieproces: stel het systeem samen uit de systeemonderdelen conform het architectuurontwerp;
6. Verificatieproces: controleer of het systeem en de onderdelen daarvan voldoen aan de eisen;
7. Overgangsproces: maak het systeem gebruiksklaar;
8. Validatieproces: controleer of het systeem de geëiste functionaliteit biedt;
9. Operationeel bedrijfsproces: maak gebruik van het systeem;
10. Beheer- en onderhoudsproces: onderhoud het systeem, inclusief verbetering en hergebruik;
11. Verwijderingsproces: einde levenscyclus, sloop het systeem.

Hierbij vormen de delen 1, 2 en 3 het engineeringsgedeelte, 4 tot en met 8 het realisatieproces en 9, 10 en 11 het beheer en onderhoud (inclusief sloop).

Doordat SE zich richt op de hele levenscyclus van een product heeft het de potentie om heel doelgericht te ontwerpen. Bij de eisenspecificatie kan al ingegaan worden op beheer- en onderhoud en kan daarmee een optimalisatieslag gemaakt worden. Deze mogelijkheid sluit bovendien goed aan op de geïntegreerde contractvormen, waarbij het operate- en maintainproces worden meegenomen. Door de verschillende levensfasen van een product al bij het ontwerp te beschouwen kan op efficiëntere wijze een product tot stand komen, mogelijk zelfs tegen lagere Life-Cycle-kosten.

3.2.3. Functioneel specificeren van eisen

In §3.2 is al kort ingegaan op het doel van de eisen. Om eisen conform SE te specificeren is het belangrijk dat een aantal aspecten in ogenschouw genomen wordt. De eisen die gesteld worden aan de eisen, leiden er toe dat ze helder en eenduidig geformuleerd worden. In tabel 1 zijn eigenschappen weergegeven waar eisen aan moeten voldoen.

Eigenschap	Toelichting
Enkelvoudig	Eén eis per eis

Eigenschap	Toelichting
Traceerbaar	Herleidbaar naar boven- en onderliggende eisen ten behoeve van o.a. het verificatietraject
Toetsbaar	Er dient objectief bepaald te kunnen worden of aan de eis wordt voldaan of niet
Indien gekwantificeerd, voorzien van marges	Er dient aangegeven te worden binnen welke marges een waarde, die bij de verificatie bepaald wordt, moet vallen om te voldoen aan de eis
Actueel	Passend bij de laatste projectbaseline
Eenduidig	Slechts voor één uitleg vatbaar
Uniek	Per onderwerp/aspect komt één eis voor
Positief	Niet: “niet minder dan”, maar: “tenminste”
Haalbaar	Eisen die niet haalbaar zijn voegen niets toe
Consistent	Samenhangend en volledig
Noodzakelijk	De eis dient toegevoegde waarde te hebben; zonder die eis gaat er iets mis
Oplossingsvrij	Een eis dient vrij van (verwijzingen naar) oplossingen te zijn
Van een unieke identificatie voorzien	T.b.v. identificatie en verwijzing / tracering,

tabel 1: Eisen aan eisen (bron: RWS, 2005 [1] en RWS, 2007)

Deze eigenschappen van eisen worden ook vaak samengevat onder het begrip SMART:

- Specifiek, helder, ondubbelzinnig, nauwkeurig, volledig;
- Meetbaar, verifieerbaar;
- Acceptabel voor de klant en opdrachtgever;
- Realistisch, haalbaar;
- Toleranties dienen aangegeven te zijn².

De eisen zelf zijn onder te verdelen in een aantal categorieën, te weten functionele eisen, externe en interne raakvlakeisen, aspecteisen en randvoorwaarden.

Functionele eisen beschrijven waar het object aan moet voldoen en welke prestaties het moet kunnen leveren.

Infrastructurele projecten moeten (bijna) altijd in de omgeving ingepast worden. Vanuit de omgeving kunnen eisen gesteld worden aan het object. Interne raakvlakken ontstaan bij het decomponeren van het systeem. Een weg moet, bijvoorbeeld, zo aangelegd worden dat het mogelijk is om er nog een viaduct overheen te leggen en andersom. Dit stelt dus eisen aan het ontwerp.

Aspecteisen zijn eisen die een indirecte bijdrage leveren aan de primaire functie. In tabel 2 zijn deze aspecten weergegeven, met daarbij een korte toelichting.

Aspect	Toelichting
Veiligheid	Eisen met betrekking tot veiligheid tijdens realisatie en veiligheid in de gebruiksfase van gerealiseerde objecten, voor zowel de gebruiker als de omgeving
Beschikbaarheid & betrouwbaarheid	Eisen met betrekking tot beschikbaarheid, levensduur en betrouwbaarheid van gerealiseerde objecten
Vormgeving	Eisen met betrekking tot uiterlijke vormgeving van gerealiseerde objecten

² Meestal wordt de T voor Tijdgebonden gebruikt. In dit kader is het woord Tolerantie treffender. Tevens wordt dit acroniem ook gebruikt in de bron van RWS (RWS, 2005 [1]).

Aspect	Toelichting
Milieuhygiëne	Eisen aan stof, geluid, trillingen en stank tijdens de realisatie en gebruiksfase
Uitvoering	Eisen aan de uitvoering en aanpassing van nieuw te bouwen en bestaande objecten
Onderhoud	Eisen met betrekking tot benodigde instandhoudingvoorzieningen en relatie met onderhoudsprocessen (onderhoudbaarheid)
Duurzaamheid	Eisen met betrekking tot aanpassing van gerealiseerde objecten aan toekomstverwachtingen
Sloop	Eisen met betrekking tot de sloop van te slopen objecten

tabel 2: Aspecteisen (bron: RWS, 2005 [1])

Tot slot zijn randvoorwaarden eisen die al voor het project van buitenaf opgelegd worden, zoals wetgeving. Vaak is het niet mogelijk om deze randvoorwaarden aan te passen of een uitzondering te krijgen.

3.3. Toepassing

De toepassing van SE komt op verschillende plekken in het ontwerpproces voor. De voornaamste tweedeling is te maken tussen het proces van opdrachtgever en opdrachtnemer. Aan de zijde van de opdrachtgever moeten de wensen scherp geformuleerd worden, zodat de opdrachtnemer er goed mee uit de voeten kan.

De rol die een adviesbureau hierin kan vervullen, is het functioneel specificeren van de wensen en eisen van de opdrachtgever. Deze taak is binnen DHV al meerdere keren uitgevoerd en kennis hiervan is beschikbaar. Functioneel specificeren is maar een deel van het hele proces van SE. Aan de zijde van de opdrachtnemer komen er, om SE goed te doen, andere dingen kijken. Met het eisendocument dat de opdrachtnemer van de opdrachtgever krijgt, moet hij een ontwerp gaan maken. Vaak is er al een soort schetsontwerp door de opdrachtgever gemaakt tijdens het formuleren van de eisen. Het kan dus ook voorkomen dat een opdracht vooral het detailleren van het ontwerp betreft. Bij het detailleren kunnen er nieuwe eisen ontstaan. Deze eisen moeten opgenomen worden in het eisendocument, zodat dit document verder uitgroeit. Hierbij zijn de eisen leidend en niet het ontwerp van voorgaande fasen.

Tijdens het detailleren van het ontwerp, worden er ook keuzes gemaakt tussen varianten en opties. De keuze die gemaakt wordt, moet vastgelegd worden, zodat later te traceren is waarom een keuze is gemaakt. Tevens moet aan het eind van elke ontwerpstep geverifieerd worden of men nog op de goede weg zit en of het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen.

Op dit moment hanteert ProRail SE als standaard bij de uitvraag van projecten (ProRail, 2006). In de Standaard Voorwaarden van ProRail voor opdrachten aan Ingenieursbureaus (SVI²⁰⁰⁶) zijn standaard voorwaarden opgenomen die gesteld worden aan opdrachten van ProRail. Hierin wordt niet ingegaan op de wijze waarop een project moet worden uitgevoerd, maar er wordt alleen gesteld dat het conform SE moet gebeuren. Wanneer projectgegevens van specifieke projecten erbij worden gepakt, is daarin een eerste opzet te vinden van hoe ProRail hieraan begint.

Deze documentatie is opgedeeld in twee hoofddelen, namelijk de Eisenspecificatie en de Statement of Work. In de Statement of Work wordt bij de te leveren producten verwacht dat verificatiematrices en trade-off matrices worden ontwikkeld en gebruikt. Deze specifieke tools zijn typisch voor SE. De eisenspecificatie is dusdanig opgesteld dat het voldoet aan de eisen die gesteld zijn in tabel 1. Op sommige punten zijn de eisen bijzonder ver uitgewerkt en wordt verwezen naar de geldende voorschriften. Hier is dan geen of zeer beperkte ontwerp vrijheid.

4. Ontwerpproces: traditioneel en geïntegreerd

4.1. Inleiding

Momenteel worden contracten op verschillende manieren op de markt gebracht. De traditionele vorm wordt al jaren gebruikt, maar sinds de jaren '90 is er steeds meer ruimte gekomen voor de geïntegreerde contractvormen.

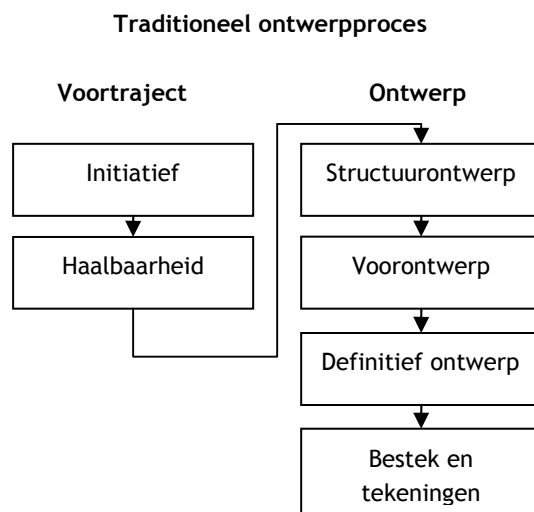
In dit hoofdstuk wordt dit in kaart gebracht om op die manier inzicht te krijgen in de veranderingen die door SE gaan plaats vinden in het ontwerpproces.

Allereerst wordt ingegaan op het traditionele proces (§4.2), gevolgd door het proces met geïntegreerde contracten (§4.3). In de daaropvolgende paragraaf worden verschillen tussen beide manieren van werken in kaart gebracht (§4.4) en tot slot wordt de kwaliteitsborging kort onder de loep genomen (§4.5).

4.2. Traditioneel ontwerpproces

Kenmerkend voor het traditionele ontwerpproces is de lineaire schakeling van de te nemen stappen. Eerst wordt een PvE opgesteld door de opdrachtgever, waarna de eerste fase van het ontwerp kan beginnen. Na de eerste fase wordt de opdracht aan een adviseursbureau uitbesteed. Dit bureau ontwerpt de constructie van begin tot eind, met als resultaat een bestek, bestaande uit tekeningen, berekeningen en beschrijvende teksten, waar de aannemer mee aan de slag kan gaan.

In figuur 7 is dit proces schematisch weergegeven.



figuur 7: Traditioneel ontwerpproces

De fasering van het ontwerpproces wordt gekenmerkt door de sequentiële stappen (tabel 3).

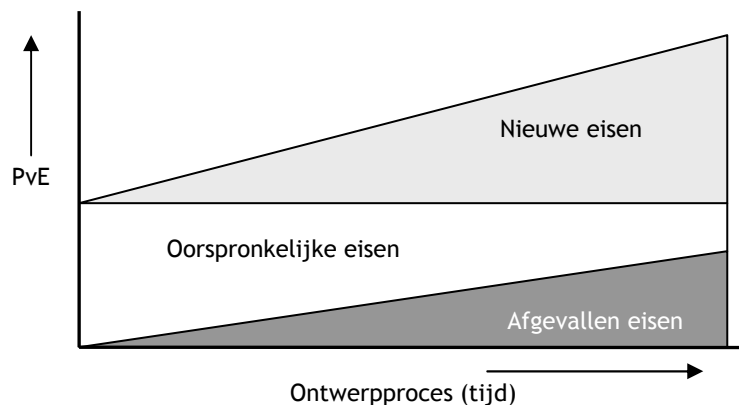
Fase	Tijdspad
Onderzoek	_____
Voorontwerp	_____
Definitief ontwerp	_____
Bestek	_____
Aanbesteding en gunning	_____
Detailering t.b.v. uitvoering	_____
Uitvoering	_____

tabel 3: Schematische fasering traditioneel ontwerpproces

Een volgende stap wordt pas gezet wanneer de voorgaande volledig is afgerond. Een uitzondering op deze stap vormt de detaillering van de tekeningen en berekeningen ten behoeve van de uitvoering. Deze fase wordt al tijdens de aanbesteding en gunning ingezet. Vanaf de gunning wordt dit afgestemd met de aannemer om te bepalen wanneer welke documenten klaar moeten zijn.

Soms overlappen fasen elkaar, zoals weergegeven bij het DO en het bestek. Vaak kan een deel van het bestek al gemaakt worden wanneer het DO nog niet helemaal af is. Het blijkt echter dat dit kan zorgen voor onduidelijkheid, doordat bijvoorbeeld wijzigingen optreden in het ontwerp die niet doorgevoerd worden in het bestek. Met het overlappen van fasen wordt geprobeerd tijd te winnen.

Een groot deel van de ontwerpkeuzes wordt impliciet gemaakt door de ontwerper. Het PvE wordt in de eerste fase als leidraad genomen, maar daarna gaan de gemaakte ontwerpen vaak een grote rol spelen in de communicatie tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. Dat kan er toe leiden dat de gestelde eisen lang niet altijd goed bekeken worden en dat aanvullende eisen niet of slecht worden gecontroleerd aan de originele eisen. Daardoor kunnen verschillen ontstaan tussen begineisen en eindeisen. In figuur 8 is daar een diagram weergegeven waarin dit tot uiting komt. Deze verschillen kunnen er voor zorgen dat het gemaakte product niet voldoet aan de initiële eisen. Daarnaast kan het er ook toe leiden dat er conflicterende eisen in het PvE kunnen ontstaan.

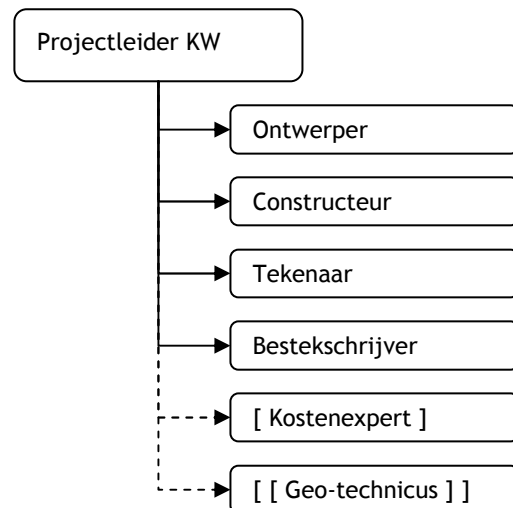


figuur 8: Afwijking van het PvE in de loop van een project

Projectteams

De opbouw van een mono-disciplinair civieltechnisch projectteam in een traditioneel proces is weergegeven in figuur 9. In een dergelijk projectteam werken verschillende disciplines samen om tot het product kunstwerk (KW) te komen. Bovenaan het team staat een projectleider, soms met een projectmanager erboven, afhankelijk van de grootte van het project. In het team zitten in ieder geval een ontwerper, een constructeur, een tekenaar en een bestekschrijver. Afhankelijk van de noodzaak kan het team aangevuld worden met een kostenexpert en een geo-technicus. Zo nodig kunnen er ook nog andere experts aan toegevoegd worden.

Wanneer het een groter project betreft, kan het aantal ontwerpers en constructeurs uitgebreid worden. Er zijn dan een ontwerpleider en een hoofdconstructeur die boven de overige respectievelijk ontwerpers en constructeurs staan.



figuur 9: Opbouw mono-disciplinair civieltechnisch projectteam

Toepassing

Van oudsher is dit een ontwerpmethodiek die op veel engineeringgebieden is toegepast. Binnen de bouwsector is met deze methodiek veel ervaring opgedaan, door de vele projecten die zijn uitgevoerd. Voor projecten waarin de complexiteit laag ligt, is deze vorm nog steeds zeer geschikt.

Complexe, eenmalige projecten zijn voor deze contractvorm minder geschikt, omdat ook de opdrachtgever niet precies weet wat er allemaal staat te gebeuren. Risico's en unieke constructies kunnen in sommige gevallen beter beheerst worden met andersoortige contracten.

Bottlenecks

In traditionele contracten is een sterke scheiding tussen de verschillende fasen. Soms lopen verschillende fasen echter over elkaar heen en dat kan tot verwarring of fouten leiden. Een ander probleem ontstaat bij de opbouw van de projectteams. Wanneer mensen eerder met elkaar hebben samengewerkt, zal de interactie tussen deze personen soepeler verlopen. Ook de grootte van het team bepaalt een deel van de efficiëntie ervan.

Planning is een moeilijk te beheersen aspect. In de fasen tot aan de realisatie lukt het vaak nog wel om een goede planning op te stellen, maar bij de realisatie kunnen problemen aan het licht komen die niet voorzien waren. In sommige gevallen had dat voorkomen kunnen worden wanneer tekeningen 'over elkaar' waren gelegd.

4.3. *Geïntegreerd ontwerpproces*

In geïntegreerde contractvormen wordt de opdrachtnemer in een eerdere fase in het project betrokken. Verschillende mogelijkheden zijn Engineer & Construct (E&C), Design & Construct (D&C) of Turnkey. Dit zijn contractvormen die respectievelijk beginnen bij het definitief ontwerp, voorontwerp of zelf in de definitiefase. In toenemende mate wordt in een geïntegreerd contract ook het beheer en onderhoud en soms ook de financiering geregeld. Het contract bepaalt ook de manier waarop het hele proces vorm wordt gegeven. Hoe eerder opdrachtnemers meedenken, hoe eerder de aanbesteding zal gebeuren. Op dat moment zijn PvE en bestek nog veel abstracter en moeten opdrachtgever en -nemer samen nog veel ontwikkelen. Voordeel van dit soort methoden is de inzet van kennis, creativiteit en innovatie vanuit de markt.

De opdrachtnemer wordt zelf verantwoordelijk voor de kwaliteit van de geleverde producten. Hij moet zijn eigen producten controleren en testen, voordat hij het project aan de opdrachtgever oplevert. Zo kan de kwaliteit gewaarborgd worden.

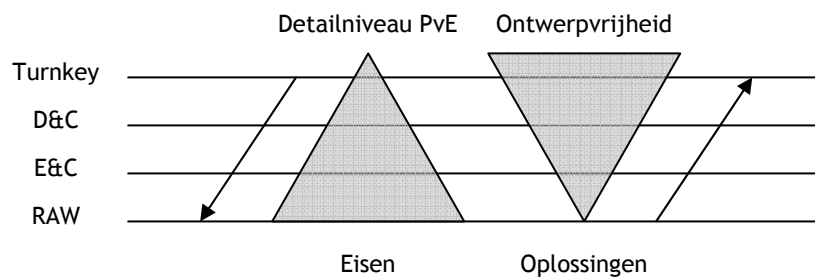
Toepassing

Geïntegreerde contracten hebben als voordeel dat kennis, creativiteit en innovatie doelgericht ingezet kunnen worden in het ontwerp- en realisatieproces. Ontwerp en uitvoeringstechnische mogelijkheden worden op elkaar afgestemd. Voor de opdrachtgever betekent dit dat hij een (functioneel) PvE opstelt en dat overhandigt aan de opdrachtnemer. Wanneer een project door veel voorschriften wordt bepaald, is het nut kleiner. Geïntegreerde contracten zijn ook minder geschikt wanneer een project tamelijk groot is en enigszins uniform uitgevoerd dient te worden. Een voorbeeld van een dergelijk project zijn de OV poortjes die op een groot aantal stations geplaatst gaan worden. Wanneer de opdrachtgever niet of minder in staat is om zelf het project te beheersen of juist meer op afstand wil blijven, kunnen geïntegreerde contracten een uitkomst bieden.

4.4. Verschillen

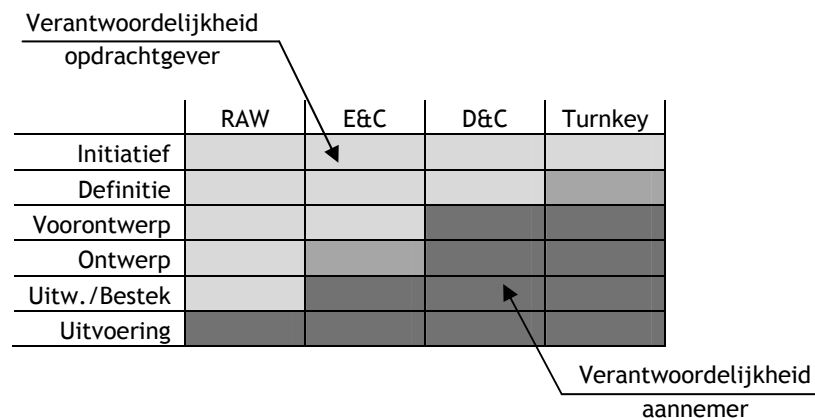
Het PvE kan in het traditionele ontwerpproces tijdens de hele cyclus aangepast en aangevuld worden, doordat opdrachtgever tot aan het eind direct bij het project betrokken blijft. Bij geïntegreerde contractvormen moeten de eisen en functies in een eerder stadium definitief vastgesteld worden, omdat dit voor de aanbesteding is vereist. Een opdrachtnemer moet in zo'n geval weten wat hij moet doen en wat er aan eisen ligt. De eisen zijn op dat moment dusdanig gedefinieerd dat er ontwerpvrijheid overblijft voor de opdrachtnemer.

In figuur 10 is schematisch weergegeven hoe contractvormen, eisenspecificatie en ontwerpvrijheid met elkaar samenhangen.



figuur 10: Overzicht verschillende contractvormen (bron: RWS, 2005 [2])

Vrijheid betekent verantwoordelijkheid. Hoe meer een opdrachtgever uit handen geeft, hoe meer verantwoordelijkheid er terecht komt bij de opdrachtnemer. In het traditionele proces werkte de opdrachtgever de opdracht zover uit dat de opdrachtnemer alleen nog verantwoordelijk is voor de uitvoering. Met de komst van geïntegreerde projecten zijn de verantwoordelijkheden verschoven naar de opdrachtnemer (zie figuur 11).

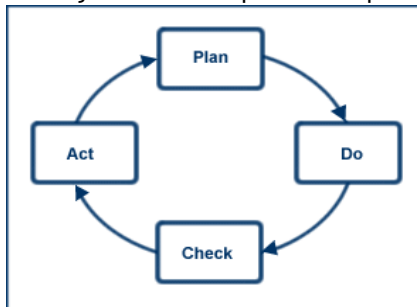


figuur 11: Overzicht verantwoordelijkheden bij contractvormen (bron: RWS, 2005 [2])

Bij de E&C, D&C en Turnkey-contracten wordt ook vaker een resultaatsverplichting gevraagd in plaats van een inspanningsverplichting. Hiermee kan de opdrachtgever waarborgen dat de opdrachtnemer voldoet aan de gestelde, meetbare eisen. Voldoet hij hier niet aan dan is het de verantwoordelijkheid van de opdrachtnemer om alsnog te voldoen aan de eisen. Met name voor ingenieursbureau is dat een verandering.

4.5. Kwaliteitsborging

Zoals gezegd is kwaliteitsborging een issue dat bij geïntegreerde contracten deels op de schouders van de opdrachtnemer terecht komt. De opdrachtgever moet de garantie kunnen krijgen dat zijn product aan alle eisen voldoet en geschikt is voor het bestemde gebruik. Een veelgebruikte methode om de kwaliteit van een product te waarborgen is de *Deming-cirkel*. Deze cirkel beschrijft het kwaliteitsmanagementproces in vier stappen, waarbij de laatste stap aansluit op de eerste (figuur 12).



figuur 12: Deming-cirkel

Voor elk (bedrijfs)proces wordt deze cyclus doorlopen om tot optimalisatie van het proces te komen en zo het resultaat van het proces te maximaliseren. De cyclus eindigt derhalve ook niet na één doorloop. Deming stelt immers een continu verbeterproces voor.

- **Plan:** De planningsfase. De doelstellingen voor het proces worden SMART gedefinieerd. Duidelijk moet worden wat de resultaten van het proces moeten zijn. Daarnaast is er aandacht voor de randvoorwaarden (beschikbaarheid middelen) en de belangen van de betrokkenen.
- **Do:** Het proces wordt uitgevoerd en de resultaten worden gemeten.
- **Check:** De bereikte resultaten worden vergeleken met de doelstellingen.
- **Act:** Indien nodig worden acties uitgezet om de resultaten te verbeteren.

Vervolgens herhaalt de cyclus zich. De bedoelingen is dat het doorlopen van de cirkel leidt tot continue verbetering van de resultaten. De cyclus zorgt daarmee voor zowel kwaliteitsborging als kwaliteitsverbetering. (ManagementStart.nl, 2006)

Door de geïntegreerde contracten is er meer aandacht gekomen voor de stappen *Check* en *Act*. Op deze manier kan snel ingegrepen worden op het moment dat het nodig is.

Systems Engineering

Systems Engineering is een methode om te waarborgen dat een product aan de vooraf gestelde eisen voldoet. Dit betekent dat SE met name inzoomt op het gebied van de *Check* uit de Deming-cirkel. Met behulp van SE kan gecontroleerd worden of het ontwerp en de realisatie aan de eisen van de opdrachtgever voldoen. Ook de overige stappen van de Deming-cirkel zijn terug te vinden in het gebruik van SE. Met SE wordt vooraf een plan opgesteld, waaraan het te ontwerpen object wordt gecheckt. Met behulp van verschillende matrices en afwegingen kan gewaarborgd worden er gebouwd wordt wat er nodig is.

4.5.1. Methoden

Voor het ontwerpen volgens de systematiek van een traditioneel of een geïntegreerd contract, wordt gebruik gemaakt van vastgestelde methodes en procedures. Wanneer gekeken wordt naar het ontwerp van de tractie en energievoorziening of de beveiliging van het spoor moeten tekeningen door meerdere mensen gecontroleerd en goedgekeurd worden. Door deze dubbelcheck, een zekere vorm van verificatie, wordt een groot deel van de fouten opgespoord.

5. Veranderingen in de werkwijze

5.1. Inleiding

Nu bekend is hoe Systems Engineering bedoeld is en hoe het traditionele proces wordt vormgegeven, kan een vergelijking gemaakt worden tussen de oude manier van werken en de nieuwe manier waarin SE geïntegreerd is. In dit hoofdstuk wordt daarop ingegaan. Allereerst zullen de verschillen gedefinieerd worden (§5.2) en zullen de verwachtingen die leven bij de opdrachtgevers beschreven worden (§5.3). Met deze kennis zullen vervolgens methodieken beschreven worden die daarop ingaan: hoe kan SE geïmplementeerd worden in de huidige werkwijze (§5.4).

5.2. Verschillen tussen oud en nieuw

De traditionele manier van werken en de manier volgens SE hebben beide hun voor- en nadelen. Om in beeld te krijgen wat deze zijn, is tabel 4 opgesteld.

	Voordelen	Nadelen
Traditioneel	– Logisch en gestructureerd proces – Veel ervaring met proces – Geschikt voor minder complexe, kleinschalige projecten	– Weinig aandacht voor PvE, slecht eisenmanagement – Weinig functionele analyse – Weinig raakvlakmanagement – Gericht op het bouwproces
Systems Engineering	– Inzichtelijk proces – Eisen staan centraal – Raakvlakmanagement – Beheersen van het proces – Geschikt voor complexe projecten – Gericht op de levenscyclus – Kostenverlagend, over het geheel	– Extra werk, bureaucratie – Tegennatuurlijk – Weinig ervaring, nieuwe manier van werken

tabel 4: Overzicht verschillen tussen traditioneel en SE

Waarom willen we SE gebruiken? SE leent zich er bij uitstek voor om een ontwerpproces voor een opdrachtgever (OG) inzichtelijk en herleidbaar te maken. Voor de opdrachtnemer (ON) heeft het als voordeel dat het tot een efficiëntere werkwijze leidt. Daarnaast wordt met SE geprobeerd om de nadelen van het traditionele proces op te heffen.

Een paar specifieke punten, waarop SE zijn waarde kan bewijzen zijn:

- Functionele analyse
- Eisenmanagement
- Raakvlakmanagement
- Verificatie en validatie

Functionele analyse

De functionele analyse is een stap die gezet wordt tussen het opstellen van de eisen en het ontwerpen van een object. In het traditionele proces wordt er al heel snel naar het potlood gegrepen om te ontwerpen, maar met een functionele analyse kan veel inzicht worden gewonnen in de functies van het te bouwen object, zeker wanneer de functionele analyse wordt uitgebreid met een procesanalyse. Veel duidelijker wordt dan wat een systeem moet kunnen doen en welke processtappen er achter elkaar plaatsvinden.

Eisenmanagement

Doordat er veel nadruk ligt op het gestructureerd neerzetten van de eisen en het leggen van relaties tussen eisen, is het mogelijk om veranderingen in de loop van een proces

beheerst te implementeren. Ook zijn er minder initiële strijdigheden van eisen dan in de traditionele manier van werken. Door goed eisenmanagement wordt direct duidelijk waar de gevolgen zitten van de verandering. Dit kan bijvoorbeeld betekenen dat een object aangepast moet worden aan de nieuwe eisen. Wanneer dus helder wordt vastgelegd aan welke objecten de betreffende eis eisen stelt, is in een oogopslag te zien wat er moet veranderen.

Raakvlakmanagement

Juist de interactie tussen verschillende objecten resulteert in eisen die bijzonder goed in de gaten gehouden moeten worden. Raakvlakmanagement is daarin noodzakelijk omdat het anders mogelijk is dat twee objecten, die op elkaar aan horen te sluiten, dit helemaal niet doen. Een deel van dit probleem wordt nu al ondervangen doordat er bij traditionele projecten ook al gebruik gemaakt wordt van raakvlakmanagement.

Verificatie en validatie

Met verificatie en validatie is het mogelijk om na te gaan of er gebouwd wordt wat er verwacht wordt. Na elke stap wordt een verificatie uitgevoerd. Dit gebeurt zowel in de engineersfase als in de realisatiefase. In de engineersfase kan de verificatie plaatsvinden door te kijken of de tekeningen en berekeningen voldoen aan de gestelde eisen. In de realisatiefase kunnen rapporten geschreven worden waarin vermeld wordt of de gebruikte grondstoffen aan de kwaliteitseisen voldoen en of het object voldoet aan bijvoorbeeld capaciteitseisen.

Tot slot kan het systeem als geheel worden gevalideerd door in de testfase en de gebruiksfase te monitoren of het voldoet aan de gestelde eisen.

5.3. Verwachtingen opdrachtgever

ProRail, als grote opdrachtgever van spoorse projecten, is behoorlijk ambitieus op gebied van Systems Engineering. De doelen die zij stellen aan het gebruik van SE zijn dat ze binnen 2 jaar 80% van de projecten in een geïntegreerde contractvorm willen gieten (zie bijlage D, gesprek met Paul Schreinemakers), waarbij gebruik gemaakt moet worden van SE. Deze ambitie komt ook duidelijk naar voren doordat de Leidraad Systems Engineering onder verantwoordelijkheid van (onder andere) ProRail is geschreven.

5.3.1. SVI²⁰⁰⁶

In het kader van het opgaan van de RVOI³ en SR⁴ in de DNR⁵ heeft ProRail geoordeeld dat de nieuwe regeling te ver af staat van de gewenste praktijk (ProRail, 2006). Daarom is er een nieuwe regeling ontwikkeld die de standaard voorschriften beschrijft tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. Het resultaat is de Standaard Voorwaarden van ProRail voor opdrachten aan Ingenieursbureaus (SVI²⁰⁰⁶), die specifiek ingaat op spoorse projecten. De SVI²⁰⁰⁶ is gebaseerd op de systematiek zoals gesteld in ISO 15288 (2002) en daarmee wordt de opdrachtnemer verplicht Systems Engineering te gebruiken. Op basis van de SVI²⁰⁰⁶ is af te leiden wat de opdrachtgever van de opdrachtnemer verwacht ten aanzien van de te leveren documenten en structuren.

5.3.2. Projectdocumentatie

Bij de uitgave van de projectdocumentatie is informatie te vinden over wat de opdrachtgever verwacht. Met name in het Statement of Work wordt aangegeven welke

³ Regeling van de Verhouding tussen Opdrachtgever en adviserend Ingenieursbureau

⁴ Standaardvoorwaarden Rechtsverhouding Opdrachtgever - Architect

⁵ De Nieuwe Regeling

documenten in welke fase verwacht worden en hoe deze er uit moeten zien. Het doornemen van dit document leidt tot inzicht in wat de opdrachtgever verwacht.

De verschillende Statements of Work van de projecten OFLI, Oude Land en de BBV IJsselstreek lijken sterk op elkaar. In deze documenten wordt aangegeven dat eisen verder moeten worden uitgewerkt tot een dusdanig detailniveau, dat er goede berekeningen en tekeningen gemaakt kunnen worden. Deze uitwerking moet passen in de structuur van de eisen uit eerdere fasen. Daarnaast moeten verificatierapporten gemaakt worden, waarin wordt gecontroleerd of het product op het betreffende niveau voldoet aan de gestelde eisen. Deze twee processen zijn typisch voor het gebruik van SE binnen projecten.

Naast deze processen moeten ook nog analyses worden uitgevoerd. Met name de toets op RAM(S) moet inzicht geven op de manier waarop het object stand houdt gedurende de levenscyclus. Het analyseren van de risico's geeft inzicht in kritieke processen.

5.3.3. Mankementen

Toch treden er soms problemen op in de communicatie tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. Voor een opdrachtnemer is het noodzakelijk te inventariseren wat de opdrachtgever wil. Regelmatig blijkt dat de opdrachtgever alleen verwijst naar zijn eisenspecificatie en niet bereid is om de dialoog aan te gaan met de opdrachtnemer om tot verduidelijking van zijn eisen en wensen te komen. Dit fenomeen treedt bij RWS sterker op dan bij ProRail, omdat ProRail bij de uitvraag van projecten standaard informatieronden inbouwt waarin gegadigden om verduidelijking kunnen vragen (zie bijlage D, gesprek met Paul Schreinemakers). Een verklaring voor dit verschil ligt in het feit dat RWS sterker gebonden is aan overheidsregels voor het aanbesteden van opdrachten. Dit verschil zorgt er voor dat er voor ProRail meer ruimte is om hier op een dergelijke wijze mee om te gaan.

In gesprekken met opdrachtgevers moet ook duidelijk worden waar vrijheden liggen in het ontwerp, zodat SE niet overbodig toegepast wordt. Deze noodzaak is nog niet altijd even helder bij de opdrachtgevers. De oorzaak hiervan is te zoeken in enerzijds een gebrek aan kennis en anderzijds aan een culturele weerstand tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. Traditioneel was de verhouding sterk hiërarchisch bepaald, maar met SE moet dit meer richting een gelijkwaardiger niveau om te kunnen voldoen aan de voorwaarde om een inzichtelijk proces te kunnen voeren.

Naast fouten die ontstaan in de communicatie tussen opdrachtgever en -nemer, kan er ook op gebied van de implementatie van SE nog van alles fout gaan. In een presentatie voor INCOSE Nederland wordt een zestal valkuilen gepresenteerd (Leeuwen, W. van; 2001):

- Onvoldoende aandacht voor de klant
- Ontwerpimplementatie zonder afwegingen
- Geen aandacht voor de totale levenscyclus
- Te laat betrekken van specialisten
- Het verzuimen van documentenbeheer
- Geen onafhankelijke verificatie

In de op te stellen methodieken wordt getracht juist deze valkuilen extra aandacht te geven, om op die manier het gebruik van SE zo optimaal mogelijk te laten verlopen.

5.4. Methodieken

5.4.1. Algemeen

Omdat documentatie een belangrijke basis is in SE, is in tabel 5 weergegeven welke documenten opgesteld en beheerd moeten worden.

- Management documenten:
 - Plannen voor het uitvoeren van werkzaamheden
- Beschrijvende documenten:

- Deze documenten beschrijven het ontwerp en realisatie van het onderhanden systeem.
- Onderbouwing
 - Dit kunnen zowel documenten, modellen als databanken zijn. De documenten en modellen leggen een rechtvaardiging van de ontwerpkeuzes vast. In de databanken wordt de structuur van het systeem vastgelegd.

De tabel is gebaseerd op een Design & Construct contract. Dit betekent dat de procesfase “Specificatieproces van eisen belanghebbenden” door de opdrachtgever is uitgevoerd. De resultaten van deze processtap zijn in het technische gedeelte van het contract volgens UAV-GC vastgelegd.

Per fase worden de documenten genoemd die in die fase geproduceerd worden. Met name de managementdocumenten worden gefaseerd aangemaakt. In de loop van het proces worden nieuwe versies van de plannen opgeleverd. Een update van een document wordt met (U) aangegeven. (Innovatie Platform Twente, 2007).

Opmerking: De onderstreepte documenten worden niet genoemd in de Leidraad SE.

Fase	Management Document	Beschrijvend document	Onderbouwing	Opmerking
Contract		Vraagspecificatie: – Eisenspecificatie – SOW		Aanhangsels: – Acceptatieplan – Toetsingsplan – Verzekeringen
Eisenanalyse, functionele analyse en allocatie	– Verificatieplan – <u>Validatieplan</u>	– Specificatie document	– Functieboom – Objectenboom – Specificatieboom (RTM)⁶ – Verificatiematrix	
Ontwerp-proces	– Uitvoeringsplan / werkplan – Verificatieplan (U) – <u>Validatieplan</u> (U) – Keuringsplan	– Ontwerpnota – <u>Bestek? (As Designed)</u> – <u>Toetsingsrapporten</u>	– Activiteitenboom – Verificatierapport – Optienota(s) – Variantennota(s) – Scoringmatrix – Trade-off matrix	
Uitvoering	– Keuringsplan (U) – Beheer en onderhoudsplan – Inspectieplan – Sloopplan	– Keuringsrapporten (substelsysteem) – As-build documentatie – <u>Toetsingsrapporten</u>	– Analyse documenten – Test resultaten – Inspecties – Demonstraties	Eisen kunnen op vier manieren aangetoond worden. Dit zijn: Test, Inspectie, Demonstratie en Analyse
Verificatie / Keuren	– Beheer en onderhoudsplan (U) – Inspectieplan(U) – Sloopplan(U)	– Keuringsrapporten (stelsysteem)	– <u>Analyse documenten</u> – <u>Test resultaten</u> – <u>Inspecties</u> – <u>Demonstraties</u>	
Oplevering		– <u>Acceptatie rapport</u>		

⁶ RTM = Requirements Traceability Matrix

Fase	Management Document	Beschrijvend document	Onderbouwing	Opmerking
Validatie		– <u>Validatie document</u>	– <u>Analyse documenten</u> – <u>Test resultaten</u> – <u>Inspecties</u> – <u>Demonstraties</u>	
Operationele bedrijfsvoering		– Inspectierapportage		
Beheer en onderhoud		– <u>As-Maintained documentatie</u> – Beheer- en onderhoudrapportage		
Sloop		– Slooprapportage		

tabel 5: Overzicht documentatie per processtap

De documentenstructuur geeft houvast aan de invoer van het SE-proces. Wanneer de documenten op de daarvoor bestemde tijdstippen geproduceerd worden is een groot deel van de SE-werkwijze gewaarborgd.

5.4.2. Ontwerpproces

Voorgaande tabel richt zich op de levenscyclus als geheel. Omdat DHV binnen de Hanzelijn vooral betrokken is bij de ontwerpfase, wordt daar nog verder op ingezoomd.

In hoofdlijnen is er voor het ontwerpproces een vijftal stappen te definiëren om van eisen naar een oplossing te komen, vergelijk daarvoor ook het ontwerpproces volgens de Leidraad SE. Input bij dit proces zijn documenten van de OG, output is een geverifieerd ontwerp op een bepaald niveau.

1. Analyse eisen
2. Functionele analyse en allocatie
3. Opties
4. Varianten
5. Ontwerp

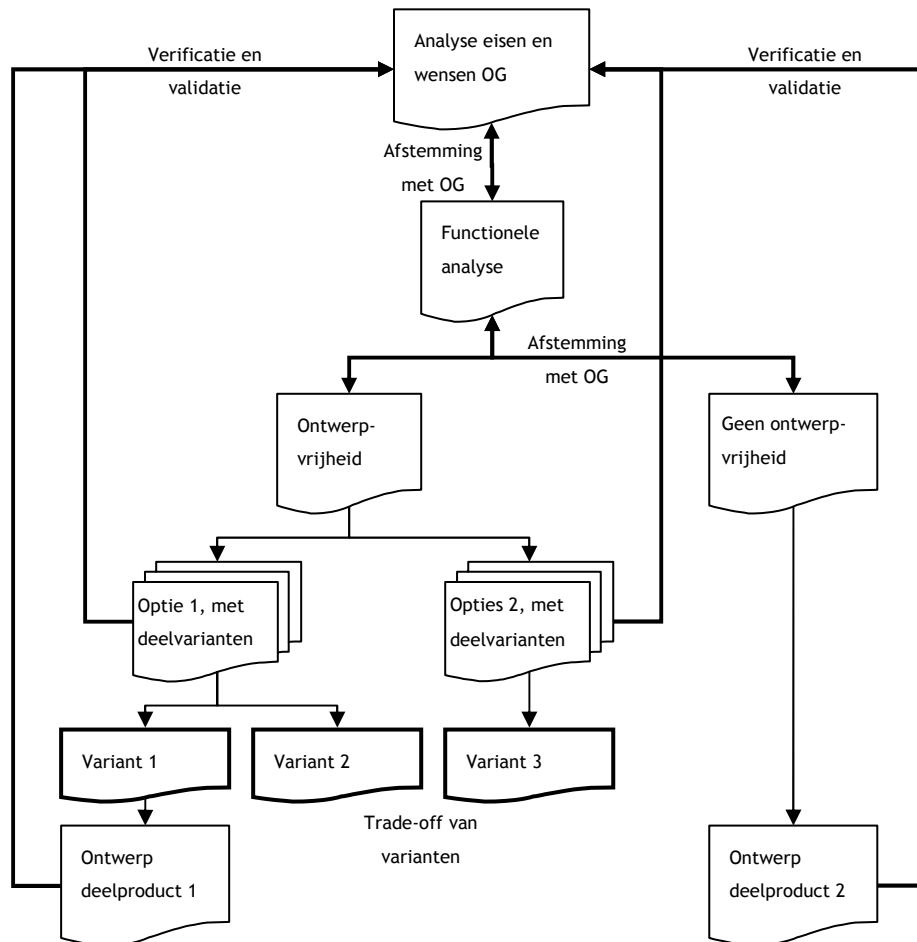
Deze vijf stappen zijn verder uitgewerkt om een soort sequentieel stappenplan te formuleren. Dit proces herhaalt zich op elk ontwerpniveau en gaat steeds een stap dieper. Het resultaat van de eerdere fase is dus input voor de volgende fase.

Stappenplan

- Eisen analyse
- Procesanalyse
 - Welke processen vinden plaats en wat gebeurt er achter elkaar?
- Functionele analyse maken
 - Afstemmen met OG over prestaties van product
- Eisen middels functies koppelen aan objecten
- Analyseren van ontwerpvrijheden
 - Afstemmen met OG over vrijheden en gebruik SE
- Ontwerpen (deel)objecten
 - Met ontwerpvrijheid
 - Genereren van opties
 - Niet relevante opties vallen af
 - Genereren van varianten
 - Via trade-off beste variant bepalen

- Zonder ontwerpvrijheid
 - Ontwerp volgens voorschriften
- Controle van (deel)ontwerp aan eisen
- Afleiden van eisen uit ontwerp van (deel)objecten
- Terug naar eisenanalyse, maar dan voor niveau dieper

In figuur 13 is dit schematisch weergegeven.



figuur 13: Ontwerpstructuur met SE

Beginnend bij de analyse van de eisen, vindt eerst een allocatie van eisen plaats. Daarbij worden ze gekoppeld aan een object dat de functie moet gaan vervullen. Na de allocatie van de eisen moet bepaald worden of er sprake van ontwerpvrijheid is. Wanneer dit niet het geval is, kan het object direct ontworpen worden; er is immers maar één oplossing. Op spoor gebied is er weinig tot geen vrijheid op gebied van tractie en beveiliging. ProRail heeft over die onderwerpen zoveel voorschriften geschreven dat er weinig ontwerpvrijheid overblijft.

Wanneer er wel ontwerpvrijheid is, kunnen opties bedacht worden voor het ontwerp van het object. Niet-relevante oplossingen vallen gelijk af bij een eerste controle aan de geldende eisen. De overgebleven varianten gaan naar een trade-off matrix, waarin ze onderling gewogen worden. Ze worden gewogen op vooraf gestelde aspecten. Er volgt een oplossing uit die gecheckt moet worden aan de eisen. Wanneer deze voldoet is een ontwerp voltooid.

Dit model lijkt sterk op het model dat binnen DHV wordt gebruikt voor het aangeven van de SE-processen.

In het model zijn 3 kritieke punten aangegeven met dikkere lijnen:

1. Afstemming met OG
 - a. Klantvraagverduidelijking (t.b.v. specificering)
 - b. Definieren van ontwerp vrijheden
2. Verificatie van opties en ontwerpen aan eisen
3. Trade-off van de mogelijke varianten

Deze kritieke punten verdienen extra aandacht, omdat hierin SE tot uiting komt. Ten opzichte van het traditionele proces wordt hier een verschil gemaakt. Wanneer deze processen beheerst worden, wordt SE in aanzienlijke mate toegepast.

5.4.3. Verificatie en validatie

Een proces dat bij elk project aandacht verdient is de verificatie van het ontwerp. Wat de essentie is van Systems Engineering, is het kunnen traceren waarom keuzes zijn gemaakt. Voor een opdrachtgever is dat interessant, omdat hij zo bevestigd krijgt dat het product voldoet aan de eisen.

Om verificatie in de praktijk te brengen, kunnen softwaretools een geschikt hulpmiddel zijn. Met de binnen DHV in gebruik zijnde tool PKM is het mogelijk om objecten te verifiëren aan de vooraf gestelde eisen. Er moet vooraf bij projecten over nagedacht worden hoe dit in de praktijk gebracht gaat worden. Wanneer dit achteraf bij een project moet gebeuren is dit een administratieve last.

Momenteel worden er ook al technieken voor de validatie van systemen gebruikt. Beschikbare methoden hiervoor zijn FAT (Factory Acceptance Testing), SAT (Site Acceptance Testing) en SIT (System Integration Testing). Met deze testen kan aangetoond worden dat de (sub-)systemen voldoen aan de gestelde eisen en bruikbaar zijn voor de gewenste toepassing.

5.4.4. Verschillen met de Leidraad SE

In de Leidraad SE wordt weinig aandacht besteed aan de uitwerking van het ontwerpproces. In grote lijnen wordt beschreven hoe het ontwerpproces plaats zou moeten vinden, maar het blijft op een hoog abstractieniveau. Met dit schema (figuur 13) is geprobeerd om dit concreter te maken en daarmee de toepasbaarheid te vergroten.

Wat in de Leidraad SE beperkt naar voren komt is de afstemming met de OG over zijn eisen en wensen. Om SE goed toe te kunnen passen, is het noodzakelijk dat zijn vraag helder is. In het bovenstaande schema wordt dit weergegeven door de interactie tussen OG en ON bij de analyse van de eisen en wensen en de afstemming over de ontwerp vrijheid. Op deze manier wordt gewaarborgd dat de vraag van de OG duidelijk is en de ON het juiste product aan het ontwerpen is. Door af te stemmen over de ontwerp vrijheid, wordt SE niet een onnodige bureaucratische last voor een ON. Daardoor kan er rechttoe rechtaan ontworpen worden aan de hand van de geldende voorschriften.

6. Casestudie: Hanzelijn

6.1. Inleiding

In deze casestudie wordt geprobeerd om een beeld te krijgen hoe SE geïmplementeerd kan worden in de Hanzelijn. Eerst wordt ingegaan op de beschikbare documentatie van de Hanzelijn, om een beeld te vormen over de inputgegevens van ProRail (§6.2). Ook is er een gesprek gevoerd met Edo Vonk, die verantwoordelijk is vanuit DHV (§6.3). Op basis van de theoretische kennis van SE kan gekeken worden naar de leemtes die er nog zijn, zowel bij de opdrachtgever als bij de opdrachtnemer (§6.4). In bijlage C is een toelichting te vinden op het project Hanzelijn als geheel.

6.2. Documentatie Hanzelijn

In de documentatie die uitgegeven is door ProRail, is te vinden dat degene die de opdracht gegund krijgt dit moet uitwerken volgens SE. Dit moet er voor zorgen dat alles helder gedocumenteerd en beheerd wordt. In twee standaarddocumenten, de eisenspecificatie en het statement of work, is deze informatie terug te vinden.

De informatie over het Oude Land is veel uitgebreider dan de scope van het werk van DHV. DHV is alleen betrokken bij twee kunstwerken, namelijk de brug over de N50 (toekomstige A50) bij Kampen en het kunstwerk bij de intakking op de Veluwelijn.

De opdracht die DHV van Advin heeft gekregen is traditioneel gegund, waarbij geen aandacht wordt besteed aan de gevolgen van de implementatie van SE. Er wordt voor Advin een DO en een UO gemaakt. In de offerte wordt niets vermeld over activiteiten die in het kader van SE moeten gebeuren. Dit is wel opvallend, aangezien Advin, als opdrachtnemer van ProRail, volgens het statement of work SE moet gebruiken. Er wordt in dit document precies voorgeschreven wat er dient te gebeuren en hoe dit gedaan moet worden.

6.3. Gesprek

Om inzicht te krijgen in de feitelijke gang van zaken, is er een gesprek gevoerd met Edo Vonk. Hij is projectleider bij het ontwerp van de kunstwerken. Doel van dit gesprek was om er achter te komen hoe SE wordt vorm gegeven in het werk dat DHV uitvoert. Specifiek wordt gekeken naar de gang van zaken bij het ontwerpproces, de afwegingen die gemaakt moeten worden en de verificatie en validatie.

Het blijkt dat de manier waarop SE gebruikt wordt, nog niet altijd voldoet aan de theorie. Het DO komt bij deze opdracht volgens een traditioneel ontwerpproces tot stand. Ten grondslag hiervan liggen meerdere oorzaken. Een deel van de oorzaak ontstaat bij ProRail, doordat ProRail pas SE voorschrijft na de gunning van de opdracht. Vervolgens is de opdracht van Advin traditioneel gegund aan DHV. Dit veroorzaakt een zekere inconsistentie tussen opdrachtgever en opdrachtnemer over de verwachtingen ten aanzien van het gebruik van SE. Deze combinatie leidt er toe dat er weinig concreets veranderd is ten opzichte van de traditionele situatie.

Wat er wordt gedaan om SE in de praktijk te brengen, is het bijhouden van een lijst met ontwerpkeuzes en wijzigingen van het ontwerp. Daarnaast gebeuren er weinig extra activiteiten. Inmiddels is het DO af en wordt er gewerkt aan het UO. In de fase van het DO is de eisenboom niet verder uitgewerkt, met als gevolg dat er geen nieuwe eisen zijn ontstaan door het verder uitdetailleren van het ontwerp. Hierdoor is niet echt meer sprake van het volgen van het V-model (afleiden - decomponeren - ontwerpen - afleiden (etc.)).

Daarnaast is er vooraf niet nagedacht over een validatie- en verificatieplan. Dit heeft er toe geleid dat bij het afronden van het DO was niet bekend hoe het ontwerp gecontroleerd zou worden aan de gestelde eisen. In de communicatie met de OG is niet duidelijk

geworden wie dit gaat doen of er verantwoordelijk voor is. Dat kan er toe leiden dat dit helemaal niet gaat gebeuren.

Aan de andere kant kan de vraag gesteld worden wat er met SE gedaan had moeten worden. DHV heeft van Advin een VO gekregen om dat uit te werken tot een DO en een UO. Gevolg daarvan is dat de meeste keuzes vooraf al vast waren gelegd in het VO. De veranderingen die er zijn op het VO zijn vooral dimensioneringsveranderingen. De argumentatie voor deze aanpassingen is wel vastgelegd. Het feit dat het alleen wat kleine wijzigingen betrof en geen fundamentele veranderingen, leidt er toe dat er niet echt sprake is van het maken van afwegingen met behulp van allerlei trade-off matrices. Wat betreft de stappen van het ontwerp is het dus de vraag of SE wel meerwaarde zou hebben gehad.

Geconcludeerd kan worden dat er op gebied van ontwerp niet al te veel ruimte was om SE in te zetten. Een groter probleem is het niet uitvoeren van verificaties om het ontwerp te toetsen aan de eisen.

6.4. Analyse van het gebruik van SE

Een aantal sleutelprocessen is verder uitgelicht om te kijken hoe SE wordt toegepast. Deze processen vormen een essentiële rol in de implementatie van SE. De processen die geanalyseerd worden zijn het ontwerpproces, de manier waarop afwegingen zijn gemaakt en de manier waarop verificatie en validatie in de praktijk gebracht wordt. Hierbij wordt alleen ingezoomd op de werkzaamheden die zijn uitgevoerd door DHV. Op grond van deze analyse kunnen ook aanbevelingen gedaan worden, om SE op een hoger niveau te krijgen. Bij elk proces wordt een viertal stappen gedaan. Allereerst wordt beschreven hoe de stap idealiter met SE uitgevoerd zou moeten worden. Vervolgens wordt gekeken hoe deze stap in de praktijk is gezet. Hieruit volgt een analyse waarin de verschillen en overeenkomsten worden weergegeven. Tot slot volgen de aanbevelingen die bij deze stap van toepassing zijn.

6.4.1. Ontwerpproces

Theorie: Hoe moet dit met SE?

Bij het ontwerpproces moet een gestructureerde werkwijze gevolgd worden. Na de analyse van de eisen moeten deze gekoppeld worden aan de te ontwerpen objecten. Van deze objecten moet bepaald worden welke varianten er zijn. Na de keuze van een variant moeten vervolgens, aan de hand van het ontwerp, geverifieerd worden of het voldoet aan de gestelde eisen en vervolgens moeten eisen worden afgeleid die zijn ontstaan door het gekozen ontwerp. Daarna begint het ontwerp op een niveau dieper.

Praktijk: Hoe gaat het bij de Hanzelijn?

Bij de Hanzelijn gebeurt het ontwerp traditioneel. Na het doornemen van de gestelde eisen is men begonnen met het ontwerpen van de kunstwerken tot een DO. Hierbij hoefden niet veel keuzes meer gemaakt te worden, want het overgrote deel was in het VO al vastgelegd. Het betrof vooral het exact dimensioneren van de kunstwerken. Het DO was eigenlijk al het uitwerken van een niveau dieper, maar hierbij zijn geen nieuwe eisen opgesteld waaraan het UO moet voldoen.

Vergelijking: Hoe verhouden theorie en praktijk zich tot elkaar?

Tussen theorie en praktijk zit een behoorlijk verschil. Deels is dat te wijten aan het feit dat de theorie suggereert dat er nog veel keuzes te maken zijn. In de praktijk van de HZL bleek dat er weinig nieuws vast te leggen was, behalve het definitief maken van de dimensionering.

Knelpunt: Welke aanbevelingen zijn er?

Het is nodig om meer aandacht te besteden aan het aanvullen van de eisenspecificatie en het afleiden van eisen die uit het ontwerp volgen. Nu kan het zijn dat dat er niet veel zijn, maar op die manier wordt er wel nagedacht over de gevolgen van het ontwerp. Het ontwerp kan namelijk aanzienlijke gevolgen hebben voor, bijvoorbeeld, het beheer en onderhoud er van. Dit soort eisen moet geformuleerd worden.

6.4.2. Afwegingen

Theorie: Hoe moet dit met SE?

Te maken afwegingen dienen goed gedocumenteerd te worden, om achteraf inzichtelijk te hebben waarom bepaalde ontwerpkeuzes zijn gemaakt. De mogelijke keuzes moeten via een trade-off matrix gescoord worden en op grond daarvan kan vervolgens een keuze gemaakt worden voor een bepaald alternatief.

Praktijk: Hoe gaat het bij de Hanzelijn?

In het maken van het DO hoefden niet veel ontwerpkeuzes gemaakt te worden. Gevolg hiervan is dat er ook niet gebruik gemaakt hoefde te worden van trade-off matrices. Het is echter wel de vraag of er voldoende nagedacht is over ontwerpkeuzes of dat er (onbewust) alternatieven genegeerd zijn. Wat er wel aan keuzes is bijgehouden, is vastgelegd in een lijst met wijzigingen en keuzes.

Vergelijking: Hoe verhouden theorie en praktijk zich tot elkaar?

In de praktijk was het moeilijk om te herleiden of er goede afwegingen zijn gemaakt. In ieder geval zijn er geen trade-off matrices terug te vinden met echte afwegingen van keuzes. Het is de vraag of dit er had kunnen zijn, gezien de situatie. Als er weinig te kiezen is, is er immers ook weinig af te wegen.

Knelpunt: Welke aanbevelingen zijn er?

Er dient in ieder geval nagedacht te worden over de manier waarop eventuele keuzes gemaakt en gedocumenteerd worden. Op dit moment is er weinig informatie over hoe keuzes eventueel gemaakt zouden kunnen worden. Als dan blijkt dat er weinig keuzes te maken zijn, hoeft een dergelijk document niet gebruikt te worden.

6.4.3. Verificatie en validatie

Theorie: Hoe moet dit met SE?

Door verificatie en validatie wordt gewaarborgd dat de wensen van de klant gerealiseerd worden. Hij krijgt wat hij wil op de manier die hij wil. Om dat te garanderen wordt het product tijdens het ontwerp gecontroleerd aan de eisen en getest op zijn functie. Dit proces van verifiëren en valideren is onderdeel van SE. Met behulp van vooraf opgestelde matrices wordt het product aan de eisen gecontroleerd. Tijdens de ontwerpfase kan gekeken worden of het ontwerp aan de gestelde eisen voldoet.

Praktijk: Hoe gaat het bij de Hanzelijn?

Aan expliciete verificatie wordt vrijwel niets gedaan. Met de opdrachtgever is niet afgestemd over wie wat doet en in welke vorm. Gevolg hiervan is dat het PVE in de kast is geschoven en niet meer gebruikt wordt. Aan het eind bestaat dus het risico dat er iets anders gebouwd is dan waar de klant op zat te wachten. Er zijn geen schema's opgesteld om aan te tonen dat hetgeen ontworpen is voldoet aan de gestelde eisen.

Er is waarschijnlijk wel op een meer impliciete wijze geverifieerd en gevalideerd, maar hier is geen onderzoek naar gedaan.

Vergelijking: Hoe verhouden theorie en praktijk zich tot elkaar?

Theorie en praktijk liggen op dit punt ver uit elkaar. Bij het Oude Land is niet nagedacht over hoe dit gewaarborgd kan worden.

Knelpunt: Welke aanbevelingen zijn er?

Er moeten plannen opgesteld worden om de kwaliteit van het te bouwen product te kunnen waarborgen. Door ProRail zijn templates opgesteld die daarvoor gebruikt kunnen worden. Door de eisen in het begin al te koppelen aan de te ontwerpen objecten, is het in een later stadium makkelijker om deze lijst met eisen per object aan een controle te onderwerpen. Wanneer dus in het beginstadium meer tijd en energie gestoken wordt in het opstellen van dergelijke documenten scheelt dat aan het eind van het proces veel tijd en frustratie. Bovendien wordt daarmee voorkomen dat het gezien wordt als 'mosterd na de maaltijd'.

Om verificatie en validatie uit te voeren is een aantal methoden voor handen. Dit zijn FAT, SAT en SIT. Deze methodieken, die elk hun eigen kenmerken hebben, zijn geschikt om aan te tonen dat een (sub-)systeem voldoet aan de gestelde eisen en bruikbaar is.

7. Conclusies en aanbevelingen

7.1. Conclusie

De gestelde hoofdvraag in dit onderzoek luidt:

Op welke wijze zijn Systems Engineering tools toe te passen binnen de projectactiviteiten van de Hanzelijn?

Om een antwoord te geven op deze hoofdvraag, is een zestal deelvragen geformuleerd. Deze vragen worden hieronder weergegeven en beantwoord.

Deelvragen

1. Wat is het theoretische kader van SE om projecten te beheersen?
 - a. Wat is de historie van SE?
 - b. Wat zijn voor- en nadelen van het gebruik van SE?

Wanneer gekeken wordt naar het theoretische kader, valt op dat SE al een lange traditie heeft, met name in de vliegtuigbouw. Het wordt daar met succes toegepast en er is veel ervaring met deze manier van werken. Kijkend naar de voor- en nadelen is te zien dat met SE wordt gewaarborgd dat er gestructureerd te werk wordt gegaan en keuzes goed gedocumenteerd worden. Het kan daardoor een grote papierberg worden, die onbeheersbaar kan worden.

Belangrijke processen zijn het scherp formuleren van de klantvraag, het maken van goede keuzes tussen varianten en het controleren van de oplossing aan de vooraf gestelde eisen. Hierbij is het van belang dat alle informatie zorgvuldig wordt vastgelegd en beheerd, zodat alles goed terug te vinden is. Daarnaast zijn wijzigingen die ontstaan tijdens het realisatieproces beter zichtbaar.

2. Hoe wordt in de huidige werkwijze van de (infra-)ontwerpfdeling voor civieltechnische constructies binnen DHV een ontwerp opgezet?
 - a. Wat is de bestaande methode om projecten aan te pakken?
 - b. Wat zijn impliciete keuzes die er gemaakt worden tijdens ontwerp en realisatie van projecten?

Momenteel wordt er nog veel gewerkt volgens de fasering van de RVOI. Opdrachten worden aanbesteed in stappen van de RVOI en iedereen weet wat er verwacht wordt als het gaat om deze fasen. Het ontwerp is in deze projecten vaak leidend, waardoor de discussie tussen OG en ON wordt gebaseerd op de gemaakte tekeningen. Hierdoor verschuift het PvE meer naar de achtergrond en is het mogelijk dat de scope van het project in de loop van de tijd gaat verschuiven. Bij een keuze tussen varianten wordt er weinig gedocumenteerd, zodat de keuze op een later tijdstip niet goed herleidbaar is.

Impliciete keuzes die gemaakt worden, zijn vooral ontwerpkeuzes. Een afweging tussen varianten wordt op het hoogste abstractieniveau wel gemaakt, maar op een lager detailniveau wordt er door de ontwerper een variant steeds verder uitgewerkt. Hierdoor kunnen goede alternatieven over het hoofd gezien worden.

3. Hoever is de (infra-)ontwerpfdeling binnen DHV met de invoer van SE in het ontwerpproces?
 - a. Welke projecten zijn er al gaande met betrekking tot SE?
 - b. Wat zijn de ervaringen hiermee?
 - c. Welke problemen worden er geconstateerd?
 - d. Wat voor toekomst zien de ontwerpfdeling in SE?

De kennis binnen DHV is nog tamelijk geconcentreerd bij een aantal personen. De kennis zelf is in ontwikkeling en er wordt hard gewerkt aan een standaard werkwijze met SE die

uniform en modulair beschikbaar is voor DHV. De ervaring zit vooral op het gebied van het functioneel specificeren, maar met ontwerp is nog niet veel ervaring.

Het aantal projecten waarbij SE voorgeschreven is neemt steeds verder toe. Op dit moment is er bij een aantal projecten ervaring opgedaan met het functioneel specificeren, met name in projecten voor RWS. Ten aanzien van ProRail projecten is er vooral ervaring met SE in de aanbestedingsfase. Het project Hanzelijn is een project waarbij daadwerkelijk SE toegepast moet worden. Een aantal problemen dat hierbij geconstateerd wordt, betreft voornamelijk het concreet maken van wat er wordt verwacht aan SE-activiteiten. Het wordt als lastig ervaren hoe men hieraan handen en voeten kan geven. Over het algemeen heerst wel het beeld dat SE niet een eendagsvlieg gaat worden. Er wordt serieus tijd en moeite gestoken in het opzetten en ontwikkelen van een ontwerpproces dat gestoeld is op SE.

4. Welke verwachtingen hebben opdrachtgever ProRail en Dura Vermeer ten aanzien van het gebruik van SE bij de kunstwerken voor de Hanzelijn?
 - a. Welke verwachtingen hebben ProRail en Dura Vermeer?
 - b. Welke waarde hechten ze aan SE?
 - c. Hoever zijn ze zelf met de invoer van SE?
 - d. Welke problemen worden er geconstateerd?

Uit de documentatie en gesprekken bleek dat opdrachtgevers vaak ook niet helemaal weten wat ze willen ten aanzien van SE. Het is vrij vaag hoe een proces vorm moet krijgen en welke documenten worden verwacht. Lang niet altijd is het nuttig om een project met de maximale inzet van SE uit te voeren. Opdrachtgevers zijn nog bezig om daar vorm aan te geven. Een ander probleem is de communicatie tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. De communicatie tussen OG en ON moet op een gelijkwaardiger niveau worden, om afstemming tussen OG en ON mogelijk te maken. Daardoor kan de vraag van de klant verduidelijkt worden en weet de ON wat hij moet gaan ontwerpen en bouwen.

Het is opvallend dat de opdracht die DHV van Dura Vermeer heeft gekregen, niets vermeldt over het gebruik van SE. Waarschijnlijk ligt dit aan het feit dat ook Dura Vermeer niet weet wat ze moet voorschrijven richting DHV. Hierdoor is de kans groot dat er helemaal niets gedaan wordt aan SE.

5. Welke verschillen zijn er tussen de theorie, de praktijk en de wensen van de opdrachtgevers?

De koppeling tussen de theorie en de praktijk wordt nog lang niet altijd goed gemaakt. Ook sluiten de wensen van de opdrachtgevers niet altijd aan op de theorie die SE voorstaat. Het is opvallend om te zien dat Advin met DHV een contract sluit, waarin niets vermeld wordt over het gebruik van SE, terwijl dit door hogerhand wordt opgelegd aan Advin. Mogelijk ontstaat een deel van dit probleem door een gebrek aan kennis over SE aan de zijde van Advin. Wanneer zij niet duidelijk zijn in wat ze van DHV verwachten, is de kans groot dat er niet veel gebeurt op gebied van SE activiteiten.

In het algemeen valt het op dat de theorie van SE uitgebreid is. Als alle stappen met SE worden doorlopen, wordt het een grote en deels nutteloze administratieve last. Bij de meeste projecten zal het niet nodig zijn om alle stappen even uitvoerig uit te voeren. Er dient dus, naar inzicht van de projectleider, gekozen te worden hoe SE ingezet gaat worden.

Op dit moment is de theorie veel verder dan de praktijk. Het is dus goed om bezig te blijven met het verder ontwikkelen van SE, zodat het steeds beter en eenvoudiger toegepast kan worden bij projecten.

6. Op welke wijze moet het “Oude Land”-contract van de Hanzelijn worden vorm gegeven om te voldoen aan SE?

Om van het Oude Land contract een contract te maken waarin SE gewaarborgd wordt, is het nodig om een aantal SE-stappen toe te voegen aan het proces. Op gebied van het maken van afwegingen is het niet of minder noodzakelijk om veel tijd en moeite te steken in de inpassing van SE. Aangezien het ontwerp op hoofdlijnen al dermate was vastgelegd in het VO, was er zo weinig ruimte over voor keuzes dat trade-offs niet nuttig zijn. Hetzelfde geldt ook voor het bijhouden van de eisenstructuur. Doordat er weinig verdieping meer mogelijk was, zijn er ook weinig nieuwe eisen ontstaan.

Wat er wel kan en moet gebeuren, is het verifiëren en het valideren van het ontwerp. Hiermee kan aan de opdrachtgever aangetoond worden dat het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen.

Binnen DHV wordt inmiddels al behoorlijk werk gemaakt van de invoer van SE in het ontwerpproces. Er wordt gezocht naar een generieke methode, die toepasbaar is op alle werkvelden binnen de unit Transfer & Rail. Voor de Hanzelijn is de inzet van SE vooral op het gebied van de verificatie en de validatie nuttig. Dit moet wel worden gedaan in het ontwerpproces, hoewel dit nu niet gebeurt. Inmiddels is hierover de dialoog begonnen met Advin, om dit alsnog te gaan stroomlijnen.

Er moeten dus nog wel wat stappen gezet worden om SE te implementeren, maar de eerste daarvan zijn zeker al gezet. Het is nu een kwestie van doorbouwen en het inzetten van de juiste kennis op het juiste moment.

7.2. Aanbevelingen

Het gebruik van Systems Engineering is nog lang niet uitontwikkeld. Het is zaak hier voorlopig nog tijd en energie in te blijven steken. Gezien het feit dat ProRail deze weg op is gegaan is het daarom noodzakelijk hierin mee te gaan om jezelf niet uit de markt te werken. De ambitie die ProRail stelt om binnen twee jaar 80% van de projecten met SE uit te voeren, geeft aan dat er flink werk verzet moet worden. Om SE goed te implementeren moeten mensen, techniek en processen in de juiste balans samenwerken om tot een geheel te komen. Als een van deze drie aspecten onderbelicht is, bestaat de kans dat de implementatie moeizaam verloopt. Om aansluiting daarbij te vinden moeten binnen DHV mensen geïnstrueerd worden over de gevolgen en veranderingen die SE met zich meebrengt.

Voor het gebruik van SE is het, tot op zekere hoogte, een kwestie van ‘in het diepe’ springen. Het is niet realistisch om het eerste project optimaal uit te voeren met SE; het is een leerproces waarbij lessen geleerd moeten worden en toegepast in volgende projecten. Hiervoor is een kennisnetwerk nuttig, waar alle kennis bij elkaar komt en mensen van elkaar kunnen leren.

Een specifiek proces waar de aandacht op gericht kan worden, is het praten met de klant om duidelijkheid van zaken te krijgen. Op die manier wordt inzicht in het project als geheel verkregen en wordt duidelijk wat een klant echt belangrijk vindt en waar hij zijn aandacht op wil richten. Daarnaast is de klant, door de afname van de directe invloed, veel meer geïnteresseerd in het voldoen van het eindresultaat. De verificatie en validatie van het object speelt daarin een belangrijke rol. Ongeacht het project zal dit altijd terug blijven komen. Het is dan ook de aanbeveling om hier nadruk op te leggen. Voor het verifiëren en valideren is het gebruik van softwaretools mogelijk. Met de beschikbare tool PKM is dit goed mogelijk, mits de informatie op de juiste wijze wordt ingevoerd.

In het contract met Advin moeten duidelijke afspraken gemaakt worden over de verantwoordelijkheid van de verificatie en de validatie. Op verschillende niveaus kan dit door verschillende bedrijven gedaan worden. Op het allerhoogste niveau kan ProRail het

werk van Advin verifiëren en valideren, maar daaronder moet Advin het werk van DHV verifiëren en valideren. Door de verantwoordelijkheden duidelijk af te spreken, zal het proces zeker beter verlopen.

Bronvermelding

Bronnen

DHV (2007 [1]), Organogrammen van DHV, intranet DHV

DHV (2007) [2], Kernwaarden, bekeken op 1 mei via <http://www.dhv.nl/frameset.asp?mainpage=/Application.performanceManagerServlet/Nederlands/Groepssite/overdhv/index/index.asp>

ISO 15288 (2002), Systems engineering - Systems life cycle processes, ISO Genève

ManagementStart.nl (2006), De Deming-cirkel: Plan, Do, Check, Act (PDCA), online bekeken op 18 juni 2007 via <http://www.managementstart.nl/artikelen/s55.html>

ProRail (2006), Verklaring van Algemene Beleidsuitgangspunten ProRail, online bekeken op 2 mei 2007 via <http://www.prorail.nl/ProRail/Over+ProRail/Verklaring+van+Algemene+Beleidsuitgangspunten+ProRail.htm>

ProRail (2006), Standaard Voorwaarden van ProRail voor opdrachten aan Ingenieursbureaus 2006 (SVI²⁰⁰⁶), Utrecht

ProRail (2007), Hanzelijn, online bekeken op 3 mei 2007 via <http://www.hanzelijn.nl>

RWS, 2005 [1], Handreiking Functioneel Specificeren, Expertise Centrum Opdrachtgeverschap, 26 september 2005

RWS, 2007, Werkwijze Artikel Systems Engineering (WWA-SE-0001), Rijkswaterstaat, mei 2007 (conceptversie)

Rijkswaterstaat en ProRail (2007), Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector

Innovatie Platform Twente (2007), Intern onderzoek naar System Engineering [werktitel], nog niet gepubliceerd

Gesprekken

Schreinemakers, Paul, directeur SEPI advies, voormalig voorzitter INCOSE NL, voorzitter 18^e internationale symposium INCOSE (2008)

Vonk, Edo, projectleider kunstwerken voor Oude Land (Hanzelijn)

Presentaties

DHV Transfer & Rail (2006), Businessplan 2006-2008, DHV Temid Rail (interne presentatie), Amersfoort

INCOSE (2006), Systems Engineering bij Rijkswaterstaat, INCOSE Thema-avond, 19 oktober 2006, presentatie online bekeken op 4 juni 2007 via <http://www.incose.nl/docs/INCOSE%2019%20okt%2006%20SE%20Doelen%20RWS%20Def%201.1.pdf>

INCOSE SIG Infra (2004), presentatie over nieuwe contractvormen, gehouden op 16 december 2004, online bekeken op 10 mei 2007 via www.incose.nl/docs/SIG%20Infra%20_16%20december%202004.ppt

Leeuwen, W. van (2001), Systems Engineering: An Introduction, presentatie voor leden INCOSE/NLD, online bekeken op 12-6-07 via <http://www.incose.nl/docs/LECTUREMAY01A.pdf>

RWS, 2005 [2], functioneel ontwerpen van waterbouwkundige constructies, presentatie RWS, online bekeken op 21 mei 2007 via www.verkeerenwaterstaat.nl/kennisplein/uploaded/BD/2005-03/267633/fulltext.ppt

Projectgegevens

Oude Land, over de aanleg van de Hanzelijn tussen Zwolle en het Drontermeer

OFLI (Ombouw FlevoLijn Integraal), over de aantakking van de Hanzelijn op de Flevolijn

BBV IJsselstreek (BovenBouwVernieuwing IJsselstreek), over de vernieuwing van de bovenbouw tussen Zwolle en Deventer

Lijst met afkortingen

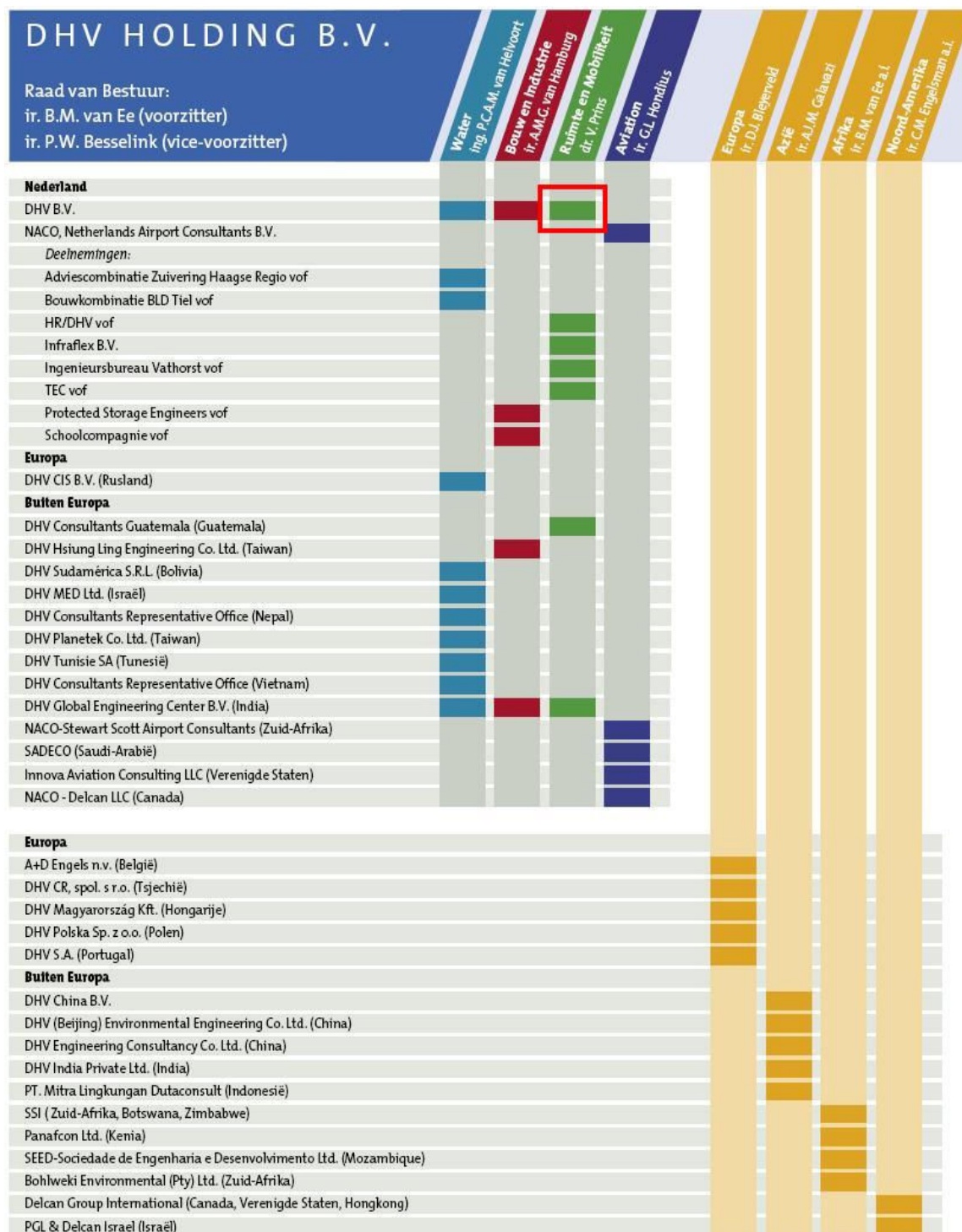
Afkorting	Betekenis
D&C	: Design & Construct
DHV	: Dwars, Heederik en Verhey
DNR	: De Nieuwe Regeling
DO	: Definitief ontwerp
FAT	: Factory Acceptance Testing
FS	: Functioneel Specificeren
GWW	: Grond-, Weg- en Waterbouw
HZL	: Hanzelijn
ISO	: International Organization for Standardization
KW	: Kunstwerk
MER	: Milieu-effectenrapportage
OG	: Opdrachtgever
ON	: Opdrachtnemer
ONRI	: Orde van Nederlandse Raadgevende Ingenieurs
PKM	: Product Knowledge Modelling
PvA	: Plan van Aanpak
PvE	: Programma van Eisen
RAMS	: Reliability, Availability, Maintainability en Safety
RTM	: Requirements Traceability Matrix
RVOI	: Regeling van de Verhouding tussen Opdrachtgever en adviserend Ingenieursbureau
RWS	: Rijkswaterstaat
SAT	: Site Acceptance Testing
SE	: Systems Engineering
SIT	: System Integration Testing
SMART	: Specifiek, Meetbaar, Acceptabel, Realistisch, Toleranties
SR	: Standaardvoorwaarden Rechtverhouding Opdrachtgever - Architect
UO	: Uitvoeringsgereed ontwerp
VO	: Voorontwerp

Inhoudsopgave bijlagen

Bijlage A. Organisatie DHV	48
A.1. Organogram DHV Holding	48
A.2. Uitgebreide beschrijving DHV	49
A.2.1. Algemeen	49
A.2.2. Business group: Ruimte en mobiliteit	50
A.2.3. Business lijn: Mobiliteit	50
A.2.4. Unit: Transfer & Rail	50
Bijlage B. Plan van Aanpak	52
Bijlage C. Hanzelijn – het project	55
C.1. Het tracé	55
C.2. Organisatie	57
C.3. Taak DHV	57
Bijlage D. Gesprekken	59
D.1. Paul Schreinemakers	59

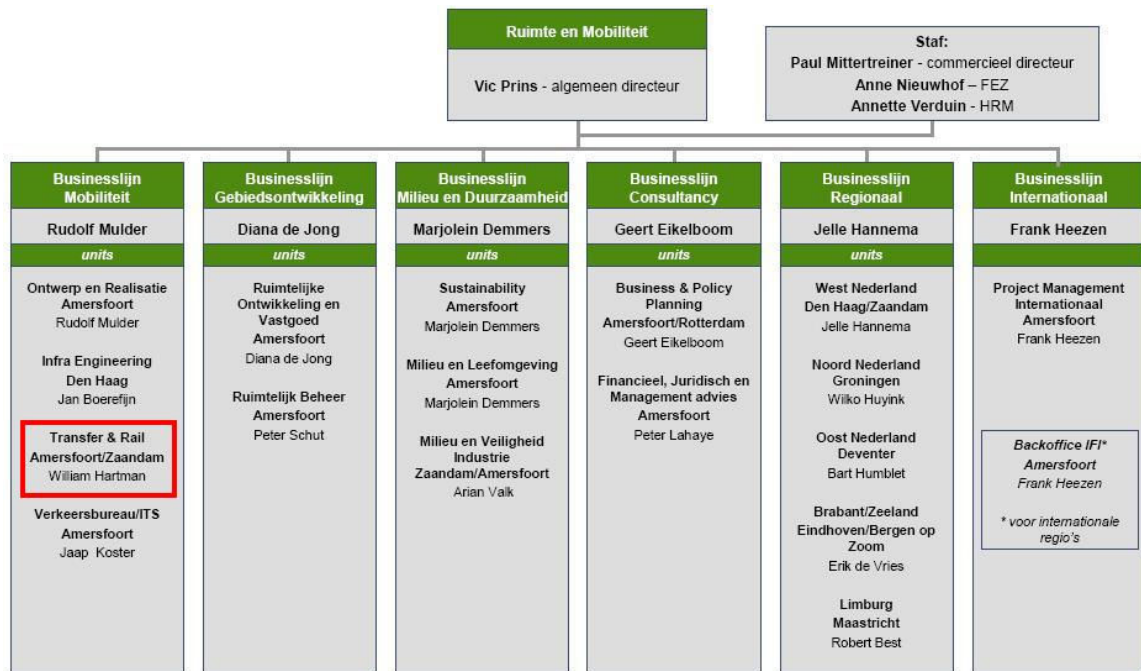
Bijlage A. Organisatie DHV

A.1. Organogram DHV Holding



figuur 14: Organogram DHV Holding B.V (bron: DHV (2007) [1])

In het roodomlijnde hokje in figuur 14, Ruimte en Mobiliteit, wordt dit onderzoek uitgevoerd. Hieronder is het organogram van deze businessgroup weergegeven (figuur 15).



figuur 15: Organogram Ruimte en Mobiliteit (bron: DHV (2007) [1])

In het rood omlijnde hokje in figuur 15 is de unit te vinden waar het onderzoek uitgevoerd wordt.

A.2. Uitgebreide beschrijving DHV

De informatie over DHV is voornamelijk afkomstig van de site www.dhv.nl en interne documenten, zoals presentaties en organogrammen.

A.2.1. Algemeen

DHV, afkomstig van de namen Dwars, Heederik en Verhey, is een internationaal advies- en ingenieursbureau. Wereldwijd werken er ruim 4000 mensen bij DHV. DHV wordt gekenmerkt door 6 markten waarop het actief is: water, industrie, bouwen, milieu, mobiliteit en luchthavens. Deze markten worden vanuit 4 zogenaamde *business groups*, te weten Water, Bouwen en Industrie, Ruimte en Mobiliteit en Aviation, bespeeld. Wereldwijd is DHV actief in tientallen landen in Europa, Azië, Afrika en Noord-Amerika.

DHV heeft zeven kernwaarden. Deze vormen voor de DHV-professionals de leidraad bij het nemen van verantwoordelijkheid, het maken van keuzes en het ingaan op vragen van stakeholders. (DHV, 2007 [2])

Integriteit

We adviseren klanten vanuit een onafhankelijk uitgangspunt en volgen bewust de principes van integriteit.

Topexpertise

We hebben een solide professionele achtergrond en streven naar de beste oplossingen voor de vragen van de klant. Onze hoogopgeleide medewerkers focussen op permanente ontwikkeling en professionele verbetering.

Respect en vertrouwen

We geven ruimte aan persoonlijke wensen. Medewerkers krijgen taken op basis van vaardigheden en talenten, de verantwoordelijkheid voor het zelfstandig inrichten

van het werk is groot. Wij respecteren andere inzichten, meningen en culturen en zijn ons bewust van onze rol in de maatschappij als geheel.

Loyaliteit

We hebben een grote inzet en tonen veel betrokkenheid bij onze projecten; we zijn er trots op om voor DHV te werken en identificeren ons met DHV en zijn projecten.

Initiatief

We hechten veel waarde aan professionele en persoonlijke ontwikkeling; we werken in een informele sfeer met veel ruimte voor initiatief en persoonlijke inbreng.

Klantgerichtheid

Via een groot netwerk van bedrijven zijn we actief in een groot aantal landen. Daardoor is lokale aanwezigheid gewaarborgd en kan DHV zijn klanten wereldwijd volgen. De vraag van klanten naar de combinatie van consultancy en engineering zal toenemen. Daarin ligt onze kracht. De nadruk blijft daarom op het versterken van de eigen kenniscentra en expertisegebieden.

Resultaatgedrevenheid

Uitgangspunt voor DHV's strategie is het genereren van voldoende resultaat voor continuïteit en groei van het bedrijf.

Vanwege de breedte van het bedrijf, wordt alleen ingezoomd op de business group Ruimte en Mobiliteit.

A.2.2. Business group: Ruimte en mobiliteit

Het denken over transport en infrastructuur verschuift steeds meer richting de internationale markt. Steeds vaker wordt in projecten internationaal samengewerkt. Ook is er een verschuiving gaande richting de markt door design & construct-contracten. Opdrachtgevers bemoeien zich minder met het ontwerp en leggen zich meer toe op het systeem als geheel.

Binnen DHV is de business group Ruimte en Mobiliteit bezig met allerlei zaken op gebied van mobiliteit, ruimtelijke ontwikkeling, duurzaamheid. Middels een aantal business lijnen wordt aan deze aspecten gewerkt. De business lijnen op een rijtje: Mobiliteit, Gebiedsontwikkeling, Milieu en Duurzaamheid, Consultancy, Regionaal en Internationaal.

A.2.3. Business lijn: Mobiliteit

Mobiliteit is een balans tussen vraag en aanbod. Ruimte wordt steeds schaarser, met name in stedelijke gebieden. De roep om intelligente oplossingen wordt daarmee groter.

De laatste jaren is een aantal grote projecten uitgevoerd, waaraan ook DHV deelnam. Het meest in het oog springend is de HSL-Zuid. Huidige projecten, zoals de aanpak spitsstroken en spoorse doorsnijdingen, zijn duidelijke voorbeelden van het werk aan deze business lijn. Deze business lijn is verdeeld in meerdere units, te weten: Ontwerp en Realisatie, Infra Engineering, Transfer & Rail en Verkeersbureau/ITS. Dit onderzoek wordt uitgevoerd voor de unit Transfer & Rail.

A.2.4. Unit: Transfer & Rail

De unit Transfer & Rail geeft allerhande advies binnen de levenscyclus van een project. Dat kan lopen van haalbaarheid tot aan ontwerp. Binnen de unit is de nodige expertise aanwezig om dat te verwezenlijken. Specifiek richt die expertise zich op kennis van bruggen en tunnels, veiligheid en signalering, heavy en light rail systemen, HSL systemen, stationsontwikkeling en risicomanagement.

De huidige speerpunten van de unit zijn gericht op (DHV Transfer & Rail, 2006):

- Capaciteitsmanagement
- Assetmanagement
- Projectmanagement en Planontwikkeling
- Erkenningenbeheer
- Bouwmanagement

Door een aantal doelstellingen wordt geprobeerd vorm te geven aan deze speerpunten. Voor capaciteitsmanagement wordt gestreefd naar een 'strategische positie bij ProRail'. Voor ProRail geldt dat het spoor altijd voldoende capaciteit moet kunnen bieden om de vervoersvraag te kunnen afwikkelen. Wanneer kennis en ervaring op gebied van capaciteitsmanagement toeneemt, is dat ook interessant voor ProRail.

Met assetmanagement wordt de hele levenscyclus van een product (of systeem) beheerd. Steeds meer wordt daar de noodzaak van ingezien, wat ook blijkt uit nieuwe contractvormen als Design & Construct-contracten.

Voor het speerpunt projectmanagement en planontwikkeling wordt gestreefd naar kennisontwikkeling in contractontwikkeling en projectbeheersing bij D&C-contracten en management. Verder wordt er gestreefd naar verdere ontwikkeling richting de internationale markt. Meer profilering moet leiden tot een sterkere concurrentiepositie in het buitenland.

Om te mogen werken voor ProRail moet een bedrijf in het bezit zijn van certificaten. Zonder deze certificaten mag een bedrijf geen opdrachten uitvoeren. Voor DHV is het dus van belang om de verworven certificaten te behouden en er nieuwe bij te verdienen.

Voor het speerpunt bouwmanagement is veel ervaring opgedaan bij de HSL. Bij het project werd (voor het eerst) op grote schaal gebruik gemaakt van de D&C-contracten. Binnen dit project is ervaring opgedaan met het begeleiden hiervan en deze kennis moet verder uitgewerkt worden. De verwachting is dat in de toekomst meer projecten op D&C-achtige wijze aanbesteed zullen worden.

Door ProRail, een van de grootste opdrachtgevers voor de unit, is een aantal doelen gesteld (ProRail, 2006):

ProRail, de door de overheid ingestelde railinframanager,

- zorgt voor voldoende, betrouwbare en veilige railinfrastructuur;
- levert haar klanten treinpaden, transfercapaciteit en informatiediensten;
- doet dat op een transparante en maatschappelijk verantwoorde wijze, met gemotiveerde en professionele medewerkers;
- werkt als partner in de spoorbranche mee aan het oplossen van mobiliteitsvraagstukken nu én straks;
- wil de beste railinframanager van Europa zijn.

Doordat ProRail zo'n grote opdrachtgever is, is het belangrijk dat ook de doelen van DHV hierop aansluiten. Door de speerpunten van DHV naast de doelen van ProRail te leggen, kan worden vergeleken hoe deze op elkaar ingrijpen.

Met name het eerste en vierde doel zijn doelen die binnen de visie en strategie van de unit Transfer & Rail van DHV passen. De wens van ProRail om voldoende spoor beschikbaar te hebben, kan door DHV worden uitgewerkt tot berekeningen en ontwerpen. DHV kan ProRail dus helpen om de doelen te verwezenlijken. Het vierde doel hangt hier nauw mee samen. Door te proberen goede voorspellingen te doen, kan nu al worden ingegrepen om problemen van de toekomst te voorkomen. Dit kunnen zowel fysieke als niet-fysieke aanpassingen zijn. Huidige projecten die door de unit worden uitgevoerd sluiten hierbij aan.

Bijlage B. Plan van Aanpak

Het plan van aanpak is opgedeeld in twee stukken: doel en proces. Het eerste geeft de einddoelen aan, die bereikt moeten worden. In het proces wordt weergegeven hoe dit bereikt moet gaan worden.

Doel: Wat moet er gedaan worden?

Om tot een functioneel resultaat te komen, moet er kennis worden opgedaan over de Systems Engineering en de huidige invulling die hieraan gegeven wordt. Verder moet er onderzocht worden hoe opdrachtgever en opdrachtnemer hieraan invulling zou willen geven en hoe ze de toekomst van SE zien.

Concrete doelen:

1. (Theoretische) kennis vergaren ten aanzien van SE
2. De oude manier van werken onderzoeken
3. De huidige invulling van SE in projecten onderzoeken
4. De verwachtingen bij opdrachtgevers onderzoeken
5. Casestudie: Hanzelijn
6. Analyseren van de informatie: waar zijn we en waar willen we heen
7. Aanbevelingen doen ten aanzien van de toekomst

Het is van belang dat deze concrete doelen aansluiten bij de gestelde deelvragen. Daarom is in tabel 6 de interactie tussen de deelvragen en de doelen weergegeven.

Deelvaag	1	2	3	4	5	6
Doelen						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

tabel 6: Interactie doelen en deelvragen

Proces: Hoe moet dat aangepakt worden?

Per doel is een aanpak geformuleerd om op die manier een methode te hebben om het doel te bereiken. Met het bereiken van het doel, kan op de deelvragen een antwoord gegeven worden. Bij de doelen is een concrete manier aangegeven om de doelen te verwezenlijken. Dit geeft handvatten aan het onderzoek.

1. (Theoretische) kennis vergaren ten aanzien van SE

Kennis van de theorie kan langs verschillende wegen verkregen worden. Allereerst is er online redelijk veel informatie beschikbaar over SE. Er is een aantal leidraden geschreven en er zijn al de nodige onderzoeken uitgevoerd naar SE. Met behulp van deze kennis kan een theoretisch kader geschetst worden, waarbinnen het onderzoek zal plaats vinden. Daarnaast zijn gesprekken met experts een bron van informatie om kennis te vergaren van SE.

Concreet:

- Geschreven documenten doornemen
- Overige stukken
- Gesprekken met experts over theorie van SE
- Uitwerken en analyseren gesprekken

2. De oude manier van werken onderzoeken

Lange tijd is gewerkt zonder gebruik te maken van SE. De ervaring met het werken volgens het oude principe is nog ruimschoots aanwezig. Gesprekken met mensen met deze ervaring moet leiden tot kennis over het oude systeem en de voor- en nadelen daarvan.

Concreet:

- Theorie uit boeken
- Gesprekken met ervaren (engineers-) projectleiders binnen DHV
- Uitwerken en analyseren gesprekken

3. De huidige invulling van SE in projecten onderzoeken

Binnen DHV wordt inmiddels een aantal projecten uitgevoerd waarin SE een prominente rol vervult. De projectleiders van deze projecten beschikken over de nodige informatie om hier een goed beeld van te kunnen geven. Concreet moet gezocht worden naar wat goede en slechte punten zijn en in hoeverre er echte veranderingen zijn waar te nemen in de wijziging van het proces.

Concreet:

- Uitzoeken welke projecten met SE worden gedaan of gedaan gaan worden
- Gesprekken met projectleiders en experts van SE over invoer van SE in projecten
- Uitwerken en analyseren gesprekken

4. De verwachtingen bij opdrachtgevers onderzoeken

Een gesprek met een opdrachtgever die verstand heeft van SE moet leiden tot de kennis over de verwachtingen die er heersen bij de partij van de opdrachtgever. Deze partijen kunnen ook veel informatie geven over het plan dat ze zien voor de toekomst van SE en hoe ze dit willen integreren in de aanbestedingsprocedures. Concrete veranderingen en aanbevelingen van deze partijen zijn zeer interessant voor de toekomst van de bedrijfsvoering van marktpartijen

Concreet:

- Gesprekken met ProRail en Dura Vermeer over verwachtingen, theorie en praktijk van SE
- Uitwerken en analyseren gesprekken
- Documenten van andere ProRail-projecten waarin SE wordt voorgeschreven

5. Casestudie: Hanzelijn

De Hanzelijn is een actueel project, waarbij SE wordt voorgeschreven door de opdrachtgever, ProRail. DHV is werkzaam voor ProRail aan het gedeelte tussen Zwolle en het Drontermeer.

Deze casestudie moet dienen om inzicht te verkrijgen in de praktijk van SE. Met de theoretische kennis en het inzicht in de praktijk, kunnen aanbevelingen gedaan worden om SE verder te integreren in de praktijk.

Concreet:

- (Contract- / project-) documenten doornemen
- Kennis van SE toetsen aan praktijk
- Gesprekken met projectleiders
- Voorstel tot wijziging van contract SE voor Hanzelijn

6. Analyseren van de informatie: waar zijn we en waar willen we heen

Na een inventarisatie van de theorie en de praktijk bij opdrachtgever en opdrachtnemer, is het goed om deze informatie naast elkaar te leggen. Hieruit zullen waarschijnlijk interessante verschillen ontstaan. Deze verschillen moeten inzicht geven in de leemtes in de kennis, zodat duidelijk wordt waar verder gegaan kan worden met de invoer van SE.

Concreet:

- Theorie naast praktijk leggen
- Plan met veranderingen voor contract Hanzelijn

7. Aanbevelingen doen ten aanzien van de toekomst

Met alle informatie over de theorie, praktijk, verleden en heden moet het mogelijk zijn om aanbevelingen te doen waar DHV bij gebaat is. Hierbij wordt vooral ook ingezoomd op de manier hoe deze veranderingen ingepast kunnen worden in de werkomgeving. Door de werkdruk en de ervaring met de traditionele manier van werken, kan het lastig zijn om een nieuw concept te implementeren. Wanneer hier een werkwijze voor opgesteld wordt, kan dit proces een stuk versoepeld worden.

Concreet:

- Analyse kennistoename over praktijk SE
- Aanbevelingen voor toekomst voor DHV

Bijlage C. Hanzelijn – het project

C.1. *Het tracé*

De Hanzelijn verbindt in de toekomst Lelystad met Zwolle. Daarmee komt het noorden en noordoosten van Nederland in reistijd een stuk dichterbij de Randstad te liggen. De minister van Verkeer en Waterstaat heeft door het nemen van het Tracébesluit Hanzelijn samen met de minister van VROM het tracé voor de Hanzelijn vastgesteld.

Het Nieuwe Land: tussen Lelystad en het Drontermeer

Het huidige station Lelystad krijgt aan de westzijde twee extra sporen en een eilandperron erbij. Ten noorden van Lelystad sluit de Hanzelijn met een boog aan op de bestaande spoorlijn naar het NS Opstelterrein. De Hanzelijn loopt dan zuidelijk van het Opstelterrein en de Houtribweg. Vervolgens daalt de Hanzelijn om onder de snelweg A6 door te kunnen. Het plaatselijke verkeersknooppunt A6-Houtribweg wordt aangepast. Tussen het Visvijverbos en Robert Morris worden over een lengte van één kilometer goederenwachtersporen aangelegd, zodat snellere reizigerstreinen daar goederentreinen kunnen passeren. In Dronten-west stijgt de spoorbaan naar ongeveer zeven meter. De bestaande wegen blijven daardoor gewoon intact. In Dronten wordt een compleet nieuw station gebouwd. Ten slotte gaat de Hanzelijn onder het Drontermeer door via een tunnel van 750 meter. Zo blijft het natuurgebied aan weerszijden van het meer gespaard.

Het Oude Land: tussen het Drontermeer en Zwolle

Ter hoogte van Kampen vervolgt de Hanzelijn zijn weg met een aangepaste boog (om snel te kunnen bundelen met de N50) die geschikt is voor een maximale snelheid van 160 kilometer per uur. Op die locatie komt het nieuwe station Kampen en wordt de plaatselijke weginfrastructuur aangepast. De snelweg A28 bij het knooppunt Hattemerbroek wordt gekruist met een viaduct. De Hanzelijn heeft hier een hoge ligging tot aan de kruising over de IJssel. De bestaande infrastructuur zoals de Zuiderzeestraatweg, de Hilsdijk en de Oostersedijk op blijven op de huidige locatie liggen. Hierna ontmoet de Hanzelijn de Veluwelijn (de spoorlijn van Amersfoort naar Zwolle). De Veluwelijn wordt door middel van een vrije kruising op de Hanzelijn aangesloten. Over de rivier de IJssel komt een nieuwe, stillere brug die op Rijnvaartheogte ligt. Deze hoogte zorgt voor een onbelemmerde doorgang van het scheepvaartverkeer. De bestaande brug zal worden afgebroken. Uiteindelijk komt de Hanzelijn via het bestaande spoor van de Veluwelijn aan op station Zwolle.

In figuur 16 en figuur 17 is een overzicht te vinden van het tracé van de Hanzelijn

Hanzelijn: “De ontbrekende schakel”

Vanuit Lelystad met de trein naar hartje Zwolle, en dat in een half uur! De nieuwe spoorlijn Hanzelijn maakt dit vanaf 2013 mogelijk. Het noorden en noordoosten van Nederland komen hiermee in reistijd een stuk dichtbij de Randstad te liggen.

Buiten dat de Hanzelijn de reistijd aanzienlijk verkort ontstaat er een rechtstreekse treinverbinding tussen Lelystad en Zwolle, en geeft de spoorlijn een positieve impuls aan deze regio. De economische ontwikkeling wordt hiermee ook in het noorden, noordoosten van het land en de provincie Flevoland gestimuleerd.

De Hanzelijn zorgt er voor dat het nijdruk is op de Gooilijn (Amsterdam-Hilversum-Amersfoort) en de Veluwelijn (Amersfoort-Zwolle), en biedt ruimte aan internationale (hogesnelheids)- en goederentreinen.

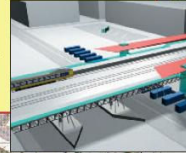
Kruising Hanzelijn/A6

Ten hoogte van de Houwerweg kruist de Hanzelijn de Rijksweg A6. Fietser krijgen een fietspad zonder kruisingen en een tunnelje onder de Hanzelijn door.



Station Dronten

Inwoners van Dronten kunnen door de komst van de Hanzelijn voortaan met de trein op pad. Via Zwolle en Lelystad wordt de gemeente op het landelijke spoor netwerk aangesloten. Verwacht wordt dat zo'n 3.000 reizigers per dag gebruik gaan maken van de trein. Het nieuwe station gaat over De Noord heen en telt 4 sporen zodat doorgaande treinen de stoppende treinen gemakkelijk kunnen passeren. De perrons liggen op ongeveer 7 meter boven De Noord. De treinen en reizigers zijn goed zichtbaar vanaf de weg.



Station Lelystad Centrum

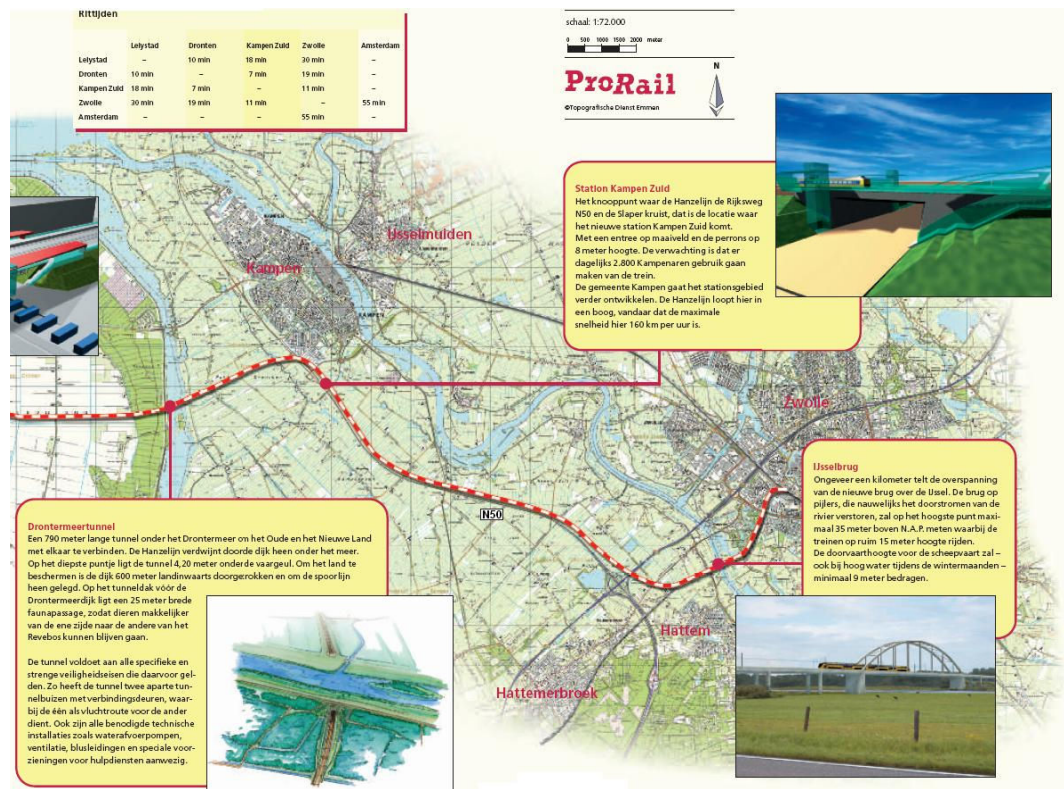
In de toekomst krijgt station Lelystad Centrum circa 14.000 in- en uitstappers per dag te verwerken. Het station groeit daarom van twee naar vier sporen door middel van een extra middenperron. De bestaande kwaliteiten van station Lelystad Centrum, overzicht en ruimte, worden in het nieuwe station behouden en waar mogelijk versterkt. Zo komen er bijvoorbeeld transparante puien en liften, zodat reizigers ook van buitenaf goed zichtbaar zijn. De hal zal 40% groter worden.



Facts & figures

Financier	Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Opdrachtgever	ProRail
Wettelijke kosten	ca. € 900 miljoen (prijspeil 2007)
Lengte tracé	50 kilometer
Ontwerpsnelheid	200 km per uur
Aantal dwarsliggers	122.800
Aantal gelijkvloerse treinstations	Geen
Aantal kilometer gekulticheren	20 km
Benodigde m³ zand	3,5 miljoen m³
Aantal kunstwerken	86
Gemeenten	Lelystad, Dronten, Kampen, Hatten en Zwolle
Provincies	Flevoland, Gelderland en Overijssel
Aantal grondseignaren	260
Gereed	2012/2013

figuur 16: Overzicht Hanzelijn (deel 1 van 2, Nieuwe Land)

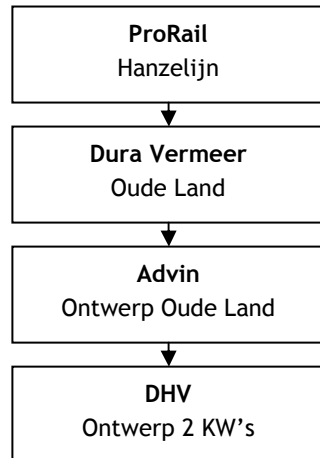


figuur 17: Overzicht Hanzelijn (deel 2 van 2, Oude Land)

C.2. Organisatie

ProRail is gedelegeerd opdrachtgever voor de Hanzelijn. Het project Hanzelijn is opgeknipt in een drietal delen, te weten het Nieuwe Land (Lelystad - Drontermeer), tunnel Drontermeer en het Oude Land (Drontermeer - Zwolle).

Dura Vermeer heeft de opdracht gekregen om het Oude Land te gaan bouwen. Dit is in de vorm van een D&C contract gegoten, zodat ook het ontwerp nog moet worden gedaan. Advin, onderdeel van Dura Vermeer, doet dit ontwerpwerk voor Dura Vermeer. Een tweetal kunstwerken is dermate complex dat dit uitbesteed is aan DHV. De structuur is schematisch weergegeven in figuur 18.

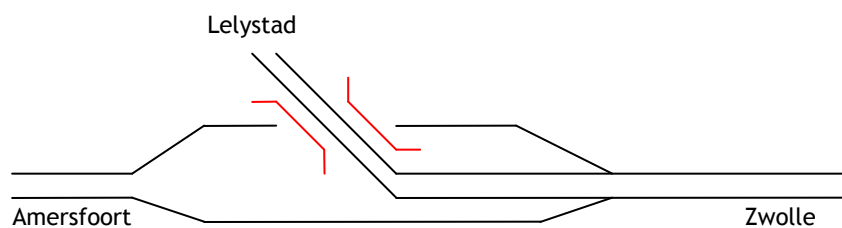


figuur 18: Organisatie Hanzelijn

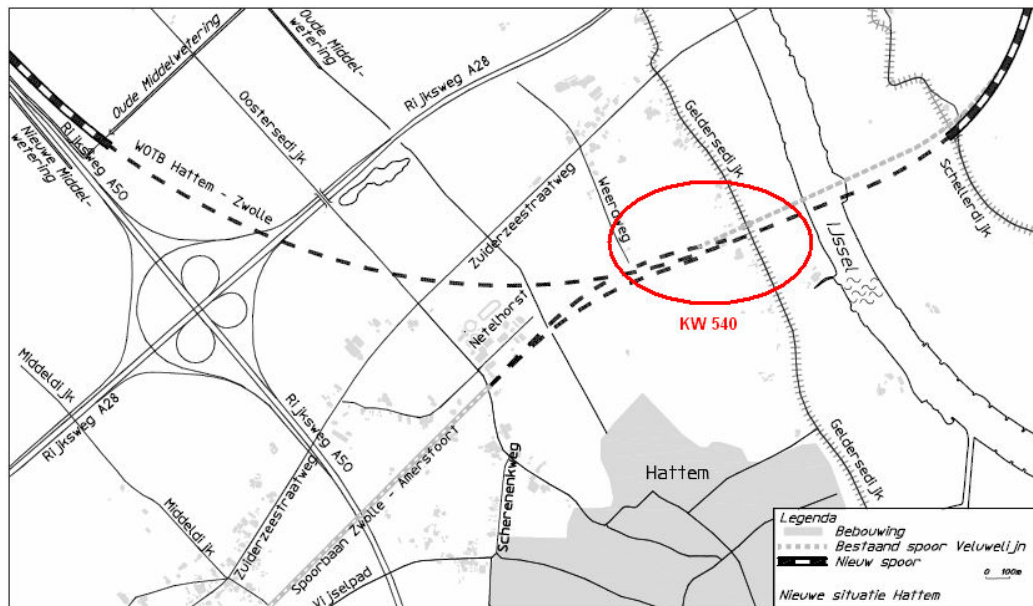
C.3. Taak DHV

DHV is bezig met het ontwerp van een tweetal kunstwerken.

Het eerste kunstwerk (KW 540) ligt bij de intakking op de Veluwelijn, net boven Hattem (zie figuur 20). De Hanzelijn takt hier in tussen de beide sporen van de Veluwelijn in (zie figuur 19). Daarbij wordt het spoor van Zwolle naar Amersfoort verdiept aangelegd en de Hanzelijn iets verhoogd. Op die manier wordt de kruising gerealiseerd.

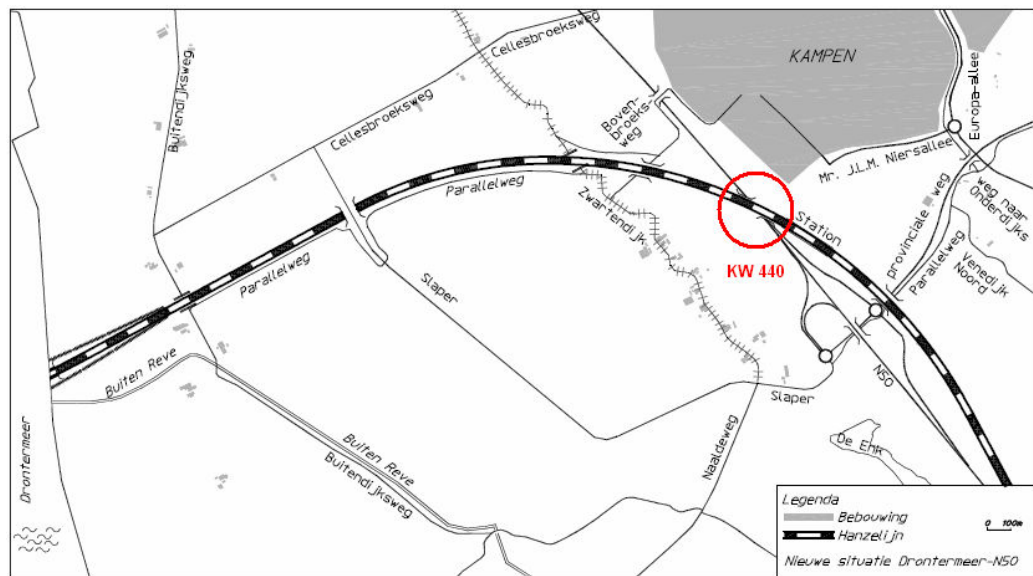


figuur 19: Schematisch overzicht intakking Hanzelijn



figuur 20: Overzicht tracé bij Hattem

Het tweede kunstwerk (KW 440) is een trogbrug over de N50 bij Kampen. Deze moet voorbereid zijn op een verdubbeling van de N50. De trogbrug kruist de N50 schuin, waardoor de lengte zo'n 100 meter bedraagt. In figuur 21 is een overzicht te zien van het tracé bij Kampen.



figuur 21: Overzicht tracé bij Kampen

Bijlage D. Gesprekken

D.1. *Paul Schreinemakers*

Paul Schreinemakers is directeur van SEPI-Advies, een adviesbureau voor Engineering Process Improvement. Daarnaast is hij voormalig voorzitter van INCOSE NL en tevens voorzitter van het 18^e internationale symposium INCOSE (2008).

Gesprek op 8 juni 2007, 9:00 uur

Schreinemakers heeft kennis van ProRail en Haskoning, omdat hij daar veel werk voor verricht op gebied van de implementatie van SE. Hij heeft veel ervaring met SE en weet dus ook hoever ProRail en Haskoning zijn. Hij weet wat er moet veranderen en waar problemen te verwachten zijn. Wat is zijn idee over de huidige stand van zaken van de markt? Waar moet er bijgestuurd worden? Hoe kijkt ProRail tegen de markt aan?

Verschil tussen ProRail en Rijkswaterstaat is vooral dat RWS zich richt op verantwoord bouwen. Iedere uitgegeven euro moet herleidbaar zijn. Bij ProRail wordt meer het proces in de gaten gehouden.

ProRail is behoorlijk ambitieus wat betreft de implementatie van SE: binnen 2 jaar willen ze 80% van de projecten uitvoeren met behulp van SE.

Aan het eind van het realisatie proces moet het mogelijk zijn om te valideren en te verifiëren. Omdat de OG het ontwerp en de eisen opstelt in de eerste fases, moeten deze dus overgedragen worden aan de opdrachtnemer, zodat deze de check kan uitvoeren.

Praten met OG over eisen en wensen blijkt lastig te zijn. Moeilijk om vrijheden boven tafel te krijgen en duidelijk te krijgen welke eisen hij echt belangrijk vindt (waar ligt hij 's nachts van wakker?). Bij ProRail is er altijd wel een onderhandelingsronde in de fase van aanbesteding, bij RWS is onderhandelen een iets groter probleem.

Momenteel gaat er het een en ander fout door gebrek aan kennis en weerstand van de huidige ontwerpcultuur.

Doel van SE is om falen te verminderen, maar dat kan niet gegarandeerd worden. Wanneer er slechte input geleverd wordt, kan een ON daar moeilijk mee aan de slag.

Op de UT zijn ze bezig een programma op te stellen in combinatie met de ontwerpafdelingen van HBO en MBO, waarbij SE geïntegreerd moet worden.

Probleem op dit moment zit ook nog in het raakvlakmanagement. Vaak worden eisen wel op gesteld, maar niet aan elkaar gelinkt, zodat raakvlakken niet duidelijk worden.

Interessante processen zijn:

- Eisenmanagement
- Verificatie en validatiemanagement
- Technisch management

Paul Schreinemakers is samen met 2 andere externen verantwoordelijk voor de implementatie bij ProRail. Verder is hij voor Haskoning bezig met een uitrol voor ong. 120 man (alle engineers inclus), die in de vorm van theorie en vervolgens toepassen in cases (met regelmatige terugkoppeling) aan de slag gaan.

