

SE-wijzer

Handleiding
Systems Engineering
voor BAM Infra



 bam

 bam

SE-wijzer

Handleiding Systems Engineering
voor BAM Infra



Juni 2008

Dit is een uitgave van Koninklijke BAM Groep. Bij de samenstelling is de grootst mogelijke zorgvuldigheid in acht genomen. Koninklijke BAM Groep sluit iedere aansprakelijkheid uit voor eventuele schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van de informatie in deze uitgave dan wel uit eventuele onvolledigheden of drukfouten in de tekst. Aan de inhoud van deze uitgave kunnen geen rechten worden ontleend.

Voorwoord

Koninklijke BAM Groep nv onderkent in de Strategische Agenda 2007-2009 een toenemend belang van bouwopgaven, waarbij opdrachtgevers niet alleen realisatie, maar ook ontwerp, exploitatie en onderhoud aanvragen en opdragen.

Daarnaast krijgen projecten ook steeds meer een multidisciplinair karakter, waarbij Wegenbouw, Civiele Techniek, Installatietechniek, Rail en soms ook andere disciplines in alle fasen geïntegreerd samenwerken.

Om dergelijke contracten te kunnen beheersen is Systems Engineering (SE) een geëigende en vaak voorgeschreven werkmethode.

Deze ontwikkelingen hebben tot gevolg dat projectteams in toenemende mate Systems Engineering toepassen. Daarbij wordt telkens gezocht naar de goede organisatievorm. Dat kost veel tijd, kostbare tijd die hard nodig is om ontwerp, voorbereiding en uitvoering tot een goed einde te brengen.

Eind 2006 heeft BAM Infra besloten om een eenduidige aanpak en werkwijze voor Systems Engineering te ontwikkelen om in projecten slagvaardig en succesvol te kunnen handelen. Hiervoor is een werkgroep opgericht met vertegenwoordigers uit de werkmaatschappijen van BAM Infra. Deze werkgroep heeft als opdracht:

- ♦ het opstellen van een eenduidige aanpak voor de toe te passen hulpmiddelen en registratiemethoden;
- ♦ het voorlichten van medewerkers over Systems Engineering;
- ♦ het implementeren van Systems Engineering als algemene werkwijze voor de multidisciplinaire projecten van BAM Infra;
- ♦ het voorbereiden van de certificering van BAM Infrabedrijven of projecten voor de ISO-norm voor SE.

Deze opdracht heeft geleid tot voorliggende SE-wijzer, geschreven voor alle BAM Infra medewerkers die te maken hebben met Systems Engineering: van projectleider tot ontwerper, van uitvoerder tot kwaliteitsfunctionaris. Met deze SE-wijzer spreken wij binnen het bedrijf dezelfde taal en gebruiken wij dezelfde instrumenten om de methodiek van Systems Engineering effectief toe te passen.

De SE-wijzer is tot stand gekomen met ondersteuning van CROW, Kennisplatform voor infrastructuur, verkeer, vervoer en openbare ruimte. Naast de interne verspreiding binnen BAM Infra zal de SE-wijzer op verzoek van Bouwend Nederland beschikbaar worden gesteld aan Rijkswaterstaat, ProRail, ONRI, alsmede aan alle andere geïnteresseerde (markt)-partijen. Hiermee nemen wij onze maatschappelijke verantwoordelijkheid om de ontwikkeling van Systems Engineering in de GWW-sector te ondersteunen.

Bunnik, mei 2008

*ir. N.J. de Vries
lid raad van bestuur
Koninklijke BAM Groep nv*

De SE-wijzer is een uitgave van Koninklijke BAM Groep nv. De ontwikkeling van deze SE-wijzer is verzorgd door de Werkgroep Systems Engineering, die werd ondersteund door CROW, het nationale kennisplatform voor infrastructuur, verkeer, vervoer en openbare ruimte.

Samenstelling werkgroep

T. (Theo) Zwakhals, *BAM Civiel Projecten* (voorzitter)
ing. H.B. (Hans) van Ooijen, *BAM Infraconsult* (vice-voorzitter)
ir. M.T. (Maja) Elsten, *BAM Infraconsult* (secretaris)
ir. K.E. (Kasper) van Esch, *BAM Infraconsult* (redacteur)
F. (Femmy) Eikelboom, *BAM Civiel Projecten* (projectassistent)
ir. D. (Dago) Beek, *BAM Utiliteitsbouw*
C. (Kees) den Besten, *BAM Infratechniek*
ing. M. (Menno) Huizer Msc, *BAM Civiel Projecten*
ing. N.M. (Nino) Keijner, *BAM Wegen*
ir. E. (Ewout) Klück, *BAM Infraconsult*
ir. A.H. (André) Nolles, *BAM Rail*
ing. C.A. (Cor) van Vliet, *BAM Civiel*
ir. M.J. (Mark) Wehrung, *BAM Infraconsult*
ing. J.C. (Arjan) Visser, *CROW*

Samenstelling stuurgroep

ir. J.P.G. Ramler, *BAM Wegen* (voorzitter)
G.B.J. de Barbanson, *BAM Infratechniek*
ir. A.Q.C. van der Horst, *BAM Infraconsult*
ing. W. Konings, *BAM Wegen*
ir. R.J.P. van Riel, *BAM Civiel*
ir. S.H. van Royen, *BAM Rail*

Inhoud

Leeswijzer	7
1 Inleiding	8
1.1 Introductie	8
1.2 Doel SE-wijzer	8
1.3 Plaats van BAM Infra SE-wijzer in het grotere geheel	9
1.4 Opbouw SE-wijzer	10
1.5 Toepassing van de SE-wijzer	11
Deel 1: Basisprincipes Systems Engineering	13
1 Betekenis van Systems Engineering	14
1.1 Aanleiding	14
1.2 Wat levert Systems Engineering op?	14
1.3 Wat betekent SE voor de werkwijze?	15
2 Basisprincipes en begrippen	17
2.1 Denken in systemen	17
2.2 Werkgrenzen en systeemgrenzen	17
2.3 Raakvlakken	18
2.4 Decompositie	19
2.5 Werkpakketten en WBS	20
2.6 Verificatie en validatie	21
2.6.1 Algemeen	21
2.6.2 Onderscheid verificatie en validatie	21
2.6.3 Methoden voor verificatie en validatie	22
2.6.4 Verificatie gedurende het technisch proces	23
2.6.5 Documenten in relatie tot verificatie en validatie	24
Deel 2: Het technisch proces	27
1 Inleiding	28
2 Stakeholdersanalyse	29
3 Eisenanalyse	30
3.1 Achtergrond	30
3.2 Werkwijze	31
3.2.1 Analyseren en structureren van eisen	31
3.2.2 Controleren op eenduidigheid en formulering	36
3.2.3 Overleggen met de opdrachtgever	37
3.2.4 Eisen verwerken en beheren	38
3.3 Hulpmiddelen / voorbeelden	38
3.3.1 Voorbeelden analyse SMART formulering	38
3.3.2 Raakvlak controleformulier	39
4 Ontwerp	40
4.1 Achtergrond eisenspecificatie	40
4.2 Achtergrond ontwerp	41

4.3	Werkwijze afleiden van eisen	42
4.3.1	Functionele analyse en afleiden van eisen	42
4.4	Werkwijze ontwerpen	44
4.5	Hulpmiddelen / voorbeeld	47
4.5.1	Voorbeeld functionele analyse	47
4.5.2	Voorbeeld inhoudsopgave ontwerpbasis	47
4.5.3	Voorbeeld trade-off matrix	48
4.5.4	Voorbeelden verificatieplan	49
4.5.5	Voorbeelden verificatierapport	50
4.5.6	Voorbeeld verificatienota	51
5	Realisatie	53
5.1	Achtergrond	53
5.2	Werkwijze	54
5.3	Hulpmiddelen / voorbeeld	56
5.3.1	Keuringsplan	56
5.3.2	Werkplan	58
5.3.3	Voorbeeld WBS	58
6	Overdracht / ingebruikname	60
6.1	Achtergrond	60
6.2	Werkwijze	60
6.2.1	Vastleggen configuratie	60
6.2.2	Uitvoeren validatie	61
6.2.3	Vorbereidingen voor gebruik	61
7	Onderhoud en beheer	62
7.1	Achtergrond	62
7.2	Werkwijze	62
7.2.1	Bepalen onderhoudsstrategie	62
7.2.2	Uitvoeren planmatig onderhoud en inspecties	63
7.2.3	Beheren configuratie	64
7.3	Hulpmiddelen / voorbeeld	64
	Deel 3: Relatie van SE met ondersteunende activiteiten	65
	Inleiding	66
1	Risicomanagement	67
2	RAMS-management	69
3	Kwaliteitsmanagement	71
4	Planningsmanagement	73
5	V&G-management	74
6	Omgeving- en vergunningsmanagement	75
7	Configuratiemanagement	77
8	Documentmanagement	78
9	Inkoopmanagement	79
10	Financieel management	80
	Begrippenlijst	82
	Bronverwijzingen	83

Leeswijzer

Het toepassen van Systems Engineering (SE) betekent voor bijna alle medewerkers dat hun werkwijze en de benadering van projecten verandert. Wel verschillen deze effecten sterk per functie en/of rol in het project. De SE-wijzer is zo opgebouwd dat gebruikers zich kunnen concentreren op het voor hen meest relevante deel van de inhoud. De SE-wijzer bestaat uit de volgende drie delen.

Deel 1: Basisprincipes Systems Engineering

Dit deel geeft een algemene uitleg over Systems Engineering en beschrijft de basisafspraken die binnen BAM Infra zijn gemaakt over het toepassen van de systematiek. Daarnaast gaat dit deel in op de algemene consequenties van Systems Engineering voor de organisatie.

Deel 2: Het technisch proces

Dit deel beschrijft stap voor stap de wijze waarop SE in het technisch proces van BAM Infra wordt ingevuld. Per processtap worden de input, de activiteiten en de output omschreven en toegelicht met een of meer voorbeelden, inclusief modellen voor onder meer registraties.

Deel 3: Relatie van SE met ondersteunende activiteiten

Dit deel gaat in op de consequenties van SE voor de ondersteunende processen zoals risico-management, veiligheidsmanagement en financieel management. De informatie richt zich voornamelijk op specialisten die worden ingezet voor de ondersteunende processen.

1 Inleiding

1.1 Introductie

De introductie van Systems Engineering in het bouwproces vraagt van zowel opdrachtgevende als opdrachtnemende partijen een aanpassing van de werkwijze. Deze aanpassing betreft niet alleen het primaire (waaronder het technische) proces, maar zeker ook de ondersteunende processen. Om vanuit hetzelfde vertrekpunt de details van deze aangepaste werkwijze te kunnen behandelen, volgt eerst een definitie van Systems Engineering.

Definitie van Systems Engineering volgens de 'Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector' [lit.1]:

Systems Engineering is in essentie een gestructureerde specificatie- en ontwerp-methode. Systems Engineering heeft tot doel structuur te geven aan en inzicht te verschaffen in de complexiteit van het te realiseren object. Met behulp van Systems Engineering kunnen risico's die ontstaan door verkeerde of niet volledige informatie en uitgangspunten worden beheerst. Het gaat erom dat het systeem als totaal wordt beschouwd, over de gehele levenscyclus, inclusief de samenhang met zijn omgeving.

Systems Engineering biedt een geïntegreerde en gestructureerde set methodieken om projecten succesvol te verwezenlijken en te beheren. De kernelementen die dit beschrijven, kunnen ook als volgt worden samengevat:

- ◆ het op een gestructureerde wijze specificeren van een behoefte;
- ◆ het op een gestructureerde wijze ontwerpen van een passende oplossing bij die 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.

Het voorgaande maakt duidelijk dat Systems Engineering een methodiek is die de gehele levenscyclus van projecten ondersteunt.

De genoemde kernelementen komen in het vervolg van de SE-wijzer expliciet aan de orde.

1.2 Doel SE-wijzer

Het doel van de SE-wijzer voor BAM Infra is:

- ◆ het bereiken van een eenduidige werkwijze voor SE binnen de organisatie van BAM Infra, zodat optimaal kan worden geprofiteerd van de voordelen van deze systematiek;
- ◆ het bieden van een praktische (stap-voor-stap) handleiding, ondersteund met voorbeelden en modellen, voor diegenen die concreet met Systems Engineering te maken krijgen;
- ◆ inzicht geven in de rolverdeling die past bij Systems Engineering, alsook in de veranderingen ten opzichte van de 'traditionele' werkwijze.

De toepassing van Systems Engineering in de Nederlandse GWW-sector is nog relatief nieuw. Opdrachtgevende en opdrachtnemende partijen zijn nog zoekende naar de juiste invulling ervan. De systematiek zal zich



de komende jaren zeker nog verder ontwikkelen. Daarom is het uitgangspunt dat de SE-wijzer de ontwikkelingen volgt en van tijd tot tijd wordt aangepast en aangevuld. Het beheer van de SE-wijzer is ondergebracht bij BAM Infraconsult, Business Unit Business Support Infra.

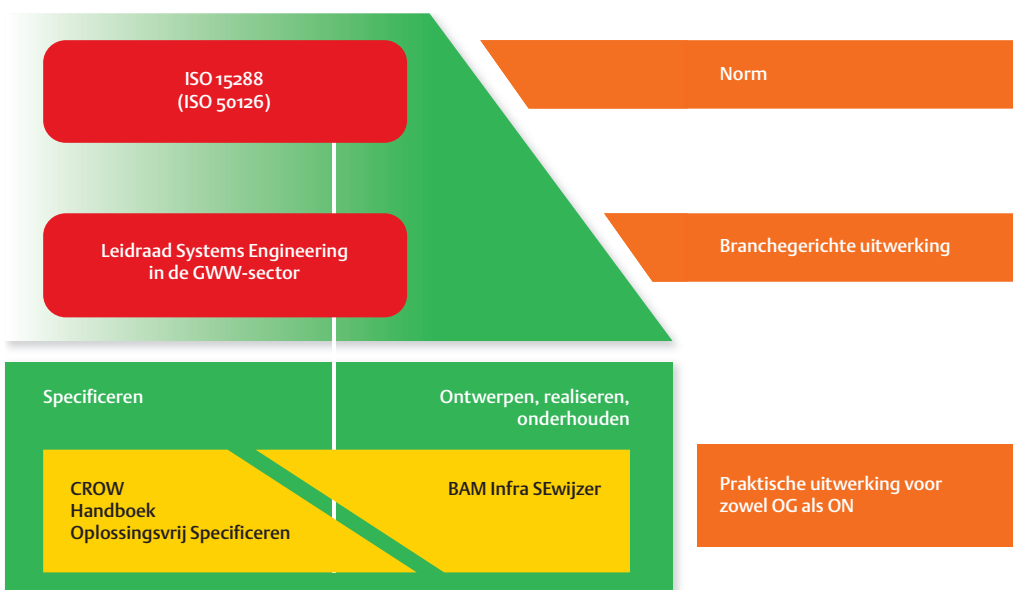
1.3 Plaats van BAM Infra SE-wijzer in het grotere geheel

De SE-wijzer van BAM Infra staat niet op zichzelf, maar past binnen een groter geheel van documenten die in relatie tot SE (voor de sector) zijn gemaakt.

De basis voor de werkwijze is vastgelegd in de norm ISO/IEC 15288 [lit.2]. Deze norm geeft kaders en richtlijnen voor het doorlopen van de levenscyclus (van eerste idee tot sloop) van systemen die door de mens worden ontwikkeld. Specifiek voor de spoorbouw zijn deze kaders en richtlijnen vastgelegd in de zogenaamde CEnelec-norm, ook wel aangeduid als ISO 50126 [lit.3]. De beschrijving van processen in deze normen is abstract geformuleerd en daarom algemeen toepasbaar op vrijwel alle vakgebieden.

Voor de GWW-sector hebben de grote opdrachtgevers ProRail en Rijkswaterstaat in samenwerking met Bouwend Nederland en ONRI de Leidraad Systems Engineering in de GWW-sector [lit.1] ontwikkeld. Deze leidraad is te beschouwen als een branchegerichte vertaling van de ISO-norm. Voor BAM Infra is dit document echter onvoldoende bruikbaar, omdat de nadruk te zeer ligt op het technisch proces (idee – ontwerp – realisatie – sloop). Er is nadrukkelijk ook behoefte aan aanwijzingen voor de eveneens belangrijke ondersteunende processen. Bovendien geeft de leidraad medewerkers nog te weinig praktische handvatten om daadwerkelijk mee aan de slag te gaan.

Vervolgens heeft CROW het Handboek Oplossingsvrij Specificeren [lit.4] gepubliceerd. Hierin vinden zowel opdrachtgevers als opdrachtnemers handreikingen en hulpmiddelen voor het opstellen van (vraag)specificaties. Uitgangspunt is dat de behoefte van de opdrachtgever 'zo oplossingsvrij mogelijk' wordt gespecificeerd. Het handboek gaat ook in op de verdere uitwerking van de specificaties en geeft aan hoe zij kunnen worden vertaald tot (technische) oplossingen. Hierbij richt het handboek zich op zowel opdrachtgevende als opdrachtnemende partijen.



Figuur 1. Positie van de SE-wijzer in het grotere geheel

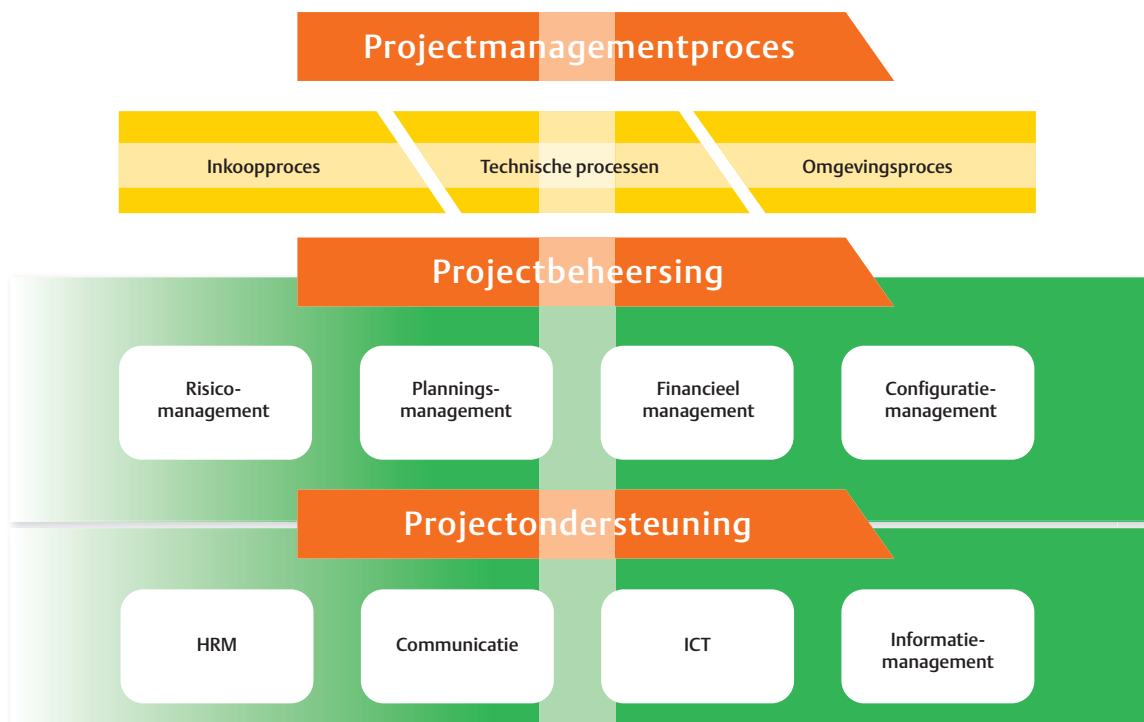
De voorliggende SE-wijzer geeft praktische handreikingen en hulpmiddelen voor de vertaling van oplossingsvrije specificaties naar ontwerp oplossingen, en uiteindelijk naar gerealiseerde producten. De SE-wijzer is primair gericht op de werkzaamheden van BAM Infra, maar is tevens bruikbaar (en beschikbaar) voor overige opdrachtnemers.

1.4 Opbouw SE-wijzer

Vaak wordt onder SE alleen verstaan het aantoonbaar en herleidbaar vertalen van (vaak functionele) eisen naar een ontwerp en een gerealiseerd product, oftewel 'eisenmanagement'. Voor BAM Infra is deze benadering te beperkt. SE heeft namelijk ook invloed op het projectmanagement, de projectbeheersing en de projectondersteuning. Het toepassen van SE heeft dus niet alleen consequenties voor het technisch proces, maar beïnvloedt ook de wijze waarop de ondersteunende processen worden ingericht en uitgevoerd.

In de Leidraad Systems Engineering in de GWW-sector, zoals uitgegeven door Prorail en Rijkswaterstaat [lit.1], wordt het zogeheten Integraal Project Management-model (IPM-model) gebruikt. Dit maakt het verband zichtbaar tussen SE en de processen die in de projecten plaatsvinden. In figuur 2 is dit verbeeld door het kruis over de processen heen.

In verband met SE is het van belang een duidelijk onderscheid te maken tussen het *primaire* proces en het *technisch* proces. Het *primaire* proces van BAM omvat de hoofdstappen in 'aannemen van werk': inschrijven / aanbieden – contracteren – ontwerpen / realiseren – opleveren – nazorg / beheer. Het *technisch* proces vormt een belangrijk onderdeel binnen het primaire proces; het betreft namelijk de ontwikkeling van een idee tot een uitgewerkt ontwerp en vervolgens de realisatie ervan. Omdat het technisch proces de core-business van het bouwbedrijf behelst en bovendien het meest



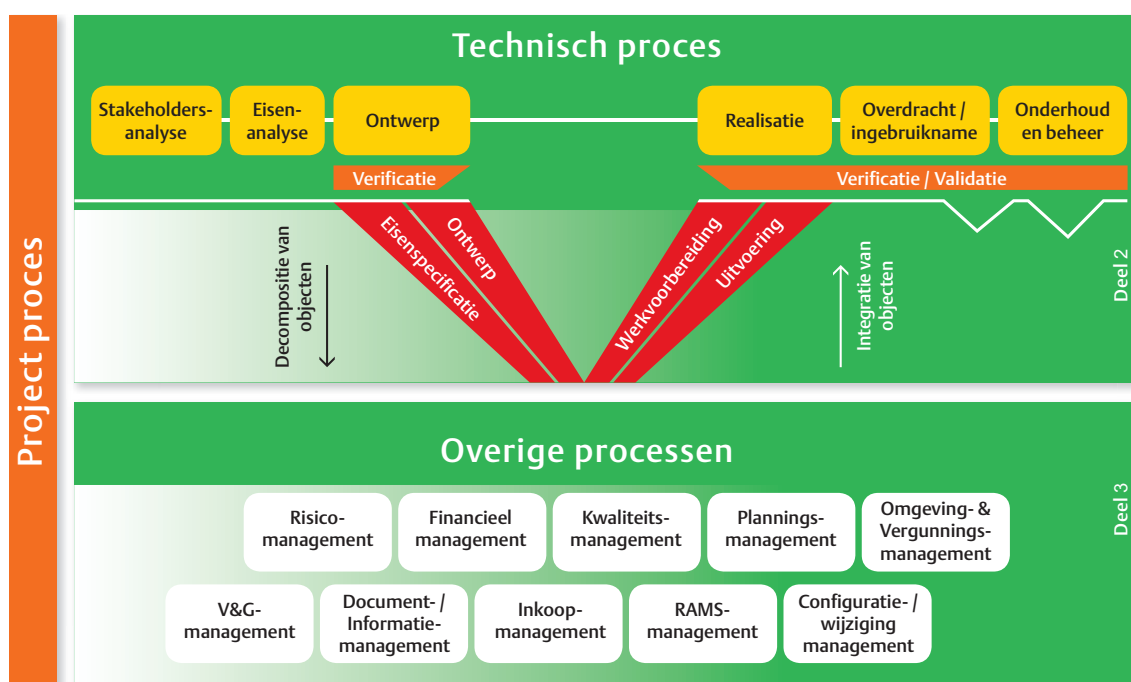
Figuur 2. IPM-model

zichtbaar is, wordt het technisch proces ook nogal eens aangeduid als het primaire proces. Dit is dus niet juist. Het tijdstip waarop de activiteiten van het technisch proces in het primaire proces worden uitgevoerd, hangt af van de aanbestedings- en/of de contractvorm.

De structuur van de SE-wijzer is gebaseerd op de inpassing en verankering van SE in de werkwijze van BAM Infra, en wel zodanig dat de relatie met het technisch proces herkenbaar blijft. Hierdoor is de opzet anders dan die van de Leidraad Systems Engineering in de GWW-sector [lit.1], zoals figuur 3 laat zien.

1.5 Toepassing van de SE-wijzer

Het is de bedoeling om SE toe te passen als algemene werkwijze voor de projecten van BAM Infra; vaak zijn deze multidisciplinair en omvatten zij ook ontwerpwerkzaamheden. De SE-wijzer is ontwikkeld vanuit het uitgangspunt dat de beschreven werkwijze toepasbaar is op het grootste deel van de projecten. Voor megaprojecten (zoals de HSL) gelden de basisprincipes uiteraard onverminderd. Wel kunnen bij zulke uitzonderlijke projecten voor de praktische uitwerking projectspecifieke oplossingen noodzakelijk zijn.



Figuur 3. Inpassing SE in technisch proces

Deel 1

Basisprincipes Systems Engineering



1 Betekenis van Systems Engineering

1.1 Aanleiding

Opdrachtgevers nemen steeds vaker steeds meer afstand van het technische ontwerp- en bouwproces. Er vindt een verschuiving plaats van deskundig naar professioneel opdrachtgeverschap. Ontwerptaken worden vaak geïntegreerd met de realisatie (en exploitatie) op de markt gebracht. Deze werkwijze vereist van BAM Infra een beheerste en transparante uitvoering van het gehele bouwproces. SE biedt de mogelijkheid deze beheersing en transparantie te realiseren en aan opdrachtgevers duidelijk te maken waarom welke keuzes in het ontwerp- en realisatieproces zijn gemaakt en welke resultaten hieruit volgen. Bovendien levert de transparantie inzicht in het verloop van de eigen processen. Hierdoor worden fouten voorkomen, processen geoptimaliseerd en fouten voorkomen of tijdig hersteld.

1.2 Wat levert Systems Engineering op?

Geleidelijk is binnen BAM Infra de overtuiging ontstaan dat SE kan bijdragen aan een effectieve en efficiënte uitvoering van de werkzaamheden. Als medewerkers in alle lagen en onderdelen van de organisatie SE goed toepassen, levert dat onder meer de volgende effecten op.

Aantoonbaarheid verantwoording kwaliteitsbewustzijn

Er kan worden aangetoond en onderbouwd dat het geleverde product goed is en aan de eisen voldoet. Hiermee is zowel de interne verantwoording tegenover directie en Raad van bestuur geregeld, alsook de verantwoording tegenover de opdrachtgever.

Vermindering faalkosten

Door telkens te controleren of ontwerp-oplossingen voldoen aan (afgeleide) eisen, wordt de kans verkleind dat in een laat stadium fouten worden ontdekt die dan

verstreckende gevolgen hebben en grote herstelkosten met zich meebrengen. De kans dat niet aan de klanteisen en -wensen wordt voldaan, wordt verkleind. Faalkosten worden tevens sterk verminderd doordat een betere communicatie ontstaat tussen diverse disciplines.

Efficiënte inzet van disciplines en onderaannemers

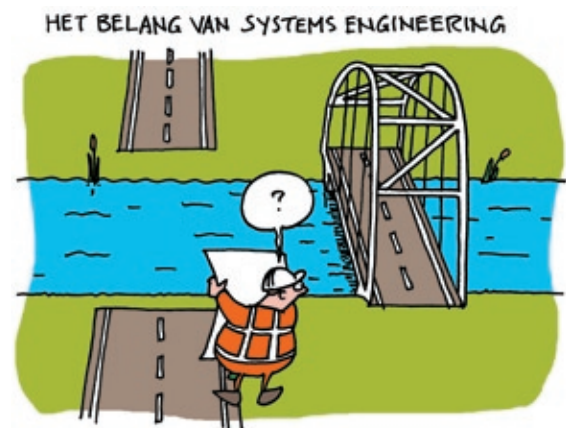
Grote, geïntegreerde contracten brengen met zich mee dat er grote, multidisciplinaire teams aan werken. Voor specialistische onderdelen zullen vaak onderaannemers worden ingeschakeld. Door slim eisenmanagement is het mogelijk met de betreffende partijen alleen over de relevante eisen te communiceren, maar tevens de raakvlakken met andere disciplines te bewaken.

Continuïteit in werkvoorraad

Het (kunnen) toepassen van SE is steeds vaker vereist om voor opdrachten in aanmerking te komen. Zeker wanneer aanbiedingen worden vergeleken op meer aspecten dan alleen prijs, is een eenduidige werkwijze voor SE van groot belang.

Inzicht in consequenties van wijzigingen

Als de opdrachtgever of eventueel 'de omgeving' wijzigingen aanbrengt in de specificaties, kan eisenmanagement snel inzicht



geven in de consequenties hiervan. Dit verkleint de kans dat fouten ontstaan door het niet (volledig) verwerken van wijzigingen. Overigens moet het wijzigen van specificaties zo veel mogelijk worden beperkt, omdat het veel (administratief) werk vraagt om alle consequenties ervan te verwerken. De realiteit leert dat juist opdrachtgevers te maken hebben met veranderende omstandigheden, waardoor zij lang niet altijd aan deze wens kunnen voldoen.

Expliciet inzicht in raakvlakken (raakvlakbeheersing)

Het expliciet afbakenen van een systeem en het onderverdelen daarvan in onderdelen en sub-onderdelen (decomponeren) geeft inzicht in de raakvlakken van het systeem met de omgeving en in de raakvlakken tussen de verschillende onderdelen. Met dit inzicht kan een goede inpassing van het systeem in de omgeving worden bevorderd en kunnen ook de objecten onderling goed worden afgestemd.

Flexibiliteit in inzet

Door de samenhang tussen eisen, objecten en raakvlakken expliciet in beeld te brengen, is het gemakkelijker om delen van het ontwerp bij iemand onder te brengen, zonder dat deze persoon zich in het gehele project hoeft in te lezen. Hierdoor ontstaat een grotere flexibiliteit in het inzetten van mensen.

1.3 Wat betekent SE voor de werkwijze?

Veroorzaakt SE nu een compleet andere werkwijze?

Nee, want de afwegingen, keuzes en activiteiten voor de ontwikkeling, het ontwerp, de realisatie en het beheer en onderhoud van infrastructuur veranderen inhoudelijk niet, alleen de stappen worden explicieter gemaakt. De inzet van vakdeskundigen in ontwerp en realisatie blijft van groot belang om optimale oplossingen te vinden en te realiseren, en om concurrentievoordeel te behalen.

Ja, want er wordt veel meer aandacht gevraagd voor het aantoonbaar en transparant maken van keuzes in het ontwerp- en realisatieproces en voor het vastleggen daarvan. Veel werkzaamheden die vanouds impliciet plaatsvonden, worden nu expliciet gemaakt. Voorbeelden daarvan zijn het registreren en beheren van eisen; het afleiden van eisen; het leggen van relaties tussen eisen, objecten en organisatieonderdelen; en het controleren of aan de eisen wordt voldaan.

In deze SE-wijzer is de werkwijze voor Systems Engineering voor BAM Infra vertaald in praktische afspraken en hulpmiddelen die hierbij ondersteuning bieden. Extra administratief werk en een grotere afhankelijkheid van ICT-hulpmiddelen zijn hierbij onvermijdelijk.

In de praktijk betekent de toepassing van SE onder meer dat:

- ♦ de vraag van de opdrachtgever systematisch wordt geanalyseerd, dat het resultaat wordt teruggekoppeld en dat de gegevens worden vastgelegd;

- ◆ eisen worden geregistreerd en beheerd, bijvoorbeeld in een eisenmanagement-systeem;
- ◆ beleids- en gebruikerseisen systematisch worden afgeleid tot het niveau van materiaal-eisen;
- ◆ relaties worden gelegd tussen eisen, objecten en organisatieonderdelen; hierdoor kunnen te overziene onderdelen van het werk worden toevertrouwd aan een bepaalde afdeling of functionaris;
- ◆ verificatie (controle of aan de eisen is voldaan) plaatsvindt, en wel door plannen te maken, controles uit te voeren en resultaten te registreren.

2 Basisprincipes en begrippen

2.1 Denken in systemen

De basis van Systems Engineering is het systeemdenken. Hierbij wordt een project of bouwwerk gezien als een systeem, dat omgeven is door andere, bestaande systemen (de projectomgeving of systeemcontext).

Een systeem omvat alle onderdelen die fysiek achterblijven en/of proceswijzigingen die worden beschouwd als het opgeleverde werk. Een voorbeeld van zo'n procesmatige verandering is het aanpassen van de dienstregeling. Als tijdelijke (ondersteunende) onderdelen, zoals wegomleggingen, bouwkuipen en hulpconstructies, een belangrijk onderdeel vormen van een project, kan ervoor gekozen worden deze ook in het systeem op te nemen, ook al blijven zij 'uiteindelijk' niet fysiek achter.

Een systeem bestaat uit verschillende systeemonderdelen, die objecten worden genoemd. Objecten bestaan op hun beurt weer uit onderliggende objecten. Bij een hiërarchische decompositie (opdeling) van een systeem ontstaat een aantal onderliggende systeemniveaus. Dit aantal kan variëren en is vooral afhankelijk van de omvang en de complexiteit van een systeem. In projecten is veelal sprake van begripsverwarring rondom de benaming van de systeemniveaus. *BAM Infra kiest ervoor de discussie hierover zo veel mogelijk te vermijden en te spreken van een systeem met objecten, zonder dat het nodig is de niveaus hiervan expliciet te benoemen.*

Elk object kan als een systeem op zich worden beschouwd. Voor een hoofdaannemer kan een systeem bijvoorbeeld bestaan uit een compleet kruispunt (infrastructuur en inrichting). Een onderaannemer kan de verkeersregelinstantie beschouwen als een zelfstandig systeem, omdat dit overeenkomt met de scope van zijn werkzaamheden.

In de praktijk blijkt dat vooral opdrachtgevers regelmatig de behoefte hebben om systeemniveaus wél te benoemen met specifieke termen. Er wordt dan meestal geredeneerd 'van laag naar hoog'. De indeling die vaak

wordt toegepast, kent als laagste niveau het elementniveau, daarboven komt het componentniveau en daarboven het objectniveau. Bij vier niveaus komt daarboven het systeem; bij vijf niveaus volgen subsysteem en systeem. Deze indeling heeft niet de voorkeur, onder meer omdat hierin het begrip object gekoppeld is aan één niveau, terwijl objecten systeemonderdelen zijn op alle niveaus.

De beperkingen van het toekennen van namen aan systeemniveaus blijkt onder meer uit het voorbeeld van het project Hanzelijn. Binnen dit project kan het deel 'Hanzelijn Nieuwe Land' beschouwd worden als systeem. De bouwdelen die hiervan deel uitmaken vormen de subsystemen. De daaronder vallende kunstwerken en wegen worden beschouwd als objecten, die op hun beurt weer gevormd worden door componenten (bijvoorbeeld landhoofd, brugdek, verharding in het geval van een viaduct) en elementen (straatstenen, prefab ligger). Voor een nadere detaillering is geen naamgeving meer beschikbaar en alle onderdelen van het systeem worden doorgegaans 'objecten' genoemd waaraan eisen gesteld worden (objecteisen).

2.2 Werkgrenzen en systeemgrenzen

Er is een duidelijk verschil tussen werkgrenzen en systeemgrenzen, waardoor beide lang niet altijd samenvallen. Werkgrenzen vormen op de bouwlocatie de scheiding tussen het terrein dat beschikbaar is gemaakt om het project uit te voeren en de omliggende gronden. Het gaat hierbij om een geografische grens. Systeemgrenzen vormen de scheiding tussen omringende, bestaande systemen en een nieuw te realiseren systeem. Deze zijn schijnbaar onafhankelijk van de locatie. Zo heeft de centrale bediening van een verderop gelegen brug raakvlakken met de lokale ondergrondse infrastructuur, maar ook met andere besturingssystemen van bruggen die vanaf dezelfde locatie worden bediend. De centrale bediening valt echter buiten de geografische werkgrenzen van de bouwlocatie. Omgekeerd kunnen binnen de

grenzen van een werkerrein systeemgrenzen voorkomen. Wel zijn deze dan meestal in de tijd gescheiden (bijvoorbeeld ruwbouw en tunneltechnische installaties).

2.3 Raakvlakken

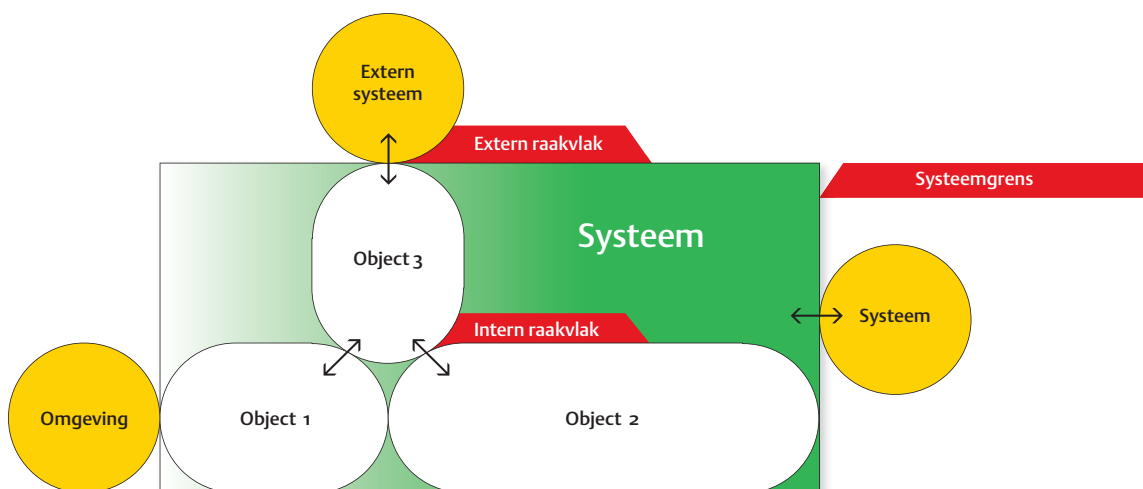
Plaatsen waar een systeem of een onderdeel daarvan de omgeving beïnvloedt en andersom, worden raakvlakken genoemd. Bij interactie tussen een systeem en zijn omgeving is sprake van externe raakvlakken; bij interactie tussen objecten binnen een systeem wordt gesproken van interne raakvlakken. De ervaring leert dat faalkosten vaak ontstaan op raakvlakken waar de wederzijdse beïnvloeding niet goed functioneert. Denk bijvoorbeeld aan bouwdelen die niet op elkaar aansluiten, aan logistieke planningsen die niet goed op elkaar zijn afgestemd en daardoor onnodige vertraging opleveren, of aan vertraging als gevolg van klachten uit de omgeving over geluids- of verkeersoverlast. De beheersing van raakvlakken (raakvlakmanagement) is dan ook een cruciaal onderdeel van SE. Het is in de eerste plaats van belang om raakvlakken zorgvuldig te inventariseren. Vervolgens moet bij het maken van keuzes inzake ontwerp en uitvoeringsmethodiek expliciet rekening worden gehouden met de raakvlakken. Daarna moeten,

FAALKOSTEN ONTSTAAN VAAK OP RAAKVLAKKEN



gedurende het gehele proces tot en met de oplevering, raakvlakken nauwlettend worden bewaakt. Naarmate het aantal objecten groter wordt, neemt uiteraard het aantal raakvlakken toe.

Een praktisch hulpmiddel om raakvlakken in kaart te brengen en te bewaken, is 3D-ontwerpen. Hierdoor komen problemen met aansluitingen tussen onderdelen van een ontwerp veel eerder aan het licht komen. Binnen BAM en ook bij veel ingenieursbureaus wordt dit hulpmiddel volop toegepast.



Figuur 4. Systeem met interne en externe raakvlakken

2.4 Decompositie

Een veel toegepaste techniek om grote hoeveelheden informatie overzichtelijk en toegankelijk te houden of te maken, is het ordenen in boomstructuren. Een andere naam hiervoor is decomponeren. Het komt erop neer dat het geheel van eisen, activiteiten, functies en objecten wordt ontrafeld en dat de verkregen onderdelen systematisch worden geordend in een structuur van hoofdonderdelen en onderliggende delen.

De winst voor de systematische beheersing van projecten ontstaat door relaties te leggen tussen de verschillende decomposities op verschillende niveaus. Dit is bijvoorbeeld het geval als de verantwoordelijkheid voor het uitvoeren van activiteiten (de WBS, zie hierna) wordt toegewezen aan een onderdeel van de organisatie (de OBS, zie hierna).

Binnen SE worden de volgende vijf decomposities onderscheiden:

1. System Breakdown Structure (SBS)

De *System Breakdown Structure* is een opdeling van het systeem in beheersbare objecten (systeemonderdelen). De SBS, ook omschreven als *systeemdecompositie* of *objectenboom*, groeit naarmate het ontwerp verder wordt gedetailleerd.

Voor de SBS zijn twee typen indeling mogelijk. Bij de geografische indeling wordt het project uitgesplitst naar fysieke deelgebieden en locaties. Hiermee wordt de herkenbaarheid vergroot. De disciplinegerichte indeling is gebaseerd op specialisten zoals kunstwerken, wegen, spoor en/of installaties.

Op basis van de structuur van BAM Infra bestaat de neiging om de SBS op te bouwen volgens de disciplinegerichte indeling. Dan kan namelijk de koppeling met BAM bedrijfsonderdelen worden gelegd. Het risico van deze indeling is echter dat de samenhang van het systeem te weinig aandacht krijgt.

De indeling van de SBS bepaalt in belangrijke mate de hoeveelheid en soort interne raakvlakken waarmee het projectteam in het vervolg te maken krijgt. Uitgangspunt hierbij moet zijn dat getracht wordt de interne raakvlakken tussen de verschillende disciplines zoveel mogelijk te beperken.

Om inzicht te krijgen in de hoeveelheid raakvlakken en de moeilijk te beheersen raakvlakken kan de zogenaamde kritische raakvlakanalyse of n2-chart-analyse worden toegepast. Hiermee kan ook worden geoptimaliseerd. Zie voor deze techniek het Handboek Opossingsvrij Specificeren, stap 4 raakvlakken [lit.4].

2. Work Breakdown Structure (WBS)

De *Work Breakdown Structure* is een gestructureerd overzicht van alle projectactiviteiten en wordt daarom ook wel *activiteitenboom* genoemd. De WBS is veelal te herkennen in het projectmanagementplan, wat bedoeld is om de uitvoering van de projectactiviteiten te beheersen. Een bij elkaar horende groep activiteiten wordt ook wel een *werkpakket* genoemd. In de WBS komen activiteiten voor in het kader van ontwerp en realisatie, maar ook ondersteunende werkzaamheden zoals projectbeheersing en projectmanagement. De WBS dient zo vroeg mogelijk te worden opgezet; bij voorkeur voordat de eerste activiteit daadwerkelijk begint. Door aan alle activiteiten van de WBS kosten toe te wijzen, ontstaat een beeld van het in totaal voor het project benodigde budget.

3. Organizational Breakdown Structure (OBS)

De *Organizational Breakdown Structure* is een opdeling van de (project)organisatie in logische eenheden, zoals wegen, kunstwerken en technische installaties. De OBS heeft vaak de vorm van een organisatieschema en wordt ook wel *organisatieboom* genoemd. Doorgaans sluit de organisatie-indeling aan op de disciplinegerichte structuur van BAM Infra (waaronder BAM Wegen, BAM Civiel en BAM Infratechniek). Als een project echter uit grote, goed te onderscheiden delen bestaat, is een geografisch georiënteerde opbouw te

overwegen. De verschillende specialismen kunnen daarbinnen gezamenlijk werken aan een integrale oplossing voor het betreffende deel van het project.

4. Requirements Breakdown Structure (RBS)

De *Requirements Breakdown Structure* of *eisenboom* is een hiërarchisch overzicht van eisen, bestaande uit 'top-eisen' op het hoogste niveau en afgeleide eisen eronder. Bij elke eis worden ook de bovenliggende en onderliggende eisen aangegeven. De opdrachtgever levert de basis voor de eisenboom; de opdrachtnemer bouwt de eisenboom verder op.

5. Functional Breakdown Structure (FBS)

De *Functional Breakdown Structure* wordt verkregen door een functionele analyse, waarbij de hoofdfuncties van een te realiseren systeem worden uitgesplitst naar onderliggende subfuncties en verdere functieniveaus. Deze structuur wordt ook wel de *functieboom* genoemd. Het doel van een functionele analyse en daarmee het opbouwen van een functieboom is te zorgen voor een oplossing die voldoet aan zowel de door opdrachtgever expliciet benoemde als de impliciete (gebruiks)eisen, oftewel *fit for purpose*.

Functies zijn gemakkelijk te herkennen door het gebruik van een werkwoord met een zelfstandig naamwoord. Voorbeelden zijn 'kruisen infra' of 'dragen belasting'.

2.5 Werkpakketten en WBS

De WBS is zoals vermeld een gestructureerde weergave van alle activiteiten die in het kader van een project moeten worden uitgevoerd. De WBS is feitelijk de decompositie (of boom) van activiteiten, beschreven in werkpakketten.

Werkpakketten zijn clusters van activiteiten die samen een logisch geheel vormen. Daarom zijn de activiteiten vaak ook bij dezelfde verantwoordelijke ondergebracht. De WBS wordt opgebouwd uit werkpakketten en onderliggende werkpakketten. Elk werkpakket wordt beschreven in een werkpakketdefinitie. Omdat

voor elk werkpakket een verantwoordelijke wordt aangewezen, is er een duidelijke relatie tussen WBS en OBS. Het werkpakket op het hoogste niveau, bijvoorbeeld 'het ontwerpen en realiseren van de tweede Coentunnel', wordt toegewezen aan de projectmanager; dit werkpakket bestaat uit de hoofdactiviteiten ontwerpen en realiseren. Deze hoofdactiviteiten worden uitgewerkt in twee onderliggende werkpakketten, waarvoor eveneens verantwoordelijken worden aangewezen. De onderliggende werkpakketten worden op hun beurt opnieuw uitgewerkt in diverse werkpakketten, enzovoort.

Overigens hoeft de structuur van de werkpakketten niet noodzakelijkerwijs overeen te komen met de structuur van het systeem. Evenmin hoeft een werkpakket de realisatie van een volledig object te omvatten.

In een werkpakket komen in elk geval de volgende onderwerpen aan de orde:

- ◆ de inhoud van het werkpakket, beschreven in activiteiten;
- ◆ het te leveren resultaat;
- ◆ de doorlooptijd (begindatum, einddatum);
- ◆ verwijzingen naar relevante specificaties;
- ◆ relaties met andere werkpakketten;
- ◆ relaties met de SBS, die aangeven op welke objecten de activiteiten betrekking hebben;
- ◆ het budget / de kosten;
- ◆ de eindverantwoordelijke voor realisatie van het werkpakket.

In het voorbeeld van een WBS op de volgende pagina, waarin de werkpakketten zijn aangegeven, kan aan elk werkpakket een verantwoordelijke worden toegekend. Met name in de lagere niveaus van ontwerpen en realiseren zal vaak de structuur van de SBS herkenbaar zijn. Hier verschijnen bijvoorbeeld werkpakketten als 'realiseren kunstwerk xyz'.

Relatie betaling en werkpakketten

In het contract met de opdrachtgever kan bepaald zijn dat betaling plaatsvindt op basis van volledig afgeronde werkpakketten. Vaak zijn ook restricties van toepassing voor de maximale

financiële omvang van werkpakketten, de looptijd en/of de inhoud ervan. Als een dergelijke betalingsregeling van toepassing is, zullen uit de eigen WBS (die primair voor de beheersing van het project wordt opgezet) de werkpakketten worden gekozen die de basis vormen voor de betaling door de opdrachtgever. Waar nodig worden splitsingen of samenvoegingen aangebracht om aan de eisen van bijvoorbeeld financiële omvang te kunnen voldoen. Het is van belang de betalingen enigszins gelijk op te laten lopen met de gemaakte kosten. Hier dient rekening mee te worden gehouden bij de indeling van werkpakketten en de toedeling van activiteiten binnen de werkpakketten.

2.6 Verificatie en validatie

2.6.1 Algemeen

Verificatie is een terugkerende activiteit in het technisch proces met het doel te voorkomen dat fout op fout ontstaat. Verificatie is niet meer en niet minder dan controleren of het resultaat van werkzaamheden (ontwerp of realisatie) voldoet aan de daarvoor geldende eisen. Deze controle moet plaatsvinden aan het einde van elke fase (bijvoorbeeld voorlopig ontwerp, definitief ontwerp, uitvoeringsontwerp), voordat een volgende fase gestart wordt. De resultaten van verificaties worden vastgelegd in verificatierapporten en verificatienota's.

2.6.2 Onderscheid verificatie en validatie

In de kern is de betekenis van beide begrippen hetzelfde, namelijk vaststelling of uitgevoerde activiteiten het vereiste resultaat hebben opgeleverd. Het onderscheid tussen verificatie en validatie wordt bepaald door het moment van controle en het type eisen.

Verificatie

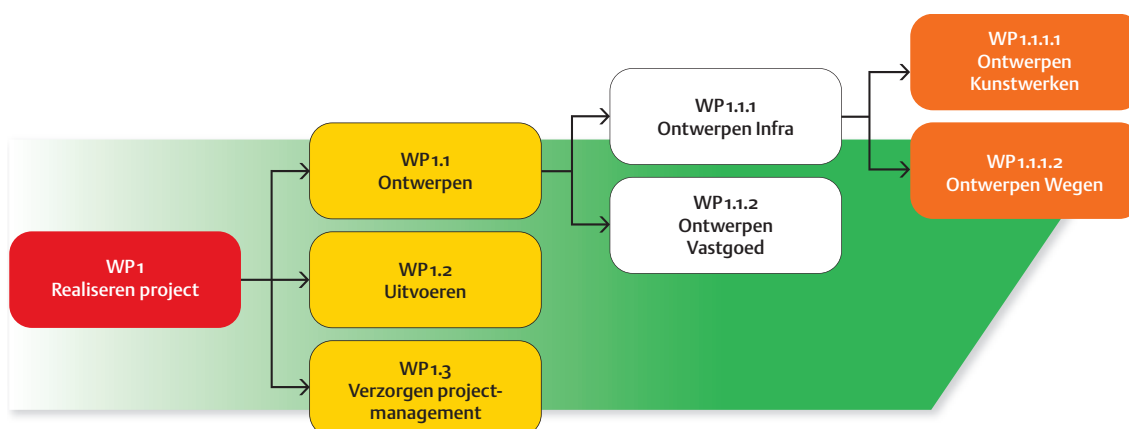
Verificatie omvat alle activiteiten die erop gericht zijn om aan te tonen dat aan alle eisen (en normen) wordt voldaan, inclusief de afgeleide eisen die noodzakelijk waren in het ontwerpproces.

Verificatie = Hebben we het *juist* gebouwd (of ontworpen)?

Verificatie hoeft niet per se gepaard te gaan met een aanvullende berekening, meting of analyse. Soms kan ook worden volstaan met de eenvoudige constatering dat aan een eis wordt voldaan, bijvoorbeeld op basis van een toelichting en een berekening met resultaat in een ontwerpnota, of op basis van een visuele controle.

Validatie

Validatie omvat die activiteiten die tot doel hebben aan te tonen dat voldaan wordt aan



Figuur 5. WBS opgebouwd uit werkpakketten

de gebruikseisen (en wensen) van de klant. Deze eisen zijn niet altijd gespecificeerd in meetbare criteria. Vooral na de realisatiefase, dus vlak voor de oplevering, is validatie van belang. Dan moet het gerealiseerde systeem immers de functie(s) kunnen vervullen die de opdrachtgever voor ogen had. Validatie kan worden beschouwd als bijzondere vorm van verificatie, waarbij specifiek gecontroleerd wordt of aan de initiële (gebruiks)eisen en wensen van de klant wordt voldaan.

Validatie = Hebben we het *juiste* gebouwd?

Deze omschrijving sluit aan bij de benadering van de UAV-gc. Daarin wordt de opdrachtnemer geacht te voldoen aan de eisen die voortvloeien uit het normale gebruik van het te realiseren systeem (fit for purpose); deze eisen hoeven niet altijd expliciet te zijn benoemd in de vraagspecificatie.

Normaal gesproken vindt validatie plaats aan het einde van het realisatieproces, vlak voor oplevering (of ingebruikname, als het contract ook exploitatie omvat). Op dat moment kan namelijk gecontroleerd worden of alle activiteiten tot gevolg hebben gehad dat wordt voldaan aan de klant- of gebruikseisen. In de praktijk blijkt echter dat het daadwerkelijk valideren van gebruikseisen lastig kan zijn. Stel dat een levensduureis van 50 jaar geldt. Feitelijk kan dan pas na 50 jaar worden aangetoond dat hieraan voldaan wordt. Een eis aan de capaciteit van een brugverbinding kan eventueel worden aangetoond met verkeerstellingen, maar het is gebruikelijker om uit te gaan van verificatie van een verkeerskundige berekening. In een aantal gevallen zal validatie van een gebruikseis dus bestaan uit een combinatie van verificaties van onderliggende eisen. Het is in ieder geval van belang om in een vroeg stadium met de opdrachtgever overeenstemming te bereiken over de validatiemethode voor de (gebruiks)eisen.

Voor veel zogenaamde 'off-the-shelf'-producten geldt dat bij het fabricageproces al is gevalideerd of zij (kunnen) voldoen aan bepaalde gebruikseisen. Deze producten hoeven dan niet opnieuw te worden gevalideerd (uiteeraard op voorwaarde dat de producten worden toegepast in een situatie die overeenstemt met de gebruikseisen die de fabrikant heeft aangehouden).

'Beoordeling op juistheid'

In het ontwerpproces is ook sprake van 'beoordeling op juistheid'. Deze term wordt gebruikt voor de 'reguliere controles' van ontwerpresultaten (tussen collega's onderling) gedurende het ontwerpproces. Deze tussentijdse controles vinden plaats vóór het formele verificatiemoment. Bij deze inhoudelijke beoordelingen van ontwerpproducten speelt de deskundigheid van de beoordelaar een belangrijke rol. Er worden drie niveaus van 'beoordeling op juistheid' onderscheiden:

Hoofdlijnen

Controle op onder meer: hoofdlijnen, hoofdmaatvoering, uitgangspunten, randvoorwaarden, raakvlakken en uitvoering grenstoestanden.

Details

Controle als op hoofdlijnen, aangevuld met: nalopen inhoud, doorlopen berekeningen, detailmaatvoering, verwijzingen naar specificaties en afstemming raakvlakken op andere ontwerpproducten.

Invalshoeken

Controle via andere invalshoeken, bijvoorbeeld door een onafhankelijke herberekening of met een vergelijkbaar rekenmodel.

2.6.3 Methoden voor verificatie en validatie

Binnen BAM Infra wordt een aantal standaardmethoden voor verificatie en validatie gehanteerd. Deze zijn gebaseerd op de Handreiking Functioneel Specificeren (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 26 september 2005) [lit.5]. In de praktijk worden deze methoden door de meeste (grote) opdrachtgevers erkend.

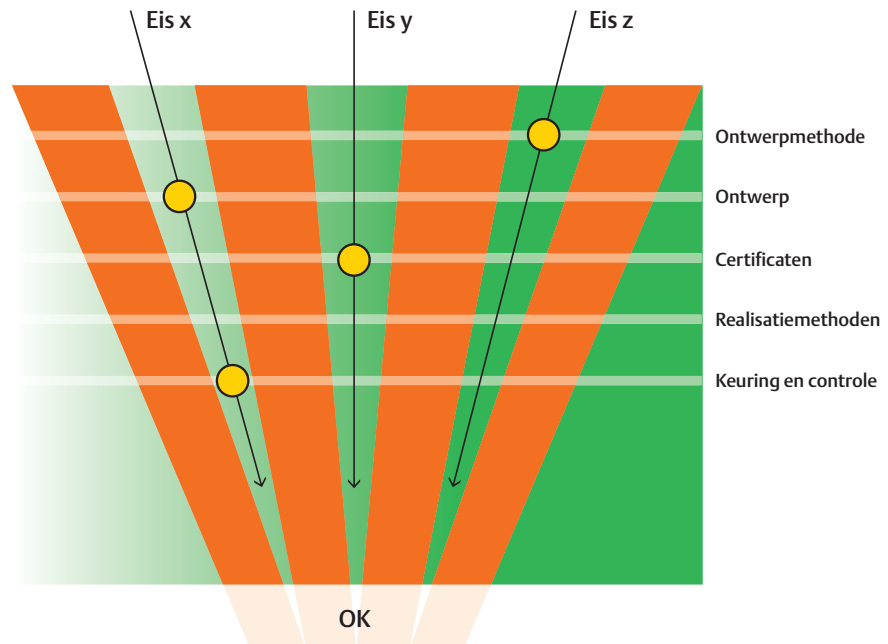
Tabel 1. Methoden voor verificatie en validatie

Methode	Afkorting	Toelichting
Documentinspectie	D	In de meeste gevallen wordt bij het ontwerp een documentinspectie gebruikt als verificatiemethode om na te gaan of aan de eisen is voldaan. Met andere woorden: er wordt beoordeeld of de ontwerp <i>resultaten</i> aan de eisen voldoen. (Uitgangspunt bij deze methode is dat berekeningen niet inhoudelijk getoetst worden.)
Analyse (berekening)	A	Met een herberekening of herontwerp wordt aangetoond dat het te controleren ontwerp voldoet aan de eisen.
Prototype	P	In geval van prototype wordt via een (schaal)model aangetoond dat aan een eis wordt voldaan.
Referentie	R	In geval van referentie wordt verwezen naar het gelijk zijn van het ontwerp, de eisen en de randvoorwaarden aan een ander ontwerp waarvan bewezen is dat het aan de eisen voldoet.
Meting	M	Op basis van metingen aan een gerealiseerd onderdeel kan worden gecontroleerd of aan de eisen wordt voldaan. Begrippen zoals Factory Acceptance Test (FAT), Site Acceptance Test (SAT) en System Integration Test (SIT) bestaan vaak voor een groot deel uit metingen. Zo kan de snelheid waarmee een sluis kolk wordt gevuld, worden vergeleken met de (gebruiks)eis die aan de sluis wordt gesteld.
Inspectie	I	Visuele controle of het object (of een onderdeel ervan) voldoet aan de daarvoor geldende eisen.
Onderliggende eisen	O	Als een eis onderliggende eisen heeft, dan hanteert BAM Infra de verificatiemethode 'onderliggende eisen'. Hiermee wordt gecontroleerd of een bovenliggende eis volledig wordt afgedekt door de onderliggende eisen. Is dit niet het geval, dan moet er een aanvullende eis worden geformuleerd om dit te compenseren. Als de opdrachtgever de vraagspecificatie heeft opgesteld, mag ervan worden uitgegaan dat hij ervoor gezorgd heeft dat de onderliggende eisen de bovenliggende eis volledig afdekken. Als (bij de eisenanalyse) blijkt dat dit niet zo is, moet de opdrachtgever hierover geïnformeerd worden.

2.6.4 Verificatie gedurende het technisch proces

Tijdens het technisch proces vindt continu verificatie plaats. Het is de bedoeling dat aan het eind van het proces kan worden aangetoond dat aan alle eisen wordt voldaan. Van een deel van de eisen wordt al in de ontwerpfase de verificatie afgerond. Voor een ander deel kan dit pas tijdens de realisatie gebeuren. En voor nog een ander deel van de eisen is verificatie pas mogelijk in de fase van onderhoud en beheer.

In figuur 6 is de verificatie voorgesteld als een soort trechter waar alle eisen doorheen moeten. De verificatiemomenten zijn aangegeven door een cirkel. Van elke eis wordt op een of meer niveaus in de trechter vastgesteld of er aan voldaan wordt. Zo komt 'Eis x' in figuur 6 voor in zowel het verificatieplan ontwerp als het keuringsplan voor de realisatie. Overigens verdient het de voorkeur om de verificatie van eisen zo veel mogelijk in de ontwerpfase af te ronden en te vertalen in een specificatie (berekening, tekening etc.).



Figuur 6. Verificatiemomenten in het technisch proces

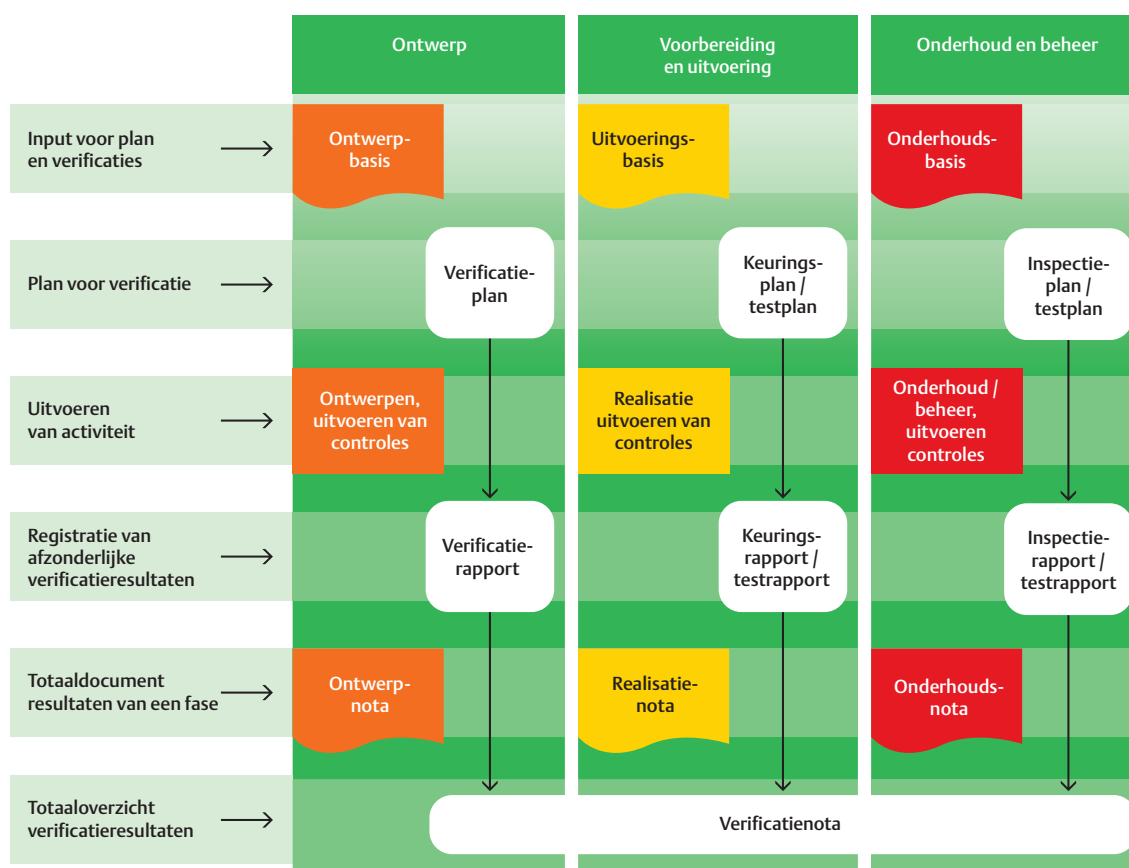
2.6.5 Documenten in relatie tot verificatie en validatie

In het traject vanaf de vraag van de klant, via ontwerp, realisatie en eventueel onderhoud en beheer, naar oplevering worden in het kader van verificatie en validatie plannen gemaakt, controles uitgevoerd en resultaten vastgelegd. In figuur 7 zijn de documenten die in het proces van verificatie en validatie tot stand komen, schematisch weergegeven. Hierbij zijn tevens de standaardbenamingen voor deze documenten aangegeven.

Verificatieplan / keuringsplan / inspectieplan

Dit plan, waarvoor verschillende namen worden gebruikt, beschrijft voor een object de manier en het moment waarop de daarvoor relevante verificaties (waaronder dus keuringen en inspecties) worden uitgevoerd. De kern van het verificatieplan bestaat uit een beschrijving van de verificatie-

methode. Deze kan worden aangevuld met gegevens over het geplande tijdstip en de frequentie. In de uitvoeringsfase wordt dit plan 'keuringsplan' genoemd, in de exploitatiefase 'inspectieplan'. Soms zijn de verificatiemethoden door de opdrachtgever voorgeschreven. Soms dient voor elke verificatiemethode de geldigheid te worden aangetoond; dit wordt dan de 'validatie van de verificatiemethode' genoemd.



Figuur 7. Naamgeving verificatiedocumenten per fase

Verificatierapport, keuringsrapport en inspectierapport

Verificaties, keuringen en inspecties worden geregistreerd door middel van een verificatierapport, keuringsrapport of inspectierapport. Deze rapportages geven afzonderlijke verificatieresultaten weer. Zo nodig wordt een verwijzing naar een bewijsdocument opgenomen.

Verificatienota

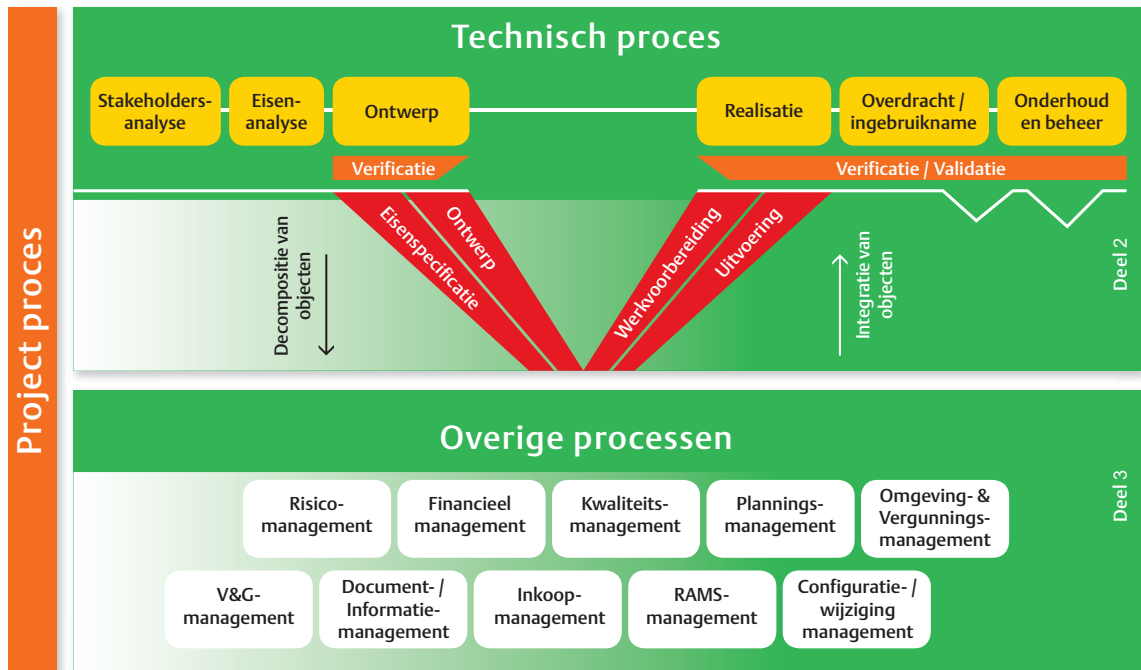
De verificatienota is een totaaloverzicht van verificaties, keuringen en inspecties over het gehele project. Waar nodig kunnen selecties gemaakt worden per object of per fase.

Deel 2

Het technisch proces



1 Inleiding



Figuur 8. Inpassing SE in het technisch proces

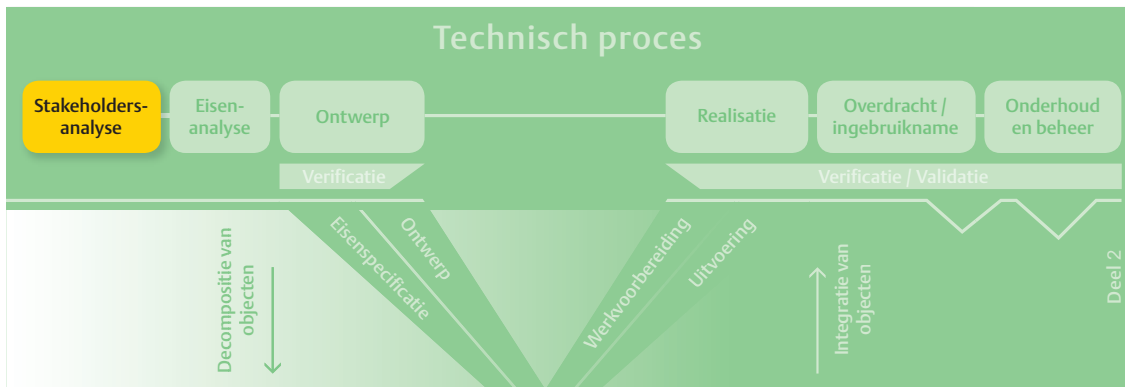
In dit deel is het technisch proces bij het toepassen van SE uitgewerkt. Figuur 8 toont, van links naar rechts, het verloop van het technisch proces. Dit begint bij de 'stakeholdersanalyse' en eindigt bij 'onderhoud en beheer'. De wijze waarop SE in de verschillende stappen van het technische proces is geïntegreerd is uitgewerkt in de bijbehorende hoofdstukken. Een aantal voor SE typische activiteiten wordt in de figuur benadrukt zoals verificatie en validatie gedurende alle stappen van ontwerp tot en met onderhoud en beheer en de samenhang tussen eisenspecificatie en het ontwerpen zelf in het ontwerpproces.

In dit deel is aan elke stap van het technisch proces een hoofdstuk gewijd. Elk hoofdstuk (met uitzondering van hoofdstuk 2) is op-

gebouwd volgens een vaste indeling:

- ◆ In de paragraaf *Achtergrond* wordt uitgelegd wat de relevantie van de stap in het technisch proces is voor SE. Ook worden de basisprincipes uitgelegd.
- ◆ De paragraaf *Werkwijze* geeft zo veel mogelijk praktische handreikingen voor de daadwerkelijke uitvoering van de stap in het technisch proces. Vaak gebeurt dat in de vorm van werkmethoden, volgordes, tips, trucs en dergelijke.
- ◆ De paragraaf *Hulpmiddelen/voorbeeld* behandelt (waar opgenomen) praktijkervaringen van BAM in relatie tot de betreffende stap in het technisch proces. Hierbij kunnen hulpmiddelen en modellen ter ondersteuning van de beschreven werkwijze worden gepresenteerd.

2 Stakeholdersanalyse



Figuur 9. Technisch proces – stakeholdersanalyse

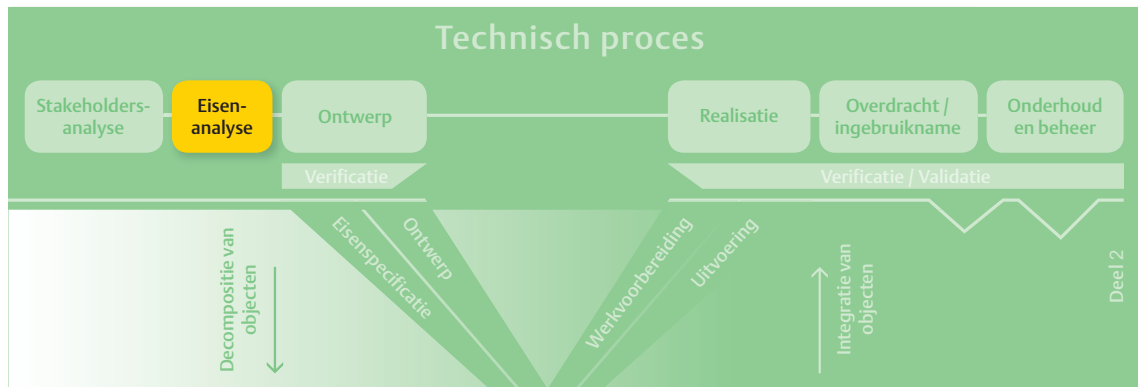
De eerste stap in het technisch proces is de stakeholdersanalyse. Deze stap wordt vrijwel altijd uitgevoerd door de opdrachtgever, ter voorbereiding op de eisenspecificatie. De stakeholdersanalyse houdt in dat alle belanghebbenden bij het project in beeld worden gebracht. Voor de opdrachtgever is het essentieel om in de specificatie zo goed mogelijk rekening te houden met alle belangen, omdat daardoor de haalbaarheid van het project wordt vergroot.

Ook voor de opdrachtnemer is een stakeholdersanalyse relevant. Door bij de uitwerking van specificatie, ontwerp en uitvoeringsmethode

rekening te houden met de diverse belangen, wordt namelijk de kans op bezwaren en vertragingen in een later stadium verkleind.

Omdat de stakeholdersanalyse bij het overgrote deel van de projecten door de opdrachtgever wordt uitgevoerd en de opdrachtnemende partij hier weinig invloed op heeft, wordt dit onderwerp in deze SE-wijzer verder buiten beschouwing gelaten. Wanneer aanvullende informatie nodig is, bijvoorbeeld voor bijzondere projecten zoals de A2-Maastricht of de 2^e Coentunnel, is het Handboek Oplossingsvrij specificeren van CROW [lit.4] een bron.

3 Eisenanalyse



Figuur 10. Technisch proces – eisenanalyse

3.1 Achtergrond

Zodra 'de vraag' van de opdrachtgever binnen is, kan de eisenanalyse beginnen. De opdrachtgever heeft zijn eigen eisen en die van de relevante stakeholders zo goed mogelijk weergegeven in een (vraag)specificatie. De overige contractdocumenten zoals de overeenkomst en annexen hangen daarmee samen. Dit vormt het startpunt van de eisenanalyse van BAM Infra.

De eisen en wensen kunnen heel globaal (oplossingsvrij) zijn geformuleerd, maar ook heel gedetailleerd en technisch ver uitgewerkt. Daarnaast kan de mate van detaillering per onderdeel verschillen. Hiervoor zijn twee verklaringen. De opdrachtgever wil zelf meer (of minder) invloed op de oplossing voor een bepaald onderdeel, of de opdrachtgever heeft voor zo'n onderdeel (nauwkeurige) afspraken met belanghebbenden gemaakt (moeten maken). Het is van belang om de vraag achter de vraag te kennen om mogelijke conflicterende eisen te ontdekken en te ontdekken waar de ontwerpvrijheid al dan niet beperkt wordt. Deze informatie, die via inlichtingenrondes en / of dialooggesprekken beschikbaar kan komen, is nodig om de concurrentiepositie betrouwbaar te kunnen vaststellen.

Voordat eisen nader worden gespecificeerd en met ontwerpen wordt begonnen, is een grondige analyse van de eisen van de opdrachtgever nodig. Het doel hiervan is tweeledig:

- ◆ correctie door de opdrachtgever van onduidelijk of 'niet-SMART' geformuleerde eisen;
- ◆ inzicht verkrijgen in de compleetheid en de hiërarchie van de eisenset.

Daarnaast geeft een goede eisenanalyse, in combinatie met de gunningscriteria, in een vroeg stadium inzicht in de kansen voor en beperkingen van het project. Dit inzicht is van belang om te bepalen volgens welke strategie het project wordt uitgewerkt.

De eisenanalyse bestaat uit de volgende onderdelen, die in de aangegeven subparagrafen worden toegelicht:

- ◆ Analyseren en structureren van eisen (3.2.1).
- ◆ Controleren op eenduidigheid en formulering (3.2.2).
- ◆ Overleggen met de opdrachtgever (3.2.3).
- ◆ Eisen verwerken en beheren (3.2.4).

3.2 Werkwijze

3.2.1 Analyseren en structureren van eisen

Het analyseren van de eisen van de opdrachtgever vindt plaats door alle eisen één voor één door te lopen. Meestal is dat een flinke klus, maar een goed inzicht in de daadwerkelijke vraag van de opdrachtgever verdient zichzelf terug. Deze activiteit kan het best worden uitgevoerd door een team van personen met verschillende achtergronden, geleid door de projectleider of tendermanager. De deelnemers vertegenwoordigen gezamenlijk de diverse disciplines die in het project van belang zijn. Zij moeten voldoende inzicht hebben in de technische aspecten en de proceseisen van de vraagstelling, maar vooral in staat zijn om verbanden en inconsistenties te ontdekken. Ze moeten dus niet al in oplossingen denken, maar 'slechts' zakelijk een analyse van de eisen uitvoeren.

Steeds vaker leveren opdrachtgevers de vraagspecificatie aan in een formaat waarin relaties tussen eisen tot uitdrukking komen. Toch verdient het aanbeveling om de aan-

geleverde structuur kritisch tegen het licht te houden en te beoordelen of een duidelijke en werkbare vraag wordt gesteld.

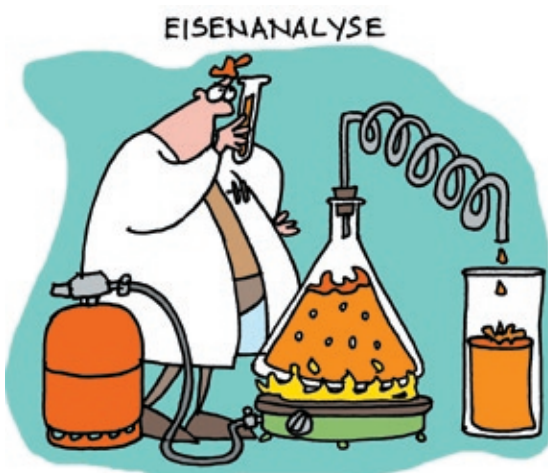
Doorgaans bestaat de specificatie van het te realiseren systeem uit een verzameling uiteenlopende eisen op verschillende detailniveaus. Het 'lezen' en begrijpen van zo'n bouwvraag is daarom vaak lastig. Er is dan behoefte aan structuur. Die kan worden bereikt door nauwkeurig de relaties tussen de eisen te bepalen. Hierdoor worden de eisen 'vanzelf' geordend en wordt feitelijk de eisenboom opgebouwd. Deze structuur maakt het gemakkelijker een beeld te krijgen van de (ontwerp)vrijheden en de risico's.

De typering van eisen levert in het spraakgebruik veel onduidelijkheid op en geeft daarom regelmatig aanleiding tot discussie. Om verwarring en problemen tegen te gaan, sluit deze SE-wijzer zo goed mogelijk aan bij de terminologie van de grootste opdrachtgevers, te weten Rijkswaterstaat en Prorail.

Bij het structureren van eisen kan het helpen om van elke eis het *type* en het *detailniveau* te bepalen. Op beide onderwerpen wordt hierna ingegaan.

Typering van eisen

Tabel 2 geeft een overzicht van de vijf typen eisen, met een omschrijving en diverse voorbeelden.



Tabel 2. Typering van eisen

Type	Omschrijving	Voorbeeld
Functie-eisen	Eisen aan te realiseren functies; geven aan 'wat het systeem moet kunnen doen'.	<ul style="list-style-type: none"> • Functie: afwikkelen van verkeer • Eis: minimaal 20.000 voertuigen per etmaal • Functie: afzuigen van rook • Eis: xx m³ / uur
Aspecteisen	Eisen aan ondersteunende functies ofwel 'aspecten' van het te realiseren systeem. Ze hebben betrekking op bijvoorbeeld: <ul style="list-style-type: none"> • RAMSHE (Reliability, Availability, Maintainability, Safety, Health, Environment) • Toekomstvastheid • Vormgeving • Beheer en onderhoud 	<ul style="list-style-type: none"> • De totale geluidsbelasting op de omgeving mag als gevolg van de realisatie van de verbinding niet toenemen. • De vormgeving dient te passen in het authentieke / monumentale karakter van het dorp.
Objecteisen	Eisen aan objecten, die betrekking hebben op bijvoorbeeld vorm, kleur, sterkte en afmetingen. Deze eisen ontstaan als gevolg van ontwerpkeuzen van zowel opdrachtgever als opdrachtnemer.	<ul style="list-style-type: none"> • Er dienen bitumineuze voegovergangen van het type xx te worden toegepast in de gehele weg.
Raakvlakeisen	Eisen als gevolg van relaties tussen het systeem en de omgeving van het systeem (externe raakvlakken) en tussen onderdelen van het systeem (interne raakvlakken).	<ul style="list-style-type: none"> • De verbinding dient aan te sluiten op de bestaande rijksweg A15 ter hoogte van xx. • Het signaleringssysteem dient te worden aangesloten op de reeds in gebruik zijnde verkeerscentrale in xx. • De overgang van bestaand asfalt naar nieuw asfalt dient zonder hoogteverschil gerealiseerd te worden.
Proceseisen	Eisen aan activiteiten die nodig zijn om het systeem tot stand te brengen.	<ul style="list-style-type: none"> • Heiwerkzaamheden mogen plaatsvinden op werkdagen tussen 08.00 uur en 19.00 uur. • Zandtransporten mogen niet plaatsvinden door woonwijk xx. • De ON dient voor aanvang van de werkzaamheden een DeelManagementPlan op te stellen en dit ter acceptatie in te dienen.

Loop de vraagspecificatie nauwkeurig door en markeer alle zelfstandige naamwoorden die naar een object verwijzen. Gebruik andere kleuren voor de functies (werkwoord met zelfstandig naamwoord) en de aspecten, de raakvlakken en de processen. Dit vergemakkelijkt het structureren van functies, eisen en objecten in een boomstructuur en geeft inzicht in de specificatie.

Regelmatig is niet geheel duidelijk in welke categorie een eis moet worden ondergebracht. Voorbeeld: 'De brug dient onderhoudbaar te zijn.' In dit geval wordt zowel het object 'brug', als het aspect 'onderhoud(baarheid)' genoemd en is sprake van een samengestelde eis. De nadruk ligt bij deze eis op de onderhoud(baarheid) en dus zou je deze eis als aspecteisen typeren.

In veel vraagspecificaties noemt de opdrachtgever ook 'randvoorwaarden'. Deze zijn in de meeste gevallen op te vatten als eisen die thuis horen in een van de categorieën uit tabel 2.

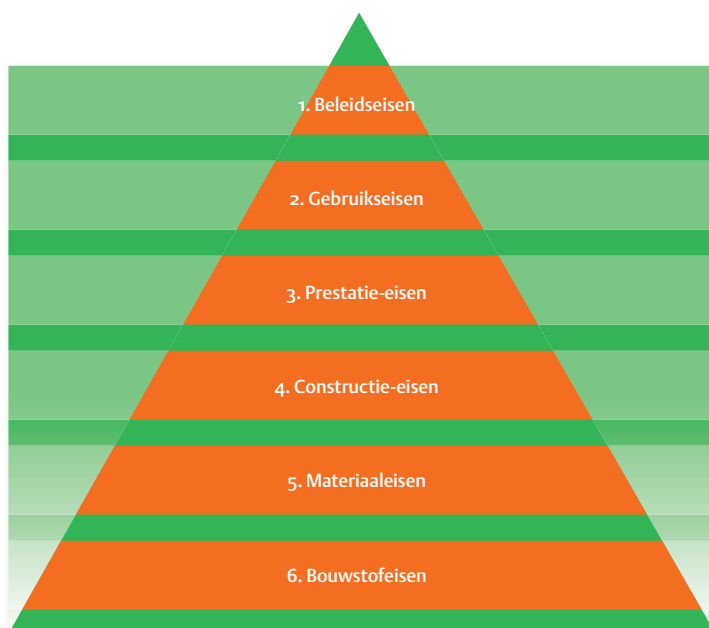
Ook de term 'prestatie-eisen' levert soms begripsverwarring op. Prestatie-eisen worden nog wel eens gezien als een nadere uitwerking of detaillering van functionele eisen. Ze zouden dan, in tegenstelling tot functionele eisen, meetbaar moeten zijn. In de classificatie zoals hier toegepast, moeten alle eisen van de specificatie verifieerbaar of valideerbaar zijn; anders is het immers niet mogelijk te beoordelen of er al dan niet aan voldaan wordt. Alleen de oorspronkelijke wens van de opdrachtgever kan nog niet-meetbare elementen bevatten. Deze worden echter zo snel mogelijk vertaald naar meetbare specificaties, waarover vervolgens overeenstemming met de opdrachtgever moet worden bereikt.

Detailniveaus van eisen

Een bruikbare benadering voor het onderbrengen van eisen in een structuur is de 'piramide van eisen' zoals genoemd in het

'Handboek Oplossingsvrij specificeren' van CROW [lit.4]. De piramide is afgebeeld in figuur 11. De zes detailniveaus kunnen als volgt worden omschreven:

1. *Beleidseisen* zijn gebaseerd op maatschappelijke doelstellingen en hebben betrekking op onder meer capaciteit en sociale veiligheid. Ze vormen input voor planologen, verkeerskundigen, stedenbouwkundigen etc.
2. *Gebruikseisen* hebben betrekking op het functioneren van een bouwwerk, zoals een weg. Ze zeggen bijvoorbeeld iets over de gewenste verkeersafwikkeling, het comfortniveau of de veiligheid. Deze eisen vormen de input voor onder anderen architecten en verkeerstechnische ontwerpers.
3. *Prestatie-eisen* geven richting aan de verwachte prestaties van onderdelen van een bouwwerk, bijvoorbeeld de verharding of de aardebaan. Prestatie-eisen vormen de basis voor de werkzaamheden van een constructief ontwerper.
4. *Constructie-eisen* hebben betrekking op het gedrag van (onderdelen van) de constructie. Ze zeggen bijvoorbeeld iets



Figuur 11. Piramide van eisen

over duurzaamheid, sterkte, stijfheid, vervorming of gevolgen van weersinvloeden. Ook de constructie-eisen maken deel uit van de input voor een constructief ontwerper.

5. *Materiaaleisen* bepalen mede de materiaalkeuze en de wijze van verwerking. Werkvoorbereider en hoofduitvoerder gebruiken deze eisen voor de materiaalkeuze en ter bepaling van de uitvoeringsmethode.

6. *Bouwstofeisen* gaan over grondstoffen voor bijvoorbeeld beton, zoals grind of cement of bitumen of vulstof voor asfalt. Ze worden in het algemeen beschreven in termen als treksterkte, breukrek en korrelverdeling.

In tabel 3 is als voorbeeld de piramide van eisen ingevuld voor het type objecteisen.

Tabel 3. Voorbeeld van een piramide van eisen, ingevuld voor het type objecteisen

Niveau	Voorbeeld eis
1. Beleidseisen	Door completering en aanpassing van het hoofdwegennet dienen de tien belangrijkste fileknelpunten te worden opgelost.
2. Gebruikseisen	De weg dient de reistijd tussen steden A en B te reduceren tot 30 minuten.
3. Prestatie-eisen	Er dient een vierstrooksautosnelweg gerealiseerd te worden van A naar B. De kruising met rivier xx dient gerealiseerd te worden door middel van een onderhoudsvrije constructie.
4. Constructie-eisen	De betonnen brug moet worden opgebouwd uit prefab liggers met een in situ druklaag. De wegconstructie dient te worden uitgevoerd in beton, met een zoab-deklaag.
5. Materiaaleisen	De rubberen oplegvoorziening dient een elasticiteitscoëfficiënt te hebben van xx. De in situ druklaag dient te worden uitgevoerd in hogesterktebeton van het type xx.
6. Bouwstofeisen	De opbouw van het hogesterktebeton dient als volgt te zijn: xx.

Typering en detailniveau in relatie tot oplossingsvrijheid

In het spraakgebruik wordt vaak onderscheid gemaakt tussen functionele en niet-functionele eisen. Met functionele eisen worden dan de eisen bedoeld die zodanig zijn geformuleerd dat ze (veel) ontwerp- of oplossingsvrijheid aan de opdrachtnemer laten. Hierbij wordt nogal eens over het hoofd gezien dat ook een objecteis die meestal tot de niet-functionele eisen wordt gerekend nog een grote oplossingsvrijheid kan bevatten (bijvoorbeeld wat betreft de constructie van een weg of de materiaalkeuze). De oplossingsvrijheid wordt veel meer bepaald door het detailniveau van de eis (van beleidseis tot bouwstofeis) dan door de typering (van functie-eis tot proces-eis). Daarom is het onderscheid tussen functionele en niet-functionele eisen niet zo praktisch.

	Functie-eis	Objecteis	Aspecteis	Proceseis	Raakvlakeis
Niveau 1 Beleidseis					
Niveau 2 Gebruikseis					
Niveau 3 Prestatie-eis		afgeleide eis	De veiligheid van motorrijders dient gewaarborgd te zijn		
Niveau 4 Constructie-eis		In bochten onderplanken plaatsen onderaan geleiderails			
Niveau 5 Materiaaleis	afgeleide eis	De onderplank dient te worden uitgevoerd in hetzelfde materiaal als de geleiderails			
Niveau 6 Bouwstofeis					

Figuur 12. Matrix van type eis en detailniveau van eis

Elke eis is van een bepaald type (zie tabel 2) en van een bepaald detailniveau (zie tabel 3). Door deze combinatie kan elke eis worden toegewezen aan een cel in de matrix van figuur 12. Als voorbeeld zijn hierin, met het oog op de veiligheid van de motorrijders, eisen opgenomen ten aanzien van geleiderail en onderplank. Als dat niet zo was, zou ook een barriër of een nog andere oplossing tot de mogelijkheden behoren. In dit geval is de opdrachtnemer gebonden aan de geleiderail met onderplank. Tenzij uit navraag bij de opdrachtgever blijkt dat deze bij het formuleren van de eis onbedoeld te veel van een gebruikelijke oplossing is uitgegaan. In dat geval komen ook andere, mogelijk innovatieve oplossingen in aanmerking.

Uitwerking eisenanalyse

Voor de uitwerking van de eisenanalyse kan tabel 4 een handig hulpmiddel zijn. Hierin komen van elke eis de volgende kenmerken aan de orde:

Allocatie

Aan welk organisatieonderdeel wordt de verantwoordelijkheid voor het voldoen aan de eis toegewezen? Hierin komt dus de relatie met de OBS tot uitdrukking.

Type

Wat is het type van de eis: functie-eis, aspecteis, objecteis, raakvlakeis of proceseis? Door dit te bepalen, kunnen eventuele tegenstrijdigheden aan het licht komen. Bijvoorbeeld als er enerzijds (objectvrije) functie-eisen worden gesteld, terwijl er anderzijds ook zodanige eisen aan een object worden gesteld dat hiermee de keuze voor het object al bepaald is.

Niveau

Wat is het niveau van de eis: beleidseis, gebruikerseis, prestatie-eis, constructie-eis, materiaaleis of bouwstofeis? De 'eisenpiramide' uit figuur 11 is het uitgangspunt voor de niveau-indeling. Inzicht in de niveaus geeft de ontwerp- en oplossingsvrijheden aan.

SBS

Is het mogelijk de eisen al te koppelen aan een of meer objecten? Duid het object of de objecten waarvoor de eis leidend is, aan met een "L", en de objecten waarmee de eis een raakvlak heeft, met een "X".

Tabel 4. Eisenanalysetabel

Eis	Type	Allocatie (OBS)	Werkpakket (WBS)	Niveau	SBS					
					Wegen	Bermbeveiliging	Markering	Kunswerken	VTTI	Kabels en leidingen
De veiligheid van motorrijders dient gewaarborgd te zijn	Aspect	BAM Wegen		Prestatie	L			X	X	
De geleiderail is in bochten voorzien van een onderplank	Objecteis	BAM Geleiderail	Aanbrengen bermbeveiliging	Constructie		L		X	X	X
De onderplank wordt uitgevoerd in hetzelfde materiaal als de geleiderail	Objecteis	BAM Geleiderail		Materiaal		L				

Raakvlakken

Om raakvlakken te kunnen analyseren en beheersen wordt voor elk raakvlak een 'raakvlakcontroleformulier' opgesteld. Op zo'n formulier wordt aangegeven welke raakvlakeisen gesteld zijn aan objecten en welke afspraken zijn gemaakt over de verantwoordelijkheid voor deze objecten. De raakvlakeis wordt opgenomen in het eisenmanagementsysteem.

De raakvlakbeheersing gaat als volgt in zijn werk:

- ◆ Raakvlakken worden geïnventariseerd tijdens het ontwerpcoördinatieoverleg en tijdens het uitvoeringsoverleg, of bij aanvang van het project in een apart raakvlakkeninventarisatieoverleg.
- ◆ Voor elk raakvlak wordt een raakvlakeigenaar benoemd, die verantwoordelijk is voor tijdige afstemming en het vastleggen van afspraken op het raakvlakkencontroleformulier.
- ◆ Afstemmingsmaatregelen worden als eisen opgenomen in de eisenboom.

- ◆ In het ontwerpcoördinatieoverleg en het uitvoeringsoverleg wordt regelmatig de status van raakvlakken besproken.

3.2.2 Controleren op eenduidigheid en formulering

Naast het aanbrengen van structuur (door het bepalen van type en niveau en koppeling met organisatieonderdelen) is ook de formulering van eisen een aandachtspunt in de analyse.

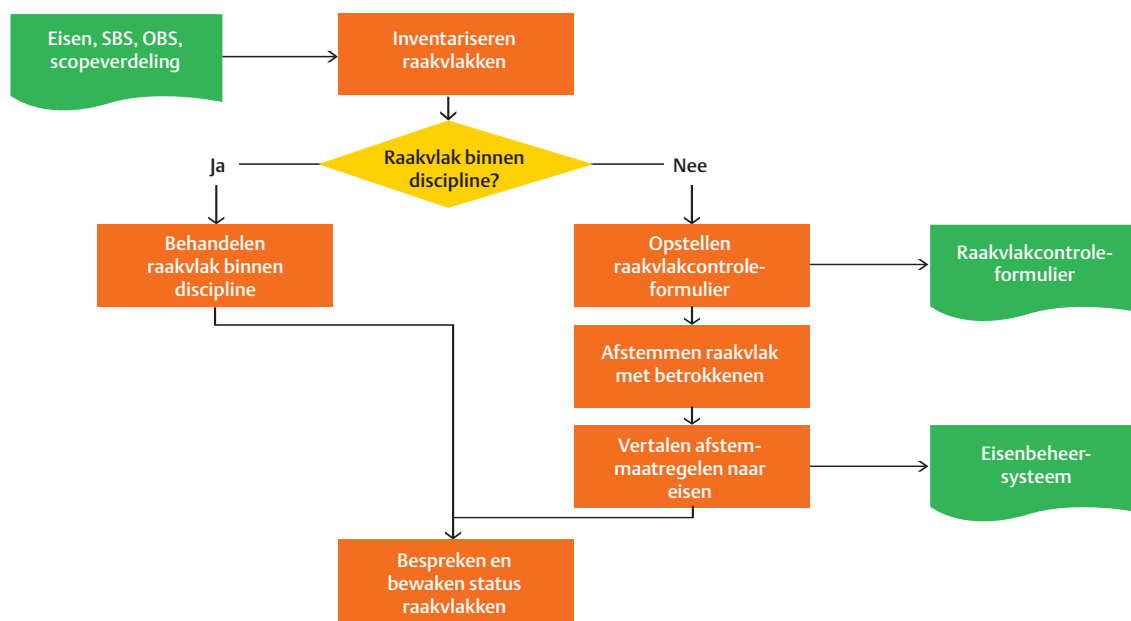
Opdelen van meervoudige eisen

Als de formulering van één eis feitelijk diverse eisen omvat, is het zaak dit geheel op te delen in afzonderlijke eisen en die op te nemen in het eisenmanagementsysteem.

Controleren op 'SMART'-formulering

Alle eisen dienen 'SMART' te zijn, om de kans op discussie met de opdrachtgever over het al dan niet voldoen aan de eisen te minimaliseren. SMART wil zeggen:

- ◆ Specifiek: is de eis eenduidig, dus voor slechts één uitleg vatbaar, beschreven?



Figuur 13. Werkwijze raakvlakken

- ♦ Meetbaar: bij welke kwaliteit wordt aan de eis voldaan? Eventueel wordt aangegeven binnen welke toleranties het resultaat mag vallen.
- ♦ Acceptabel: wordt de eis door de belanghebbenden in het project geaccepteerd?
- ♦ Realistisch: is de eis haalbaar en te realiseren?
- ♦ Tijdgebonden: wanneer moet aan de eis voldaan zijn?

De ervaring leert dat toepassing van het SMART-principe op zich niet automatisch leidt tot goed geformuleerde eisen. In het Handboek Oplossingsvrij specificeren (deel C, stap 1, paragraaf 3.2) geeft CROW meer aanwijzingen om mee rekening te houden bij het formuleren en afleiden van eisen. Deze aanwijzingen zijn ingedeeld in vier rubrieken en hebben betrekking op inhoud, vorm, context en traceerbaarheid.

3.2.3 Overleggen met de opdrachtgever

De resultaten van de eisenanalyse kunnen aanleiding zijn om bij de opdrachtgever om verduidelijking te vragen of om fouten aan te geven. Het gaat hierbij zowel om de omschrijving van eisen als om het verband tussen eisen onderling. Het is goed om dit gesprek te voeren vanuit de juiste rolverdeling. Dat wil zeggen met het onderscheid tussen een *professionele* opdrachtgever

en een (*inhoudelijk*) deskundige opdrachtnemer. Beide partijen moeten ervoor waken niet op de stoel van de andere partij plaats te nemen.

Als eisen niet SMART of anderszins onduidelijk zijn geformuleerd, is het van belang om verduidelijking te vragen. Immers, van eisen die niet SMART zijn, is het niet mogelijk om objectief aan te tonen dat er aan voldaan wordt (of niet). In aanbestedingstrajecten zal de communicatie meestal geformaliseerd verlopen via inlichtingenprocedures of dialooggesprekken.

Het is mogelijk dat de opdrachtgever bepaalde eisen niet méér SMART kan of wil formuleren. Om dan toch aan de slag te kunnen, moeten aannames worden gedaan. Op basis hiervan kan het specificatie-, ontwerp- en verificatieproces verder worden ingericht. Leg deze aannames duidelijk vast in het (aanbiedings)ontwerp en/of in een afzonderlijke brief.

Ook als niet alle eisen in voldoende mate zijn verduidelijkt of de structuur nog niet volledig consistent is, wordt op enig moment de eisen set ingevoerd in de database. Waar zich nog onduidelijkheden of openstaande vragen bevinden, wordt dit uiteraard bij de status aangegeven.

Mogelijk leidt beperking van de ontwerpvrijheid (doordat de opdrachtgever al veel object-eisen stelt) tot risico's. Deze worden vastgelegd in het risicodossier.

3.2.4 Eisen verwerken en beheren

Is de eisenset volledig geanalyseerd en voldoende duidelijk, vul dan de stand van dat moment in een beheersysteem in. Dit beheersysteem kan een 'simpele' Excelsheet zijn, maar ook een specifieke softwaretool. De keuze voor een systeem is afhankelijk van de grootte en complexiteit van het project en van de complexiteit van de eisenset. De werkwijze verschilt per systeem. Daarom wordt voor de praktische technieken verwezen naar de instructies bij de programmatuur.

Er kan voor gekozen worden om de vraagspecificatie direct in een beheersysteem in te voeren.

In dat geval kan het systeem ondersteuning bieden bij de hiervoor genoemde stappen. In het algemeen worden in het eisenmanagementsysteem in elk geval vastgelegd:

- ◆ de eisen;
- ◆ de bron / initiator (opdrachtgever of afgeleide interne eis);
- ◆ het eisnummer;
- ◆ per eis de relatie met boven- en onderliggende eisen (hierdoor ontstaat de eisenboom);
- ◆ per eis de relatie met FBS, OBS, SBS en WBS.

3.3 Hulpmiddelen/voorbeelden

3.3.1 Voorbeelden analyse SMART-formulering

Hierna worden twee voorbeelden gegeven van eisen die volgens het SMART-principe zijn uitgewerkt.

Eis	De rijstrookbreedte dient conform de NOA te zijn
Type eis	Objecteis (eis aan het object 'rijstrook')
Specifiek	Nee, de term NOA geeft nog te weinig richting; er moet worden aangegeven welke waarde uit de NOA van toepassing is
Meetbaar	Ja, in geval van specifieke verwijzing naar NOA-waarde wel
Acceptabel	Ja
Realistisch	Ja, normaal gesproken wel
Tijdgebonden	Niet aangegeven, normaal gesproken bij oplevering

Eis	De weg dient zo goed mogelijk te worden ingepast in het landschap
Type eis	Aspecteis
Specifiek	Nee
Meetbaar	Nee, om dit te kunnen bepalen moet concreter worden gemaakt wat zo goed mogelijk betekent en wat met inpassing wordt bedoeld
Acceptabel	Nee, de eis is te vaag waardoor de mogelijke consequenties te groot zijn
Realistisch	Ja, normaal gesproken wel
Tijdgebonden	Niet aangegeven, normaal gesproken bij oplevering

3.3.2 Raakvlakcontroleformulier

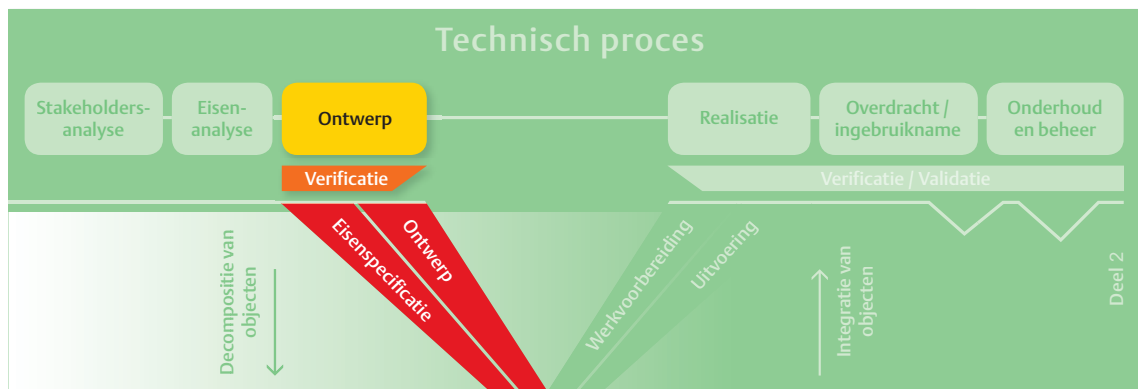
Definitie raakvlak	
Code raakvlak	Eiscode
Object	Titel
Met object	Omschrijving
Leidend object	Rakend object
Object	Object
Organisatie	Organisatie
Verantwoordelijke	Verantwoordelijke
Datum	
Revisie	
Gereed	
Blad	x van y

	Af te stemmen punten	Actie door	Datum planning	Status	Datum gereed
1					
2					
3					

	Afspraken	Voorlopig of definitief	Datum
1			
2			
3			

Afhandeling			
	Leidend object	Rakend object	Afgehandeld
Datum			
Handtekening			

4 Ontwerp



Figuur 14. Technisch proces – ontwerp

In de SE-wijzer omvat de stap 'ontwerp' zowel de eisenspecificatie als het feitelijke ontwerp, omdat deze twee activiteiten in de praktijk nauw met elkaar samenhangen. Dit hoofdstuk behandelt de twee activiteiten echter wel afzonderlijk. Eerst wordt ingegaan op de achtergrond van de eisenspecificatie (4.1), dan op die van het ontwerp (4.2). Hetzelfde gebeurt bij werkwijze (4.3 en 4.4) en bij hulpmiddelen/voorbeelden (4.5 en 4.6).

4.1 Achtergrond eisenspecificatie

De eisenspecificatie start na afronding van de eisenanalyse. In eerste instantie worden eisen afgeleid vanuit functies. Op basis hiervan worden ontwerpkeuzen gemaakt, die weer nieuwe eisen tot gevolg hebben. Dit is een herhalend proces. In het vervolg van dit hoofdstuk wordt dit mechanisme verder uitgewerkt.

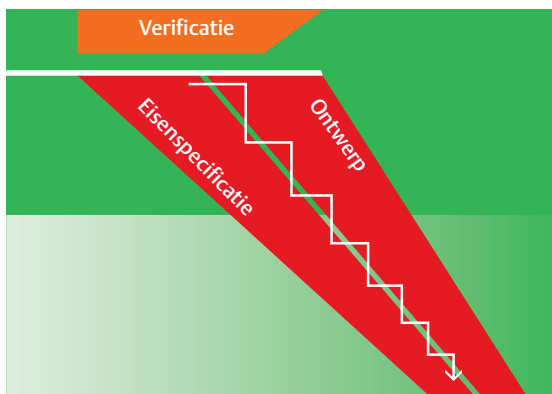
De oplossing (het ontwerp) wordt doorgaans zodanig gedetailleerd uitgewerkt dat deze kan functioneren en toegevoegde waarde levert. De uitwerking kan gaan tot het niveau van kant-en-klare (off-the-shelf) producten, die kunnen worden ingekocht en samengevoegd.

Als veel belang wordt gehecht aan innovatie en nieuwe oplossingen, is een eisenspecificatie aan de hand van een functionele analyse een goede methode. Hiermee is het tevens mogelijk om te verklaren dat het ontworpen systeem geschikt is voor het beoogde gebruik (fit for purpose).

Als snelheid en efficiëntie een grote rol spelen en/of bewezen technieken de voorkeur (lijken te) hebben, kan in een eerder stadium worden gekozen voor (standaard) oplossingen of bewezen technieken. Er hoeft dan geen uitgebreide functionele analyse te worden uitgevoerd. Omdat een functionele analyse eigenlijk wel vereist is bij Systems Engineering, zou het toepassen van 'standaardoplossingen' in dat geval vergezeld kunnen gaan van een bijbehorende 'standaard' functionele analyse en eisen-decompositie. Indien je deze 'standaard' toepast dient te worden gecontroleerd of deze van toepassing is in de betreffende projectspecifieke situatie (mogelijk raakvlakproblemen).

Samenhang van specificeren met ontwerpkeuzen

In de praktijk van BAM Infra gaan het afleiden van eisen en het ontwerpen gelijk op en is er beperkt aandacht voor de (zuivere) functionele analyse. Ontwerpkeuzen hebben invloed op de eisenspecificatie en andersom. Vaak wordt deze benadering (impliciet) vanuit het contract afgedwongen, doordat daarin al een groot deel van de SBS wordt gegeven. In figuur 15 is de gangbare werkwijze afgebeeld door een zigzaglijn op het grensvlak van ontwerp en specificatie. De eisenboom groeit in dit model mee met het uitwerken van de objectenboom; dat proces is in figuur 16 afgebeeld.



Figuur 15. Afleiden van eisen en ontwerpen gaan gelijk op

Behalve op deze herkenbare werkwijze kan het samenspel tussen ontwerpen en specificeren ook volgens twee andere modellen verlopen.

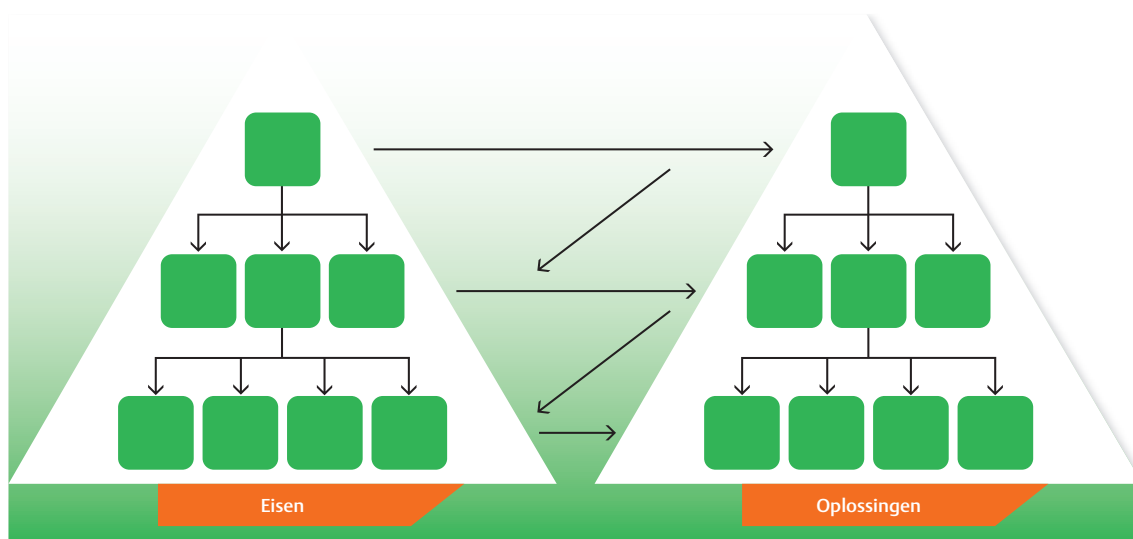
Het tweede model (figuur 17) is het meest zuivere model voor 'oplossingsvrij specificeren'. Hierin vindt eerst een volledige functionele analyse plaats. Op basis daarvan worden de eisen (tot in detail) afgeleid. Pas daarna start het ontwerpproces. Deze benadering kan onder meer haar diensten bewijzen bij de zoektocht naar innovatieve oplossingen. Vooral bij locatiegebonden projecten (bijvoorbeeld een stormvloedkering, rioolwaterzuivering, gebouwen

of kademuren) kan de oplossingsvrijheid groot zijn. Bij de realisatie van lijninfrastructuur waarvoor al een tracéwetprocedure is doorlopen, geldt daarentegen vaak een dusdanig beperkte oplossingsvrijheid, dat een uitgebreide functionele analyse niet zinvol is.

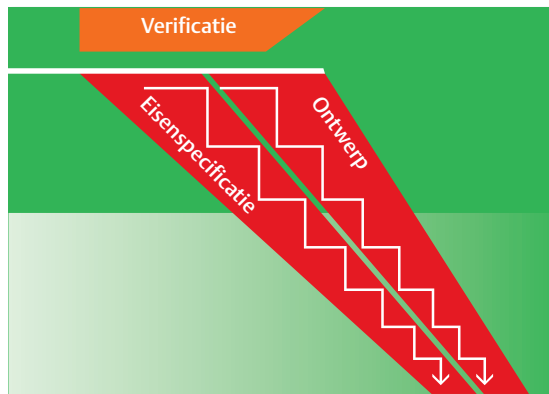
Een tussenvorm, die in de praktijk van BAM Infra regelmatig wordt gehanteerd, houdt in dat eerst, tot op een bepaald niveau, een oplossingsvrije specificatie wordt gemaakt (figuur 18). Daarna vindt het specificatieproces plaats in nauwe samenhang met de ontwerpkeuzen, volgens het eerste model (figuur 15).

4.2 Achtergrond ontwerp

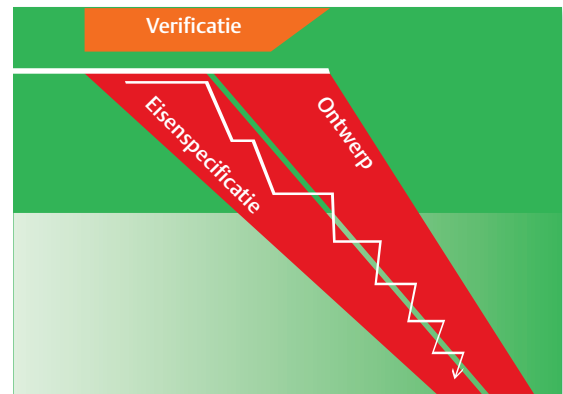
Het doel van het ontwerpproces is een concrete, realiseerbare oplossing te vinden die voldoet aan de eisen van de klant en aan de afgeleide specificatie daarvan. Het ontwerpproces vindt plaats op een steeds gedetailleerder niveau, net zo lang totdat het juiste niveau is bereikt om het ontwerp te kunnen realiseren. Als een volledig nieuwe constructie wordt ontworpen, kan het nodig zijn het ontwerp tot een zeer gedetailleerd niveau uit te werken; als een standaardoplossing wordt toegepast, volstaat soms een minder gedetailleerd ontwerp.



Figuur 16. Relatie groei SBS en eisenboom



Figuur 17. Het afleiden van eisen vindt plaats vóór het ontwerpen begint



Figuur 18. Tussenvorm

Door het maken van ontwerpkeuzen wordt de SBS steeds verder ingevuld met objecten. Waar in eerste instantie slechts enkele objecten op het hoogste niveau benoemd waren (tunnel, weg, installatie), krijgen deze objecten gedurende het ontwerpproces nader inhoud. De objecten worden daarbij gedecomposeerd (opgedeeld) in onderliggende objecten, die, op een lager niveau, een apart ontwerp behoeven en/of eigen eisen kennen. Een constructie kan bijvoorbeeld worden opgesplitst in fundering en draagconstructie. Hierdoor kan het funderingsontwerp apart worden uitbesteed of volgens een andere tijdsplanning worden uitgevoerd.

In de praktijk zal het detailleringsniveau van het ontwerpen meestal min of meer gelijk oplopen met het detailleringsniveau van de eisenspecificatie. Er is dan een wisselwerking tussen ontwerpen en (verder) specificeren. Ontwerpkeuzen leiden tot nieuwe afgeleide eisen, die weer de basis vormen voor ontwerpkeuzen op een lager detailniveau. Telkens als een object wordt opgesplitst, wordt opnieuw het voorgaande hoofdstuk eisen specificeren doorlopen voor de diepere slag. Na het specificeren van de eisen wordt op het nieuwe, weer meer gedetailleerde niveau een ontwerp gemaakt.

Een essentieel onderdeel van het ontwerpproces is de verificatie. Regelmatig wordt getoetst of de ontwerpkeuzen passen binnen de eisenspecificatie. Daarmee wordt voorkomen dat in een laat stadium fouten worden ontdekt die

grote herstelkosten tot gevolg hebben. Verificatie vindt normaal gesproken plaats bij afronding van een ontwerpfase (zoals schetsontwerp, voorlopig ontwerp, definitief ontwerp of uitvoeringsontwerp). Zeker als verschillende onderdelen door afzonderlijke teams worden ontworpen, is deze afronding het moment om de opgesplitste onderdelen samen te voegen tot één geheel. Dit wordt ook wel 'toetsen op integratie' genoemd.

In het kader van SE is aandacht voor risicomanagement (deel 3, hoofdstuk 1) en RAMS-management (deel 3, hoofdstuk 2) van groot belang, juist in de ontwerpfase. Risico- en RAMS-management helpen de gevolgen van ontwerpkeuzen voor het vervolg van het technisch proces (realisatie, gebruik) inzichtelijk te maken en keuzen te onderbouwen.

4.3 Werkwijze afleiden van eisen

4.3.1 Functionele analyse en afleiden van eisen

1. Vaststellen uitgangspunt

De basis voor het afleiden van eisen is de eisenspecificatie zoals die na de eisenanalyse is vastgesteld. Hierin zijn eventuele wijzigingen of verduidelijkingen door de opdrachtgever verwerkt. Waar dat wel gewenst maar niet mogelijk was, is dit met opmerkingen aangegeven. Om te kunnen bepalen in hoeverre een uitgebreide functionele analyse moet worden uitgevoerd, is ook inzicht nodig in de concur-



rentiepositie (bij een aanbestedingsprocedure) en in het ambitieniveau van de opdrachtgever (onder meer wat betreft innovatie).

In de praktijk wordt het uitvoeren van een functionele analyse zinvol geacht als de opdrachtgever slechts functie-eisen heeft gegeven. Als de opdrachtgever de vraag al zeer gedetailleerd en met slechts zeer beperkte oplossingsvrijheid heeft geformuleerd, heeft een functionele analyse geen zin.

2. Uitvoeren functionele analyse

Als het (voor onderdelen) zinvol is om een functionele analyse uit te voeren, start deze dan als basis voor het afleiden van de eisen.

Probeer de functies en subfuncties te ontdekken en te benoemen door telkens de vraag te stellen waartoe iets dient of wat er met een oplossing bereikt moet worden. Het is van belang hierbij zo abstract mogelijk te denken. Door de aandacht te concentreren op de *functies* in plaats van op gebruikelijke (standaard) *oplossingen*, ontstaat er zicht op andere manieren om dezelfde functies in te vullen.

Leg het resultaat van een functionele analyse vast in een functieboom. Een voorbeeld van een functieboom is gegeven in 4.5.1.

3. Afleiden van eisen

Het afleiden van eisen houdt in dat eisen nader worden gespecificeerd in (meer gedetailleerde) onderliggende eisen.

In de praktijk loopt het afleiden van eisen meestal gelijk op met het verder in detail

Eisen	Ontwerpen	Oplossing
Bereikbaarheid verbeteren ♦ congestie ♦ doorstroming	Brug, tunnel, pont	 → Brug
↓ Eisen aan brug ♦ belastingen ♦ vormgeving ♦ onderhoud	Aantal overspanningen, materiaal, esthetische alternatieven, etc.	 → Type brug
↓ Eisen aan brugconstructie ♦ belastingen ♦ onderhoud	Type dekconstructie, landhoofden, fundering	 → Type, dek, landhoofd, fundering etc.
↓ Eisen aan detaillering ♦ belastingen ♦ onderhoud	Soort voegovergangen, opleggingen, leuning, wapening, samenstelling beton	 → Bouwgeraad ontwerp

Figuur 19. Voorbeeld afleiden van eisen in samenhang met ontwerpen

ontwerpen van het te realiseren systeem. Ontwerpkeuzen beperken immers de oplossingsruimte en stellen eisen aan de verdere uitwerking van het ontwerp. Zo betekent de keuze voor een tunnel dat voor het ontwerp andere eisen moeten uitgewerkt dan bij de keuze voor een brug; er is bijvoorbeeld sprake van doorvaartdiepte in plaats van doorvaarthoogte en van waterdichtheid in plaats van windgevoeligheid. Door dit mechanisme groeit de eisenboom mee met de SBS. De relatie tussen elementen uit de SBS (objecten) en eisen uit de eisenboom wordt vastgelegd. Uitgangspunt is dat de eisen tot een dusdanig detailniveau worden uitgewerkt dat elementen 'uit het schap' of uit voorraad besteld kunnen worden.

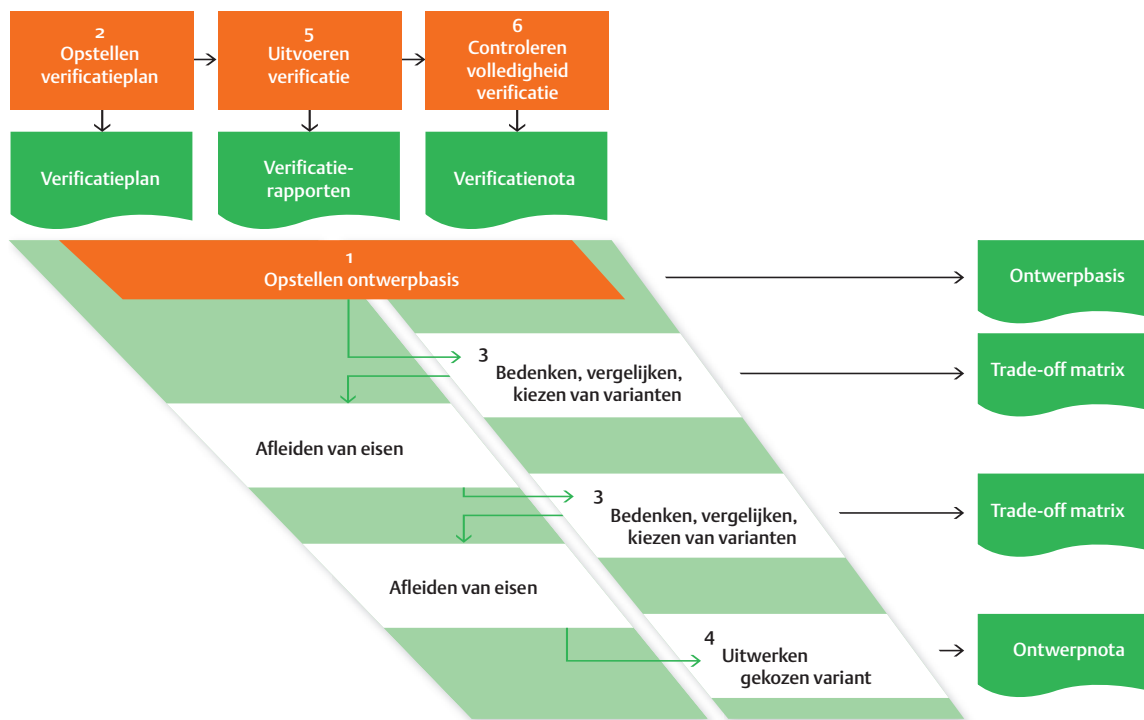
4.4 Werkwijze ontwerpen

In figuur 20 zijn de stappen van het ontwerpproces nader uitgewerkt. In het vervolg van deze paragraaf volgt per stap een toelichting. De nummering geeft de volgorde aan waarin

de stappen doorgaans worden uitgevoerd. De activiteiten die te maken hebben met het verificatieproces zijn aan de bovenzijde weergegeven; de activiteiten die het ontwerpproces vormen, zijn in de schuine vlakken daaronder afgebeeld. Tot besluit van deze paragraaf wordt iets gezegd over het eindresultaat van het ontwerpproces waarin Systems Engineering is toegepast.

1. Opstellen ontwerpbasis

Bij de start van een ontwerp, na de eisenanalyse, wordt een ontwerpbasis gemaakt. Deze kan worden opgesteld voor het totale project of desgewenst per te ontwerpen onderdeel. Een te ontwerpen onderdeel kan een object zijn, maar ook een bundeling van objecten. Zo is bij HSL3 – Zuid-Holland Midden een 'ontwerpbasis algemeen' gemaakt en vervolgens per 'object' (bijvoorbeeld tunnel, halfopen bak, doorgaand spoorviaduct en zettingsvrije plaat) een aparte ontwerpbasis. Een voorbeeld van een ontwerpbasis is opgenomen in 4.5.2.



Figuur 20. Ontwerpproces in stappen

In de ontwerpbasis komen minimaal aan bod:

- a. (ontwerp)uitgangspunten;
- b. normen en richtlijnen;
- c. bindende en niet-bindende documenten (waar juridisch overigens geen verschil tussen bestaat);
- d. (afgeleide) eisen;
- e. raakvlakken;
- f. risico's die voor een onderdeel relevant zijn;
- g. belasting en belastinggevallen;
- h. schematisaties en berekeningsmethoden.

Optioneel en afhankelijk van de vraagstelling van de opdrachtgever kunnen aanvullend gegevens worden opgenomen die de opdrachtgever per eis heeft geregistreerd, zoals eissoort en titel.

Laat bij voorkeur de structuur van de objecten (SBS) herkenbaar terugkomen in de ontwerpbasis, met telkens een verwijzing naar de eisen die in de eisenanalyse zijn toebedeeld aan de objecten. Controleer ook of alle toebedeelde eisen zijn opgenomen in de ontwerpbasis. In veel gevallen kan worden volstaan met een relatief eenvoudige eisencontrolematrix; hierin zijn alle eisen opgenomen plus een verwijzing naar de betreffende ontwerpbasis.

Met de ontwerpbasis moeten de ontwerpers voldoende informatie hebben om een goed ontwerp te kunnen maken voor het betreffende object.

2. Opstellen verificatieplan

Nadat de ontwerpbasis is gemaakt en voordat met het ontwerpen wordt gestart, moet een verificatieplan worden opgesteld. Dit moet voor elk te ontwerpen object gedaan worden. In het verificatieplan zijn onder meer het wie, wat, hoe en wanneer van de verificatie vastgelegd. De verificatie wordt bij voorkeur uitgevoerd door iemand anders dan de opsteller van de ontwerpnota. In deze ontwerpnota zijn naast het feitelijke ontwerp ook de verantwoording van en de toelichting bij het ontwerp beschreven. Een voorbeeld van een verificatieplan is opgenomen in 4.5.4.

Het verificatieplan bevat per eis in elk geval:

- ♦ het unieke identificatienummer (de eiscode);

- ♦ de tekst (omschrijving) van de eis;
- ♦ een verwijzing naar onderliggende eisen;
- ♦ de te hanteren verificatiemethode;
- ♦ een aanduiding van de functionaris die de verificatie gaat uitvoeren;
- ♦ een aanduiding van het verificatiemoment;
- ♦ een verwijzing naar het bijbehorende werkpakket;
- ♦ ruimte voor opmerkingen.

Optioneel en afhankelijk van de vraagstelling van de opdrachtgever kan per eis nog de volgende informatie aan het verificatieplan worden toegevoegd:

- ♦ de bron;
- ♦ de allocatie;
- ♦ een verwijzing naar bovenliggende eisen;
- ♦ een verwijzing naar de gesignaleerde risico's uit het risicodossier;
- ♦ het aanvaardingscriterium.

Vul bij de aanduiding van het verificatiemoment de fase in waarin wordt gecontroleerd of is voldaan aan de eis. Dit is dus ontwerp, werkvoorbereiding, uitvoering of onderhoud. Eventueel kunnen binnen deze fasen deelprocessen worden benoemd. Voor de ontwerpfasen zijn dat bijvoorbeeld schetsontwerp en uitvoeringsgereed ontwerp. Alle eisen die als moment 'ontwerp' hebben, worden vóór het afronden van de ontwerpnota geverifieerd. De eisen met 'werkvoorbereiding' als verificatiemoment worden in eventuele werkplannen afgedekt. De eisen met 'uitvoering' worden geverifieerd door keuringen en testen tijdens de uitvoering.

Voor sommige eisen kan zowel de ontwerpfasen als de realisatiefase een voor de hand liggend verificatiemoment zijn. Dit geldt bijvoorbeeld voor de eis: 'er dient op het geluidsscherm een anti-graffiti coating te worden aangebracht'. In dit geval zou de specificatie voor de coating in de ontwerpfasen geverifieerd kunnen worden. De controle of de coating daadwerkelijk is aangebracht, wordt uitgevoerd door een inspectie in de uitvoeringsfase.

De ruimte voor opmerkingen kan worden gebruikt om eventuele uitgangspunten

duidelijk te maken. Dit is vooral handig als het verificatieplan ter acceptatie naar de opdrachtgever gaat. In dit veld kan bijvoorbeeld worden vermeld dat beton per definitie als vandalismebestendig wordt gezien. Dit om eventuele discussie achteraf te voorkomen. Het heeft echter de voorkeur om mogelijke discussies zo veel mogelijk af te dekken door een grondige eisenanalyse en SMART-geformuleerde eisen.

3. *Bedenken varianten, vergelijken en kiezen*
 Probeer voor een object verschillende ontwerpvarianten te bepalen. Werk vervolgens alleen die varianten verder uit die de mogelijkheid in zich hebben om aan alle eisen te voldoen. Als een variant die erg interessant lijkt, niet aan de eisen kan voldoen, is het te overwegen om bij de opdrachtgever een wijzigingsvoorstel in te dienen.



Gebruik om de realistische varianten te vergelijken een trade-off matrix (zie 4.5.3 voor een voorbeeld). De kritische eisen, de kostenindicatie en de risico's van de diverse varianten worden in tabelvorm met elkaar vergeleken. Kies op basis van deze vergelijking een van de varianten. Een bijkomend voordeel van een trade-off matrix is dat de keuze achteraf herleidbaar is.

4. *Uitwerken gekozen variant en vastleggen in ontwerpnota*

Werk de gekozen variant uit tot het benodigde detailleringniveau in de betreffende fase. Uiteindelijk moet de uitwerking zodanig zijn dat er geen onduidelijkheden meer zijn in de uitvoering of dat elementen 'uit het schap' of uit voorraad besteld kunnen worden.

De uitwerking wordt vastgelegd in een ontwerpnota die bestaat uit tekeningen, berekeningen en een toelichting/verantwoording.

5. *Uitvoeren verificatie*

Bij afronding van een ontwerpfase vindt verificatie plaats volgens het verificatieplan. Verificatieresultaten worden vastgelegd in een verificatierapport, waarin per eis de volgende informatie wordt geregistreerd:

- ◆ uniek identificatienummer (eiscode);
- ◆ omschrijving eis (met eisnummer);
- ◆ verificatieresultaat (wordt wel of niet voldaan aan de eis?);
- ◆ (verwijzing naar) bewijsdocument;
- ◆ een beschrijving van de wijze waarop de relevante risico's worden beheerst;
- ◆ aanduiding van de functionaris die de verificatie heeft uitgevoerd;

Als in een verificatierapport wordt aangegeven dat niet (aantoonbaar) wordt voldaan aan een eis, dan zijn maatregelen nodig. Deze kunnen bestaan uit het aanpassen en/of aanvullen van het ontwerp, het uitvoeren van een aanvullende controleberekening en het opnieuw verifiëren. De resultaten van de herziene verificatie worden analoog aan de oorspronkelijke verificatie vastgelegd in een nieuw verificatierapport.

Het is aan te bevelen om zo veel mogelijk eisen te bundelen in één verificatierapport. Daarmee wordt onnodig papierwerk voorkomen. Bundeling kan bijvoorbeeld plaatsvinden op basis van de functionaris die de verificaties uitvoert of op basis van de SBS.

6. *Controleren volledigheid*

De verificatienota is een totaaloverzicht van geplande en uitgevoerde verificaties,

keuringen en inspecties over het gehele project. Er worden selecties gemaakt, bijvoorbeeld per object of per fase. Hierdoor wordt het gemakkelijker om te controleren of de verificaties daadwerkelijk zijn uitgevoerd.

De verificatienota bevat in elk geval de volgende informatie per eis:

- ◆ uniek identificatienummer (eiscode);
- ◆ omschrijving eis (met eisnummer);
- ◆ de traceerbaarheid naar de eisen uit de vraagspecificatie;
- ◆ een verwijzing naar de bijbehorende verificatie-, keurings- of inspectierapporten;
- ◆ een overzicht van de geconstateerde afwijkingen en de maatregelen ter correctie en/of preventie;
- ◆ een aanduiding van de functionaris die de verificatie heeft beoordeeld en geautoriseerd.
- ◆ een verwijzing naar het bijbehorende werkpakket.

Eindresultaat ontwerp

Het eindresultaat van het ontwerpproces waarin Systems Engineering is toegepast, bestaat uit een uitvoeringsgereed ontwerp van het te bouwen systeem, vastgelegd in een ontwerpnota bestaande uit tekeningen, berekeningen en rapporten. Het verschil met het resultaat van een traditioneel ontwerpproces is dat de relatie met

de WBS, OBS en de eisenboom herkenbaar is vastgelegd.

4.5 Hulpmiddelen/voorbeelden

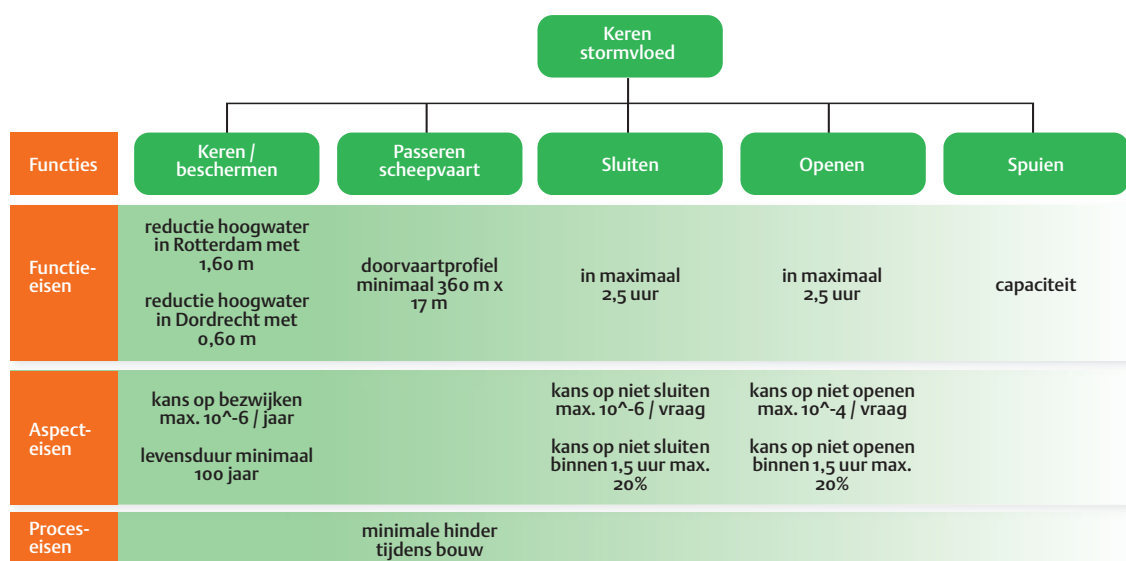
4.5.1 Voorbeeld functionele analyse

De stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg is een goed alternatief voor kostbare dijkverhoging in Zuid-Holland. De vraag van de opdrachtgever was: 'Ontwerp en bouw een stormvloedkering die de maatgevende hoogwaterstanden in Rotterdam met 1,60 m reduceert en die in Dordrecht met 0,60 m.' De hieruit afgeleide functieboom is weer gegeven in figuur 21.

4.5.2 Voorbeeld inhoudsopgave ontwerpbasis

In de opbouw van een ontwerpbasis zouden in elk geval de volgende hoofdstukken en/of paragrafen moeten voorkomen:

- ◆ Inleiding
- ◆ Algemeen
- ◆ Procedurele eisen
- ◆ Leeswijzer
- ◆ Normen en richtlijnen
- ◆ Omgevingscondities en randvoorwaarden
- ◆ Raakvlakken
- ◆ Eisen aan het object
- ◆ Bijlagen



Figuur 21. Voorbeeld functieboom stormvloedkering

En zo nodig ook:

- ◆ Materialen
- ◆ Algemene berekeningsmethoden
- ◆ Belastingen en belastingcombinaties

4.5.3 Voorbeeld trade-off matrix

Alternatieven	L-wand van beton	Permanente damwand-constructie	Gewapende grond
Fasering / werkwijze			
	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Ontgraven ◆ Bouw betonnen L-wand ◆ Aanbrengen drainage ◆ Aanvullen met Argex ◆ Aanbrengen voegprofiel 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Ontgraven ◆ Aanbrengen damwand ◆ Aanbrengen drainage ◆ Aanbrengen gording ◆ Aanbrengen ankers ◆ Aanvullen met grond ◆ Aanbrengen betonsloof op damwand ◆ Aanbrengen voegprofiel 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Ontgraven ◆ Aanbrengen stelprofielen ◆ Aanbrengen geotextiel ◆ Aanbrengen Argex
Kritische eisen / kosten bepalende factoren			
Levensduur 50 jaar	voldoet	voldoet	voldoet
Effectiviteit	minder effectief, geen gronddrukken tegen wand, wel hogere belasting ondergrond	effectief, geen gronddrukken tegen wand	zeer effectief, geen gronddrukken tegen wand én grond vervangen door lichte materialen
Ontwerp aantoonbaarheid	voldoende	voldoende	voldoende
Onderhoud	geen	geen	inspectie?
Raakvlakken			
Planning	20 weken	11 weken	10 weken
Logistiek / bereikbaarheid	Opstel mogelijkheden voor kraan te beperkt	Grotendeels via kopse zijde, maar ook via werkstrook	Bijna volledig mogelijk via kopse zijde werkgebied
Ruimtebeslag	Groot, ter plaatse van werkzaamheden en opslag is werkstrook nodig	Gemiddeld	Beperkt
Kostenindicatie			
Raming	€ 1.400.000,--	€ 500.000,--	€ 400.000,--
Procentueel	350%	120%	100%
Bandbreedte: maximaal	€ 1.550.000,--	€ 535.000,--	€ 475.000,--
Bandbreedte: minimaal	€ 1.050.000,--	€ 460.000,--	€ 335.000,--

Risico (tot aan oplevering)				
	Risico Geld		nieuwe of gebruikte damwand	verlies / breuk Argex
	Risico Tijd			
	Risico Kwaliteit		invloed trillingen op wanden	
	Risico Veiligheid	hijswerk boven weg		
	Risico Omgeving			
Oordeel Gegadigde	Voldoet niet		Minder gunstig	Voldoet
Definitieve Variant				Gekozen variant

Legenda:

Voldoet	Beperking / minder gunstig	Voldoet niet
---------	----------------------------	--------------

4.5.4 Voorbeelden verificatieplan

Verificatieplan nr.		12	Datum		11 maart 2008			
Object		Spoorstelsel	Versie		1			
Eiscode	Eistekst	Onderliggende eisen	Verificatiemethode	Uitvoering verificatie door	Verificatiemoment	Risico (verwijzing)	Opmerkingen	Werkpakket nummer
7.4	Spoorstelsels dienen te zijn voorzien van spoorstaven type 54 E1 met een minimale lengte van 120 meter.	7.4.1	Onderliggende eisen	Ontwerpleider	Ontwerpfase			
7.4.1	Spoorstaven op locaties met een boogstraal kleiner dan 3000 meter dienen te zijn uitgevoerd als MHH spoorstaaf incl. de daartoe benodigde speciale lassen.	7.4.1.a	Onderliggende eisen	Ontwerpleider	Ontwerpfase			
7.4.1.a	Spoorstaven op locaties met een boogstraal kleiner dan 3000 meter dienen te zijn uitgevoerd als MHH spoorstaaf incl. de benodigde speciale lassen bij MHH art. nr. 250280 vormen UIC54 SoW5 L75 volgens parameter thermietlassen rev. 5.	-	Documentinspectie	Ontwerpleider	Ontwerpfase			

Eiscode	Eistekst	Onderliggende eisen	Verificatiemethode	Uitvoering verificatie door	Verificatiemoment	Risico (verwijzing)	Opmerkingen	Werkpakket nummer
1.1	De opdrachtnemer dient ermee rekening te houden dat het waterpeil in het aangrenzende kanaal wordt verhoogd.	-	Document-inspectie	Ontwerpleider civiel	Ontwerp			
2.3	De nuttige kolk lengte tussen de stopstrepen dient 225 meter te bedragen.		Document-inspectie	Ontwerpleider civiel	Ontwerp			

4.5.5 Voorbeelden verificatierapport

Eiscode	Eistekst	Onderliggende eisen	Verificatie-methode	Resultaat	Bewijs-documenten	Datum verificatie	Uitvoering door	Opmerkingen	Werkpakket nummer
7.4	Spoorsystemen dienen te zijn voorzien van spoorstaven type 54 E1 met een minimale lengte van 120 meter.	7.4.1	Onderliggende eisen	Voldoet	Ontwerpbasis	10 maart '08	Ontwerpleider		
7.4.1	Spoorstaven op locaties met een boogstraal kleiner dan 3000 meter dienen te zijn uitgevoerd als MHH spoorstaaf incl. de daartoe benodigde speciale lassen.	7.4.1.a	Onderliggende eisen	Voldoet	Ontwerpbasis	10 maart '08	Ontwerpleider		
7.4.1.a	Spoorstaven op locaties met een boogstraal kleiner dan 3000 meter dienen te zijn uitgevoerd als MHH spoorstaaf incl. de benodigde speciale lassen bij MHH art. nr. 250280 vormen UIC54 SoW5 L75 volgens parameter thermietlassen rev. 5.	-	Document-inspectie	Voldoet	Ontwerppnota 231839	10 maart '08	Ontwerpleider		

Eiscode	Eistekst	Onderliggende eisen	Verificatie-methode	Resultaat	Bewijs-documenten	Datum verificatie	Uitvoering door	Opmerkingen	Werkpakket nummer
1.1	De opdrachtnemer dient er mee rekening te houden dat het waterpeil in het aangrenzende kanaal wordt verhoogd.	-	Documentinspectie	Voldoet	Ontwerpnota 1234	8 maart '08	Ontwerpleider		
2.3	De nuttige kolk lengte tussen de stopstrepen dient 225 meter te bedragen.	-	Documentinspectie	Voldoet	Ontwerpnota 3421, tekening xyz	9 maart '08	Ontwerpleider		

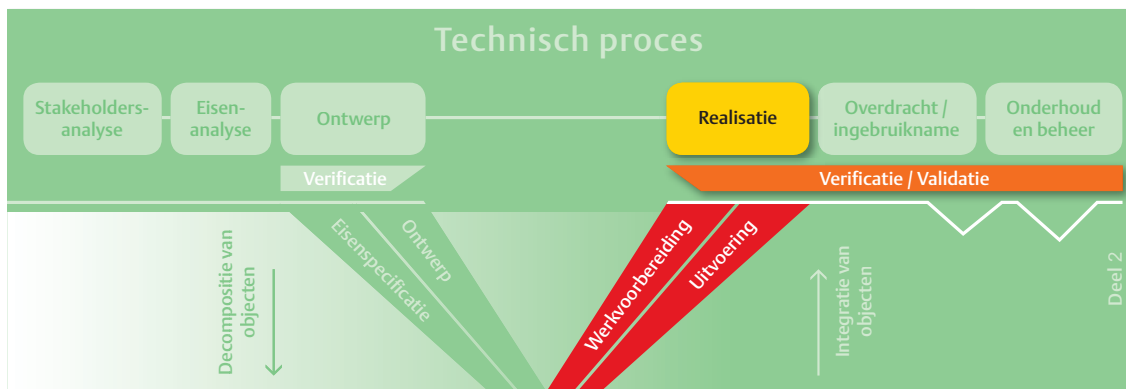
4.5.6 Voorbeeld verificatienota

Eiscode	Eistekst	Onderliggende eisen	Resultaat	Geautoriseerd door	Moment van autorisatie	Afwijkingen	Maatregelen	Opmerkingen
7.4	Spoorsystemen dienen te zijn voorzien van spoorstaven type 54 E1 met een minimale lengte van 120 meter.	741	Voldoet	Ontwerpmanager	12 maart '08	geen	nvt	-
7.4.1	Spoorstaven op locaties met een boogstraal kleiner dan 3000 meter dienen te zijn uitgevoerd als MHH spoorstaaf incl. de daartoe benodigde speciale lassen.	7.4.1.a	Voldoet	Ontwerpmanager	12 maart '08	geen	nvt	-
7.4.1.a	Spoorstaven op locaties met een boogstraal kleiner dan 3000 meter dienen te zijn uitgevoerd als MHH spoorstaaf incl. de benodigde speciale lassen bij MHH art. nr. 250280 vormen UIC54 SoW5 L75 volgens parameter thermietlassen rev. 5.	-	Voldoet	Ontwerpmanager	12 maart '08	geen	nvt	-

Verificatienota	7	Datum	11 maart 2008
Object	Sluis A	Versie	1

Eiscode	Eistekst	Onderliggende eisen	Resultaat	Geautoriseerd door	Moment van autorisatie	Afwijkingen	Maatregelen	Opmerkingen
11	De opdrachtnemer dient ermee rekening te houden dat het waterpeil in het aangrenzende kanaal wordt verhoogd.	-	Voldoet	Ontwerpmanager	10 maart '08	geen	nvt	-
23	De nuttige kolk lengte tussen de stopstrepen dient 225 meter te bedragen.	-	Voldoet	Ontwerpmanager	10 maart '08	geen	nvt	-

5 Realisatie



Figuur 22. Technisch proces – realisatie

5.1 Achtergrond

De stap 'Realisatie' omvat alle activiteiten die nodig zijn om het ontwerp daadwerkelijk te maken. In tegenstelling tot het ontwerpproces, waarin doorgaans van grof naar fijn wordt gewerkt, verloopt het realisatieproces van fijn naar grof. Eerst worden objecten gefabriceerd, daarna worden objecten samengevoegd tot een werkend systeem.

Door het toepassen van Systems Engineering worden in de stap 'Realisatie' als volgt nieuwe elementen geïntroduceerd:

- ◆ Het geheel van activiteiten wordt onderverdeeld in werkpakketten (WBS, zie paragrafen 2.4 en 2.5). Deze werkpakketten

vormen de basis voor de uitvoering en de beheersing van de activiteiten. De indeling in werkpakketten wordt al in een vroegtijdig stadium (de ontwerpfase) gemaakt door werkvoorbereiders. Daarna wordt de indeling steeds verder uitgewerkt.

- ◆ Bij SE kan voor de afweging en vastlegging van ontwerpkeuzen een trade-off matrix worden gebruikt. Dit hulpmiddel kan eveneens goed bruikbaar zijn voor de afweging van keuzen in de werkvoorbereiding.
- ◆ Keuringen maken deel uit van het geheel van verificaties waarmee wordt gecontroleerd of aan alle eisen wordt voldaan. Hiertoe worden keuringen expliciet vastgelegd in keurings- of testplannen, en de resultaten in keurings- of testrapporten.



Tot de 'werkvoorbereiding' rekt BAM Infra activiteiten zoals het bepalen van werkmethoden, het maken van plannen, het uitwerken van de WBS, en het opstellen van werkplannen en V&G-plannen. Bij SE resulteren deze activiteiten in een eenduidige structuur en een reeks documenten. Deze zorgen ervoor dat het eindresultaat voldoet aan de door de opdrachtgever gestelde eisen. Bij de voorbereiding werken de verschillende functionarissen van de disciplines civiel, rail, infratechniek en wegen nauw samen met de ontwerpdisciplines. Tot de 'voorbereiding' wordt ook gerekend het invullen van het verificatieplan voor de realisatiefase: het keurings- of testplan.

Onder 'realisatie' wordt verstaan het daadwerkelijk maken van de verschillende objecten en het samenvoegen hiervan tot een geïntegreerd (sub)systeem. De werkpakketten kunnen zich 'buiten', op de bouwplaats, afspelen, maar dat hoeft niet. Ook 'binnenactiviteiten', zoals het prefabriceren van betonelementen of het ontwikkelen van software voor de besturing van een tunneltechnische installatie, vallen onder de 'realisatie'. Het uitvoeren van keuringen, controles, metingen en testen om te beoordelen of het gerealiseerde aan de eisen voldoet (verificatie), wordt eveneens tot de 'realisatie' gerekend.

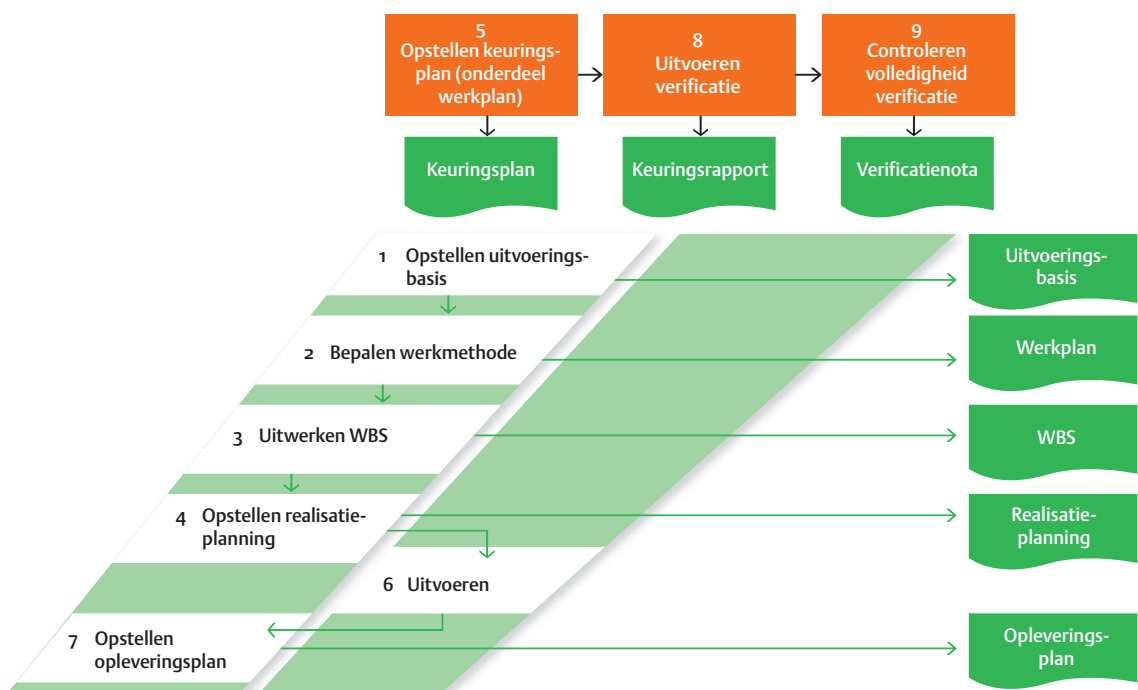
Bezien vanuit de norm voor Systems Engineering (ISO 15288) heeft de stap 'voorbereiding en realisatie' betrekking op de onderdelen 'invoeringsproces' (realiseren van objecten) en 'integratieproces' (samenvoegen van objecten). In de GWW-sector worden het realiseren van (afzonderlijke) objecten en het samenvoegen van de objecten tot één geheel doorgaans samen beschouwd als 'realisatie'.

5.2 Werkwijze

In figuur 22 zijn de stappen van het realisatieproces nader uitgewerkt. In het vervolg van deze paragraaf volgt per stap een toelichting. De nummering geeft de volgorde aan waarin de stappen doorgaans worden uitgevoerd. De activiteiten die te maken hebben met het verificatieproces, zijn aan de bovenzijde weergegeven; de activiteiten die het feitelijke realisatieproces vormen, zijn in de schuine vlakken daaronder afgebeeld.

1. Opstellen uitvoeringsbasis

De uitvoeringsbasis is een selectie van alle relevante (afgeleide) eisen die voor de uitvoering van een object van belang zijn, inclusief de risico's en eventueel raakvlakken. Het opstellen van dit document moet bij voorkeur al in de ontwerpfase beginnen, parallel met het opstellen van de ontwerpbasis. Afronding vindt plaats na gereedkomen van de ontwerpnota. De uitvoeringsbasis wordt gebruikt voor het opstellen van werken keuringsplannen.



Figuur 23. Realisatieproces in stappen

De input voor de uitvoeringsbasis wordt gevormd door:

- ♦ (uitvoeringsgereed) ontwerp (tekeningen, berekeningen, rapporten en concept-werkmethode);
- ♦ uitvoeringseisen;
- ♦ omgevingseisen (bijvoorbeeld vergunningsverplichtingen en regelgeving);
- ♦ raakvlakeisen;
- ♦ planning;
- ♦ V&G-plan;
- ♦ kwaliteitsplannen (werkplannen);
- ♦ inkoopplan;
- ♦ werkbegroting/budget;
- ♦ (P)RIE (Project Risico Inventarisatie en Evaluatie, op het gebied van V&G);
- ♦ risicodossier.

2. Bepalen werkmethode en vastleggen in werkplannen

Het bepalen van de werkmethode zal voor een belangrijk deel (impliciet) plaatsvinden in samenhang met de ontwerpwerkzaamheden. De ontwerpkeuzes bepalen immers vaak al een belangrijk deel van de realisatiemethode, en andersom. Er is dus sprake van een nauwe interactie tussen ontwerpkeuzes en realisatiemethode. Werkvoorbereiders worden betrokken in het ontwerpproces, ontwerpers krijgen meer invloed in de werkvoorbereiding. Een overspanning met voorgespannen prefab liggers impliceert een totaal andere uitvoeringsmethode dan een in het werk gestorte constructie. Dit is juist ook de reden waarom ontwerp en realisatie veelal geïntegreerd op de markt worden gebracht.



Daarnaast worden werkmethoden voor een deel bepaald door proceseisen. Door de koppeling van de eisenboom aan de SBS en WBS zijn de relevante eisen voor de werkmethoden te achterhalen. Wanneer bijvoorbeeld heien een van de activiteiten is, heeft een eis ten aanzien van geluidsoverlast mogelijk invloed op de keuze van het type heistelling of de start- en eindtijden.

De werkmethode, de werkvolgorde, de te gebruiken hulpmiddelen en dergelijke worden beschreven in een werkplan. Dit plan kan betrekking hebben op diverse werkpakketten uit de WBS. Als een activiteit voorkomt in meer dan één werkpakket (bijvoorbeeld heiwerk of het aanbrengen van dwarsliggers), is het praktisch om deze activiteit in één werkplan volledig te beschrijven en die beschrijving vervolgens op alle relevante werkpakketten van toepassing te verklaren.

3. Uitwerken WBS

Bij aanvang van het werk is een WBS gemaakt waarin alle werkzaamheden die op dat moment bekend waren zijn ondergebracht. Het uitwerken van de manier waarop de ontworpen objecten gerealiseerd gaan worden heeft tot gevolg dat de WBS verder gedetailleerd kan worden. Het maakt bijvoorbeeld verschil of een brug in het werk wordt gestort of dat het ontwerp voorziet in een maximaal gebruik van prefab elementen. In het eerste geval zal sprake zijn van vlechten, bekisten en betonstorten, in het tweede geval van aanvoeren en monteren van de prefab elementen.

Bij het uitwerken van de WBS kan ook de betalingsstructuur van belang zijn. Wanneer betaling plaatsvindt op basis van werkpakketten die gereed zijn, dan is het verstandig hiermee in de opzet en uitwerking van de WBS rekening te houden (zie ook paragraaf 2.5).

4. Opstellen realisatieplanning

De – voor de realisatie geactualiseerde – WBS dient als basis voor de realisatieplanning. Door aan alle werkpakketten/

activiteiten een uitvoeringstijd te koppelen, rekening houdend met de proceseisen en de onderlinge raakvlakken, ontstaat een complete planning. In de structuur van de planning is de WBS met de werkpakketten te herkennen.

5. *Opstellen keurings- en testplannen*

Een essentieel onderdeel van de voorbereiding is het opstellen van keurings- en testplannen. Aan de hand hiervan wordt tijdens de realisatie gecontroleerd of aan de eisen wordt voldaan. Keuringsplannen maken doorgaans deel uit van de werkplannen. De keurings- en testplannen vormen een onderdeel van het verificatieproces. In 2.6.5 is uitgewerkt welke naamgeving BAM Infra hanteert voor documenten in het kader van verificatie en validatie gedurende de verschillende fasen van het proces.

In de keurings- en testplannen is vooraf vastgelegd hoe tijdens de realisatie wordt geverifieerd of aan de eisen wordt voldaan. Hierbij zijn de meet- en inspectiemethoden en de toleranties aangegeven.

6. *Uitvoeren*

Uitvoering of realisatie omvat het maken van de verschillende objecten en het samenvoegen hiervan tot een geïntegreerd (sub) systeem. De basis hiervoor is gelegd in het ontwerpproces en de werkvoorbereiding. De uit te voeren activiteiten zijn vastgelegd in de WBS met de werkpakketten. Aan de WBS zijn ook de ontwerpnota's en werkplannen gekoppeld. Het realiseren van objecten kan plaatsvinden op de bouwplaats, maar ook in een kantoor, werkplaats of fabriek.

7. *Opstellen opleveringsplan*

Het opleveringsplan bevat als basis de inhoudsopgave van het opleverdossier, met daarin alle documenten die bij oplevering aan de opdrachtgever moeten worden overhandigd.

8. *Verifiëren*

Verificatie vindt parallel aan de realisatie plaats. De verificatie betreft zowel eisen

die afkomstig zijn van de opdrachtgever als afgeleide eisen, die gedurende het ontwerp- en specificatieproces zijn ontstaan. Enkele voorbeelden van verificatie tijdens de realisatie zijn:

- ◆ het kalenderen van heipalen ter controle van de draagkracht;
 - ◆ het bepalen van de zetting van baanlichamen door het plaatsen en inmeten van zakbakens;
 - ◆ het testen van een besturingssysteem dat in het systeem is geïntegreerd (site integration test);
 - ◆ het verzamelen van certificaten die inzicht geven in de kwaliteit van producten.
- Bij het opslaan, structureren en interpreteren van de verificatieresultaten is een belangrijke rol weggelegd voor de werkvoorbereiding.

9. *Controleren volledigheid*

De verificatienota is een totaaloverzicht van geplande en uitgevoerde verificaties, keuringen en inspecties over het gehele project. Er worden selecties gemaakt, bijvoorbeeld per object of per fase. Hierdoor wordt het gemakkelijker om te controleren of verificaties daadwerkelijk zijn uitgevoerd.

De verificatienota bevat in elk geval de volgende informatie per eis:

- ◆ uniek identificatienummer (eiscode);
- ◆ omschrijving eis (met eisnummer);
- ◆ de traceerbaarheid naar de eisen uit de vraagspecificatie;
- ◆ een verwijzing naar de bijbehorende verificatie-, keurings- of inspectierapporten;
- ◆ een overzicht van de geconstateerde afwijkingen en de maatregelen ter correctie en/of preventie;
- ◆ een verwijzing naar het bijbehorende werkpakket.

5.3 Hulpmiddelen/voorbeelden

5.3.1 Keuringsplan

In het voorbeeld van een keuringsplan is aangegeven hoe de uitvoering van een deel van het werk wordt geverifieerd.

Voorbeeld keuringsplan

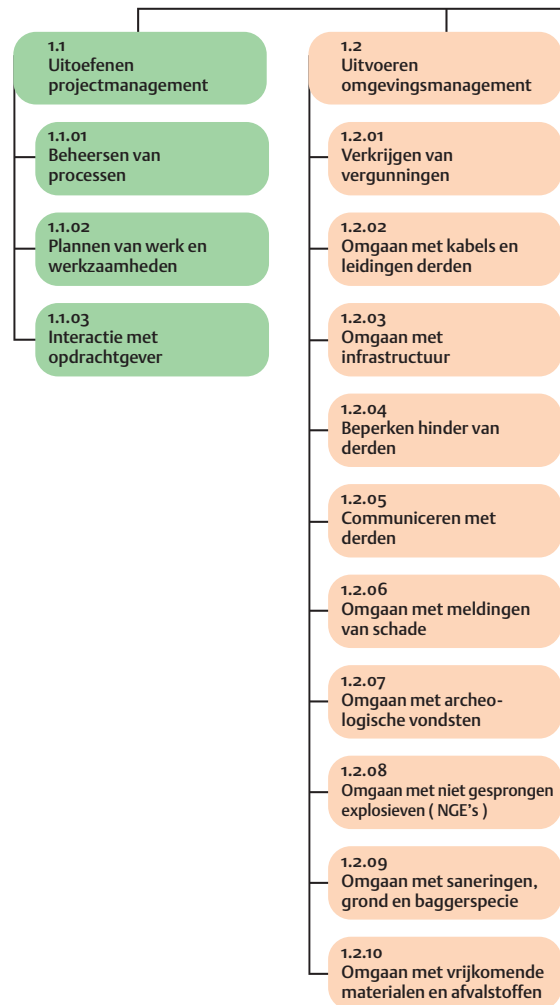
Nr.	Onderdeel	Methode	Frequentie	Criterium	Eerstelijns-keuring	Registratie	Actie bij afwijkingen
1	Raakvlak Overname onderbaan	Visueel	1 x per dag	Aanwezigheid goed- gekeurde kwaliteits- registraties	Uitvoerder	PC 6	Onderbaan keuren
2	Referentie- samenstelling	Vooronder- zoek	Vooraf	RAW 31.26	Producent	Referentie	Niet asfalteren
3	Verwerkingscontroles						
	Weer	Conditie- vastleggen	Per dag	RAW 31.22.10	Uitvoerder	PC 10	Nader te bepalen
	Asfalt- temperatuur	Meten	Per dag	RAW/bestek			Niet asfalteren
	Soort en code asfalt	Transport- bon	Per dag	RAW/bestek/ ontwerp			Corrigeren
	Controle walsproces	Nucleair	Bij eerste verwerking op brugdek en zoab	Max. dicht- heid	Laborant	Rapport F.10.3.9	Corrigeren
	Asfaltbreedte	Meten	Achteraf	Ontwerp			Corrigeren
4	Boorkernonderzoek						
	Laagdikte	Meten	1x/2000m ² / lg	Ontwerp	Laborant	Rapport F.10.3.7	Corrigeren in bovenlig- gende laag
	Verdichtings- graad	RAW-proef 66	1x/2000m ² / lg	RAW 31.22.05	Laborant	Rapport F.10.3.8	Nader onderzoek / correctieve maatregel
	Holle ruimte	RAW-proef 69	1x/2000m ² / lg	RAW 31.22.05	Laborant	Rapport F.10.3.8	Nader onderzoek / correctieve maatregel
	Holle ruimte kunstwerken	RAW-proef 69	per kunst- werk 1x/6000m ²	Art.31.22.21 van bijlage 4.10 bestek	Laborant	Rapport F.10.3.8	Herstellen
	Samen- stelling	RAW-Proef 65 en 6		Referentie- samen- stelling	Laborant	Rapport F.10.3.11	Nader onderzoek / correctieve maatregel
5	Vlakheid	RAW-proef 149	Per rijstrook	RAW 31.22.03	Meetdienst	Rapport	Buiten tolerantie herstellen
6	Stroefheid	RAW-proef 150	Per rijstrook	RAW 31.22.02	Meetdienst	Rapport	Hermeten / correctieve maatregel

5.3.2 Werkplan

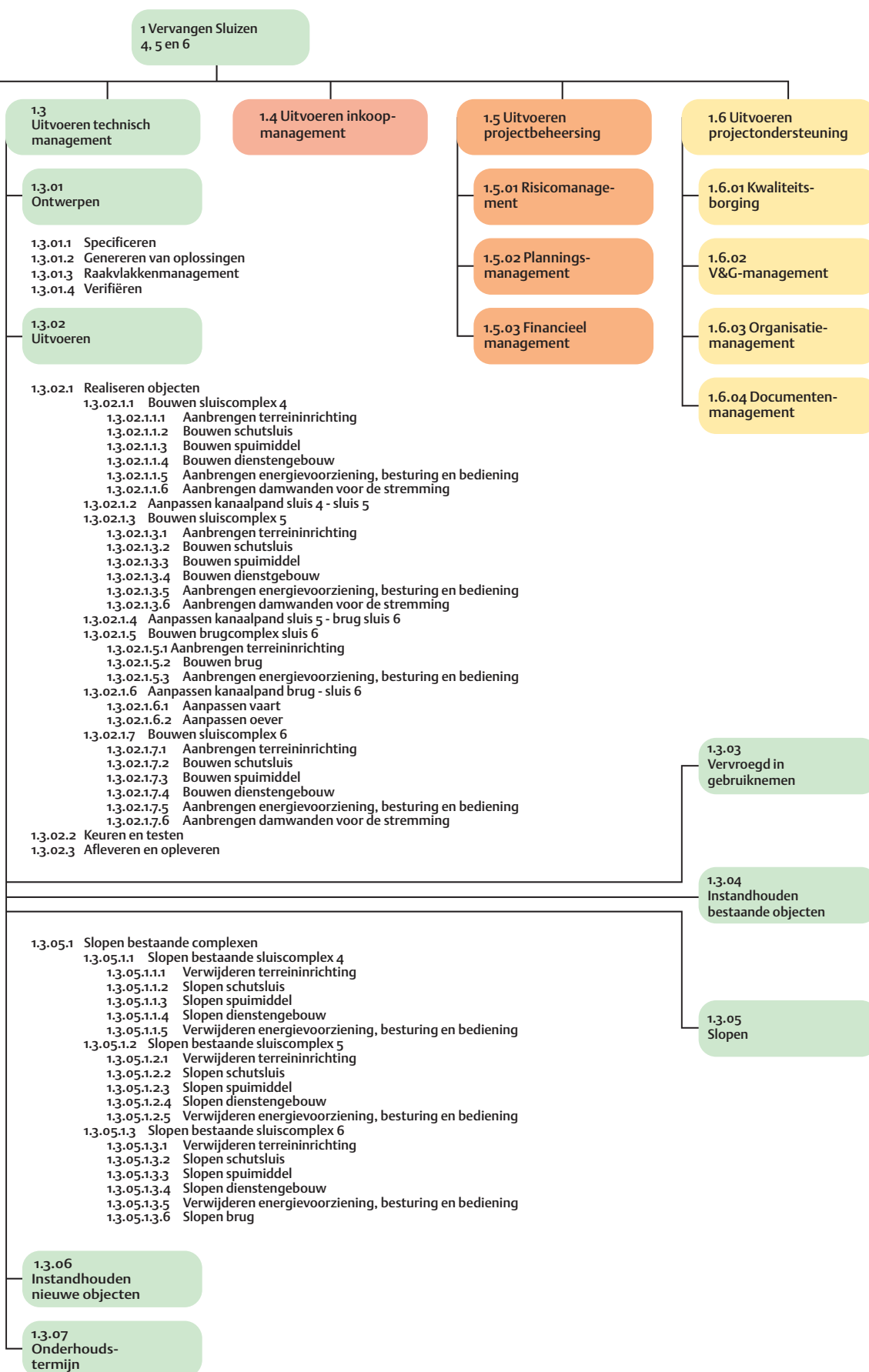
Binnen BAM Infra dient de inhoudsopgave vaak als opzet voor de werkplannen. In het kader van Systems Engineering is vooral de relatie met de WBS van belang. De inhoudsopgave ziet er als volgt uit.

- 1 Algemeen
 - 1.1 Korte beschrijving werkzaamheden
 - 1.2 Relaties met overige werkzaamheden
- 2 Eisen en specificaties
 - 2.1 Documenten van toepassing
 - 2.2 Normen en voorschriften
 - 2.3 Eisen
- 3 Organisatie
- 4 Werkmethode(n)
 - 4.1 Voorbereiding
 - 4.2 Uitvoering
 - 4.3 Planning
- 5 Bijlagen
 - 5.1 Formulieren
 - 5.2 Risico-inventarisaties
 - 5.3 ...

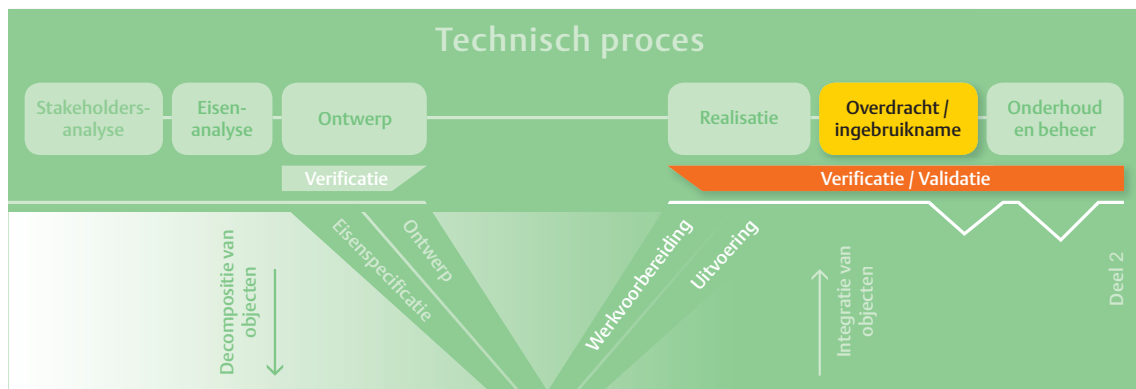
5.3.3 Voorbeeld WBS



Figuur 24. Voorbeeld van een Work Breakdown Structure (WBS)



6 Overdracht/ingebruikname



Figuur 25. Technisch proces – overdracht / ingebruikname

6.1 Achtergrond

Zodra een systeem gereed is voor gebruik, vindt de 'overdracht/ingebruikname' plaats. Hiermee wordt de start van de gebruiksfase gemarkeerd. Bij contracten waarin de verantwoordelijkheid voor exploitatie en/of beheer en onderhoud direct na realisatie bij de opdrachtgever ligt, valt de ingebruikname samen met de overdracht van het systeem aan de opdrachtgever. Bij contracten waarin deze verantwoordelijkheid bij de opdrachtnemer ligt, zijn overdracht en ingebruikname afzonderlijke momenten.

In het kader van deze SE-wijzer is het moment van overdracht in juridisch opzicht minder van belang. De nadruk ligt hier op (de voorbereiding van) de ingebruikname. Op dat moment dient het systeem te voldoen aan de eisen. Het dient geverifieerd en gevalideerd te zijn en geschikt te zijn voor een veilig en verantwoord gebruik.

Ingebruikname van een systeem betekent zowel terugkijken naar het realisatieproces als voorbereidingen treffen voor het gebruik. Het terugkijken houdt in dat het resultaat van het realisatieproces wordt gedocumenteerd in een opnamedossier (ook wel *as-built* dossier genoemd). Hiermee wordt de daadwerkelijk gerealiseerde configuratie vastgelegd. In de daarop volgende testperiode wordt getoetst of het systeem aan de eisen voldoet en of het

functioneert (of kan functioneren) op de door de opdrachtgever gevraagde wijze. De laatste fase in deze periode behelst de integrale testen. Deze worden in de regel geïnitieerd door de opdrachtgever, omdat hierbij diverse partijen (beheerder, exploitant, onderhoudsbedrijf) betrokken zijn.

Om een goed functioneren in de praktijk mogelijk te maken, zijn uiteenlopende voorbereidende maatregelen nodig. Denk bijvoorbeeld aan het aantrekken en opleiden van bedienend personeel, communicatie over de nieuwe verbinding, of het regelen van verbruiks- of onderhoudsartikelen. In de praktijk van BAM Infra wordt de exploitatie vrijwel altijd verzorgd door een derde partij. De gebruiksfase beperkt zich dan tot activiteiten voor beheer en onderhoud (zie hoofdstuk 7).

6.2 Werkwijze

6.2.1 Vastleggen configuratie

Zoals vermeld kan een systeem op het moment van ingebruikname aan de opdrachtgever worden overgedragen, maar ook in eigen beheer blijven. In beide gevallen wordt vlak voor de ingebruikname de configuratie vastgelegd (zie ook Deel 3, hoofdstuk 7). Het betreft hierbij onder meer de volgende gegevens:

- ◆ ingevuld opnameprotocol, inclusief restpuntenlijst;
- ◆ as-built documenten en garantieverklaringen;

- ◆ gebruikershandleidingen;
- ◆ training en instructie;
- ◆ beheer- en onderhoudsvoorschriften;
- ◆ V&G-dossier.

6.2.2 Uitvoeren validatie

Het doel van validatie is objectief aan te tonen dat de prestaties van het systeem voldoen aan de gebruikseisen (en verwachtingen) van de opdrachtgever. Vooral na de realisatiefase, dus vlak voor oplevering, is validatie van belang. Dan moet het gerealiseerde systeem immers alle functies (kunnen) vervullen die de opdrachtgever voor ogen had. Validatie kan worden beschouwd als bijzondere vorm van verificatie, waarbij specifiek wordt gecontroleerd of aan de initiële (gebruiks)eisen en wensen van de klant wordt voldaan.

Voorbeelden van situaties waarin validatie plaatsvindt zijn:

- ◆ De eerste proefdraai van een nieuwe vuilverbrandingsinstallatie. Hierbij worden onder meer capaciteit, uitstoot en bediening gemeten en gecontroleerd.
- ◆ De testritten voor de HSL-Zuid. Hierbij wordt onder meer gecontroleerd of bij een snelheid van 300 km/h wordt voldaan aan de comforteisen voor de reiziger.
- ◆ De eerste proefsluiting van een volledig gerenoveerde sluis. Hierbij wordt onder meer de snelheid van schutten getest.

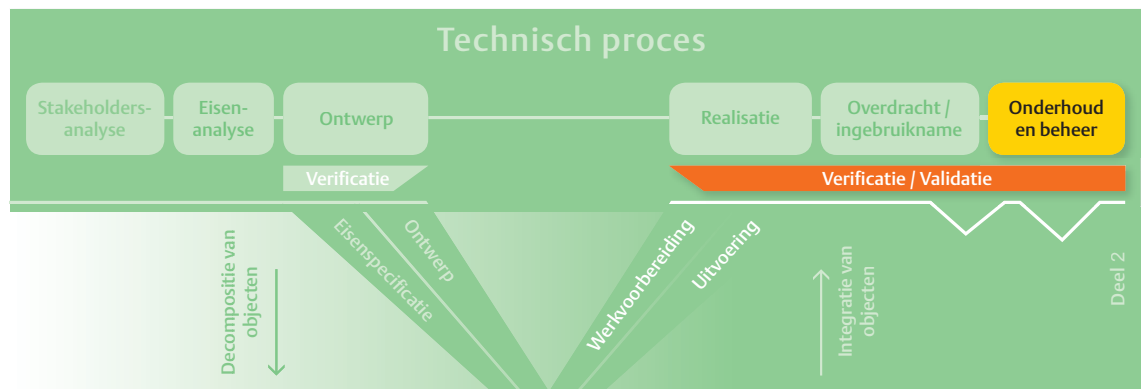
In verband met validatie is het van belang om vroegtijdig (maar in elk geval voor aanvang van de validatie) met de opdrachtgever af te stemmen welke validatiemethoden worden geaccepteerd en bij welke waarden het systeem voldoet.

6.2.3 Voorbereidingen voor gebruik

Voordat een systeem in de praktijk goed en veilig kan gaan functioneren, moeten er nog diverse voorbereidingen worden getroffen. Te denken valt bijvoorbeeld aan het instrueren van medewerkers in verband met bediening of procedures (dynamische verkeerssystemen, bruggen) of het instrueren van weggebruikers (introductie van spitsstroken).

Het is sterk afhankelijk van de afspraken in het contract met de opdrachtgever in hoeverre de opdrachtnemer verantwoordelijk is voor deze voorbereidende activiteiten. Waar BAM Infra ook aandeelhouder is van het beheer- en onderhoudsbedrijf, zal er geen sprake zijn van een heldere scheiding. Het heeft dan sterk de voorkeur dat personen uit de realisatiefase worden ingezet bij het opstarten en inrichten van het beheer- en onderhoudsbedrijf.

7 Onderhoud en beheer



Figuur 26. Technisch proces – onderhoud en beheer

7.1 Achtergrond

In Systems Engineering wordt de levenscyclus van een systeem zo veel mogelijk als uitgangspunt genomen. Het gaat er immers om hoe het systeem in de praktijk kan (blijven) functioneren. Vandaar dat 'onderhoud en beheer' deel uitmaken van het technisch proces, zoals dat in figuur 26 is weergegeven.

Onderhoud en beheer vinden plaats in de fase dat het systeem in gebruik is. Tijdens dat gebruik veranderen de omstandigheden. De drukte op de weg of het spoor neemt toe, er worden andere voertuigen ingezet, de verdeling van de typen voertuigen verschuift, er treedt slijtage op, er ontstaat schade, de wetgeving wordt gewijzigd, enzovoort. Hierdoor zijn telkens maatregelen nodig om ervoor te zorgen dat het systeem aan de eisen van de opdrachtgever blijft voldoen. Eisen op het gebied van betrouwbaarheid (Reliability), beschikbaarheid (Availability), onderhoudbaarheid (Maintainability) en veiligheid (Safety), oftewel RAMS, spelen hierbij een belangrijke rol. Om een betrouwbare en efficiënte onderhoudsstrategie te bepalen, is onder meer inzicht nodig in het degradatiegedrag en het bijbehorend faalgedrag (uitval en storingen) van het systeem.

Beheer en onderhoud komt in verschillende vormen in contracten met opdrachtgevers voor:

1. de meest bekende: na oplevering, dus in de gebruiksfase;
2. gedurende realisatiefase binnen systeemgrenzen;
3. bij eerdere oplevering of tussentijdse ingebruikname.

Invloed SE op onderhoud en beheer

Het toepassen van SE betekent dat ook in de fase 'beheer en onderhoud' keuzen aantoonbaar en herleidbaar worden vastgelegd. Inzicht in het systeem als geheel, met inbegrip van interne en externe raakvlakken, is hierbij noodzakelijk. Waar objecten moeten worden vervangen, is inzicht in de 'oorspronkelijke' eisen essentieel.

Als in een contract ontwerp, realisatie en (meerjarig) onderhoud zijn geïntegreerd, vindt een deel van de beheer- en onderhoudsactiviteiten zijn oorsprong in de ontwerpfase. (Proces)eisen die ontstaan als gevolg van ontwerpkeuzen, kunnen dan al in de ontwerpfase worden gekoppeld aan werkpakketten met betrekking tot onderhoud en beheer.

7.2 Werkwijze

7.2.1 Bepalen onderhoudsstrategie

Als BAM Infra een prestatieverplichting heeft ten aanzien van het onderhoud, is het vaststellen van een onderhoudsstrategie een

belangrijke activiteit. Als de opdrachtgever de regie voert over de onderhoudsactiviteiten, zal hij ook de onderhoudsstrategie bepalen.

In de eisenset voor een volledig geïntegreerde opdracht voor ontwerp, realisatie en onderhoud heeft een deel van de eisen betrekking op de onderhoudsfase. Daarnaast volgen eisen voor het onderhoud uit gekozen oplossingen. Voor een deel zijn deze onderhoudseisen afkomstig van fabrikanten en leveranciers. Alle relevante eisen voor het onderhoud worden bij elkaar gebracht in een 'onderhoudsbasis'. Deze levert samen met een faalkansanalyse de uitgangspunten voor de onderhoudsstrategie.



Bij vervanging van objecten is het van belang dat de oorspronkelijke eisenset kan worden geraadpleegd. Ook moet worden nagegaan of de stand van de techniek en/of ervaringen met de oorspronkelijke oplossing inmiddels aanleiding geeft om een andere oplossing toe te passen. Met name op het gebied van installatietechniek en besturing gaan de technische ontwikkelingen sneller dan de duur van veel langlopende onderhoudsverplichtingen.

Net als voor ontwerp en realisatie is het ook voor onderhoud zinvol om afwegingen vast te leggen in trade-off matrices. Deze dienen in eerste instantie als hulpmiddel bij het

maken van keuzen. Maar ze kunnen ook op een later tijdstip van nut zijn om de achtergrond van het gepleegde onderhoud te achterhalen. Dit laatste is vooral van belang bij projecten met een lange looptijd van onderhoudsverplichtingen. Door het personeelsverloop dreigt hierbij relevante kennis verloren te gaan.

7.2.2 Uitvoeren planmatig onderhoud en inspecties

Bij klein (planmatig) onderhoud is het uitgangspunt dat het gaat om routinewerk. Hiervoor zijn eenmalig de toe te passen materialen bepaald en de werkmethode bedacht. Het specificatie- en ontwerpproces, zoals aangegeven in de "V" in de afbeelding, wordt voor dit type onderhoud in principe dus slechts eenmaal doorlopen.

Voor groot (planmatig) onderhoud en voor incidenteel onderhoud geldt dat vaak nog wel afwegingen moeten worden gemaakt wat betreft toe te passen materialen, ontwerp, uitvoeringsmethode en planning. In feite wordt voor dit type onderhoud het specificatie- en ontwerpproces, zoals aangegeven in de "V", telkens opnieuw doorlopen.

Naast de onderhoudswerkzaamheden zelf spelen in deze fase ook inspecties een essentiële rol. Zij hebben tot doel te bepalen of incidenteel onderhoud noodzakelijk is en in hoeverre de strategie van het planmatige onderhoud effectief is. Inspectie is te beschouwen als verificatie in de onderhoudsfase (zie Deel 1, subparagraaf 2.6.5). Het kan immers voorkomen dat onderdelen harder slijten dan verwacht, of juist minder hard, waardoor de onderhoudsstrategie moet of kan worden aangepast. Bij aanpassing van de strategie is inzicht in eerdere overwegingen onontbeerlijk. Zeker bij 'verlichting' van het onderhoudsregime moet worden aangetoond dat nog steeds aan de eisen kan worden voldaan.

Bij het project A4 Burgerveen – Leiden worden inspectieresultaten ingevoerd in een handcomputer die een directe verbinding heeft met een database waarin de resultaten

worden getoetst aan de onderhoudsstrategie. Hierdoor kunnen sneller betere analyses worden gemaakt en kunnen afwijkingen eerder worden geconstateerd. Op basis daarvan kunnen correctieve maatregelen worden genomen en worden waar nodig aanpassingen in het onderhoudsregime doorgevoerd.

7.2.3 Beheren configuratie

Voor effectief en efficiënt onderhoud is goed inzicht in de opbouw en status van het systeem onmisbaar. Elke wijziging of aanpassing van het systeem kan van invloed zijn op de betrouwbaarheid en veiligheid en kan gevolgen hebben voor het onderhoud. Wijzigingen aan het systeem moeten dan ook zorgvuldig en duidelijk worden vastgelegd. Daarom is juist ook in de onderhoudsfase een goede invulling van het configuratiemanagement essentieel (zie ook Deel 3, hoofdstuk 7).

Een aandachtspunt in het configuratiemanagement voor de onderhouds- en beheerfase is het bijhouden van de garanties. Het gaat hierbij zowel om garanties die vanuit BAM Infra zijn afgegeven aan de opdrachtgever als om garanties die door onderaannemers of leveranciers aan BAM Infra zijn verstrekt. In de praktijk blijkt het voor te komen dat voor werkzaamheden of onderdelen wordt betaald, terwijl deze feitelijk nog onder de garantie vielen. Het is aan te bevelen om kort voor het aflopen van een garantie een inspectie uit te voeren.

7.3 Hulpmiddelen/voorbeeld

Onderhoudsbasis

Een onderhoudsbasis bevat minimaal (een verwijzing naar) de volgende onderwerpen:

- ◆ de eisen aan het ontwerp;
- ◆ de onderhoudseisen;
- ◆ een dossier Veiligheid & Gezondheid;
- ◆ de beperkingen in tijd;
- ◆ een onderhoudsplan per onderdeel (entiteit);
- ◆ een overzicht van benodigd materieel;
- ◆ een opleverdossier en as-built tekeningen;
- ◆ een afwijkingenregister uitvoeringsfase;
- ◆ een risicodossier;
- ◆ een faalkansanalyse (Failure Mode and Effect Criticality Analysis of FMECA);
- ◆ een werkbegroting en budget.

Deel 3

Relatie van SE met
ondersteunende
activiteiten

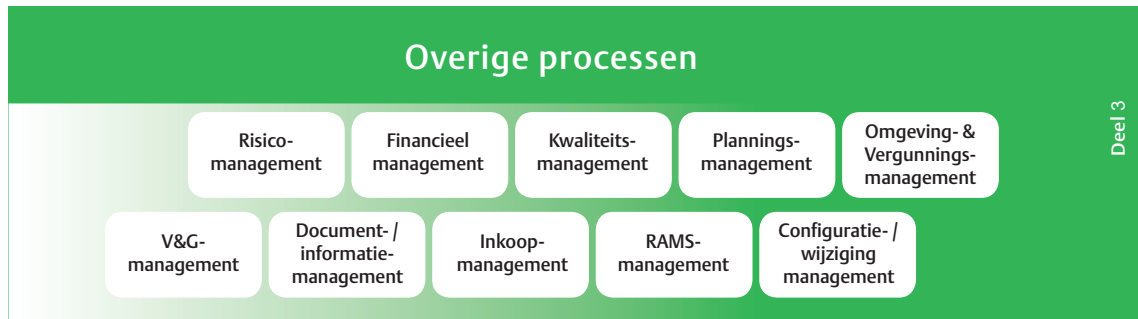


bam



bam

Inleiding



Figuur 27. Overzicht van de ondersteunende processen

Het werk aan projecten zoals in deel 2 is omschreven, wordt op velerlei wijzen ondersteund; bijvoorbeeld vanuit risicomanagement, kwaliteitsmanagement en financieel management. Deze ondersteunende processen zijn in principe in alle fasen van een project aan de orde. Ze beïnvloeden elkaar, maar leveren ook input voor het eisenmanagement. Zo kunnen maatregelen om risico's te beheersen, leiden tot nieuwe eisen in de eisenboom.

In dit derde deel van de SE-wijzer gaat het om de samenhang tussen de diverse ondersteunende processen in relatie tot Systems Engineering. Uitgangspunt is dat de ondersteunende processen worden beheerd; zij worden niet uitvoerig toegelicht. Voorbeeld: er wordt wel beschreven wat het belang is van inkoopmanagement voor het technisch proces, maar niet wat inkoopmanagement is.

De hoofdstukken zijn steeds op dezelfde wijze opgebouwd: Achtergrond, Uitwerking en, waar van toepassing, Nadere informatie / hulpmiddelen.

1 Risicomanagement

Achtergrond

Het doel van risicomanagement is het verbeteren van het projectresultaat door onzekerheden op elk moment in het technisch proces, en dus ook vroegtijdig, in kaart te brengen en door maatregelen te treffen om deze onzekerheden optimaal te beheersen. Het gaat hierbij zowel om onzekerheden die het project in gevaar kunnen brengen (risico's) als om onzekerheden die het projectresultaat positief kunnen beïnvloeden (kansen).



Voor het begrip 'risico' wordt de volgende definitie gehanteerd:

Een gebeurtenis die kan optreden en die kan leiden tot uitloop van het project, een kostenoverschrijding of tot het niet voldoen aan de gestelde (kwaliteits)eisen.

Het doel van SE is om het gehele proces vanaf idee, via ontwerp en realisatie tot en met gebruik te analyseren en systematisch vast te leggen zodat op een efficiënte wijze de optimale oplossing tot stand kan worden gebracht. Anticiperen op risico's is hierin een belangrijk element. Risicomanagement is daarom een onmisbaar en integraal met SE verbonden instrument.

Uitwerking

Het is raadzaam om, zeker bij omvangrijke multidisciplinaire projecten, binnen het projectteam een risicomanager te benoemen. Deze verzamelt alle input met betrekking tot risico's uit de verschillende disciplines en legt de informatie vast in een risicodossier. Het aanleveren van input is de verantwoordelijkheid van elk teamlid.

Gebruik de methode van faalvormanalyse om de risico's te doorgronden. Zie Handboek Oplossingsvrij Specificeren, stap faalvormen [lit.4].

Als er geen risicomanager wordt aangesteld, wijst de projectleider de verantwoordelijkheid voor het risicomanagement toe aan een projectmedewerker. Deze heeft onder meer het uitvoeren van risicoanalyses in zijn takenpakket.

De risicomanager (of de desbetreffende medewerker) wordt in een vroeg stadium bij het project betrokken; bij voorkeur in de tenderfase, gelijktijdig met of direct na de eisenanalyse. De betreffende persoon blijft in principe tot aan het einde van het project verantwoordelijk voor de risicobeheersing.

Op het moment dat in het ontwerpproces varianten moeten worden afgewogen, vormen de risico's een essentieel onderdeel van de keuzecriteria in de trade-off matrix. Het is de taak van de risicomanager om in dit stadium te zorgen voor een risicoprofiel bij elke ontwerpvariant.

Ook in de uitvoeringsfase zal het regelmatig voorkomen dat verantwoordelijken voor de werkvoorbereiding en de uitvoering keuzen moeten maken uit mogelijke uitvoeringsmethodieken. Ook dan vormen de risico's een essentieel onderdeel van de afwegingscriteria zoals vastgelegd in de trade-off matrices.

Een ontwerpkeuze heeft afgeleide eisen op een lager detailniveau tot gevolg. Uit een risicoanalyse blijken mogelijke risico's als

gevolg van deze ontwerpkeuze. Hiervoor moeten beheersmaatregelen worden getroffen. Deze beheersmaatregelen worden geregistreerd als eisen in het eisenmanagementsysteem, waarmee de daadwerkelijke uitvoering van deze maatregelen bewaakt wordt.

Het risicodossier is in deze systematiek het document waarin de historie en de herkomst van risico's worden vastgelegd. In dit dossier wordt duidelijk de koppeling gelegd tussen risico's en FBS, SBS, WBS en/of OBS.

Nadere informatie / hulpmiddelen

BAM Business School besteedt in de opleiding 'Management van Projecten' aandacht aan risicomanagement. In de Leidraad Systems Engineering [lit.1] wordt in paragraaf 3.4 'Relatie technisch proces met projectmanagement en projectbeheersing' in algemene zin aandacht gegeven aan de relatie tussen projectmanagement en Systems Engineering. Risicomanagement maakt hier onderdeel van uit.

BAM beschikt over diverse instrumenten (ICT-tools) voor risicomanagement. Deze hulpmiddelen kunnen zelf ontwikkelde (BAM Infraconsult) databases zijn, maar ook kant-en-klare applicaties van de markt. In sommige projecten wordt gebruikgemaakt van handzame Excel-sheets. Bij de keuze van een ICT-instrument voor risicomanagement spelen de volgende factoren een rol:

- ◆ de scope van het project/contract;
- ◆ het risicoprofiel van het project;
- ◆ het al of niet toepassen van SE;
- ◆ de kennis en ervaring van de risicomanager (beheerder van het risicodossier).

Binnen BAM Infra is de afdeling RAMS / Risk management, onderdeel van BAM Infraconsult, gespecialiseerd in het implementeren van risicomanagement, zowel in de tenderfase als operationeel.

2 RAMS - management

Achtergrond

Binnen het bouwproces wordt steeds meer aandacht besteed aan *life cycle management*. Dit houdt in dat niet uitsluitend het oprichten van het bouwwerk van belang is, maar ook de instandhouding daarvan en eventuele functieveranderingen gedurende de gebruikperiode, en uiteindelijk ook de sloop. Uit dit oogpunt moet bij het afwegen van alternatieven niet alleen worden gekeken naar de consequenties voor ontwerp en bouw, maar moet ook inzicht worden verschaft in het beheer en onderhoud en de geleverde prestaties van het bouwwerk (zoals de beschikbaarheid).

De analysemethode die bekend staat als RAMS leent zich hier uitstekend voor. De afkorting staat voor Reliability, Availability, Maintainability en Safety. Een RAMS-analyse brengt de effecten van keuzen voor ontwerp oplossingen en/of uitvoeringsmethoden op de RAMS-aspecten expliciet in beeld. Deze analyse vormt vervolgens weer input voor afwegingen ten aanzien van het ontwerp of de uitvoeringsmethodiek. De RAMS-analyse is daarmee een onmisbaar en integraal met SE verbonden instrument.

Om een RAMS-analyse effectief en gestructureerd te kunnen uitvoeren, zijn door de jaren heen diverse methoden en technieken ontwikkeld. De meest bekende methodiek is de FMECA (Failure Mode and Effect Criticality Analysis): een bottom-up benadering waarbij gekeken wordt welke invloed mogelijke faalwijzen van een component hebben op de prestaties van het systeem als geheel.

Het geheel aan activiteiten rond de RAMS-aspecten wordt RAMS-management genoemd. Dit heeft tot doel het verbeteren van het projectresultaat door RAMS-aspecten expliciet mee te laten wegen bij ontwerpkeuzen en daarmee de lifecyclekosten te optimaliseren.

Uitwerking

De integrale verbondenheid van RAMS-management met Systems Engineering komt onder meer als volgt tot uitdrukking:

- ♦ Het RAMS-proces start, volledig in lijn met de SE-systematiek, met het specificeren van de RAMS-eisen voor de verschillende subsystemen. Vervolgens wordt het ontwerp geanalyseerd. Dit met het doel alle faaloorzaken te vinden die zouden kunnen leiden tot functieverlies van (onderdelen van) het systeem. Daarna wordt meestal een splitsing gemaakt. Hierbij wordt een deel van de oorzaken nader geanalyseerd op hun impact op de aspecten Reliability, Availability en Maintainability; voor een ander deel van de oorzaken gebeurt dit voor het aspect Safety.



- ♦ RAMS-analyses vormen input voor trade-off matrices. Deze laatste dienen als hulpmiddel bij het expliciet maken, beargumenteren en vastleggen van ontwerpkeuzen (en keuzen voor uitvoeringsmethodiek en werkwijze). Daarmee sluit de RAMS-methodiek aan bij de belangrijkste kenmerken van Systems Engineering, te weten het herleidbaar en aantoonbaar vastleggen van keuzen.

- ◆ Wanneer uit een RAMS-analyse beheersmaatregelen volgen, worden deze als nieuwe eisen behandeld (en opgenomen in een eisendatabase). daarmee is beheersing van deze eisen gewaarborgd.
- ◆ In de terminologie van Systems Engineering zijn RAMS-eisen doorgaans zogenaamde aspecteisen. Met uitzondering van Safety zijn aspecteisen meestal 'onderhandelbaar'. Dat wil zeggen dat de primaire functie van het te realiseren systeem niet wordt aangetast als niet volledig aan een aspecteis wordt voldaan (in zo'n geval zal bijvoorbeeld de betrouwbaarheid wat geringer zijn of de vormgeving wat minder fraai, maar nog wel acceptabel).
- ◆ Om te borgen dat aan alle RAMS-eisen wordt voldaan, is het raadzaam om, zeker bij omvangrijke projecten, binnen het projectteam een speciaal aangestelde RAMS-manager te benoemen.

Nadere informatie / hulpmiddelen

In het Handboek Oplossingsvrij specificeren [lit.4] is deel C, hoofdstuk 5 gewijd aan 'Faalvormen'. De boodschap is dat het helpt om na het kiezen van een oplossingsvariant met enige afstand en een 'open mind' naar het systeem en de omgeving te kijken met het doel situaties te ontdekken waarin de oplossing mogelijk toch niet voldoet aan de eisen en wensen. Het hoofdstuk geeft praktische tips over de uitvoering van een faalvormanalyse en over de inzichten die zo'n analyse kan opleveren.

Afstudeerscriptie Guus Ogink, Culemborg, oktober 2007. 'Een model voor de integratie van RAMS in het ontwerpproces van infrastructuur' [lit.6] (verkrijgbaar via het secretariaat van BAM Infraconsult).

Binnen BAM Infra is de afdeling RAMS / Risk management, onderdeel van BAM Infraconsult, gespecialiseerd in het uitvoeren van RAMS-analyses en het verzorgen van RAMS-management.

3 Kwaliteitsmanagement

Achtergrond

Het begrip 'kwaliteitsmanagement' is een overkoepelende term voor het beleid en de activiteiten die erop gericht zijn te voldoen aan de eisen en wensen van de opdrachtgever. De basis voor het grootste deel van deze afspraken is de overtuiging dat beheerprocessen leiden tot kwalitatief goede producten (die voldoen aan de eisen en wensen van de klant op de wijze die is toegezegd door de opdrachtnemer).

Het toepassen van Systems Engineering is een vorm van contract- en kwaliteitsmanagement. De systematiek geeft richtlijnen voor het doorlopen van het technisch proces (van eerste idee tot en met realisatie en gebruik), op een dusdanige manier dat de kwaliteit van het eindproduct gewaarborgd is.

Voor BAM Infra geldt dat alle bedrijven beschikken over een gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem volgens NEN-EN-ISO 9001:2000 [lit.7]. Systems Engineering is te beschouwen als een nadere invulling van het kwaliteitsmanagementsysteem, specifiek voor engineering en realisatie van systemen. In het kwaliteitsmanagementsysteem wordt hiertoe voorzien in diverse randvoorwaarden, waaronder het afstemmen van de organisatie, het opleiden van mensen en het beschikbaar stellen van hulpmiddelen (bijvoorbeeld een eisenmanagementsysteem).

Uitwerking

In de dagelijkse praktijk van projecten komt de directe samenhang tussen SE en kwaliteitsmanagement onder meer tot uitdrukking in het volgende.

- ◆ Door het systematischer uitvoeren van het totale engineeringproces komt een aantal taken explicieter naar voren, zoals het analyseren van eisen, het afleiden van eisen, het beheren van eisen en het voortdurend verifiëren. Om deze taken gepaste aandacht te geven, verdient het aanbeveling in de projectorganisatie de functie 'coördinator Systems Engineering' op te nemen. Deze functie dient een plek te krijgen in de OBS van projecten, met de verantwoordelijkheid voor de onderlinge samenhang van alle activiteiten die in het kader van SE binnen een project plaatsvinden. De inhoudelijke invulling van SE ligt voor een groot deel bij de inhoudelijke deskundigen binnen de verschillende disciplines.
- ◆ Belangrijke elementen van SE zijn verificatie en validatie, met andere woorden het zeker stellen dat voldaan is aan de oorspronkelijke en/of afgeleide eisen door in de verschillende projectfasen aan te tonen dat aan deze eisen is voldaan. Deze elementen sluiten uitstekend aan bij de norm voor kwaliteitsmanagement ISO 9001:2000, waarin verificatie en validatie eveneens expliciet aan de orde komen:
 - Verificatie (§ 7.3.5 van de ISO 9001:2000 norm): Verificatie van ontwerp en ontwikkeling. Registraties van de resultaten van de verificatie en eventueel noodzakelijke maatregelen moeten worden bijgehouden (aantoonbaar geregistreerd worden).
 - Validatie (§ 7.3.6 van de ISO 9001:2000 norm): Geldigverklaring van ontwerp en ontwikkeling. Bewerkstelligen dat het resulterend product in staat is om te voldoen aan de eisen voor gespecificeerde toepassing of beoogd gebruik waar dat bekend is ('fit for purpose – principe').

Verificatie en validatie zijn in feite de keuring en controle die in het kader van

kwaliteitsmanagement al plaatsvond. De controles worden vastgelegd in (deel)kwaliteitsplannen en keuringsplannen. De manier waarop SE op projectniveau in het ontwerpen en realisatieproces wordt ingepast, kan beschreven worden in een projectmanagementplan (PMP), een projectkwaliteitsplan (PKP) of een deelkwaliteitsplan (DKP).

- ◆ Een belangrijk onderwerp in het kwaliteitsmanagement is het omgaan met afwijkingen. In de praktijk heerst vaak de gedachte dat afwijkingen niet toegestaan zijn, maar dat is principieel onjuist. Het gaat er juist om dat de opdrachtnemer laat zien hoe afwijkingen worden gesignaleerd, hoe zij worden verholpen en dat herhaling wordt tegengegaan of voorkomen. Dit geldt ook als Systems Engineering wordt toegepast. In verband met de aantoonbaarheid en transparantie wordt uiteraard verwacht dat dit proces wordt gedocumenteerd. Een mogelijkheid daarvoor is om een beheersmaatregel op te nemen in de eisenstructuur. Tevens bieden boomstructuren als de SBS, WBS en FBS de mogelijkheid om inzicht te verkrijgen in de consequenties van afwijkingen.

Nadere informatie / hulpmiddelen

Zie voor de invulling van de diverse managementsystemen BAM Plaza. Voor veel BAM Infra bedrijven is het kwaliteitsmanagementsysteem via deze intranetsite online te raadplegen. Ook zijn hier hulpmiddelen en standaarden te downloaden.

Voor het opstellen van werk- en keuringsplannen worden binnen BAM standaarden gehanteerd per discipline. Zie hiervoor ook deel 1, Verificatie en validatie (paragraaf 2.6).

4 Planningsmanagement

Achtergrond

In de systematiek van Systems Engineering zijn de uit te voeren werkzaamheden uiteenge-
rafeld in de Work Breakdown Structure (WBS).
De relaties tussen de activiteiten uit de WBS
en de voortgang worden weergegeven in de
overall planning en de deelplanningen. Een
planning kan worden opgebouwd door aan
elke activiteit of aan elk werkpakket uit de
WBS een uitvoeringsperiode te koppelen.

Uitwerking

- ◆ In de praktijk zullen het opstellen van een planning en het uitwerken van de WBS samen opgaan, omdat de uitwerking van activiteiten in kleinere eenheden vaak nauw samenhangt met een logische volgorde en werkwijze. De planner zal dus een belangrijke rol hebben in de totstandkoming en invulling van de WBS.
- ◆ Het is van belang dat de relatie tussen de WBS en de planning duidelijk wordt vastgelegd. Dit kan worden bereikt door de WBS-code en de activiteitbeschrijving over te nemen in de planning. Vanuit de overall planning worden afgeleide planningen gemaakt, zoals de ontwerpplanning, de uitvoeringsplanning en de vergunningenplanning.
- ◆ Het is de taak van de projectorganisator of planner om erop toe te zien dat de verschillende werkpakketten op elkaar zijn afgestemd door middel van de overall planning.
- ◆ De volgorde van activiteiten in de WBS hoeft niet per definitie overeen te komen met de planningsvolgorde. Van belang is dat de WBS-code van de betreffende activiteiten ongewijzigd blijft.

Nadere informatie / hulpmiddelen

Binnen BAM worden diverse applicaties voor planningsmanagement toegepast. Soms schrijft de opdrachtgever in het contract de applicatie voor. Onder meer het softwarepakket Primavera Project Manager biedt de mogelijkheid om een WBS-code te koppelen aan een activiteit. De WBS-codering biedt vervolgens extra filtermogelijkheden op basis van werkpakketten.

5 V & G - management

Achtergrond

V&G-management omvat het geheel aan activiteiten die de veiligheid en gezondheid van de werknemers en de omgeving moeten waarborgen tijdens realisatie, onderhoud of sloop van een systeem. De verantwoordelijkheid voor het veilig functioneren van een gerealiseerd systeem (zoals een stormvloedkering of een spoorverbinding) ligt bij de RAMS-manager (zie Deel 3, hoofdstuk 2). Het toepassen van Systems Engineering heeft voor het V&G-management maar beperkt veranderingen tot gevolg.

Al in een vroeg stadium van het technisch proces wordt de basis gelegd voor de mate waarin een systeem veilig en gezond kan worden gerealiseerd en/of onderhouden. Soms kan een principekeuze op vrij hoog niveau al grote consequenties hebben voor de veiligheid tijdens realisatie. Systems Engineering kan helpen om ook dit aspect expliciet in beeld te brengen en te houden bij afwegingen tijdens het engineeringproces.

Uitwerking

- ◆ Een opdrachtnemer heeft de verplichting om een V&G-plan op te stellen conform het Arbobesluit (paragraaf 2.27). Het V&G-plan kan per fase (ontwerp / uitvoering / beheer en onderhoud) worden opgesteld, maar er kan ook worden gekozen voor een integraal V&G-plan (voor alle fasen). In de ontwerp-fase moeten in elk geval een inventarisatie en evaluatie van de V&G-risico's voor de volgende fasen worden uitgevoerd. Dit onderdeel staat bekend als de (project) risico-inventarisatie en -evaluatie, afgekort tot (P)RIE. De V&G-risico's behoren in de ontwerpafwegingen een rol te spelen en te worden vastgelegd in de trade-off matrices. De systematiek om V&G-risico's te inventariseren en te beheersen is vergelijkbaar met de werkwijze voor risicomanagement in het algemeen (zie Deel 3, hoofdstuk 1).
- ◆ Als uit een (P)RIE beheersmaatregelen volgen, worden deze als nieuwe eisen (herkenbaar) opgenomen in het eisenmanagementsysteem, waardoor beheersing van deze eisen is gewaarborgd.
- ◆ In de trade-off matrices die worden gebruikt bij het maken van (belangrijke) ontwerpafwegingen, dienen ook de V&G-aspecten nadrukkelijk te worden meegewogen. Behalve technische factoren, bijvoorbeeld waarom een prefab viaduct slimmer kan zijn dan een in het werk gestorte variant, speelt dus ook de veiligheid tijdens de realisatie een grote rol bij de afweging.
- ◆ Veiligheidsvoorschriften die volgen uit keuzen voor ontwerp- of realisatiemethoden kunnen als afgeleide eis worden opgenomen in het eisenmanagementsysteem. Door deze (proces)eisen te koppelen aan werkpakketten, wordt voorkomen dat veiligheidsvoorschriften in een later stadium worden vergeten.

6 Omgeving- en vergunningsmanagement

Achtergrond

Projecten van BAM Infra spelen zich doorgaans af in omgevingen waar veel partijen en gebruikers op enige manier hinder kunnen ondervinden van werkzaamheden en/of belangen hebben in het gebied of de omgeving. Vandaar dat publieke procedures een grote rol spelen in de besluitvorming rondom projecten en veel beperkingen kunnen opleggen. Opdrachtgevers verwachten van opdrachtnemers dat zij zo goed mogelijk rekening houden met de belangen van de omgeving. Dit kan onder meer door hinder te beperken, door duidelijk te communiceren wanneer hinder onvermijdelijk is en door vergunningen en voorschriften in acht te nemen. Deze maatregelen zijn van groot belang voor het imago van de opdrachtgever en voor het draagvlak onder de bevolking en andere belanghebbenden.

Een systeem kan niet functioneren zonder zijn omgeving. Dat geldt zeker voor infrastructuur, waarvan de relatie met de omgeving nauw en veelzijdig is. Voor het technisch proces is het dus van belang de invloed van de omgeving op het systeem te kennen en daarop te anticiperen. Dit kan door het te bouwen systeem zo veel mogelijk af te stemmen op het bestaande systeem, maar ook door waar mogelijk oplossingen of uitvoeringmethoden te kiezen die de overlast voor de omgeving beperkt houden.

De verantwoordelijkheid voor het aanvragen van vergunningen wordt in toenemende mate bij de opdrachtnemer gelegd. Daarnaast wil BAM graag als 'attente bouwer' in de samenleving staan. Het is daarom van groot belang om eisen uit randvoorwaarden, vergunningen en de omgeving in kaart te brengen en te implementeren in het technisch proces. Bij veel projecten van BAM wordt hiervoor een vergunningencoördinator aangesteld, die beschikt over specialistische kennis van procedures en regels.

Uitwerking

Om vroegtijdig te kunnen anticiperen op mogelijke knelpunten, is het noodzakelijk om in een vroeg stadium een goed beeld te hebben van de relaties van het systeem met de omgeving. Hiertoe kan een zogeheten contextanalyse worden uitgevoerd. Daarin worden alle relaties met 'de omgeving' (zowel de fysieke omgeving als de belanghebbenden) in beeld gebracht met een aanduiding van het wederzijdse belang. Uit de contextanalyse wordt bepaald welke instanties van het bevoegd gezag bij het project betrokken zijn, welke tijdelijke en definitieve vergunningen van toepassing zijn, welke informatie nodig is voor vergunningaanvragen en wat de aanvraagproceduretijden zijn. Daarnaast worden de raakvlakken met de directe omgeving in beeld gebracht.

De informatie uit de contextanalyse levert eisen en raakvlakken op. Deze moeten, net als alle overige eisen, in het technisch proces worden beheerst.



Vergunningen

Voor de beheersbaarheid van de vergunningen is het zinvol een expliciete relatie te leggen tussen SBS / WBS / OBS en de vergunningen. Hierdoor ontstaat inzicht in de vergunningen per object. Ook de wederzijdse invloed tussen uitvoeringsvolgorde en vergunningprocedures kan hiermee gemakkelijker zichtbaar gemaakt worden.

Verstreckte vergunningen leveren doorgaans nieuwe of aanvullende eisen op voor het ontwerp, de uitvoering en / of het gebruik. Door deze eisen te integreren met het geheel van projecteisen in een eisendatabase, kan de naleving worden beheerst en aangetoond.

Omgeving

Eisen die voortkomen uit de relaties van het systeem met de omgeving worden beschouwd als 'raakvlakeisen'. Vaak geeft de opdrachtgever een deel van deze raakvlakeisen al expliciet aan, maar vanuit de contextanalyse kunnen deze eisen worden aangevuld. De raakvlakeisen worden op dezelfde wijze als de overige eisen beheerst.

Nadere informatie / hulpmiddelen

De uitvoering van een contextanalyse is beschreven in het Handboek Oplossingsvrij specificeren van CROW, Deel C, Tab 2, hoofdstuk 3.1 [lit.4].

Om de toenemende verantwoordelijkheid ten aanzien van vergunningen en omgeving te kunnen invullen, werkt BAM Infraconsult het vergunningenbeheersysteem steeds verder uit.

7 Configuratiemanagement

Achtergrond

De term configuratiemanagement is in de bouw geïntroduceerd met de komst van Systems Engineering. Een configuratie geeft de status weer van een ontwerp, een object en dergelijke op een bepaald moment in de tijd. Configuratiemanagement betreft het vastleggen van wijzigingen in die status en het inzicht geven in de consequenties hiervan.

Het doel van configuratiemanagement is ervoor te zorgen dat iedereen steeds met de juiste uitgangspunten en gegevens werkt en dat wijzigingen van uitgangspunten en gegevens via beheerste procedures verlopen. Hiermee worden fouten voorkomen. Daarnaast is, wanneer toch fouten ontstaan of wijzigingen optreden, sneller duidelijk hoe ver de consequenties daarvan reiken. Configuratiemanagement kan dan ook een nuttige rol spelen voor de communicatie met de opdrachtgever, bijvoorbeeld als er wijzigingen optreden in de vraagspecificatie.

Het is belangrijk om in het ontwerp- en uitvoeringsproces momenten op te nemen om de gegevens en uitgangspunten te 'bevriezen'. Op deze momenten (die ook wel 'baselines' worden genoemd) wordt de configuratie vastgesteld. De configuratie van een project is een 'gedocumenteerde vaststelling van de status op dat moment'. Een voorbeeld van een configuratie is een geautoriseerde (ontwerp)documentenlijst tijdens de ontwerpfase (met een nauwkeurige aanduiding van statussen en versies). Een ander voorbeeld is een as-built-documentatie na de oplevering.



Uitwerking

Configuratiemanagement houdt in dat de volgende stappen worden doorlopen:

1. vastleggen van de configuratie op een zeker moment (baseline);
2. bijhouden van wijzigingen op deze configuratie;
3. bijhouden van de documentatie behorende bij de configuratie;
4. controleren (auditeren).

Wanneer een project organisatorisch of technisch zodanig complex is dat wijzigingen en versiebeheer een kritieke succesfactor vormen, kan worden besloten om configuratiemanagement expliciet toe te passen. Dit houdt in dat in het projectteam afspraken worden gemaakt over bovenstaande stappen. Een eenvoudige afspraak om de configuratie op een zeker moment vast te stellen, is bijvoorbeeld het periodiek autoriseren van een documentenlijst. Zo'n lijst bevat alle documenten (titel, versie, datum, e.d.) die ten behoeve van een ontwerp (titel, versie, datum, e.d.) zijn gebruikt. Daarnaast wordt met behulp van werkpakketbeschrijvingen de configuratie van objecten vastgelegd.

Nadere informatie / hulpmiddelen

Configuratiemanagement wordt wel eens verward met documentbeheer. Er is echter een duidelijk verschil. Met documentbeheer wordt inzichtelijk gemaakt welke documenten op welk moment beschikbaar waren; met configuratiemanagement wordt inzichtelijk gemaakt welke documenten wanneer waarvoor gebruikt zijn, wanneer welke gegevens of situaties zijn gewijzigd en welke gevolgen dat heeft voor andere onderdelen. Configuratiemanagement heeft dus alles te maken met de 'aantoonbaarheid' die binnen Systems Engineering wordt vereist.

8 Documentmanagement

Achtergrond

Documentmanagement houdt in dat alle documenten die te maken hebben met een project beheerst worden. Dat wil onder meer zeggen dat documenten terugvindbaar en toegankelijk zijn, dat versiebeheer plaatsvindt en dat de archivering is geregeld.

Documentmanagement wordt in de bouwsector inmiddels als een belangrijk aandachtsgebied erkend. De overtuiging is gegroeid dat door een goede beheersing van de documentenstroom fouten worden voorkomen. Daarnaast is het voor het oplossen van meningsverschillen met opdrachtgevers of onderaannemers van belang om 'bewijsmateriaal' paraat te hebben.

De introductie van Systems Engineering in de sector betekent een verdere toename van het belang van documentmanagement. SE betekent immers dat de aantoonbaarheid en traceerbaarheid van het technisch proces tot in detail gewaarborgd moeten zijn, en dat leidt doorgaans tot een toename van het aantal documenten, die vervolgens beheerst moeten worden. Waar bijvoorbeeld verificatierapporten verwijzen naar bewijsdocumenten, is het zaak dat deze bewijsdocumenten zonder problemen zijn terug te vinden. Ook een goede terugvindbaarheid van argumenten voor eerder gemaakte keuzen, zoals vastgelegd in een trade-off matrix, draagt bij aan een efficiënt en effectief technisch proces.

Documentmanagement kan worden gezien als een onderdeel van configuratiemanagement (zie Deel 3, hoofdstuk 7). Dit laatste omvat het vastleggen en bijhouden van wijzigingen in de status van objecten (in zowel de ontwerpfase, de realisatiefase als de fase van beheer en onderhoud). Voor het vastleggen van de status en het bijhouden van wijzigingen zijn veelal documenten nodig; deze worden beheerst door documentmanagement.

Uitwerking

Het toepassen van SE betekent dat een project door middel van diverse boomstructuren in onderdelen wordt geknipt. Deze boomstructuren dienen doorgaans als basis voor de structuur waarmee het documentmanagement wordt ingericht. Zo kunnen documenten worden gekoppeld aan objecten (SBS), werkpakketten (WBS) of organisatieonderdelen (OBS). Vaak wordt een documentcodering toegepast die wordt gebaseerd op de relatie met deze boomstructuren.

9 Inkoopmanagement

Achtergrond

Het beheersen van in te kopen materialen en arbeidskracht heeft in de bouw altijd een belangrijke rol gespeeld. Om twee redenen zal het belang van een beheerst inkoopproces alleen nog maar toenemen: projecten worden steeds groter en meer integraal op de markt gezet en technieken worden steeds specialistischer.

Voor Systems Engineering betekent inkoop dat een deel van de eisen door een externe partij, vaak buiten het volledige blikveld van de hoofdopdrachtnemer, wordt gerealiseerd of uitgewerkt. De hoofdopdrachtnemer moet dus een manier vinden om zicht te houden op de volledige eisenset en de bijbehorende uitwerking. Ook moet hij de raakvlakken beheersen. Als er verschillende onderopdrachtnemers aan het werk zijn, is bovendien de afstemming tussen de werkzaamheden onderling van belang. Een ontwerpkeuze of uitvoeringsmethode van de ene partij kan namelijk (grote) consequenties hebben voor de uitwerking door een andere partij.

Uitwerking

Het integreren van inkoopmanagement in Systems Engineering levert de volgende aandachtspunten op.

- ◆ Probeer uit te besteden werkzaamheden in de WBS samen te voegen tot één werkpakket. Vermeld in de bijbehorende beschrijving zowel de eisen aan de producten als de proceseisen (voor bijvoorbeeld datum van levering en wijze van realisatie). In dit geval is een externe partij verantwoordelijk voor het op tijd en volgens specificaties uitvoeren van het werkpakket. De hoofdaannemer kan raakvlakken beheersen doordat in de werkpakketdefinitie ook de raakvlakken met andere werkpakketten zijn vastgelegd.
- ◆ Een onderopdrachtnemer zal vaak doorgaan met het afleiden van eisen en het kiezen van oplossingen. De hoofdopdrachtnemer moet bepalen welke gegevens en in welk format de onderopdrachtnemer moet leveren ter onderbouwing van dat proces en als input voor het eisenmanagementsysteem. Afspraken hierover worden vastgelegd in de overeenkomst tussen hoofdopdrachtnemer en onderopdrachtnemer.
- ◆ In te kopen producten zijn vaak voorzien van certificaten. Deze geven aan dat het product aan bepaalde specificaties voldoet. Een certificaat kan worden opgevat als het bewijs van een uitgevoerde verificatie en soms validatie. Een inkoper moet steeds de vraag stellen op welke wijze de verificatie is geregeld. Als een certificaat beschikbaar is, moet hij nagaan of dit geldt voor het gewenste toepassingsgebied. Als geen certificaat beschikbaar is, zal de leverancier of de hoofdopdrachtnemer in een verificatie moeten voorzien.

10 Financieel management

Achtergrond

Financieel management omvat de raming en bewaking van geldstromen van het project. Het is voor zowel de opdrachtgever als de opdrachtnemer van belang om de cashflow inzichtelijk te maken en het project hierop te sturen.

Opdrachtgevers hebben in toenemende mate een voorkeur voor betaling op basis van gereede producten. Dit houdt in dat (een deel van) het werk pas wordt betaald nadat de opdrachtnemer heeft aangetoond dat het werk is gerealiseerd conform de vooraf overeengekomen eisen. Dit betalingsmechanisme stelt hoge eisen aan de wijze waarop de relatie tussen betaling, relevante eisen en resultaten van werkzaamheden (objecten) wordt beheerst. Toepassing van Systems Engineering levert hieraan een bijdrage.

De grote opdrachtgevers voor infrastructurele werken (Rijkswaterstaat en Prorail) schrijven in veel contracten voor dat de betalingsstructuur moet worden gebaseerd op de WBS. Daarmee ontstaat voor beide partijen inzicht in de te verwachten geldstroom en wordt een directe relatie gelegd tussen Systems Engineering en financieel management. Naast zijn primaire interne functie, namelijk het beheersen van alle projectgerelateerde activiteiten met inbegrip van budgettering en planning, krijgt de WBS hiermee een aanvullende functie. De betalingsstructuur hoeft niet volledig overeen te komen met de WBS, maar het verband moet wel duidelijk zijn. Uiteraard moeten de bedragen die aan de activiteiten worden gekoppeld, in verhouding staan tot de werkelijk door de opdrachtnemer te maken kosten.

In de praktijk is de betalingsstructuur met name gebaseerd op werkzaamheden die in het technisch proces worden uitgevoerd, omdat daarin de meeste kosten worden gemaakt. Ondersteunende processen, zoals kwaliteitsmanagement of omgevingsmanagement, zijn minder eenvoudig in producten onder te verdelen. Afhankelijk van wat de opdrachtgever wenst, kunnen algemene kosten als separate betaling worden opgenomen in de termijnstaat, of als percentagetoeslag op ieder werkpakket.

Uitwerking

Opbouw betalingsstructuur

Omdat in de praktijk de WBS vaak de basis vormt voor termijnbetalingen, dienen werkpakketten zodanig te zijn ingericht dat de betalingen parallel lopen met de gemaakte kosten voor het project. De betaalbaarstelling van afgeronde activiteiten mag niet worden tegengehouden door gerelateerde activiteiten die in een later stadium worden uitgevoerd. Het is daarom van belang dat activiteiten met grote verschillen in doorlooptijden niet als één betalingsproduct worden gedefinieerd. Zorg ervoor dat langlopende activiteiten waar nodig op een handige manier worden opgedeeld.

Daarnaast kan het zinvol zijn om activiteiten met een overeenkomstige looptijd te clusteren. Daarmee worden namelijk administratieve besparingen gerealiseerd. Het clusteren van activiteiten in één betalingsitem is hoe dan ook wenselijk wanneer deze activiteiten binnen één betalingstermijn worden afgerond.

Het is voor de opdrachtnemer van belang om de afspraken die hij heeft gemaakt met de opdrachtgever waar nodig 'door te zetten' naar onderaannemers en leveranciers. Als de opdrachtnemer bijvoorbeeld pas activiteiten in de termijnstaat kan opvoeren nadat de kwaliteit door keuringen en certificaten is aangetoond, dan zal hij deze betalingsvoorwaarde ook moeten opleggen aan de partijen (onderaannemers, leveranciers) die de betreffende deelopdrachten uitvoeren. Andersom kan het voorkomen dat onderaannemers bepaalde betalingsvoorwaarden afdwingen bij de opdrachtnemer. Het is voor de laatste dan aan te bevelen deze voorwaarden te verwerken in de betalingsregeling met de opdrachtgever.

Prestatieverklaring en betaling

Voordat (de financiële administratie van) de opdrachtgever geleverde werkzaamheden en/of producten kan betalen, moet doorgaans eerst een 'prestatieverklaring' worden afgegeven. Daarin wordt vastgelegd dat de opdrachtnemer voor een bepaald deel van

de overeenkomst aan de verplichtingen heeft voldaan. Op basis van de prestatieverklaring kan de administratie van de opdrachtgever de feitelijke betaling uitvoeren.

Bij een betalingsstructuur op basis van gerede producten moet, voorafgaand aan het ontwerp en de realisatie, met de opdrachtgever overeenstemming worden bereikt over de opsplitsing van het werk in betaalproducten. Deze opsplitsing wordt vaak gebaseerd op de indeling van het werk in werkpakketten. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen werkpakketten in de ontwerpfase en werkpakketten in de realisatiefase.

De juistheid en compleetheid van de ontwerpproducten wordt aangetoond met verificatierapporten. Deze gelden als onderbouwing voor de betaling van ontwerpgerelateerde betaalproducten. Op basis van de verificatierapporten besluit de opdrachtgever om voor de betreffende betalingsproducten al dan niet een prestatieverklaring af te geven. Voor betaalproducten uit de realisatiefase vormen keuringsplannen de onderbouwing voor het afgeven van een prestatieverklaring; deze plannen geven inzage in onder meer keuringsaspecten, criteria, toleranties, frequenties en keuringsregistraties.

Nadere informatie / hulpmiddelen

Binnen BAM worden verschillende financiële pakketten gehanteerd, zoals Kraan, Metacom en SAP. Vanuit financieel management is het wenselijk dat het programma de relatie met werkpakketten kan leggen. Ook planningprogramma's kunnen bijdragen aan het financieel management. Zo biedt het programma Primavera de mogelijkheid om bedragen te koppelen aan planningsactiviteiten en WBS-codes; hierdoor kunnen de geplande en de actuele cashflow worden weergegeven.

Begrippenlijst

Activiteitenboom	19	Primaire proces	11
Aspecteisen	32	Proces-eisen	32
Beoordeling op juistheid	22	Raakvlakbeheersing	36
CENElec-norm	9	Raakvlak-controleformulier	36
Configuratie	60	Raakvlakeisen	32
CROW	9	Raakvlakken	18
Detailniveaus van eisen	33	Realisatie	53
Eisenanalyse	30	Realisatieplanning	55
Eisenboom	20	Requirements Breakdown Structure (RBS)	20
Externe raakvlakken	18	SMART	36
Fit for purpose	22	Specificatie	33
Functieboom	20	Stakeholders analyse	29
Functie-eisen	32	Systeem	17
Functional Breakdown Structure (FBS)	20	Systeemdecompositie	19
Inspectieplan	24	Systeemdenken	17
Inspectierapport	25	Systeemgrens	17
Inspecties	63	System Breakdown Structure (SBS)	19
Integratieproces	54	Systems Engineering	8
Interne raakvlakken	18	Technische proces	11
Invoeringsproces	54	Toetsen op integratie	42
ISO 50126	9	Trade off matrix	48
ISO/IEC 15288	9	Validatie	21
Keuringsplan	24	Verificatie	21
Keuringsrapport	25	Verificatiemethode	23
Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector	11	Verificatienota	25
Objecteisen	32	Verificatieplan	24
Objectenboom	19	Verificatierapport	25
Onderhoudsstrategie	62	Vorbereiding	53
Ontwerpbasis	44	Werkgrens	17
Ontwerpproces	44	Werkpakketdefinitie	20
Opleveringsplannen	56	Werkpakketten	20
Organisatieboom	19	Werkplannen	54

Bronverwijzingen

- [1] Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector; Rijkswaterstaat, Prorail, Bouwend Nederland, ONRI; maart 2007.
- [2] ISO/IEC 15288:2002; Systems engineering – System life cycle processes.
- [3] CENELEC EN 50126-1:1999; Spoorwegtoepassingen – De specificatie en het bewijs van de bruikbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en veiligheid.
- [4] Handboek Oplossingsvrij Specificeren, CROW, Ede, februari 2007.
- [5] Handreiking Functioneel Specificeren; Ministerie van Verkeer en Waterstaat; 26 september 2005.
- [6] Afstudeerscriptie Guus Ogink, Culemborg, oktober 2007. 'Een model voor de integratie van RAMS in het ontwerpproces van infrastructuur'.
- [7] NEN-EN-ISO 9001:2000; Kwaliteitsmanagementsystemen – Eisen.

Colofon

Eindredactie

Rik de Groot, Herwijnen

Vormgeving

Inpladi BV, Cuijk

Productie

CROW, afdeling Uitgeverij

Drukwerk

vanGrinsven drukkers Venlo bv

Illustraties

Auke Herrema, Delft



BAM Infra

p/a BAM Infraconsult
H.J. Nederhorststraat 1
2801 SC Gouda
Postbus 268
2800 AG Gouda
Telefoon (0182) 59 05 10
E-mail info@baminfraconsult.nl

