



# Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector





# **Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector**



# INHOUDSOPGAVE

<b>VOORWOORD</b>	<b>4</b>
<b>LEESWIJZER</b>	<b>6</b>
<b>1. SYSTEMS ENGINEERING</b>	<b>8</b>
1.1 Achtergronden	8
1.2 Systeemdenken	8
<b>2. SYSTEMS ENGINEERING BINNEN GWV</b>	<b>11</b>
2.1 Doelen	11
2.2 Leidende principes	12
2.3 Groeipad	13
<b>3. DE ESSENTIE VAN DE WERKWIJZE</b>	<b>15</b>
3.1 De klantvraag centraal stellen	15
3.2 Levenscyclus optimaliseren	16
3.3 Iteratief specificeren	16
3.4 Top-down ontwikkelen en bottom-up realiseren	17
3.5 Verifiëren en valideren	18
<b>4. PROCESSTAPPEN</b>	<b>20</b>
4.1 Fasering	20
4.2 Ontwikkelfase	21
4.3 Realisatiefase	26
4.4 Verificatie & validatie	26
<b>5. LEVENSCYCLUSBENADERING</b>	<b>28</b>
5.1 De levenscyclusbenadering in processen	28
5.2 RAMS	29
5.3 Value Engineering	30
5.4 Life Cycle Cost	31
5.5 Asset Management	32
<b>6. PROJECTMANAGEMENT</b>	<b>33</b>
6.1 Samenhang van de processen	33
6.2 Interdisciplinaire projectaanpak	34
6.3 Risicomanagement	35
6.4 Work Breakdown Structure	37
<b>7. RELATIE OPDRACHTGEVER - OPDRACHTNEMER</b>	<b>39</b>
7.1 Koppelpunten	39
7.2 Vraagspecificatie	43
<b>8. HANDREIKING</b>	<b>46</b>
<b>BEGRIPPENLIJST</b>	<b>48</b>
<b>COLOFON</b>	<b>51</b>

# VOORWOORD

## SAMEN DE RICHTING BEPALEN

April 2007 verscheen de eerste Leidraad Systems Engineering; het resultaat van een krachtenbundeling van Rijkswaterstaat, ProRail, Bouwend Nederland en NLingenieurs (voorheen ONRI). Wat later schoof ook de Vereniging van Waterbouwers aan bij dit vier-partijenoverleg. Het verschijnen van de Leidraad bleef niet onopgemerkt. De uitgave legde de basis voor een gemeenschappelijke taal in de GWW-sector (Grond-, Weg- en Waterbouwsector) en stimuleerde een nieuwe werkwijze die het bouwproces efficiënter en doelmatiger laat verlopen. Partijen namen het initiatief om Systems Engineering te implementeren in hun organisatie en de werkwijzen beter op elkaar af te stemmen. Duidelijk is dat de vraagspecificatie op het koppelpunt tussen opdrachtgever en opdrachtnemer meer en meer wordt toegepast en een uniformere opzet heeft. Wel blijft het een uitdaging om meer oplossingsvrijheid te creëren en het systeemdenken te bevorderen.

## CREATIEVE OPLOSSINGEN

Systems Engineering staat niet op zichzelf maar past binnen de brede vernieuwing die plaatsvindt binnen de GWW-sector. Opdrachtgevers concentreren zich meer en meer op het specificeren van een probleemstelling en het inkopen van producten en diensten. Opdrachtnemers komen met creatieve oplossingen en pakken steeds meer de integrale verantwoordelijkheid voor het ontwerpen en bouwen. De vernieuwing vraagt ondermeer om transparantie, klantgericht en expliciet werken. De principes, methoden en technieken van Systems Engineering dragen hier uitstekend aan bij.

## ERVARINGEN EN INZICHTEN

De afgelopen jaren is flink wat ervaring opgedaan met het toepassen van Systems Engineering binnen de GWW-sector. Daarbij zijn er diverse successen behaald, maar blijkt het toepassen van Systems Engineering ook een proces van ontwikkeling en voortschrijdend inzicht. De ervaringen, inzichten en suggesties van de afgelopen jaren wilden we delen met iedereen die aan de slag is of gaat met Systems Engineering. We hebben dan ook goed geluisterd naar de opmerkingen, onduidelijkheden en knelpunten die zijn aangedragen door gebruikers van de Leidraad. Dit alles leidde tot deze nieuwe versie. Daarin werken we ook de aansluiting op het projectmanagement verder uit. Verder besteden we aandacht aan de vraag hoe ver je moet gaan met Systems Engineering. Het blijkt namelijk dat te rigide interpretatie van afspraken kan leiden tot bureaucratie. En dat is nu juist niet de bedoeling van Systems Engineering.

Overigens waren heel wat reacties opbouwend. Zo noemt men de manier waarop we Systems Engineering binnen de GWW-sector invullen bijzonder. Waar het in het buitenland vaak de opdrachtgever is die voorschrijft hoe de aannemer moet werken, is er hier ruimte voor eigen invulling en geven we alleen de richting aan. En zelfs die richting bepalen we samen. Systems Engineering is dan ook een zoektocht naar gezamenlijk belang.

## RICHTLIJNEN

Ook deze tweede versie van de Leidraad wil nadrukkelijk géén ‘kookboek’ zijn. Het biedt geen recept dat, wanneer het ingrediënt voor ingrediënt wordt opgevolgd, een project volgens Systems Engineering-standaard oplevert. Wat het dan wél is? Een uitgave die een eenduidig beleid biedt en randvoorwaarden creëert voor toepassing van Systems Engineering bij infrastructurele werken. Het geeft kaders, zegt iets over hoe partijen met elkaar omgaan en laat zien welke stappen nodig zijn binnen een Systems Engineering-project. De Leidraad vraagt van de lezer dat deze de principes van Systems Engineering doorgrondt, om deze vervolgens op creatieve wijze te vertalen naar de eigen bedrijfsprocessen en daarmee naar de aanpak van projecten. Hiervoor bieden we enkele handreikingen.

## IMPULS

Deze Leidraad is het resultaat van theorie én praktijk, ideeën én ervaringen. Wie deze Leidraad openslaat, vindt handvatten om Systems Engineering te vertalen naar eigen projecten om zo op snelle en transparante wijze werken te realiseren die aantoonbaar aan de klantvraag voldoen en minder faalkosten hebben. We willen hiermee een nieuwe impuls geven aan de cultuuromslag naar integraal bouwen. Zodat Systems Engineering, nog meer dan nu het geval is, een gedeeld gedachtegoed wordt en een vanzelfsprekend onderdeel is van de manier van werken. Oftewel: dat Systems Engineering bij iedereen die bouwt in de GWW-sector 'in de genen' komt!



Bert Keijts, Rijkswaterstaat

---

*“Systems Engineering is een werkinstrument voor opdrachtgever en opdrachtnemer. Daarom is het belangrijk de gezamenlijke ervaringen te benutten bij een verdere ontwikkeling naar efficiënte werkprocessen.”*

*“Systems Engineering toont het belang van een goed ontwerp; dit is bepalend over de gehele levensduur van het systeem. Systems Engineering maakt het mogelijk om hier doelmatig en beheerst invulling aan te geven.”*



Ed Nijpels, NLingenieurs

---



Elco Brinkman, Bouwend Nederland

---

*“Systems Engineering bevordert de samenwerking binnen de bouwketen omdat er gewerkt wordt aan één taal en het zorgt voor een standaardisering van de gehanteerde instrumenten.”*

*“Het ontwikkelen en realiseren van complexe oplossingen op het snijvlak van infrastructuur, veiligheid en politieke ambities maakt Systems Engineering tot een noodzakelijke ontwikkeling voor ProRail.”*



Patrick Buck, ProRail

---



Frank Verhoeven, Vereniging van Waterbouwers

---

*“De klant geeft ons via Systems Engineering de ruimte om met creatieve en innovatieve oplossingen te komen en tegelijk de faalkosten te reduceren.”*

# LEESWIJZER

De Leidraad is bestemd voor iedere medewerker die betrokken is bij de voorbereiding en uitvoering van projecten in de GWW-sector. Deze Leidraad biedt kaders voor het werken met Systems Engineering. Veel begrippen lichten we bij introductie kort toe. Voor wie een begrip of afkorting wil nazoeken, biedt de begrippenlijst achter in deze uitgave uitkomst. Hierin geven we per begrip weer welke definitie we hanteren in deze Leidraad.

## POSITIONERING

Bestond de eerste versie van de Leidraad nog uit een managementdeel en een technisch deel, de huidige Leidraad is één geheel. Ook zijn er, afgezien van de begrippenlijst, geen bijlagen opgenomen in deze uitgave. De Leidraad is door de samenwerkende partijen gepositioneerd als richtinggevend document voor de werkwijze binnen de GWW-sector. De praktische uitwerking daarvan moet matchen met de 'eigen' bedrijfsprocessen van de gebruiker en wordt dan ook niet voorgeschreven in bijlagen. Wel bieden Rijkswaterstaat, ProRail, Bouwend Nederland, NLingenieurs en de Vereniging van Waterbouwers een handreiking voor deze toepassing in de eigen praktijk in het afsluitende hoofdstuk. Bovendien plaatsen de organisaties op de website [www.leidraadse.nl](http://www.leidraadse.nl) regelmatig publicaties die met de onderwerpen in de Leidraad samenhangen. Op deze website kunt u zich ook laten inspireren door voorbeeldprojecten.

Deze tweede versie van de Leidraad is wederom geen handboek of werkinstructie. Het geeft een globaal overzicht van de werkwijze bij de toepassing van Systems Engineering in de sector. In de tekst zijn Do's en Don'ts opgenomen. Dit zijn praktische instructies voor projectteams bij het toepassen van Systems Engineering. Voor gedetailleerdere informatie over Systems Engineering in generieke zin verwijzen we graag naar het handboek van INCOSE (versie 3.0).

## INHOUD HOOFDSTUKKEN

In **hoofdstuk 1 Systems Engineering** leest u meer over het ontstaan van Systems Engineering. Ook vindt u hier een definitie en lichten we het systeemdenken verder toe. **Hoofdstuk 2 Systems Engineering binnen GWW** beschrijft kort het hoe en waarom van Systems Engineering binnen de GWW-sector en beschrijft de beoogde doelen. Ook gaan we hier verder in op de negen leidende principes en de ambities van de partijen bij het implementeren van deze werkwijze. In **hoofdstuk 3 De essentie van de werkwijze** leest u de uitwerking van enkele essentiële kenmerken bij de werkwijze volgens Systems Engineering. Onderwerpen die daarbij aan de orde komen zijn: de klantvraag centraal stellen, de levenscyclus optimaliseren, iteratief specificeren en tot slot verifiëren en valideren.

Een systeem doorloopt in de levenscyclus diverse fasen. In **hoofdstuk 4 Processtappen** leest u alles over de fasering van projecten. Het hoofdstuk gaat in op de processtappen die met Systems Engineering worden doorlopen en schenkt hierbij veel aandacht aan de ontwikkel- en realisatiefase. **Hoofdstuk 5 Levenscyclusbenadering** beschrijft dat Systems Engineering zich richt op de klantbehoeften gedurende de gehele levenscyclus. Dit hoofdstuk gaat over de levenscyclusbenadering en diverse begrippen die bijdragen aan een goede analyse van de levenscyclus: RAMS, Value Engineering, Life Cycle Cost (LCC) en Asset Management. **Hoofdstuk 6 Projectmanagement** laat zien dat projectmanagement en Systems Engineering een sterke



samenhang kennen, maar dat er ook duidelijke verschillen zijn. We maken hier duidelijk hoe Systems Engineering kan bijdragen aan de beheersing van de projectprocessen en procesrisico's. Ook laten we zien hoe de werkwijze doorwerkt in het projectteam. Toepassing van Systems Engineering stelt voorwaarden aan de manier waarop opdrachtgever en opdrachtnemer met elkaar omgaan. **Hoofdstuk 7 Relatie opdrachtgever – opdrachtnemer** gaat hierop in en toont hoe dit ook doorwerkt in de contracten. Daarbij besteden we extra aandacht aan de vraagspecificatie. In **hoofdstuk 8 Handreiking** leest u tot slot enkele tips voor het toepassen van Systems Engineering binnen uw eigen organisatie.

# 1

## SYSTEMS ENGINEERING

### 1.1 ACHTERGRONDEN

#### GESCHIEDENIS

Systems Engineering is voor het eerst toegepast in de telefoniesector als methode om operabiliteit tussen de verschillende delen van het telefoonsysteem te realiseren. Tijdens de Tweede Wereldoorlog was het vooral Bell Labs die Systems Engineering toepaste bij complexe telefoniesystemen.

In de jaren vijftig van de twintigste eeuw nam de meer algemene toepassing van Systems Engineering een vlucht. De werkwijze werd parallel verder ontwikkeld in de lucht- en ruimtevaart, in de defensie-industrie (Boeing, Lockheed, Rockwell) en in de commerciële sector (AT&T). Zo ontwikkelde Systems Engineering zich tot een methode om steeds complexer wordende (R&D-) problemen het hoofd te kunnen bieden.

#### INCOSE

In 1990 richtten een aantal bedrijven en overheidsinstellingen in de Verenigde Staten het eerste professionele platform voor Systems Engineering op: 'the National Council on Systems Engineering' (NCOSE). NCOSE had de taak om Systems Engineering verder te ontwikkelen en opgedane kennis uit te dragen. De groeiende internationale belangstelling voor Systems Engineering zorgde ervoor dat in 1995 de naam veranderde in 'the International Council on Systems Engineering' (INCOSE). Inmiddels bevonden de afdelingen zich ook in landen buiten de VS. Sinds 1995 wordt Systems Engineering wereldwijd aan een groot aantal universiteiten gedoceerd. In 1996 ontstond de Nederlandse afdeling (INCOSE-NL).

#### DEFINITIE SYSTEMS ENGINEERING

INCOSE hanteert de volgende definitie van Systems Engineering:

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

Vrij vertaald betreft het een interdisciplinaire benadering, die bijdraagt aan het ontwikkelen en realiseren van succesvolle systemen. Met Systems Engineering willen we niet alleen de technische, maar ook de bedrijfsdoelen van de klanten (stakeholders) nastreven. Dit met als doel het bieden van een kwaliteitsproduct dat in de gebruikersbehoefte voorziet.

### 1.2 SYSTEEMDENKEN

'Een systeem is een, afhankelijk van het gestelde doel, binnen de totale werkelijkheid te onderscheiden verzameling elementen, die onderlinge relaties hebben' [In 't Veld, 1986: 'Analyse van organisatieproblemen']. Een systeem maakt altijd deel uit van een groter geheel en moet gewenste doelen realiseren binnen een veranderlijke omgeving. Vanuit deze benadering kijken we ook naar complexe problemen en mogelijke oplossingen. Het systeem benaderen we daarbij van buiten naar binnen. Systeemdenken volgens Systems Engineering biedt een structuur waarbinnen we een project navolgbaar en aantoonbaar kunnen ontwikkelen, realiseren en beheren. We kunnen het systeem en de omgeving vanuit verschillende invalshoeken benaderen. Daarbij staan diverse aandachtspunten centraal, die in deze paragraaf verder worden uitgewerkt.

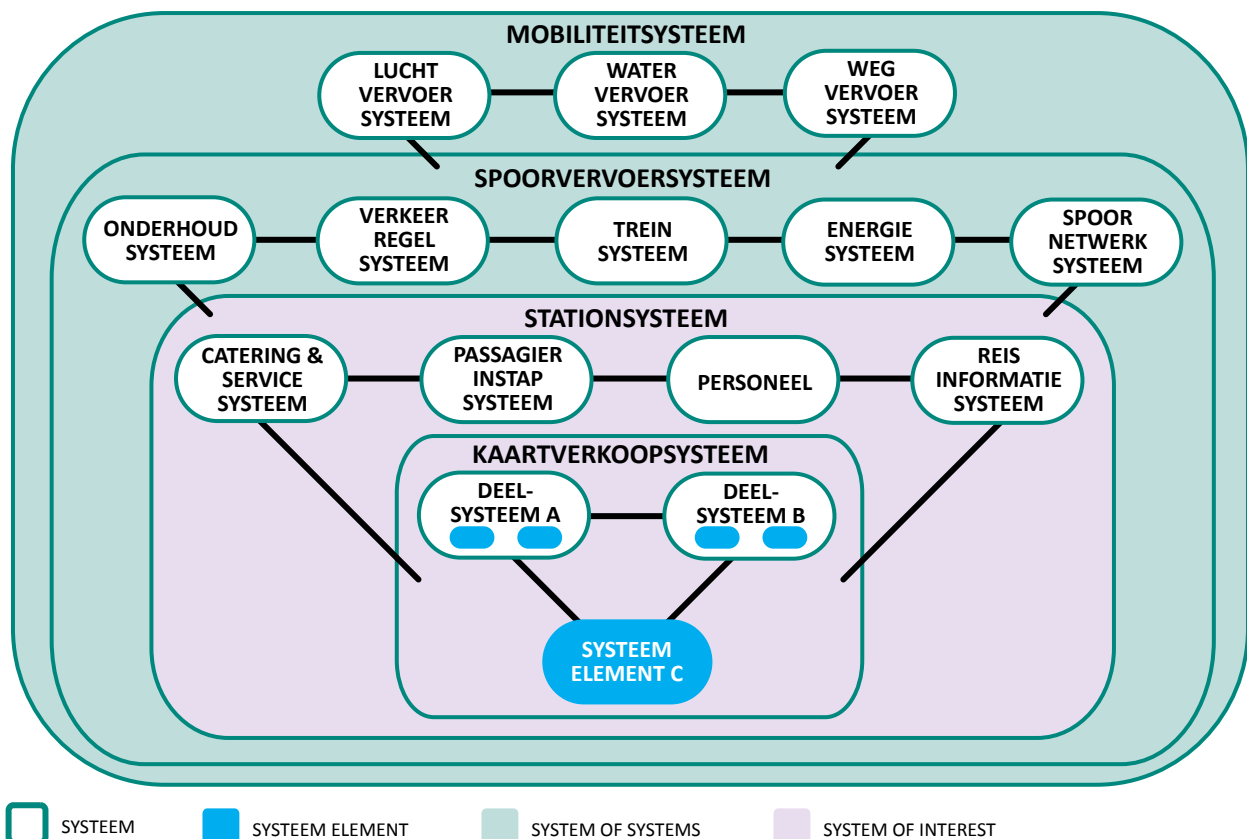
## MEER DAN TECHNIEK

Systemen gaan niet alleen over techniek, maar ook over mensen en procedures. Systemen hebben een functie, ze worden gebruikt, moeten bediend worden en hebben impact op mensen in hun omgeving. Een voorbeeld: het ventilatiesysteem in een tunnel moet uiteraard de juiste hoeveelheid kubieke meters lucht verplaatsen. Daarnaast heeft het systeem echter impact op zaken als de vluchtwegen van reizigers, de bediening vanuit een centrale en de vergunningenprocedures van bijvoorbeeld de brandweer. Met dit alles moet rekening worden gehouden bij het ontwikkelen van het ventilatiesysteem.

## SYSTEM OF SYSTEMS

Een systeem staat niet op zichzelf, maar maakt deel uit van een groter geheel. Hoe we een systeem zien en definiëren, is afhankelijk van de belangen en verantwoordelijkheden van de waarnemer. Hoe deze het systeem beschouwt, noemen we het 'System of Interest'. Welk systeem het System of Interest is, kan dus per waarnemer verschillen. Het grotere geheel waar het systeem deel van uitmaakt noemen we het 'System of Systems'.

Figuur 1.1 geeft als voorbeeld het mobiliteitsysteem. Als System of Interest is hier het stationsysteem weergegeven. Het stationsysteem maakt deel uit van een groter geheel dat zelfstandig kan functioneren, in dit voorbeeld het spoorvervoersysteem (het System of Systems). Op zichzelf bestaat het stationsysteem weer uit verschillende deelsystemen en systeemelementen.



Figuur 1.1

Dit betekent ook dat Systems Engineering op verschillende niveaus optimalisaties kent. Nu optimaliseren we nog vaak op projectniveau binnen een System of Interest (stationsysteem). Dat wil niet zeggen dat deze optimalisatie ook optimaal is gezien vanuit het perspectief van het System of Systems (spoorvervoersysteem).

### **ITERATIEF PROCES**

De complexiteit van een probleemstelling en de gelaagdheid van systemen vragen om een iteratieve werkwijze bij de ontwikkeling van een systeem. Het probleem is meestal niet in één keer in een oplossing te vatten. Ontwerpkeuzes leiden telkens weer tot een nadere analyse van het probleem en een detailuitwerking van de oplossing. Dit iteratieve proces leidt tot steeds gedetailleerdere specificaties van het systeem.

### **LEVENS CYCLUS**

Elk systeem doorloopt een levenscyclus van concept, via ontwikkeling, realisatie, gebruik en onderhoud tot sloop. Tijdens het ontwikkelen van systemen onderschat men al snel de benodigde inspanning voor onderhoud, vernieuwing en sloop. Een focus op één fase zorgt veelal voor suboptimalisatie. Zo lijkt het soms goedkoper om geverfde leuning op een viaduct te bouwen. Maar het kan over de gehele levenscyclus voordeliger blijken om roestvrij staal te gebruiken. Dit is bijvoorbeeld het geval als hiermee onderhoudswerkzaamheden aan de geverfde leuning, waarbij kostbare wegafsluitingen noodzakelijk zijn, worden voorkomen.

De levenscyclus van een systeem mag niet verward worden met het begrip levensduur. De levensduur is gekoppeld aan het gebruik van het systeem. Daarbij onderscheiden we verschillende levensduren zoals: economische, technische, functionele en maatschappelijke. Per deelsysteem of systeemelement kan de levensduur verschillen.

### **INTERDISCIPLINAIR**

Om tot een werkend systeem te komen, is het integreren van civiele, verkeerstechnische, elektrotechnische en andere vakdisciplines noodzakelijk. Vaak worden projecten naar vakdisciplines opgedeeld. Het gevaar daarbij is dat de samenhang van het systeem onderbelicht blijft. Een interdisciplinaire aanpak van projecten is dus gewenst. Het is hierbij van belang om een systeem niet alleen te beschouwen vanuit een decompositie in deelsystemen en systeemelementen, maar om op belangrijke eigenschappen ook dwarsdoorsneden van het systeem te maken. Daarmee komen vanuit één perspectief alle relaties tussen de deelsystemen en systeemelementen in beeld, denk bijvoorbeeld aan de interne veiligheid van het systeem. Een uitsnede van het systeem vanuit een dergelijk perspectief noemen we een aspectsysteem. Aspectsystemen dragen bij aan het integrale functioneren van het systeem.

### **VAARDIGHEDEN**

Tot slot vereist systeemdenken de benodigde vaardigheden. Analytisch vermogen en expliciet gestructureerd werken zijn cruciaal. Daarnaast vraagt systeemdenken om de nodige creativiteit en het vermogen om het systeem vanuit verschillende invalshoeken en in samenhang te beschouwen.

# 2

## SYSTEMS ENGINEERING BINNEN GWW

De faalkosten in de bouwsector bedroegen in 2008 11,4 procent van de omzet (bron: USP Marketing Consultancy). Bij een omzet van € 55 miljard (B&U en GWW) betekent dit dat ongeveer € 6,2 miljard door faalkosten verloren gaat.

Het imago van infrastructurele projecten is daarbij dat ze twee tot drie keer langer duren, meer kosten dan gepland en vervolgens niet doen waarvoor ze bedoeld waren. De uitdaging voor de sector is dus om op doeltreffende, transparante wijze doelmatige systemen te leveren en daarmee de faalkosten te beperken.

De bouwsector staat overigens niet stil. Inmiddels zijn meerdere initiatieven gestart die dit streven ondersteunen. Zo zijn er diverse convenanten gesloten over risicobeheersing, duurzaam bouwen en aanbestedingen.

### 2.1 DOELEN

Het implementeren van Systems Engineering binnen de GWW-sector is een gemeenschappelijk initiatief van Rijkswaterstaat, ProRail, Bouwend Nederland, NLingenieurs en de Vereniging van Waterbouwers (het 'vier-partijenoverleg'). De partijen introduceren daarmee een werkwijze voor de totstandkoming van infrastructurele projecten. Niet als eenmalige hype, maar als structurele diepgewortelde werkwijze gericht op de te bereiken doelstellingen en op nut en noodzaak.

Samengevat zijn de doelen die we met Systems Engineering willen bereiken:

- Doelmatigheid: voorzien in de behoefte van de klant, binnen maatschappelijk verantwoorde kosten.
- Doeltreffendheid: efficiënt terugdringen van de faalkosten en beter benutten van de beschikbare resources.
- Transparantie: aantoonbaar en beheerst leveren wat met de klant is afgesproken.

### POSITIONERING LEIDRAAD

De Leidraad richt zich op alle medewerkers in de GWW-sector, die op enigerlei wijze betrokken zijn bij infrastructurele werken voor weg, water en spoor bij Rijkswaterstaat en ProRail. Dit zijn zowel opdrachtgevers als opdrachtnemers. Aan beide kanten gaat het om mensen in verschillende functies, zoals projectmanagers, ontwikkelaars, omgevingsmanagers, contractmanagers, projectingenieurs, werkvoorbereiders en controllers.

De Leidraad biedt geen standaardset methodes en technieken, en kan dan ook niet als kookboek gebruikt worden. Wel wil de Leidraad een eenduidig beleid, kaders en randvoorwaarden creëren voor toepassing van Systems Engineering bij infrastructurele werken. De Leidraad geldt voor projecten van Rijkswaterstaat en ProRail, maar kan ook sectorbreed gebruikt worden. Vandaar dat we spreken van Systems Engineering binnen de GWW-sector.

## 2.2 LEIDENDE PRINCIPES

Voor het gezamenlijk implementeren van Systems Engineering is een aantal uitgangspunten vastgesteld door het vier-partijenoverleg. Deze uitgangspunten zijn richtinggevend bij de samenwerking binnen de GWW-sector. Ze geven aan wat de betrokken partijen van elkaar mogen verwachten bij het werken volgens Systems Engineering.

- **Klantvraag centraal.** Niet de techniek, maar de werkelijke behoefte van de klant staat centraal. Waarvoor is het systeem bedoeld? Wat moet het systeem kunnen? Met klanten bedoelen we hierbij nadrukkelijk alle stakeholders die met het systeem te maken krijgen en niet alleen de betalende klant. Alle processtappen binnen Systems Engineering moeten gericht zijn op het voorzien in de behoefte van deze klant. Rijkswaterstaat en ProRail moeten expliciet borgen dat de uitvraag aan marktpartijen in deze oorspronkelijke klantvraag voorziet. Een contract dient dan ook door de opdrachtgever te zijn geverifieerd en gevalideerd aan de klantvraag van het project.
- **Systeemdenken.** Het systeemdenken richt zich op de waarde voor de klant en achterhaalt de vraag achter de vraag. Deze denkwijze kan leiden tot andere antwoorden op klantvragen dan we gewend waren. Motto bij het systeemdenken is dat het geheel meer is dan de som der delen. Het systeemdenken benadrukt het perspectief van de totale levenscyclus, van concept tot sloop. Knippen in een systeem leiden altijd tot verliezen. Bij knippen worden relaties doorbroken en ontstaan interfaces die beheerst moeten worden. Het is dan ook van belang dat alle partijen in de sector projecten vanuit het systeemdenken benaderen.
- **Transparantie.** We ontwikkelen transparant en traceerbaar. Dat betekent dat we vastleggen welke keuzes, om welke reden zijn gemaakt. Denk daarbij bijvoorbeeld aan ontwerpvarianten. Dit betekent dat expliciet aangetoond wordt dat het systeem voldoet aan de vraag. Hier zijn diverse methodes voor. In een contractsituatie moeten opdrachtgever en opdrachtnemer overeenstemming bereiken over de te gebruiken methodes van aantonen en vastleggen. Hierbij hanteren we een risicogestuurde benadering.
- **Efficiency.** Systems Engineering is niet bedoeld om onnodig papierwerk te introduceren en de kosten te vergroten. Integendeel: Systems Engineering maakt het mogelijk specificaties, bewijsmateriaal, certificaten en standaarden slim te hergebruiken. Systems Engineering omvat een palet aan methodes en technieken die kunnen worden toegepast. Ieder project dient daarbij een verstandige keuze te maken uit het beschikbare palet.
- **Beste prijs-kwaliteitverhouding.** Met Systems Engineering koersen we op de oplossing met de beste prijs-kwaliteitverhouding, die het probleem oplost binnen de gestelde randvoorwaarden. Prijsduiken en aanbesteden op basis van alleen de laagste prijs is dan ook niet wenselijk.
- **Balans ontwerpvrijheid en contractuele afspraken.** Bij elke probleemstelling behoort een zekere oplossingsruimte. Ontwerpvrijheid is gewenst om meer van de creativiteit van de marktpartijen te kunnen profiteren. Alleen zo zijn we in staat om de prijs-prestatieverhouding van een systeem te maximaliseren. In de praktijk varieert de oplossingsruimte in contracten nog aanzienlijk. De ontwerpvrijheid van een opdrachtnemer moet in balans zijn met de contractuele afspraken. Opdrachtgever en opdrachtnemer moeten een eenduidig beeld hebben van de beschikbare oplossingsruimte. De opdrachtgever is ervoor verantwoordelijk dat de gegeven oplossingsruimte past binnen de klantvraag. De opdrachtnemer moet ervoor zorgen dat zijn aanbieding past binnen de oplossingsruimte.

- **Verificatie & validatie.** Deze termen kennen vele definities, maar internationaal is er geen eenduidig standpunt. De meest gangbare interpretatie is dat verificatie de vraag beantwoordt of we het goed hebben gedaan. Validatie beantwoordt de vraag of het goede gedaan is. Wij willen in deze Leidraad geen discussie voeren over de precieze definitie van verificatie & validatie. Wel willen we gebruikmaken van de mogelijkheden die deze beide methodes bieden bij het aantonen of het systeem voldoet. In de Leidraad benaderen we verificatie & validatie dan ook als één geheel.
- **Afstemming met projectmanagement.** Systems Engineering en projectmanagement-methodieken als Prince2, Projectmatig Werken en IPM vullen elkaar goed aan. Projectmanagementmethodieken concentreren zich met name op de besturing van een project, terwijl Systems Engineering focust op het ontwikkelen en realiseren van de inhoud van een systeem. Ook zijn er overlappen, zoals configuratiemanagement en risicomangement. De inrichting van deze processen vereist een zorgvuldige afstemming tussen projectmanagement en Systems Engineering.
- **Openheid.** Vanwege het iteratieve karakter is Systems Engineering gebaat bij open communicatie. Opdrachtgever en opdrachtnemer moeten dit voor ogen houden bij besluiten, achtergrondinformatie, systeemkeuzes en risico's. De partijen dienen alle informatie te delen die noodzakelijk is voor een goede interpretatie van de probleemstelling en onderbouwing van de oplossing.

## 2.3 GROEIPAD CULTUURVERANDERING

De implementatie van Systems Engineering is een intensief verandertraject. Het toepassen van deze werkwijze vraagt om een cultuurverandering. Zo moet de opdrachtgever al in een vroeg stadium vertellen wat hij wil, waar hij vroeger alleen het definitieve ontwerp hoefde goed te keuren. Verificatie & validatie is daarbij niet alleen een verantwoordelijkheid van de aannemer. ProRail of Rijkswaterstaat moet zelf aantonen dat de oplossingsruimte past bij de doelstellingen van het project. Het streven naar de beste prijs-prestatieverhouding vraagt om het bewust toepassen van Systems Engineering en het werken met methodes en technieken als Value Engineering en variantenanalyses. Zo'n analyse is voor de klant een investering die zich uiteindelijk terugbetaalt. Dit gebeurt niet alleen op korte termijn, maar binnen de gehele levenscyclus. Dat alles vraagt om een cultuurverandering; men moet het belang zien van zaken die in de toekomst geld besparen.

De nieuwe aanpak van verificatie & validatie zorgt ervoor dat de aannemer niet meer kan vertrouwen op het toezicht door de opdrachtgever, maar zelf moet aantonen dat het gerealiseerde werk aan de specificaties voldoet. Dat betekent dat hij na contractering niet direct aan de slag gaat met het ontwerp, maar eerst een eigen analyse start. Dit om de eisen te checken op een juiste interpretatie en met een slim ontwerp en door bouwfaserings mogelijk voordeel te behalen. Hiermee kan bijvoorbeeld meerwerk in een latere fase worden voorkomen.

## AMBITIE

De afgelopen jaren paste men Systems Engineering vooral toe bij individuele projecten. Het optimaliseren van systemen over projecten heen, laat staan in een hele bedrijfsketen, is nog nauwelijks aan bod gekomen. De focus ligt voornamelijk op het doelmatig en beheerst realiseren van projecten. Om de groeimogelijkheden weer te geven is het CMMI-model (Capability Maturity Model Integration) geadopteerd, dat is ontwikkeld door het Carnegie Mellon Software Engineering Institute ([www.sei.cmu.edu/cmmi/](http://www.sei.cmu.edu/cmmi/)). Het model beschrijft vijf niveaus en bewees zich in de praktijk als een natuurlijk groeimodel bij de implementatie van veranderprocessen, zoals de toepassing van Systems Engineering. De hier afgebeelde tabel is een beknopte weergave van het CMMI-model. Per niveau is aangegeven op welke processen de nadruk ligt.

NIVEAU	FOCUS	PROCESGEBIEDEN
5	Continue procesverbetering	Proces wijzigingsmanagement Voorkomen van defects Technologisch wijzigingsmanagement
4	Kwantitatief management	Kwantitatief projectmanagement Systeem kwaliteitsmanagement Performance van de organisatieprocessen
3	Processtandaardisatie	Verificatie & Validatie Risicomanagement Eisenontwikkeling en ontwerpafwegingen
2	Basisprojectmanagement	(Sub)contractmanagement Configuratiemanagement Eisenmanagement
1	Initieel	

### CMMI-MODEL

*Figuur 2.1*

Het verandertempo in de bouwsector blijkt niet overal gelijk. Een koplopergroep die bestaat uit Rijkswaterstaat, ProRail, enkele aannemers en ingenieursbureaus heeft de ambitie om binnen twee jaar CMMI-level 3 te bereiken. De gehele sector zou zich binnen vijf jaar op dit niveau moeten bevinden.



# 3

## DE ESSENTIE VAN DE WERKWIJZE

In dit hoofdstuk behandelen we een aantal essentiële kenmerken van de werkwijze volgens Systems Engineering binnen de GWW-sector. Allereerst is dat het centraal stellen van de klantvraag. Aansluitend gaan we in op de levenscyclusoptimalisatie. Vervolgens staat het iteratief specificatieproces centraal, waarbij we aansluitend het top-down ontwikkelen en bottom-up realiseren verder toelichten. Tot slot gaan we verder in op het verifiëren en valideren.

### 3.1 DE KLANTVRAAG CENTRAAL STELLEN

De systemen die binnen de GWW-sector worden ontwikkeld kennen doorgaans uiteenlopende stakeholders, zowel betalende als niet-betalende. Deze stakeholders stellen elk hun eigen voorwaarden aan het te ontwikkelen systeem. Binnen deze Leidraad zien we de klant als de verzameling van stakeholders, terwijl we de klantvraag zien als de verzameling van behoeften en randvoorwaarden van deze stakeholders (klant).

Het startpunt voor een project binnen de GWW-sector is een analyse van problemen en kansen gerelateerd aan de klantvraag. Deze klantvraag is gericht op het door de betalende klant beschouwde systeem, zijn 'System of Interest', en op het beoogde gebruik van dat systeem, zijn initiële behoefte. De klantvraag staat centraal bij het toepassen van Systems Engineering: de klant bepaalt wat het probleem is, welke oplossingsruimte wordt gegeven en wanneer een oplossing voldoet. Zo wordt via Systems Engineering de optimale oplossing voor het probleem gecreëerd binnen de gegeven oplossingsruimte. Bepalend voor de oplossingsruimte zijn bijvoorbeeld: fysieke begrenzing, normen en richtlijnen alsmede beschikbare tijd en beschikbaar budget.

#### KLANT EISEN SPECIFICATIE

De eerstvolgende stap is het specificeren van de klanteisen. Hierbij behoort een stakeholderanalyse: welke stakeholders zijn er en wat zijn hun belangen en behoeften? Dit resulteert in een helder en gestructureerd overzicht van de benodigde functionaliteiten, de eisen per stakeholder, de beschikbare oplossingsruimte en een beschrijving van het System of Interest van de klant. Dit wordt vastgelegd in de Klant Eisen Specificatie (zie ook figuur 3.1). De Klant Eisen Specificatie vormt de input voor het verdere proces van systeemontwikkeling.

Van belang is dat de Klant Eisen Specificatie continu beheerd wordt tijdens het ontwikkelen van het systeem. Klanteisen kunnen immers wijzigen of worden aangevuld op basis van zaken als ontwerpkeuzes, veranderende wetgeving of een politiek klimaat.

Alle stappen binnen Systems Engineering zijn er vervolgens op gericht om aan te tonen dat er gewerkt wordt aan de optimale uitwerking van het systeem op basis van de gedefinieerde Klant Eisen Specificatie.



Figuur 3.1

**Do!**

**Stimuleer het optimaliseren van het systeem op basis van de klantvraag bij alle partijen in de keten. Daarbij helpt het als voor elke partij voordeel te behalen valt bij het centraal stellen van de klantvraag (het 'what's in it for me'-principe). Een voorbeeld is het koppelen van beoordelingscriteria voor de kwaliteit van aanbiedingen aan de meest kritische klanteisen in het project.**

### 3.2 LEVENSCYCLUS OPTIMALISEREN

Een systeem doorloopt tijdens een levenscyclus meerdere fasen. Systems Engineering is gericht op het optimaliseren van een systeem over de gehele levenscyclus. De behoefte van de klant staat bij al deze fasen centraal.

De optimalisatie van de levenscyclus komt op twee manieren aan bod. In de eerste plaats in de manier waarop de levenscyclusafwegingen expliciet in de ontwikkel- en realisatiefase worden meegenomen. Dit betekent niet alleen optimaliseren naar bouw tijden en bouwkosten, maar ook optimaliseren naar gebruiks-, onderhouds- en sloopkosten. In de tweede plaats komt dit naar voren doordat we de werkwijze van Systems Engineering gedurende alle fasen van de levenscyclus toepassen. Het transparant en traceerbaar uitvoeren van de ontwikkel- en realisatiefase maakt het mogelijk om in de gebruiksfase nieuwe ontwikkelingen binnen en buiten het systeem te onderkennen en te verwerken. En als dat nodig is voor systeemaanpassingen, dan is een onderbouwing van de oorspronkelijke ontwerp- en bouwkeuzes beschikbaar.

### 3.3 ITERATIEF SPECIFICEREN

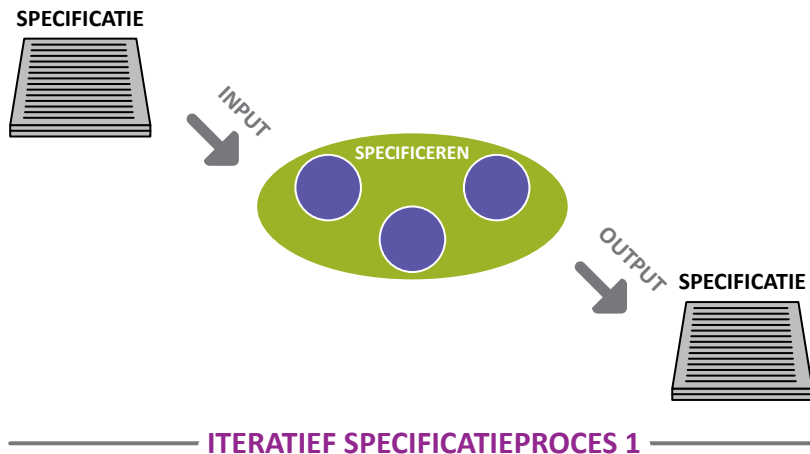
Om in de klantbehoefte te voorzien, moet het systeem een aantal functies vervullen. Uit deze functies en de randvoorwaarden van de stakeholders volgen de systeemeisen. Binnen de gegeven oplossingsruimte zijn meerdere ontwerpkeuzes mogelijk om aan deze eisen te voldoen.

De procesgang binnen Systems Engineering gaat uit van een iteratie tussen functies, eisen en oplossingen. Door het vastleggen van eisen bepaal je binnen welke oplossingsruimte het systeem moet functioneren. Ontwerpkeuzes bepalen hoe het systeem die functies vervult en welke oplossingsruimte benut wordt. Dit leidt weer tot afgeleide functies en nadere eisen aan de verdere ontwikkeling van het systeem. In figuur 3.2 is het iteratieve proces van specificeren weergegeven.

#### CONSEQUENTIES

Bij elke stap in de systeemontwikkeling dwingt het samenspel van functies, eisen en oplossingen ertoe na te denken over het 'waarom' van de ontwerpkeuze en de consequenties voor het vervolg. Functies, eisen en oplossingen worden vastgelegd in specificaties. Dit noemen we het specificeren van het systeem.

Het specificatieproces kent altijd een specificatie van de vraag en de oplossingsruimte als input en resulteert in een specificatie van de uitgewerkte oplossing als output. Deze output dient vervolgens weer als input voor de volgende stap in de ontwikkelfase. Het aantal iteraties dat wordt doorlopen in het specificatieproces hangt af van het gewenste detailniveau van de input en de output.



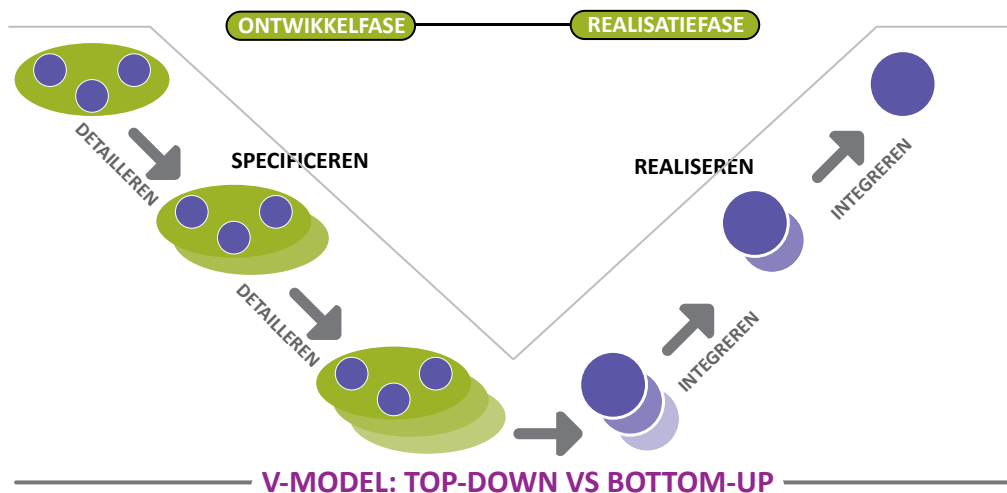
Figuur 3.2

### 3.4 TOP-DOWN ONTWIKKELEN EN BOTTOM-UP REALISEREN

In de GWW-sector hebben we doorgaans met complexe systemen te maken. Daardoor valt de totale uitwerking van het systeem in al zijn systeemelementen niet in één ontwikkelslag te vatten. Het iteratieve proces van specificeren herhaalt zich dan ook op meerdere detailniveaus, waarbij het ontwerp van een systeem wordt ontleed in deelsystemen en systeemelementen waaraan nadere, afgeleide eisen worden gesteld. Figuur 3.3 geeft deze top-down benadering weer als een neergaande lijn in de ontwikkelfase van het systeem. Het detailniveau van een specificatie moet passen bij het niveau van de besluitvormingsfase waarin het project verkeert. In de eerste versie van de Leidraad beschreven we de deelsystemen en systeemelementen als subsystemen, componenten en elementen. Dat suggereerde een standaardindeling in vier niveaus, terwijl in de praktijk het aantal niveaus afhankelijk is van de complexiteit van het systeem.

#### INTEGREREN

Uiteindelijk dienen alle deelsystemen en systeemelementen in elkaar te passen en worden ze geïntegreerd tot het totale systeem. Met deze integratie dient in de ontwikkelfase al rekening te worden gehouden; de feitelijke integratie vindt plaats in de realisatiefase. Deze bottom-up benadering van de realisatiefase is in figuur 3.3 weergegeven als opgaande lijn. Zo ontstaat het integrale V-model als vereenvoudigde weergave van de totale totstandkoming van een systeem. Het V-model is een van de mogelijke benaderingen. Daarnaast bestaan diverse andere modellen die toepasbaar zijn, zoals prototyping, het spiraalmodel, en het watervalmodel. Welk model we kiezen, is in wezen niet zo relevant; het belangrijkste is dat het toegepaste model helpt bij het begrijpen en beheersen van het systeem.



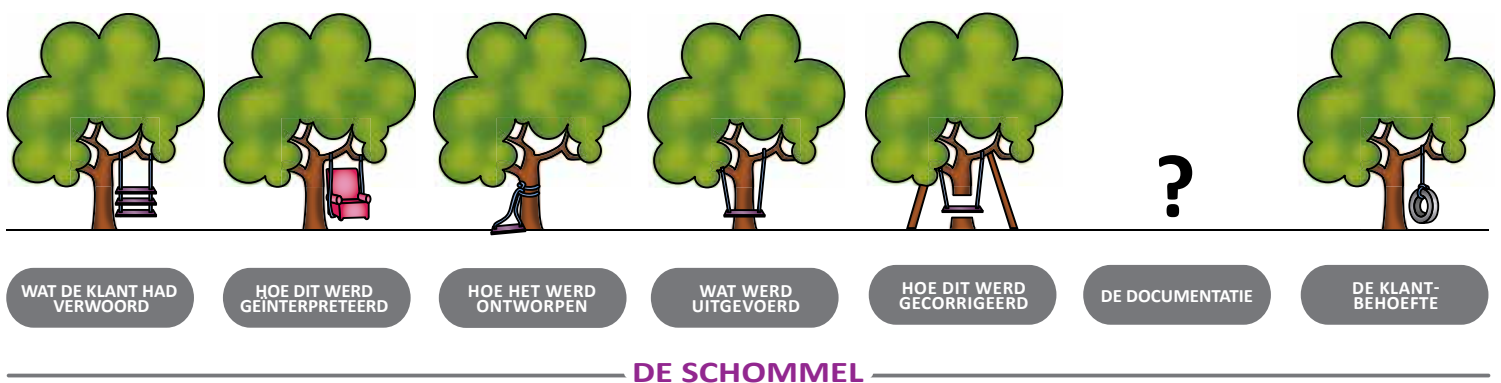
Figuur 3.3

Figuur 3.3 toont aan:

- Top-down ontwikkelen: de ontwikkelphase leidt tot steeds gedetailleerdere specificaties.
- Bottom-up realiseren: de realisatiefase leidt tot een steeds verder geïntegreerd systeem.

### 3.5 VERIFIËREN EN VALIDEREN

De begrippen verifiëren en valideren beschrijven alle activiteiten die nodig zijn om objectief en expliciet te kunnen aantonen dat de oplossing voldoet aan de eisen en behoeften van de klant en daarmee past binnen de oplossingsruimte. Verificatie is een check of het juist gebouwd is, validatie is een check of het juiste gebouwd is. Figuur 3.4 toont het belang van het regelmatig controleren met het beoogde gebruik in het achterhoofd.

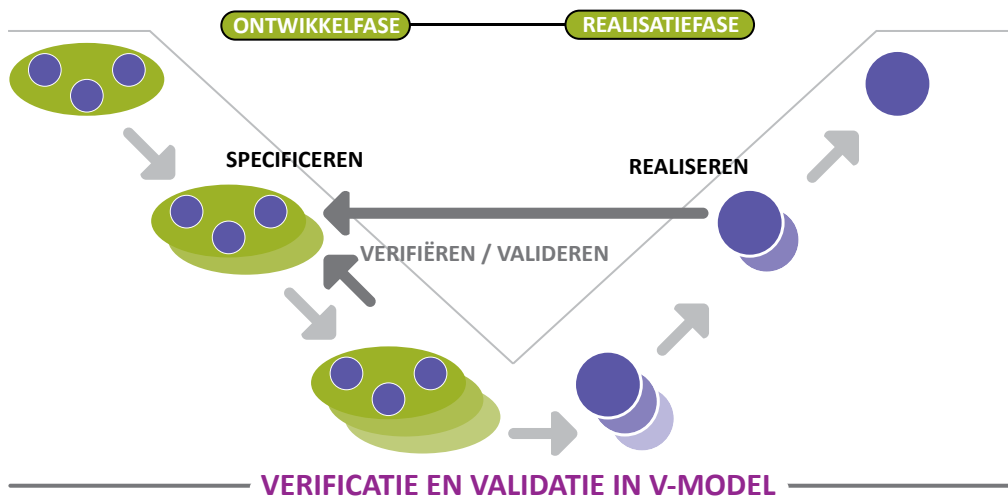


Figuur 3.4

In de huidige praktijk is het moeilijk om een harde scheiding aan te brengen tussen de activiteiten voor verificatie en die voor validatie. Bovendien worden resultaten die verkregen zijn door verificatie soms ook gebruikt voor validatie. Daarom behandelen we verificatie & validatie in de Leidraad als duo. Een goede toepassing van Systems Engineering vraagt erom dat de activiteiten en verantwoordelijkheden voor verificatie & validatie per systeem en per project expliciet worden vastgelegd. Hierbij behoort ook de benodigde nauwkeurigheid in de bewijsvoering.

### OP ELK NIVEAU

Verifiëren en valideren gebeurt in het iteratieve specificatieproces op elk detailniveau en in alle fasen van de levenscyclus (zie ook figuur 3.5). Dit maakt het mogelijk foutieve keuzes tijdig te onderkennen en waar mogelijk te voorkomen. Hierbij mag de doelmatigheid van verifiëren en valideren niet uit het oog worden verloren. Daarom is in elke fase een gedegen verificatie & validatiestrategie van belang.



Figuur 3.5

#### Do!

Verifiëren en valideren behoort al in het vroegste stadium van de systeemontwikkeling te worden opgestart. Ook als er geen sprake van een contractsituatie is, moeten keuzes geverifieerd en gevalideerd worden op basis van de klanteisen en de systeemeisen.

# 4

## PROCESSTAPPEN

Een systeem doorloopt in de levenscyclus verschillende fasen. Dit hoofdstuk geeft een generieke beschrijving van de fasering van projecten. Het gaat verder in op de processtappen die we doorlopen in de ontwikkelfase en realisatiefase. Verificatie & validatie is bij alle processtappen van belang; de activiteiten die hiervoor nodig zijn komen aan bod in dit hoofdstuk.

### 4.1 FASERING

Verschillende normen beschrijven de levenscyclus die een systeem doorloopt, zoals de internationale standaard voor Systems Engineering ISO 15288 en de Spoorwegnorm EN 50126.

Generiek herkennen wij de volgende fasen:

- **De conceptfase** waarin we (nieuwe) behoeften van stakeholders inventariseren en mogelijkheden beoordelen. De eerste klanteisen en oplossingsrichting worden hier bepaald. De conceptfase kan leiden tot het initiatief voor het ontwikkelen en realiseren van een systeem.
- **De ontwikkelfase** waarin we een systeem specificeren dat voldoet aan de klanteisen. Aan het eind van de ontwikkelfase ligt er een (startklaar) ontwerp voor het gehele systeem.
- **De realisatiefase** waarin we het systeem vervaardigen en beproeven. Systeemelementen en deelsystemen worden geïntegreerd tot één geheel.
- **De gebruiksfase** is de periode waarin het systeem wordt geëxploiteerd. Hier vinden de activiteiten plaats die nodig zijn om het systeem te gebruiken zoals beoogd.
- **De beheer- en onderhoudsfase** is de periode waarin we de ondersteunende activiteiten uitvoeren, die noodzakelijk zijn om het systeem in werking te houden.
- **De slooffase** is bedoeld om een systeem met bijbehorende operationele diensten en functies buiten werking te stellen en te verwijderen.

Bij het doorlopen van de fasen vinden overdrachtsmomenten tussen betrokken partijen plaats. Het is hierbij van belang transparant de benodigde informatie over te dragen. Omdat op overdrachtsmomenten informatieverlies kan optreden, is het verstandig om te voorkomen dat de fasering en overdracht gelijklopen. Dit om te voorkomen dat suboptimalisatie telkens binnen de fase plaatsvindt, waarbij de verantwoordelijkheid voor de gehele keten uit het oog wordt verloren (het 'over de schutting-effect'). Het expliciete karakter van Systems Engineering voorkomt informatieverlies bij overdracht.



Figuur 4.1

**Do!**

Zorg voor expliciete informatieoverdracht. Een iteratief proces werkt niet als partijen in de keten los van elkaar opereren. Open communicatie tussen partijen tijdens de gehele levenscyclus van een systeem is een voorwaarde voor het succesvol werken met Systems Engineering.

## 4.2 ONTWIKKELFASE

Het ontwikkelen van een systeem kan worden opgevat als een denk-, werk- en besluitproces, waarbij informatie wordt verzameld en bewerkt. De ontwikkelfase is iteratief, doelgericht en probleemoplossend, waarbij functies en eisen worden geanalyseerd en de oplossing steeds gedetailleerder wordt gespecificeerd. Een gelaagde top-down benadering is noodzakelijk omdat het ontwerpprobleem vaak niet in één stap is op te lossen. Opeenvolgende keuzes brengen de ontwerper steeds dichterbij de uiteindelijke oplossing. De behoefte van de klant bij de start van de ontwikkelfase wordt in een aantal stappen omgezet naar een uitvoeringsgereed ontwerp.

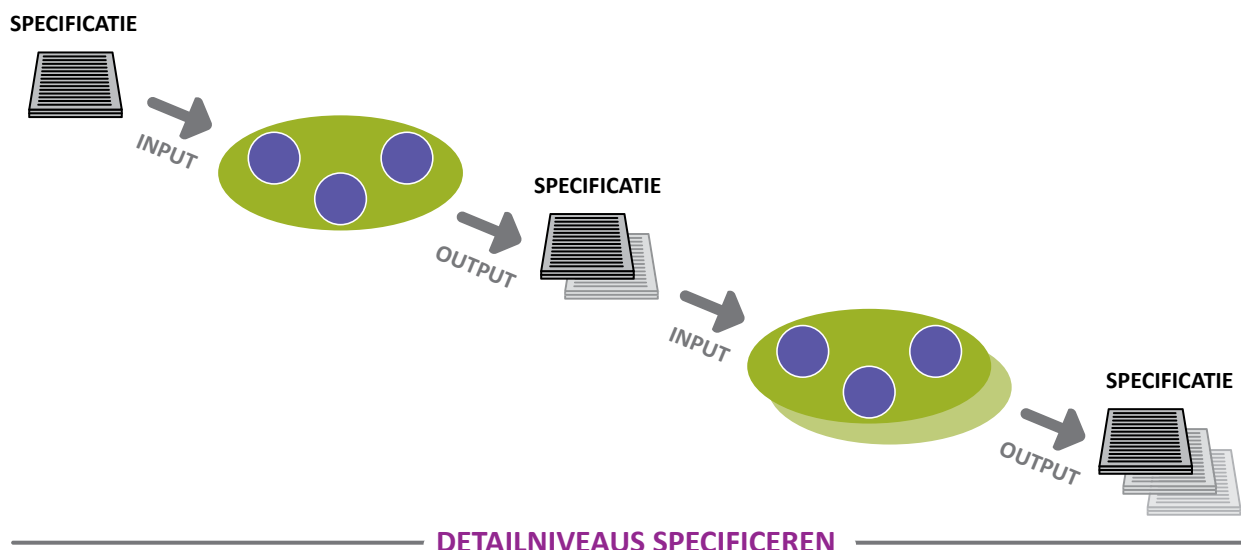
### DETAILNIVEAU

Het proces van specificeren herhaalt zich totdat het detailniveau is bereikt dat de risico's voldoende dekt om tot realisatie van het systeem over te gaan. Het detailniveau van de input en de output kan verschillen, afhankelijk van de besluitvormingsfase waarin het project zich bevindt. Het verdelen van het specificatieproces in verschillende detailniveaus maakt het overzichtelijker en beter beheersbaar. In de GWW-sector gebruiken we regelmatig onderstaande begrippencombinaties om detailniveau in de ontwikkelfase aan te duiden:

- Schetsontwerp → Voorlopig ontwerp → Definitief ontwerp → Uitvoeringsontwerp
- Functioneel ontwerp → Ruimtelijk ontwerp → Constructief ontwerp

In de praktijk wordt vaak bottom-up gewerkt; men begint bij het constructief ontwerp en kijkt welke eisen daarbij passen. De kunst is echter om van grof naar fijn te werken en daarbij continu de interactie tussen functies, eisen en oplossingen goed te bewaken.

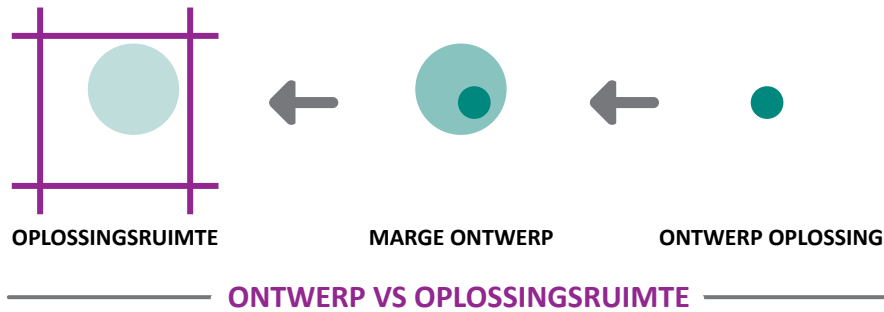
Elk detailniveau kent een specificatie van de oplossingsruimte als 'input' en een specificatie van de oplossing als 'output'. Deze output kent bepaalde marges die de nieuwe oplossingsruimte vormen, als input voor het volgende detailniveau.



Figuur 4.2

### DETAILNIVEAUS SPECIFICEREN

Op elk detailniveau is dus een zekere oplossingsruimte gedefinieerd. Op elk niveau worden keuzes vastgelegd ofwel ontwerpen gemaakt. Op elk detailniveau kent het uitgewerkte ontwerp een zekere marge die de begrenzing van het ontwerp bepaalt. Figuur 4.3 geeft weer dat het ontwerp van de oplossing en bijbehorende marge binnen de gegeven oplossingsruimte dient te passen. Dit principe geldt op elk detailniveau, waarbij de oplossingsruimte telkens bepaald wordt door de marge van het ontwerp op het bovenliggende niveau (en dus steeds kleiner wordt).



Figuur 4.3

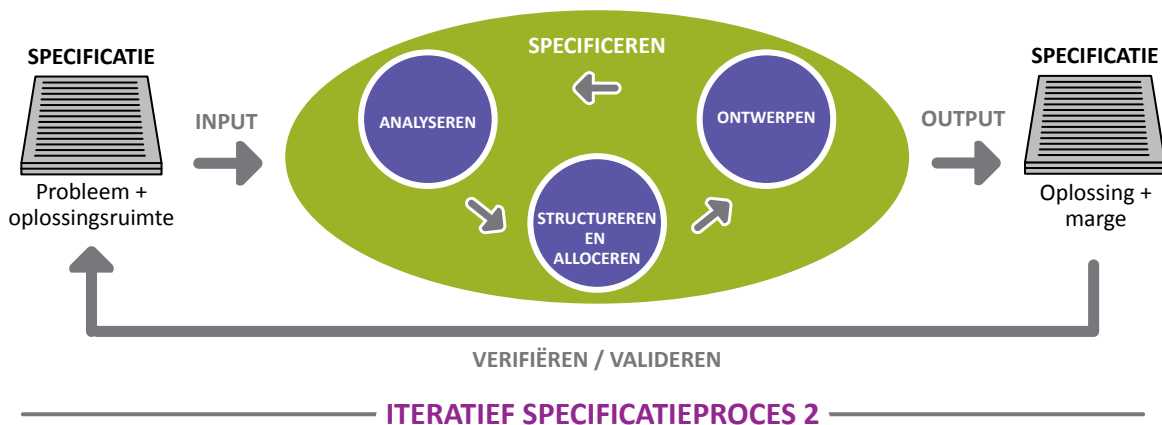
**Do!**  
**Beschrijf altijd helder en duidelijk de oplossingsruimte in een specificatie en maak daar geen zoekplaatje van. Een set eisen is afgeleid van eerder gemaakte ontwerpkeuzes; maak dit expliciet.**

### SPECIFICEREN

Het specificeren is een iteratief proces met een aantal generieke stappen die onafhankelijk zijn van het detailniveau:

- Analyseren (probleem ontleden en oplossingsruimte benoemen).
- Structureren en alloceren (overzicht creëren).
- Ontwerpen (keuzes vastleggen en oplossing uitwerken).

Bij elkaar vormen deze stappen het specificatieproces van de ontwikkelfase. Figuur 4.4 geeft dit generieke proces weer. Daarbij vindt continue verificatie & validatie plaats om te borgen dat het proces de gewenste output oplevert.



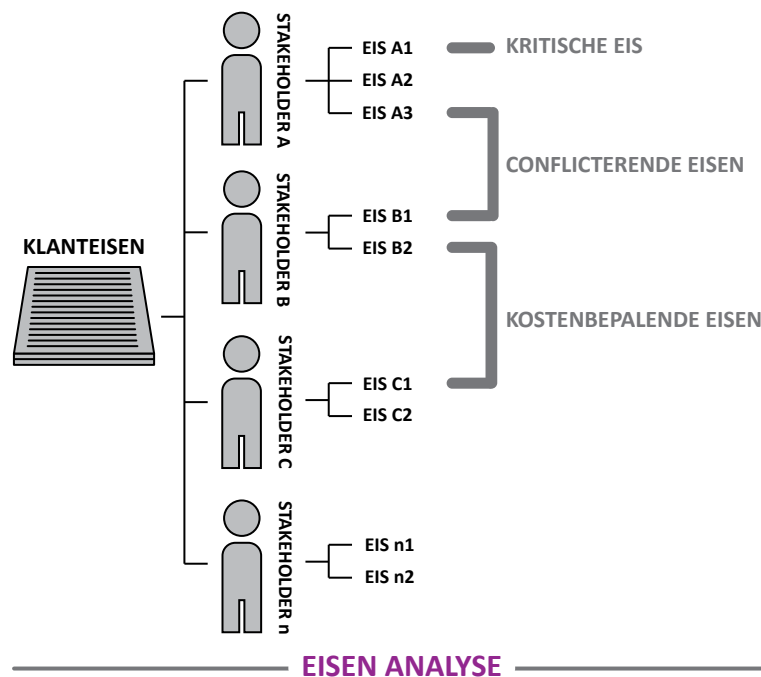
Figuur 4.4



## ANALYSEREN

Het doel van het analyseproces is onder meer het doorgronden van de vraag achter de vraag: Welke informatie is nodig om een verdiepingsslag te kunnen maken? Wat zijn de kritische of risicovolle eisen? Welke eisen zijn conflicterend of kostenbepalend? (Zie figuur 4.5)

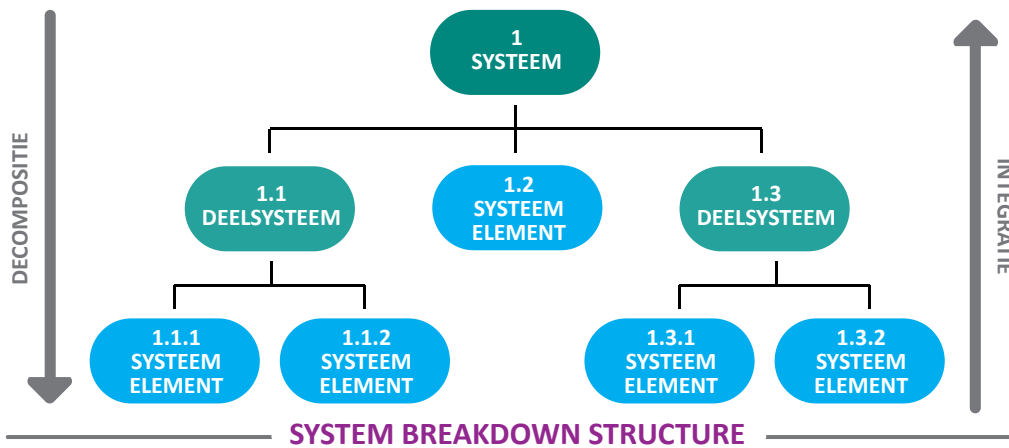
De input die een ontwerper ontvangt is vaak onvolledig en niet gedetailleerd genoeg voor een verdiepingsslag in de uitwerking van de oplossing. Dit komt doordat deze input het resultaat beschrijft van keuzes in een eerdere fase op een hoger detailniveau. Dat maakt een verdere analyse van het probleem en de oplossingsruimte noodzakelijk. Het analyseren richt zich in eerste instantie op de vraag of de vereiste informatie ook beschikbaar is. Als vereiste gegevens ontbreken, vraagt dit om het formuleren van uitgangspunten. De verkregen informatie vormt vervolgens het startpunt voor het uitvoeren van een systeemanalyse en het opstellen van nadere systeemeisen. Voorbeelden van methodieken voor een systeemanalyse zijn een procesanalyse, functie-analyse of life cycle analyse. Het doel van de systeemanalyse is het vertalen van de behoefte en oplossingsruimte naar SMART-geformuleerde vereisten voor de verdere ontwikkeling van het systeem. Hierbij worden eisen waar nodig doorvertaald naar gedetailleerdere eisen. Tijdens deze analyse komen ook beperkingen aan bod; deze vormen samen met de systeemeisen de grenzen van de oplossingsruimte. De relatie tussen de eisen wordt vaak weergegeven in een Requirements Breakdown Structure (RBS), ook wel eisenboom genoemd. De RBS toont de samenhang tussen de eisen, gestructureerd naar de verschillende detailniveaus. Een eis is altijd traceerbaar tot een eis op een hoger detailniveau.



Figuur 4.5

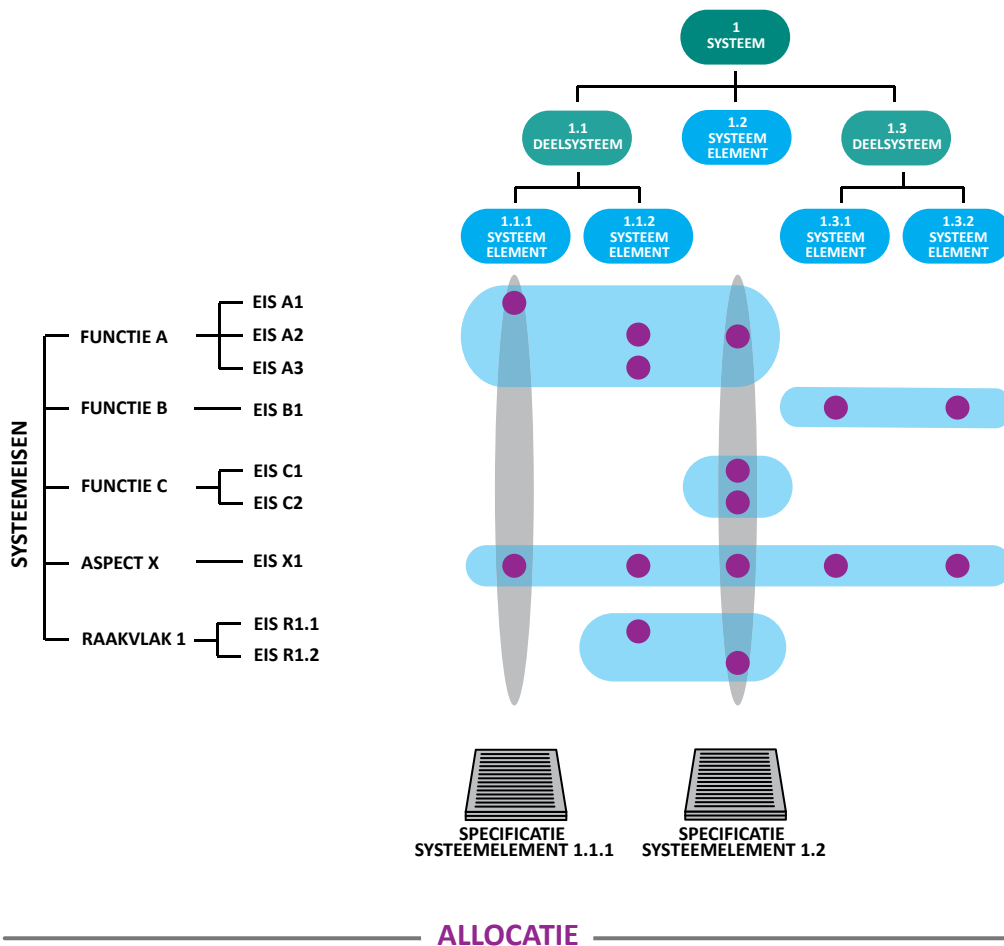
## STRUCTUREREN EN ALLOCEREN

Naarmate het probleem in complexiteit toeneemt, wordt het moeilijker voor de individuele ontwerper het gehele ontwerpveld af te dekken. Vaak moeten meerdere disciplines of partijen een bijdrage leveren aan het totale systeem. Een gecoördineerde bijdrage van alle partijen vraagt om het decomponeren van het systeem. Hierbij deelt men het systeem op in de objecten waaruit het totale systeem is opgebouwd: de deelsystemen en systeemelementen. Het decomponeren kan plaatsvinden volgens verschillende dimensies, bijvoorbeeld: functioneel, constructief of geografisch. Daarbij kunnen we gebruikmaken van diverse structuren, zoals de System Breakdown Structure (SBS, ook wel objectenboom genoemd). De SBS is een structuur die alle te ontwerpen, bouwen, onderhouden en slopen objecten in een hiërarchische indeling weergeeft (zie figuur 4.6).



Figuur 4.6

We kunnen de eisen en informatie vanuit de eerdergenoemde analyse koppelen aan de deelsystemen in de SBS. Je kunt zowel eisen als functies alloceren aan objecten. Figuur 4.7 geeft weer dat door het alloceren van eisen er per deelsysteem of systeemelement een specificatie ontstaat van de behoefte en de oplossingsruimte.



Figuur 4.7

## BEHEERSEN VAN COMPLEXITEIT

Voor het managen van taken en activiteiten wordt ook vaak gebruikgemaakt van de Work Breakdown Structure (WBS). Deze biedt een structuur voor alle activiteiten die we voor een project moeten doorlopen.

De genoemde structuren ondersteunen de top-down benadering van complexe systemen. Ze helpen bij het beheersen van de complexiteit van een systeem. Hoewel het decomponeren van het systeem zorgt voor betere beheersbaarheid, leidt de opdeling tot raakvlakken tussen de objecten en/of processen die op hun beurt weer beheerst moeten worden. Het is belangrijk om de samenhang van het systeem zorgvuldig te bewaken en de integraliteit niet uit het oog te verliezen. Met aspectsystemen beschouwen we de intrinsieke eigenschappen van het systeem, dwars door alle deelsystemen en systeemelementen heen. Het werken met aspectsystemen helpt om te borgen dat het systeem als integraal geheel goed functioneert.

### Don't!

**Het is niet de bedoeling om kleine projecten nodeloos ingewikkeld te maken of om eindeloos door te decomponeren terwijl dit de beheersbaarheid niet ten goede komt. Decomposities zijn bedoeld om overzicht te creëren en complexiteit te beheersen.**

## ONTWERPEN

Ontwerpen beschouwen we als het creatieve proces om tot de optimale oplossing te komen. Bekijken we het ontwerpproces, dan zien we dat het een grote verscheidenheid aan activiteiten omvat: van ideevorming tot schetsen, van berekenen tot tekenen en van begroten tot besluiten. Als we het ontwerpproces verdelen in een aantal logisch geordende, iteratieve stappen, wordt het overzichtelijker. In deze Leidraad onderscheiden we daarbij de volgende stappen:

- Het genereren van haalbare varianten.
- Het kiezen van de optimale variant.
- Het verder uitwerken van de gekozen variant.

Met het genereren van opties en varianten willen we de verschillende oplossingsmogelijkheden voor een systeem bepalen. Dit kan bijvoorbeeld door het organiseren van brainstormsessies.

Om vanuit de mogelijke varianten de optimale oplossing van het beschouwde object te kiezen, beoordelen we de varianten op basis van de eisen. Daarnaast kunnen ook andere criteria een rol spelen bij de beoordeling, zoals kosten, planning en risico's. De effecten van de varianten worden ten opzichte van de eisen en de vastgestelde beoordelingscriteria berekend en vergeleken met behulp van bijvoorbeeld een scoringsmatrix of trade-off matrix. Daarbij krijgen de verschillende beoordelingscriteria een wegingsfactor. De variant die het beste scoort, wordt uiteindelijk gekozen als oplossing voor het systeem.

Bij het verder uitwerken van de gekozen variant wordt de oplossing nader gespecificeerd en gedimensioneerd. Dit resulteert in een uiteindelijke specificatie van de oplossing. Deze specificatie kan bestaan uit een set van tekeningen, systeemspecificaties, onderbouwingen van de afwegingen en marges op ontwerpkeuzes. Op basis hiervan kan worden aangetoond dat invulling is gegeven aan de functies en gestelde eisen binnen de gegeven oplossingsruimte.

## 4.3 REALISATIEFASE

### BOTTOM-UP REALISEREN

Na de ontwikkelfase, waarin de te realiseren oplossing is gespecificeerd, volgt de realisatiefase. In deze fase wordt het systeem daadwerkelijk gebouwd. Het realiseren van complexe systemen vindt, net als de ontwikkelfase, gelaagd plaats. Waar we het specificatieproces top-down doorlopen (decomponeren), doorlopen we het realisatieproces bottom-up (integreren). Eerst fabriceren we objecten, om deze vervolgens samen te voegen tot een werkend systeem.

Het realisatieproces bestaat uit een aantal deelprocessen of activiteiten: het fabriceren en het bouwen, het samenvoegen en integreren alsmede het keuren en testen. Het keuren en testen is een gebruikelijke term voor het verifiëren en valideren in de realisatiefase. Bij het gestructureerd managen van deze activiteiten wordt ook gebruik gemaakt van de WBS.

### SYSTEEMINTEGRATIE

Het gerealiseerde systeem maakt vaak deel uit van een groter systeem. De afzonderlijke deelsystemen worden geïntegreerd tot ze een integraal systeem vormen. Het beheersen van de gemeenschappelijke functies en aspecten is hierbij een vereiste. De basis hiervoor wordt gelegd tijdens de systeemanalyse in de ontwikkelingsfase. Om het functioneren van het integrale systeem te verifiëren en valideren worden bijvoorbeeld Systems Integration Testen (SIT) uitgevoerd. Omdat hierbij verschillende partijen (gebruikers, exploitanten, onderhoud, etc.) betrokken kunnen zijn, worden deze testen meestal geïnitieerd door de beheerder/eigenaar van het totale systeem.

## 4.4 VERIFICATIE & VALIDATIE

Het doel van verificatie & validatie (V&V) is expliciet en objectief aantonen of het resultaat in overeenstemming is met de specificaties en het beoogde gebruik. Dit om vast te stellen of de oplossing past bij de vraag en de gegeven oplossingsruimte. Enkel een directe check op de systeemeisen is dan ook niet genoeg; het is essentieel om te bewaken of het systeem nog wel voorziet in de initiële behoefte van de klant. Verificatie & validatie brengt afwijkingen vroegtijdig aan het licht. Corrigerende maatregelen kunnen zowel betrekking hebben op de ontwerp- of realisatiekeuzes als op de eisenformuleringen en mogelijk zelfs op het ambitieniveau van de klant.

Het nadenken over verificatie & validatie begint al bij het formuleren van de eisen. Bij elke eis hoort in een V&V-plan te worden vastgesteld wat hierbij op welke wijze en wanneer moet worden aangetoond. In de ontwikkel- en realisatiefase wordt dit V&V-plan uitgevoerd met behulp van controles en toetsen. De resultaten hiervan worden in V&V-rapporten vastgelegd. Mochten de specificaties worden aangepast en nader gedetailleerd, dan wijzigt op basis daarvan ook het V&V-plan. Dit is een continu en cyclisch proces. Het is gebruikelijk om het V&V-plan uit te werken op basis van de eisenstructuur van het systeem.

### SYSTEEMNIVEAUS

Het uitvoeren van V&V-activiteiten gebeurt op de verschillende systeemniveaus in de ontwikkelfase, de realisatiefase en de gebruiksfase. Het verdient aanbeveling om hiervoor standaardmethodes te gebruiken. Naarmate de complexiteit van projecten toeneemt, is er meer maatwerk nodig om de functionaliteit aan te tonen. Voorbeelden van veelgebruikte V&V-methodes in de verschillende fasen zijn:

Verificatie & validatie in ontwikkelfase:

- Analyse (o.a. haalbaarheidsanalyse, kosten-batenanalyse)
- Berekening (o.a. sterkteberekeningen)
- Audit van bestaande kwaliteitssystemen en -processen (o.a. Technical Inspection Services)
- Demonstratie (o.a. presentatie van de functionaliteiten van een bestaand systeem)
- Documentbeoordelingen (o.a. documentinspecties, reviews, toetsen, ontwerpateliers)
- Modelleren (o.a. prestatie-modellen van beschikbaarheid, verkeersmodellen)
- Simulaties (o.a. dienstregelingsimulatie)
- Referentie (o.a. gebruik van gecertificeerde producten)

Verificatie & validatie in realisatiefase en gebruiksfase:

- Keuren (o.a. bouwstoffenkeuring, ingangs- en uitgangscntroles)
- Testen (o.a. haalbaarheidstesten, FIT, FAT, SIT, SAT)
  - o Factory Integration Test (o.a. hydraulische en mechanische installaties integraal testen)
  - o Factory Acceptance Test (o.a. cameratesten in fabrieksofstelling)
  - o Site Integration Test (o.a. interactietesten tussen installatie- en besturingssystemen)
  - o Site Acceptance Test (o.a. calamiteitenoefeningen in bijzijn van hulpdiensten)
- Meting (o.a. luchtsnelheidsmetingen in tunnels, kalenderen van heipalen)
- Monitoring (o.a. zettingen, monitoring van draaiuren t.b.v. optimale vervanging)
- Schouw (o.a. visuele opname van projectlocatie)
- Inspecties (o.a. Arbo-inspecties, pompkelderinspecties)

Alle genoemde V&V-methodes kunnen alleen gebruikt worden als duidelijk is volgens welke criteria geverifieerd en gevalideerd moet worden. Dit is nodig voor de juiste nauwkeurigheid van de bewijsvoering. Het detailniveau van de benodigde V&V-methode is risicogestuurd.

**Do!**

**Beperk je niet enkel tot V&V-activiteiten die puur gericht zijn op het voldoen aan specifieke eisen. Een verzameling goede deelsystemen maakt nog geen werkend systeem. Bouw ook V&V-activiteiten in die borgen dat het complete systeem gaat werken zoals dit door de klant bedoeld was.**

### CONCRETE AFSPRAKEN

Om overzicht te houden op de V&V-activiteiten worden de V&V-plannen en -rapporten samengevoegd in een V&V-dossier. Dit dossier groeit tijdens het vorderen van de levenscyclus van het systeem. Aan het einde van elke levenscyclusfase is het V&V-dossier onderdeel van de overdrachtsinformatie. Het is voor alle betrokkenen belangrijk dat vanaf het begin concrete afspraken bestaan over de activiteiten die behoren bij verificatie & validatie.

Opdrachtgever en opdrachtnemer moeten het eens zijn over de manier waarop wordt aangetoond dat aan het contract wordt voldaan en over de V&V-documenten die ter acceptatie worden aangeboden. De bijbehorende inspanning hoort in verhouding te staan tot het niveau van de overgedragen verantwoordelijkheden. Kostenbepalende V&V-activiteiten moeten vóór opdrachtverlening zijn afgesproken.

Tijdens het proces kan op basis van risico's geconcludeerd worden dat uitgebreider bewijsmateriaal nodig is dan in eerste instantie werd gedacht. De resultaten van een risicoanalyse kunnen hiertoe aanleiding geven. Een voorbeeld is de verborgen-gebrekenverzekering, waarbij de verzekeraar extra inspanning vereist in de vorm van V&V-activiteiten. Dit om de kans op verborgen gebreken te verkleinen en hiermee het risicoprofiel te verlagen.

# 5

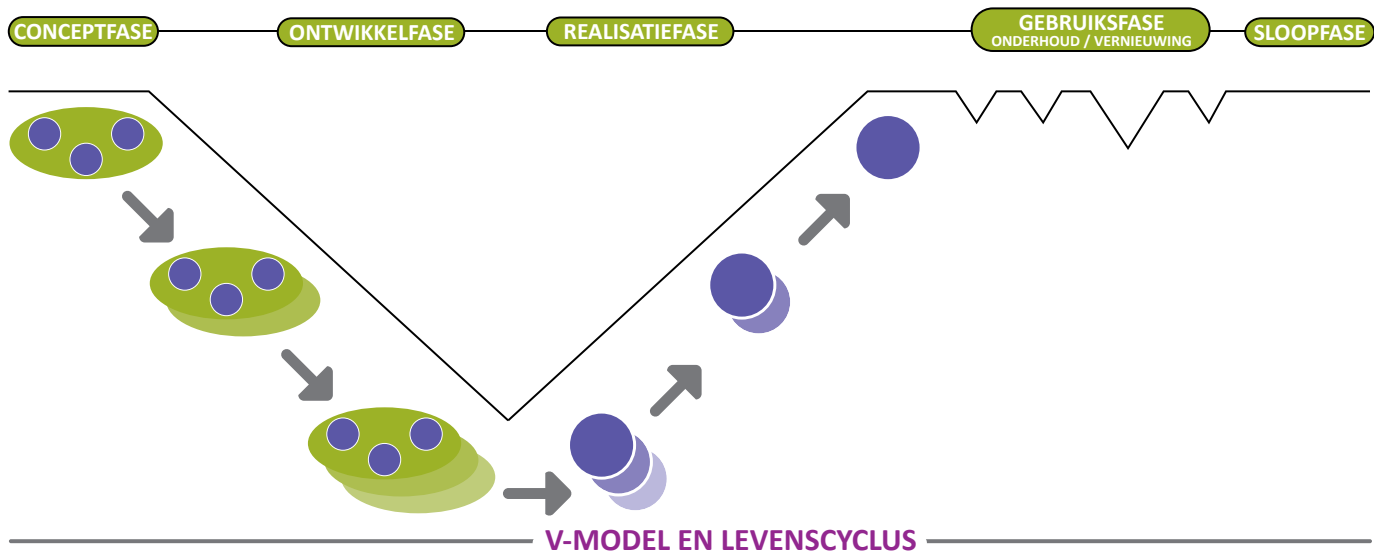
## LEVENSCYCLUSBENADERING

Systems Engineering richt zich op de klantbehoeften gedurende de gehele levenscyclus. Daarom sturen alle processen op optimalisatie over de levenscyclus van een systeem: de levenscyclusbenadering. Zekerheid over wat er gedurende de gehele levenscyclus gaat gebeuren is uiteraard onmogelijk. Voor een gedegen analyse zijn echter verschillende methodes en technieken beschikbaar. In dit hoofdstuk gaan we in op een aantal begrippen die van belang zijn voor een goede analyse van de levenscyclus van een systeem. Dit zijn achtereenvolgens: RAMS, Value Engineering, Life Cycle Cost en Asset Management.

### 5.1 DE LEVENSCYCLUSBENADERING IN PROCESSEN

In projecten ligt vaak de nadruk op processen in de ontwikkelfase en de realisatiefase. Bij systemen met een lange gebruiksduur doorloopt men deze processen tijdens de gebruiksfase meerdere malen.

Dit is in figuur 5.1 schematisch weergegeven met kleine V's in de gebruiksfase. Het opnieuw doorlopen van het specificatieproces tijdens de gebruiksfase betekent dus niet dat de ontwikkelfase weer blanco aanvangt. Wanneer in de gebruiksfase aanpassingen aan het systeem nodig zijn, biedt het voordelen als in de ontwikkel- en realisatiefase al volgens Systems Engineering is gewerkt. De aanpassing blijft dan beperkt tot een wijziging op de oorspronkelijke specificatie.



Figuur 5.1

Toelichting op figuur 5.1:

- Bij de aanleg van het systeem doorlopen we de processen van specificeren en realiseren voor de eerste maal. Dit betreft de levenscyclusfasen: concept, ontwikkeling en realisatie.
- Als het systeem in gebruik is, is onderhoud nodig. Hiervoor moeten we de processen van specificeren en realiseren deels opnieuw doorlopen om te beoordelen of het systeem nog aan de eisen voldoet en om eventuele afwijkingen te corrigeren.

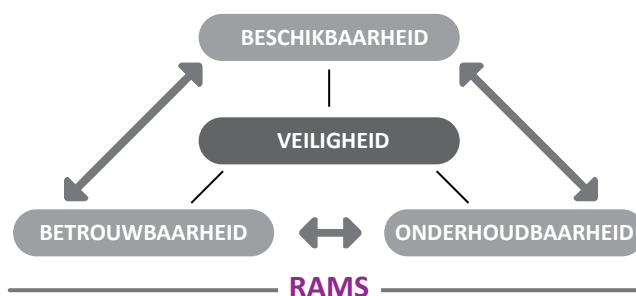
- Gedurende de levensduur verandert de behoefte van de klant, wat bijvoorbeeld invloed heeft op de gevraagde prestaties van het systeem. Dit leidt tot aanpassingen op het systeem, zoals het vervangen van systeemelementen of het toevoegen van nieuwe functionaliteiten. We doorlopen opnieuw, maar dit keer gedeeltelijk, de ontwikkelen en realisatiefase om de aanpassingen te specificeren en tot stand te brengen. Dit vernieuwen of verbeteren kan meerdere malen voorkomen in de levenscyclus van een systeem.
- De levenscyclus van een systeem eindigt met de sloop. Bij complexe systemen kan nadere specificatie van de sloopactiviteiten noodzakelijk zijn. Bij een gedegen levenscyclusbenadering zijn bij de oorspronkelijke specificaties de eisen voor de sloopfase al zo goed mogelijk meegenomen.

### CONFIGURATIEMANAGEMENT

Belangrijk element bij de levenscyclusbenadering is het integraal beheersen van de scope in alle projectfasen, ook wel configuratiemanagement genoemd. Configuratiemanagement maakt gebruik van mijlpalen en baselines. Elke mijlpaal in de totstandkoming van het systeem wordt afgesloten met een gedefinieerde set specificaties. Deze vormen een momentopname ofwel baseline van het systeem. Ook in de gebruiksfase is het gestructureerd en tijdig bijhouden van wijzigingen essentieel voor het blijvend monitoren van het functioneren van het systeem.

## 5.2 RAMS

RAMS staat voor de samenhang tussen de aspecten: betrouwbaarheid (reliability), beschikbaarheid (availability), onderhoudbaarheid (maintainability) en veiligheid (safety). Aan de hand van deze vier aspecten is voor elk systeem de gewenste kwaliteit van de primaire prestatie te beschrijven, te bepalen en te monitoren. Het beschrijven van RAMS-prestaties in eisen is gebruikelijk voor infrastructuursystemen. Bij het spoorvervoersysteem zijn ze volgens de EN 50126 zelfs verplicht. Verschillende analysemethodieken zijn geschikt om de prestaties op de RAMS-aspecten te bepalen of aan te tonen. Dit zijn bijvoorbeeld een faalkansanalyse, een foutenboom of een hazard-analyse. RAMS-analyses maken inzichtelijk binnen welke beperkingen de functie(s) van het systeem vervuld moet(en) worden gedurende de levenscyclus.



Figuur 5.2

Figuur 5.2 toont de samenhang tussen de RAMS-aspecten. Elk afzonderlijk aspect zegt iets over de prestaties van een systeem, maar alleen in onderlinge samenhang bepalen ze daadwerkelijk de kwaliteit van het functioneren van het systeem. Het werken met eisen op RAMS-aspecten dwingt ertoe om na te denken over hoe een systeem in de gebruiksfase zo goed mogelijk kan functioneren.

## FALEN

Het falen van een systeem wordt door twee zaken gekenmerkt: de frequentie waarmee storingen optreden en de duur van de storing. Overigens betekent een storing niet altijd dat het systeem faalt. Mogelijk kunnen andere onderdelen de functie van het kapotte onderdeel (tijdelijk) overnemen. De faalfrequentie bepaalt de betrouwbaarheid van het systeem; de faalfrequentie en faalduur samen bepalen de beschikbaarheid. Onderhoudswerkzaamheden beïnvloeden zowel faalduur als faalfrequentie. Onderhoudswerkzaamheden kunnen storingen wegnemen of de kans op storingen verminderen. Onderhoud kan op het moment van de werkzaamheden echter de beschikbaarheid van het systeem verminderen.

## VEILIGHEID

Het aspect veiligheid staat in nauwe relatie tot alle bovengenoemde RAMS-aspecten. Storingen, al dan niet door externe oorzaak, kunnen veiligheidsrisico's opleveren voor gebruikers van het systeem en voor personeel dat met het systeem werkt. Maar ook het uitvoeren van onderhoud terwijl het systeem in bedrijf is, kan veiligheidsrisico's veroorzaken. Bij te grote veiligheidsrisico's moet het systeem tijdelijk worden afgesloten voor gebruikers of personeel.

## NORMEN

Voor veel systemen zijn RAMS-eisen vastgelegd in wet- en regelgeving. Voorbeelden hiervan zijn: de Wet op de waterkering, de Machinerichtlijn, de Tunnelwet en de service level agreements (SLA's) voor netwerken.

Voor het toepassen van RAMS zijn internationale normen beschikbaar. Voor mechanische en technische veiligheidssystemen is er de IEC 61508, voor spoorvervoersystemen wordt gebruikgemaakt van de EN 50126. De hand-out RAMS/LCC analyse van ProRail licht de toepassing van RAMS bij spoorvervoersystemen verder toe. De Leidraad RAMS van Rijkswaterstaat gaat in op de toepassing van RAMS bij systemen binnen het hoofdwegennet, het hoofdvaarwegennet en het hoofdwatersysteem.

## 5.3 VALUE ENGINEERING

Value Engineering is een systematische, multidisciplinaire benadering om de waarde van een systeem over de gehele levenscyclus te optimaliseren. Dit met behulp van functieanalyse en creatieve technieken. Met het begrip 'waarde' bedoelen we de hoeveelheid functionaliteit, afgezet tegen de lifecycle-kosten. Value Engineering wil deze waarde voor de klant zo groot mogelijk maken.

De methodiek van Value Engineering ondersteunt Systems Engineering op de volgende gebieden:

- **Het verhelder en aanscherpen van eisen.** Bij het opstellen van eisen is het niet direct mogelijk om vast te stellen wat de consequenties zijn voor de waarde. Als een oplossing in beeld is, wordt de waarde voor de klant tastbaarder. Pas dan wordt zichtbaar wat de consequenties zijn voor de kosten en de prestatie van het systeem, over de gehele levenscyclus bezien. Vervolgens kan de vraag gesteld worden of een functie wel zo veel waard is, of er functies ontbreken en of de prestaties voldoende zijn. Aanvullende eisen kunnen bijvoorbeeld betrekking hebben op flexibiliteit en uitbreidbaarheid.
- **De communicatie met en tussen stakeholders.** Bij Value Engineering worden activiteiten met verschillende disciplines en stakeholders doorlopen. Zo ontstaat een beter begrip van elkaars eisen en behoeften, de samenhang hiertussen en de onderlinge afhankelijkheden. Dit maakt het tot een nuttig instrument om de klantvraag in kaart te brengen.



- **Het onderbouwen van formele besluitvorming.** Value Engineering ondersteunt de besluitvorming door:
  - o Een bevestiging van het feit dat de belangrijkste alternatieven nader zijn bekeken
  - o Een goede afweging in de keuze van opties en varianten
  - o Expliciete onderbouwing van ontwerpkeuzes door de afweging op basis van de prijs-prestatieverhouding
- **Als drijfveer voor innovatie.** De gezamenlijke en multidisciplinaire aanpak levert oplossingen op die anders niet in beeld zouden komen.

Value Engineering is toepasbaar op ieder detailniveau in de ontwikkel- en realisatiefase. Hierbij heeft de inzet van het instrument elke keer een andere focus en toepassing. Aan het begin van het ontwerp zal deze meer gericht zijn op het vormgeven van eisen; in een later stadium wordt meer gefocust op optimalisatie en beheersing.

## 5.4 LIFE CYCLE COST

Een Life Cycle Cost-analyse (LCC-analyse) is een methode om de totale levenscycluskosten te bepalen door de verschillende geldstromen inzichtelijk te maken. Een netto contante waardeberekening is een bekend middel om de levenscycluskosten in beeld te brengen. Bij LCC worden naast de ontwerp- en uitvoeringskosten ook berekend: onderhoudskosten (preventief en correctief), operationele kosten (bediening, procesbewaking, kosten voor energie etc.), kosten voor inspecties en kosten voor sloop of vervanging. Desgewenst kunnen de levenscycluskosten per functionaliteit of deelsysteem worden bepaald.

Een LCC-analyse is al van belang bij de afweging om wel of niet een project op te starten vóór de aanleg, vervanging of aanpassing van een systeem. Zo kan de LCC bijdragen aan een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA).

### CONTINU

Een LCC-analyse helpt om in de ontwikkelfase de juiste afwegingen te maken voor optimalisatie van het systeem over de gehele levenscyclus. Zo kan de behoefte per saldo op de goedkoopste wijze worden ingevuld. Een LCC-analyse is echter geen eenmalige exercitie. Net als RAMS en Value Engineering moeten we LCC continu meenemen bij het doorlopen van de processtappen volgens de Systems Engineering-werkwijze. Een LCC-analyse kan nodig zijn bij:

- **De beginfase van een project.** Om de verwachte levenscycluskosten te bepalen en te voorkomen dat projecten worden uitgevoerd waarvan de onderhoudskosten uiteindelijk niet betaald kunnen worden.
- **Ter ondersteuning van de besluitvorming in een project.** Om helder te krijgen wat de invloed van toegevoegde functionaliteiten en eisen is op de levenscycluskosten en te ontdekken welke varianten – vanuit de levenscycluskosten beschouwd – interessant zijn.
- **De verdere uitwerking van het ontwerp.** Om greep te houden op de levenscycluskosten van ontwerpkeuzes.
- **De beheer- en onderhoudsfase.** Om de optimale onderhoudsstrategie te bepalen.
- **Een contractsituatie.** Voor de opdrachtgever: om een afweging van levenscycluskosten mee te nemen in de kwaliteitsbeoordeling van aanbiedingen.

Binnen Rijkswaterstaat en ProRail wordt gewerkt aan het verder professionaliseren en uniformeren van de toepassing van LCC-analyses. Binnen Rijkswaterstaat is hiervoor onlangs een projectgroep opgericht. ProRail heeft dit uitgewerkt in de hand-out RAMS/LCC analyse.

## 5.5 ASSET MANAGEMENT

‘Asset Management staat voor de activiteiten waarmee een organisatie uitvoering geeft aan het optimaal beheren van de assets en de daarmee verbonden prestaties, risico’s en investeringen gedurende de gehele levenscyclus, met als doel het realiseren van het strategische bedrijfsplan en de doelstellingen van de organisatie.’ Dit staat te lezen in de internationaal erkende norm PAS 55 van het British Standards Institution (BSI).

### ASSETS

De betekenis van de term ‘asset’ is kapitaal of bezit. Voor de GWW-sector zijn assets de middelen waarmee de infrastructuur in Nederland wordt vormgegeven. In de PAS 55 wordt onderscheid gemaakt naar fysieke en non-fysieke assets. Fysieke assets zijn de primaire productiemiddelen, zoals objecten en machines. Non-fysieke assets zijn medewerkers, informatie, financiën en maatschappelijke factoren.

### ZORGVULDIGE AFWEGING

Het optimaal beheren van de assets of systemen is complex en vraagt een zorgvuldige afweging tussen prestaties, risico’s en investeringen gedurende de levenscyclus van systemen. Daarbij bestaan er soms tegenstrijdige belangen in de afwegingen, bijvoorbeeld bij korte versus lange termijn, kosten versus prestaties, preventief onderhoud versus ongepland falen en bouwkosten versus onderhoudskosten. Door Asset Management systematisch en integraal toe te passen, worden deze afwegingen transparant en inzichtelijk. Asset Management focust vooral op de gebruiks- en onderhoudsfase van systemen, terwijl het zwaartepunt bij Systems Engineering ligt in de ontwikkelen en realisatiefase. Beide hebben echter hetzelfde doel: het optimaliseren van systemen gedurende de levenscyclus door het sturen op de waarde van de systemen en hun functies voor de klant.

### ERVARING EN KENNIS

Bij Asset Management binnen de GWW-sector draait het om het afwegen van kosten en risico’s tegen de door de netwerken en objecten (assets) te leveren prestaties (service) zoals die in de beleidsdoelstellingen zijn verwoord. Als de assets met behulp van Systems Engineering tot stand zijn gebracht, versterkt dit het Asset Management. Omgekeerd levert Asset Management ervaring en kennis waarmee we de klanteisen voor het systeem beter kunnen bepalen.

# 6

## PROJECTMANAGEMENT

**De processen vanuit Systems Engineering en die vanuit projectmanagement kennen een sterke samenhang en soms overlap met elkaar. Toch zijn er ook duidelijke verschillen. In dit hoofdstuk gaan we hierop in. Verder lichten we toe hoe Systems Engineering kan bijdragen aan de beheersing van de projectprocessen en de projectrisico's.**

### 6.1 SAMENHANG VAN DE PROCESSEN

Een projectmanager stuurt op het evenwicht tussen tijd, geld en kwaliteit met de risicobeheersing als bepalende factor. Zo kan hij verantwoording afleggen aan zijn opdrachtgever en stakeholders. Voor projectmanagement zijn diverse modellen ontwikkeld, zoals Prince2, IPM en Projectmatig Werken. Deze modellen functioneren prima in combinatie met Systems Engineering.

#### TOOLS

Systems Engineering en projectmanagement overlappen elkaar deels, maar zijn zeker niet hetzelfde. Systems Engineering richt zich op de doelmatigheid van het te ontwikkelen systeem en alle daarvoor benodigde activiteiten en hulpmiddelen. De werkwijze volgens Systems Engineering biedt de nodige tools (methodes en technieken) om het projectmanagement te ondersteunen bij een risicogestuurd aanpak binnen de kaders van tijd, geld en kwaliteit. Een projectmanager heeft dan ook belang bij het werken volgens Systems Engineering en moet aansturen op de toepassing van de juiste tools. Een voorbeeld van een geschikte tool is een contextdiagram. Zo'n diagram wordt toegepast op de omgeving van het systeem en brengt de externe raakvlakken gestructureerd in beeld. Dit is noodzakelijk om de juiste systeemeisen boven tafel te krijgen en het ondersteunt de afstemming die plaatsvindt tussen projectteam en stakeholders over de projectscope en kostenconsequenties van omgevingsinvloeden.

#### ISO 15288: INTERNATIONALE NORM VOOR SYSTEMS ENGINEERING

De uitwerking van de werkwijze volgens Systems Engineering binnen de GWW-sector sluit aan bij de technische processen uit de ISO 15288. Naast de technische processen beschrijft de ISO 15288 ook andere processen, waaronder de projectprocessen: projectplanning, projectbeoordeling, projectbeheersing, besluitvorming, risicobeheersing, configuratiebeheer en informatiebeheer. Volgens de ISO 15288 worden deze projectprocessen in de levenscyclus gebruikt om projectplannen op te zetten en te beheren, de tot dan toe behaalde resultaten en de voortgang ten opzichte van de plannen te beoordelen, en de uitvoering van het project tot aan de voltooiing te bewaken.

Deze projectprocessen hebben een directe relatie en interactie met de technische processen, oftewel met de inhoud van het project. De gevraagde kwaliteit wordt uitgedrukt in functies, eisen en ontwerp. Keuzes daarin hebben directe invloed op de projectactiviteiten, -kosten, -planning en -risico's. Andersom zijn projectbesluiten bepalend voor de oplossingsruimte binnen het specificatieproces.

Systems Engineering helpt ons ook om projectprocessen op een systematische en expliciete wijze in samenhang te beheersen. Bij het toepassen van werkpakketmanagement en WBS'en worden bijvoorbeeld alle projectactiviteiten gestructureerd opgedeeld in werkpakketten waartussen de raakvlakken expliciet worden beheerst.

## DOELMATIGE INZET

Systems Engineering kan beschouwd worden als een 'gereedschapskist' voor een systematische aanpak van een project. Met Systems Engineering wordt op een zeker abstractieniveau in elk project dezelfde taal gesproken en worden dezelfde generieke processtappen doorlopen. Daaronder zien we echter de projectspecifieke verschillen. Systems Engineering ter ondersteuning van projectmanagement werkt alleen als aan het toepassen van de methodes en technieken een zorgvuldige afweging voorafgaat. De mate waarin het 'gereedschap' op een nuttige en efficiënte manier ingezet kan worden is niet altijd hetzelfde. Als voorbeeld: een procesmodel voor het bepalen van de functionaliteiten komt beter tot zijn recht bij het ontwikkelen van dynamische systemen dan bij het ontwikkelen van statische systemen. De werkwijze volgens Systems Engineering kan in de basis dus op elk project binnen de GWW-sector worden toegepast; methodes en technieken moeten echter wel doelmatig worden ingezet.

### Do!

**Voorkom een kloof tussen de projectmanager en de specialisten. Zet bij projecten procesmanagers in die de brug slaan tussen projectmanagement en techniek, en voorkomen dat er kennisverlies optreedt doordat men soms elkaars taal niet helemaal spreekt.**

## 6.2 INTERDISCIPLINAIRE PROJECTAANPAK

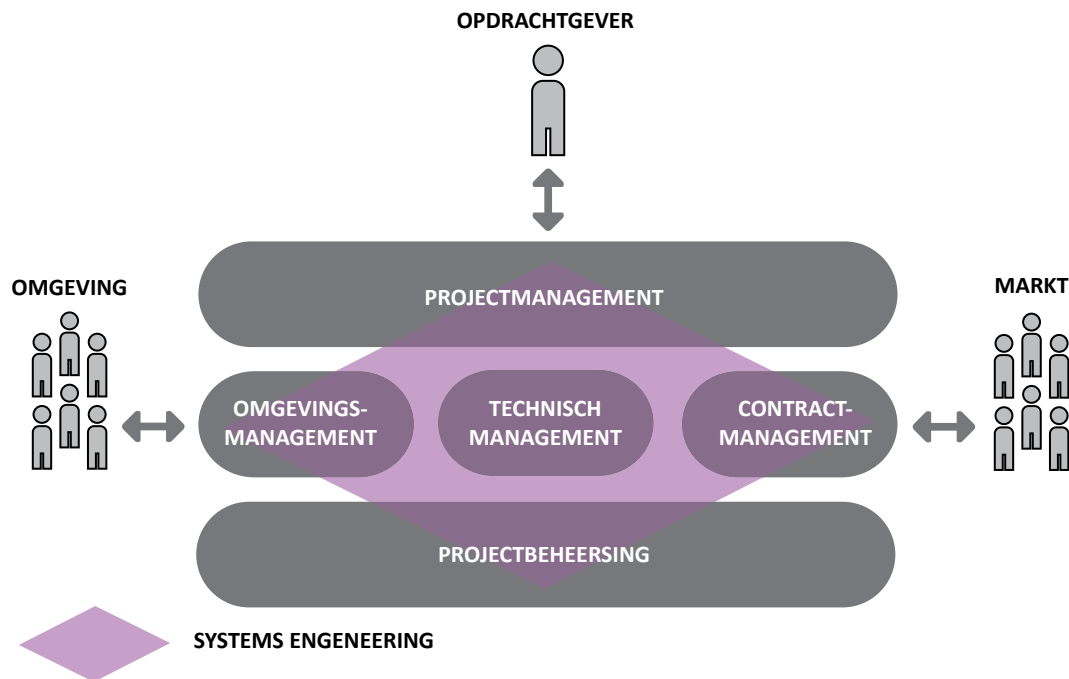
Het werken volgens Systems Engineering leidt tot een interdisciplinaire aanpak van het project. De harmonie tussen de technische processen en de projectprocessen is een bepalende succesfactor over alle projectfasen heen, ongeacht de structuur van de projectorganisatie en het toegepaste projectmanagementmodel. Het systematische, integrale en levenscyclusgeoriënteerd denken en het expliciet en transparant werken dringt door in alle lagen van een projectteam. Elk projectteamlid stuurt op dezelfde doelen vanuit zijn eigen perspectief. Het opdelen van een project in vakdisciplines gaat vaak ten koste van de integraliteit van een project. Vanuit het projectmanagement is daarom specifiek aandacht nodig voor de belangrijkste aspectsystemen, bijvoorbeeld door het aanstellen van een veiligheidsmanager.

### INTEGRAAL PROJECT MANAGEMENT

Als voorbeeld voor een interdisciplinaire projectaanpak wordt hier het model van Integraal Project Management (IPM) gebruikt, zoals dat binnen Rijkswaterstaat wordt gehanteerd voor de aansturing van een projectorganisatie. Dit model is nader uitgewerkt in de 'Werkwijzer Aanleg' van Rijkswaterstaat. In het model onderkennen we de volgende projectonderdelen:

- Projectmanagement
- Omgevingsmanagement
- Technisch Management
- Contractmanagement
- Projectbeheersing

Figuur 6.1 geeft weer hoe Systems Engineering geïntegreerd kan worden binnen IPM.



## RELATIE SYSTEMS ENGINEERING EN INTEGRAAL PROJECT MANAGEMENT

Figuur 6.1

### INVLOED

Figuur 6.1 laat zien dat Systems Engineering invloed heeft op alle genoemde projectonderdelen. De processtappen van Systems Engineering kunnen we niet los zien van bijvoorbeeld de afstemmingsprocessen met omgevingspartijen, de afwegingsprocessen voor marktbenadering en de verantwoordingsprocessen naar de opdrachtgever. Voor het efficiënt kunnen toepassen van Systems Engineering is het sturen op de integraliteit van al deze processen, met een eenduidige 'mindset' van alle betrokkenen, essentieel. Hiermee voorkomen we suboptimalisatie binnen de levenscyclus van het systeem. De projectmanager is verantwoordelijk voor de optimalisatie binnen de levenscyclus van zijn System of Interest en moet dus aansturen op de juiste toepassing van Systems Engineering binnen zijn team. Dit principe is toepasbaar voor ieder projectmanagementmodel.

#### Don't!

**Het is niet de bedoeling dat we Systems Engineering-activiteiten organiseren uitsluitend door het benoemen van Systems Engineering-specialisten. Systems Engineering is een integraal traject en iedereen moet hieraan bijdragen; de werkwijze moet verankerd zijn in de totale projectaanpak.**

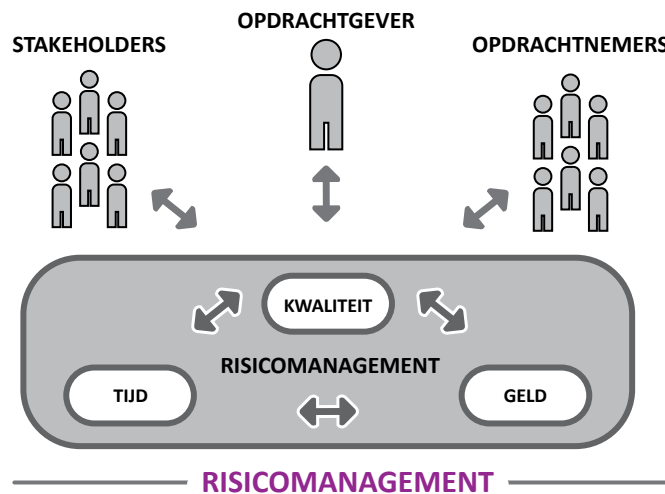
### 6.3 RISICOMANAGEMENT

Sturen op risico's is een belangrijk onderdeel van elk projectmanagementmodel. Systems Engineering helpt om risico's gestructureerd aan het licht te brengen en te beheersen. Ondanks een gestructureerde werkwijze is niet alles vooraf vast te leggen. We hebben altijd te maken met onzekerheden; de omstandigheden zijn nooit voor honderd procent bekend en kunnen gaandeweg veranderen. Naarmate een project een langere doorlooptijd en/of een complexere omgeving kent is de kans op veranderingen groter. Onzekerheden worden binnen een project tastbaar gemaakt door ze te vertalen naar risico's. Het omgaan met risico's is een essentieel onderdeel van Systems Engineering. Onzekerheden worden vaak geassocieerd met ongewenste gevolgen en veiligheidsrisico's, maar kunnen ook positieve gevolgen hebben. Denk daarbij bijvoorbeeld aan een dalende prijs van grondstoffen.

Bij risicomanagement zijn diverse zaken van belang:

- In welke mate kan ik onzekerheden vertalen naar expliciete risico's?
- Wat zijn de gevolgen voor de projectbeheersing: tijd, geld, kwaliteit?
- Welke risico's zijn acceptabel?
- Hoe maak ik gebruik van de oplossingsruimte tussen kans en gevolg (preventieve beheersmaatregelen versus correctieve beheersmaatregelen)?
- Hoe ver moet ik doorgaan met specificeren om voldoende zekerheid te creëren voor de volgende fase in het project?
- Welke risico's behoren bij de opdrachtgever, welke risico's behoren bij de opdrachtnemer? Welke risico's worden gedeeld?

Het omgaan met risico's vraagt om een werkwijze die verankerd is in alle projectactiviteiten over de gehele levenscyclus. Risicomanagement staat centraal in de projectsturing en beheerst het spanningsveld tussen kwaliteit, tijd en geld. Dit is weergegeven in figuur 6.2.



Figuur 6.2

Risicomanagement hoort onderdeel te zijn van het dagelijks handelen in een project. Bij het toepassen van Systems Engineering is dit niet anders. Oftewel: risicomanagement en Systems Engineering kunnen we niet los van elkaar zien. Bij alle processtappen in deze Leidraad speelt de risicobenadering een bepalende rol. Risico's kunnen bijvoorbeeld bepalen hoe gedetailleerd specificaties worden uitgewerkt, welke verificatie & validatiemethodes worden toegepast en of een RAMS-analyse moet worden uitgevoerd.

#### VASTLEGGEN BIJ RISICOMANAGEMENT

Bij faseovergangen in projecten worden specifieke risicoanalyses toegepast. Dit ter ondersteuning van de besluitvorming. Is een fase afgerond, dan wordt vastgelegd welke risico's nog niet zijn afgedekt en hoe deze – eventueel in een volgende fase – wel (gedeeltelijk) zijn af te dekken. Er zijn meerdere methodes om risicomanagement toe te passen. Een veelgebruikte methode binnen de GWW-sector is RISMAN. Van risico's leggen we minimaal vast:

- De gewenste/ongewenste gebeurtenis
- De kans van optreden
- De gevolgen (voor-/nadelen) van de gebeurtenis
  - o Uitgedrukt in geld
  - o Uitgedrukt in kwaliteit
- De beheersmaatregel
- De relatie met de eisen

Bij het toepassen van Systems Engineering is het zaak de relatie zichtbaar te maken tussen de projectrisico's en de Systems Engineering-activiteiten. Maak bijvoorbeeld expliciet op basis van welke risico's een specificatie nader wordt gedetailleerd, welke risico's een rol spelen in de werkpakketten uit de WBS en welke SE-methodieken fungeren als risicobeheersingsmaatregel.

**Do!**

**Houding en gedrag van partijen in de keten moeten gericht zijn op het opbouwen van langdurige vertrouwensrelaties. Wees daarom altijd open over de onzekerheden in een project. De risico's moeten voor alle partijen helder zijn.**

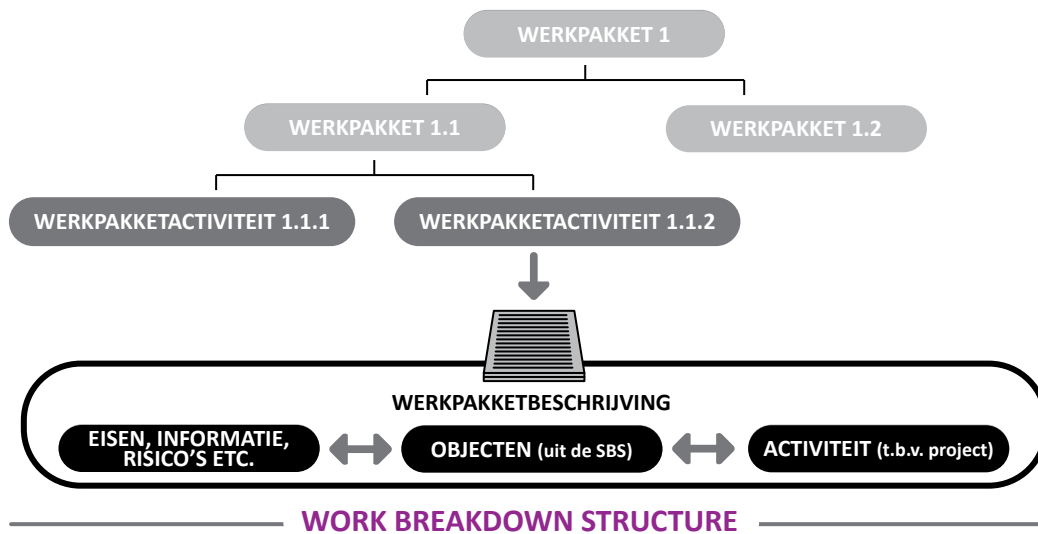
## 6.4 WORK BREAKDOWN STRUCTURE

De Work Breakdown Structure (WBS), ook wel activiteitenboom genoemd, geeft een structuur voor het managen van een project. De WBS wordt hier gedefinieerd als de hiërarchische opdeling van het project in werkpakketten. De WBS beschrijft alle werkzaamheden die verricht moeten worden om het beoogde projectresultaat te behalen. Het doel van een WBS is het werk verdelen in beheersbare werkpakketten (WP), die apart ingepland, begroot of uitbesteed kunnen worden. De werkpakketten worden toegewezen aan een verantwoordelijke persoon, discipline of organisatie. De decompositie van de WBS bestaat uit werkpakketten met een set gerelateerde werkpakketactiviteiten. De werkpakketten zijn daarbij een clustering van werkpakketactiviteiten die samen een logisch geheel vormen op basis van bijvoorbeeld:

- De projectfasering (concept-, ontwikkel-, realisatie- of gebruiksfase)
- Het systeemontwerp (bepaalt de benodigde werkzaamheden voor een object)
- De geografische indeling (op basis van plaats)
- De (project)planning (op basis van tijd)
- De aansturing van een organisatie (disciplines en afdelingen)

### WERKPAKKETACTIVITEIT

Een werkpakketactiviteit is een samenvoeging van een object uit de System Breakdown Structure (SBS) en een activiteit. Voorbeelden hiervan zijn: het ontwerpen van een landhoofd, het testen van installaties of het fabriceren van een sluisdeur. Verder worden de relevante systeemeisen, benodigde informatie en risico's gekoppeld aan de werkpakketactiviteit. Dit geheel vormt de basis voor de werkpakketbeschrijving. Omdat een werkpakket een clustering van logisch samenhangende activiteiten bevat, vinden betalingen of vergoedingen in een contractsituatie dikwijls plaats op basis van de werkpakketten. De indeling van de WBS is afhankelijk van het System of Interest van de betreffende organisatie en kan dus per opdrachtgever en opdrachtnemer verschillen.



*Figuur 6.3*

**Don't!**

Het is niet de bedoeling om als opdrachtgever in een WBS interne processen van een opdrachtnemer te definiëren. Schrijf alleen processen voor waar dat nodig is voor het beheersen van raakvlakken tussen de processen en daar waar risico's worden onderkend.



# 7

## RELATIE OPDRACHTGEVER - OPDRACHTNEMER

Gedurende de levenscyclus van een systeem dragen ProRail en Rijkswaterstaat op diverse momenten een deel van de benodigde werkzaamheden over aan de markt. De toepassing van Systems Engineering op zich is onafhankelijk van het gekozen moment voor marktbenadering en de gehanteerde contractvorm. Systems Engineering stelt echter wel de nodige voorwaarden aan de wijze waarop partijen met elkaar omgaan in contractsituaties. Het iteratieve en levenscyclusgeoriënteerde karakter van Systems Engineering vereist een gedegen samenwerking tussen betrokken partijen. Dit hoofdstuk laat zien hoe het werken met Systems Engineering de relatie tussen opdrachtgever en opdrachtnemer kenmerkt en hoe dit doorwerkt naar de contracten van ProRail en Rijkswaterstaat.

De momenten waarop het proces over en weer gaat tussen opdrachtgever en opdrachtnemer noemen we hier de 'koppelpunten'. Koppelpunten worden soms ook 'ontkoppelpunten' genoemd. Wij geven de voorkeur aan 'koppelpunten' omdat dit de gewenste samenwerking benadrukt.

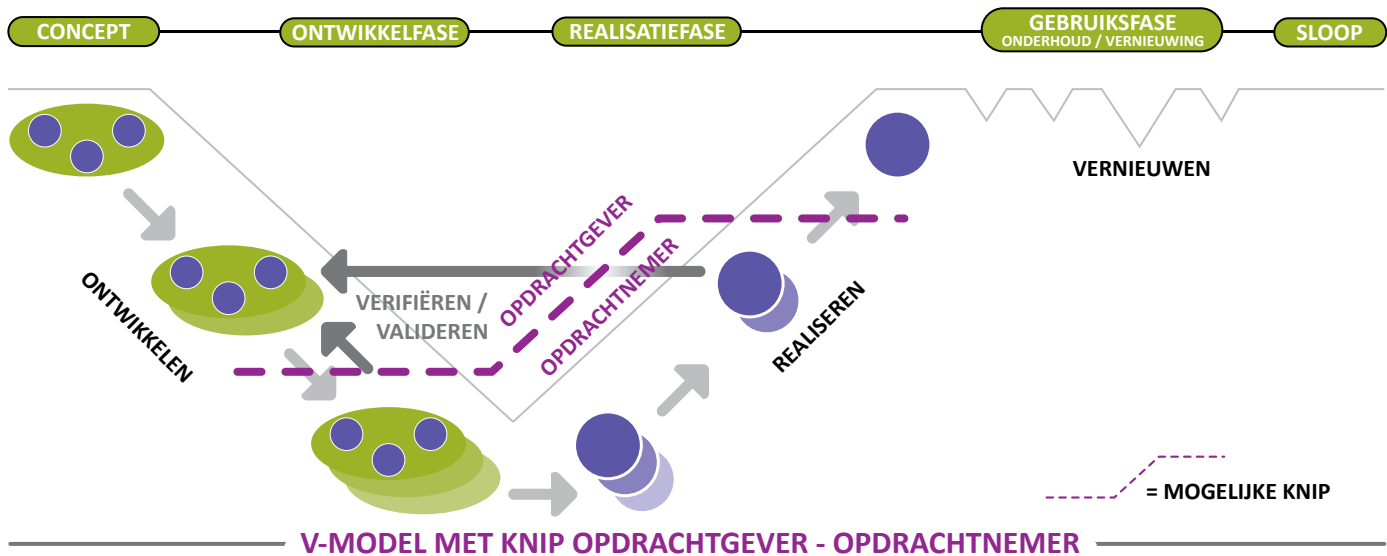
### 7.1 KOPPELPUNTEN

Bij projecten zijn doorgaans meerdere partijen betrokken die elk verantwoordelijk zijn voor het doorlopen van een fase of processtap in de levenscyclus. Dit kunnen verschillende organisatieonderdelen zijn, zoals de beleidsafdeling tijdens de planvorming en een wegendistrict van Rijkswaterstaat tijdens de gebruiksfase. Vaak worden ook externe partijen ingezet voor het uitvoeren van projectwerkzaamheden, bijvoorbeeld aannemers, onderaannemers, ingenieurs- en adviesbureaus en leveranciers.

Het werken met Systems Engineering stelt eisen aan de samenwerking tussen de betrokken partijen tijdens het doorlopen van de levenscyclus. Dit geldt specifiek bij de koppelpunten in het proces. Een koppelpunt moet gezien worden als een overdrachtsmoment tijdens een interactief proces met gedeelde verantwoordelijkheden. Op de koppelpunten moeten overdracht, terugkoppeling en afstemming tussen de partijen goed geregeld worden. Koppelpunten worden gekenmerkt door een tijdsspanne waarbinnen de overdracht plaatsvindt, een product waarin de inhoudelijke overdrachtsgegevens worden vastgelegd en een afstemmingsproces tussen de partijen.

#### KOPPELPUNTEN IN CONTRACTSITUATIES

Deze paragraaf richt zich op de koppelpunten tussen verschillende organisaties in contractsituaties, oftewel tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. Een koppelpunt kan gevisualiseerd worden met behulp van een zogenaamde 'knip' in het V-model; figuur 7.1. Met 'knip' wordt hier bedoeld de scheidslijn tussen verantwoordelijkheid van opdrachtgever en opdrachtnemer. Daar waar de knip de proceslijnen uit het V-model kruist, is een koppelpunt van toepassing.



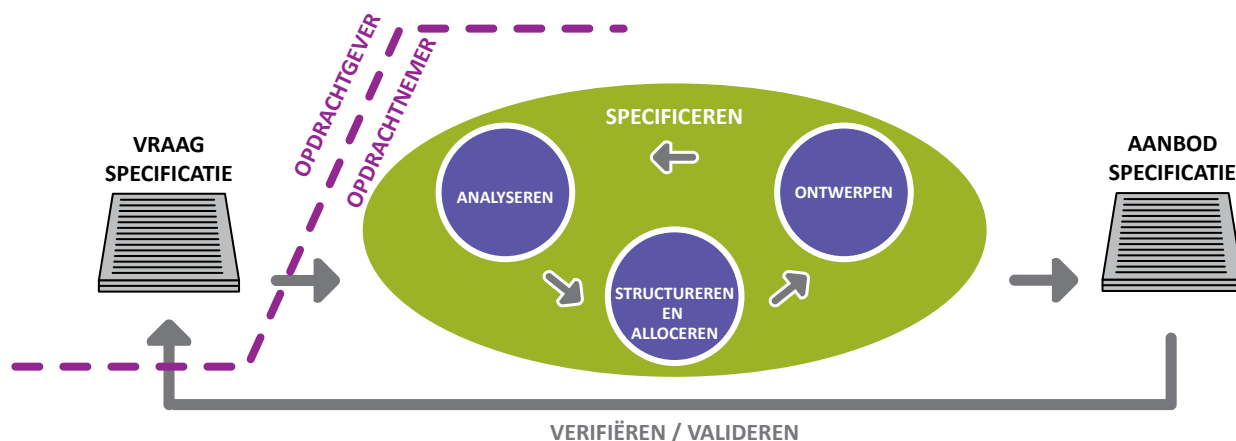
Figuur 7.1

### V-MODEL MET KNIP OPDRACHTGEVER - OPDRACHTNEMER

Het verloop van de knip kan per project verschillen, afhankelijk van de inkoopstrategie van de opdrachtgevende partij. In het weergegeven voorbeeld is sprake van een opdrachtnemer in de vorm van een aannemer aan wie een deel van de ontwikkelfase en de totale realisatiefase is uitbesteed (oftewel Design & Construct). In het geval van een ingenieursbureau kan er bijvoorbeeld voor gekozen worden om één laag in de ontwikkelfase uit te besteden.

#### AFSTEMMING NOODZAKELIJK

Het koppelpunt uit het voorbeeld van figuur 7.2 wordt gemarkeerd door een vraagspecificatie van de opdrachtgever en een aanbodsificatie van de opdrachtnemer. Het iteratieve karakter van Systems Engineering maakt afstemming tussen de specificatieprocessen van opdrachtgever en opdrachtnemer noodzakelijk. Dit betekent dat de opdrachtgever de vraagspecificatie niet 'over de schutting' kan gooien, en dat de opdrachtnemer het iteratieve specificatieproces voort moet zetten. De aanbodsificatie moet voldoen aan de gevraagde kwaliteit en geboden oplossingsruimte uit de vraagspecificatie.



### VRAAGSPECIFICATIE VS AANBODSPECIFICATIE 1

Figuur 7.2

## OPEN COMMUNICATIE

De ontwikkeling van een systeem is een interactief proces met gedeelde verantwoordelijkheden. Dat vergt een open communicatie tussen contractpartners. Bij het werken met Systems Engineering is het belangrijk dat elke partij bijtijds die informatie beschikbaar stelt die van belang is voor het koppelpunt. Tijdens de aanbestedingsprocedure van contracten kan hiervoor bijvoorbeeld een dialoofase worden ingericht.

Producten die de mogelijke koppelpunten tussen opdrachtgever en opdrachtnemer markeren zijn bijvoorbeeld:

- **De vraagspecificatie**  
De vraagspecificatie is een belangrijk onderdeel van het contract tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. De vraagspecificatie beschrijft de 'uitvraag' van de opdrachtgever. Het document legt de verantwoordelijkheden, scope, oplossingsruimte en eisen vast.
- **De aanbodsificatie**  
De aanbodsificatie beschrijft de 'aanbieding' van de opdrachtnemer. Dit document legt de geboden oplossing (het ontwerp inclusief de marge) en bijbehorende specificaties vast. De aanbodsificatie toont aan dat de geboden oplossing voldoet aan de gevraagde kwaliteit en past binnen de geboden oplossingsruimte.
- **Op- en afleverdossier**  
In het op- en afleverdossier wordt de relevante informatie over het gerealiseerde systeem opgenomen. Dit betreft ook informatie voor de volgende fase van het systeem vanuit de levenscyclusbenadering. Denk daarbij aan de planning van beheer- en onderhoudswerkzaamheden.
- **V&V-dossier opdrachtnemer**  
Het V&V-dossier bevat alle resultaten van verificatie & validatie-activiteiten die door de opdrachtnemer zijn uitgevoerd. Daarmee toont de opdrachtnemer aan conform vraag én aanbod te hebben gewerkt. Over de momenten en methodes van verificatie & validatie moeten de partijen het eens zijn. Op basis van risico's kan de opdrachtgever V&V-methodes voorschrijven in de vraagspecificatie of kan de opdrachtnemer V&V-methodes opnemen in de aanbodsificatie. Vóór gunning moet helder zijn welke inspanning nodig is voor verificatie & validatie. Voor onderdelen die niet risicovol lijken en qua inspanning niet bepalend zijn voor de opdrachtsom, kunnen na gunning gezamenlijk de V&V-methodes worden vastgesteld.
- **Integrale planning**  
De opdrachtnemer neemt tijdelijk (een deel van) het systeem over van de opdrachtgever. De geplande activiteiten van de opdrachtnemer dienen in de planning van het totale systeem van de opdrachtgever te passen. De opdrachtgever kan hiermee andere activiteiten, gerelateerd aan het systeem, plannen en uitzetten.
- **Risicodossier**  
Aan het systeem (of project) zijn risico's gekoppeld. Een duidelijk en compleet beeld van de risico's is van groot belang op het moment van contracteren. Kennis rondom de risico's hoort daarom met elkaar gedeeld te worden.
- **Baselines**  
De baselines zijn momentopnames waarbij de status van een project op een bepaald moment wordt vastgelegd. Deze baseline is de referentie voor het vervolg van het project. De betrokken partijen maken samen afspraken over de momenten en de inhoud van de baselines.

- **Achtergrondinformatie**

Dit is de documentatie van het voorgaande proces van de opdrachtgever, zoals bijvoorbeeld de Klant Eisen Specificatie of het V&V-dossier van de opdrachtgever. Vrijgave hiervan biedt de opdrachtnemer de mogelijkheid om een beter beeld te krijgen van de keuzes die gemaakt zijn door de opdrachtgever. Dit helpt om de vraagspecificatie juist te interpreteren en voorkomt inefficiënte discussies.

De opdrachtgever kan de opdrachtnemer in een contract voorschrijven hoe en wat te doen met deze producten. Ook kan de opdrachtnemer voorstellen doen in een inlichtingen- of dialoofase. In ieder geval moet men samen overeenstemming bereiken over inhoud en vorm van het product per koppelpunt.

**Do!**

**Op de koppelpunten moeten opdrachtgever en opdrachtnemer samen keuzes durven maken en de bijbehorende risico's accepteren. Leg samen expliciet uitgangspunten vast op het moment dat onduidelijkheden nog niet zijn opgelost maar er wel besluiten nodig zijn om verder te komen.**

### GEÏNTEGREERDE CONTRACTEN

ProRail en Rijkswaterstaat gebruiken bij voorkeur geïntegreerde contracten om de vragen aan de markt te formuleren en de interactie tussen opdrachtgever en opdrachtnemer vorm te geven. Dit zijn contracten waarop de UAV-GC van toepassing is en waarbij de opdrachtnemer, naast de uitvoering, een deel van de ontwikkelfase voor zijn rekening neemt. Welk deel dat is, hangt af van de specifieke situatie rond het project en de inkoopstrategie. In de basisovereenkomst kunnen afspraken over de koppelpunten worden opgenomen. De opdrachtgever bepaalt in eerste instantie welke koppelpunten op welke wijze in de contractdocumenten worden ondergebracht. In tweede instantie kunnen de betrokken partijen tijdens de contractering met elkaar vaststellen hoe het afstemmingproces rondom koppelpunten wordt ingericht.

### DE DIALOOG

Tijdens de aanbestedingsprocedure van een contract kan tussen opdrachtgever en opdrachtnemer een dialoog ontstaan. Deze gaat onder andere over de eisen, interpretatie van eisen, ontwerpuitgangspunten, ontwerpkeuzes en V&V-methodes. Vanuit het iteratieve proces gezien is deze dialoog gewenst, zo niet een voorwaarde om Systems Engineering goed te kunnen toepassen. Deze dialoog biedt de opdrachtnemer input voor de aanbodsificatie. Na contractering kan de dialoog worden voortgezet door de projectteams van opdrachtgever en opdrachtnemer. Een voorbeeld hiervan is het (technisch) overleg tussen de projectteams. Hierin staan zaken centraal als: de interpretatie van eisen, het toepassen van V&V-methodes en mogelijke beheersmaatregelen voor risico's.

**Don't!**

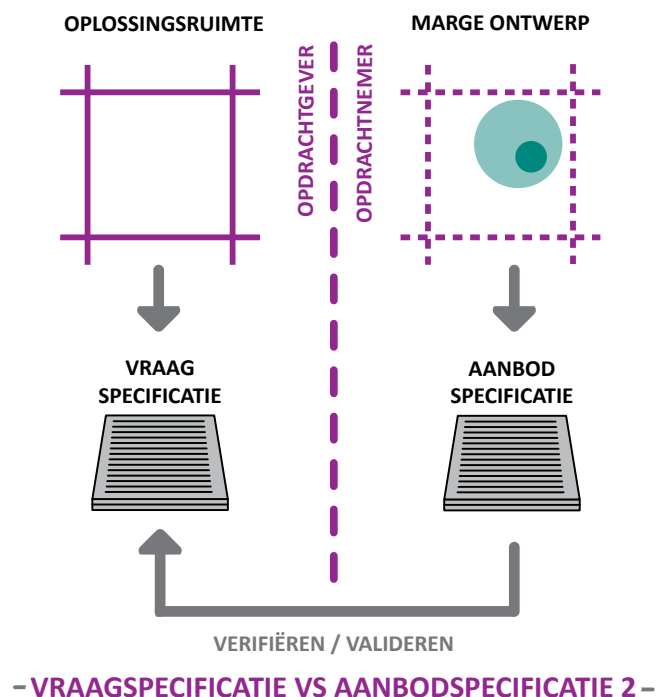
**Het is niet de bedoeling dat juridische discussies de doelmatigheid in de weg staan. Uiteraard zijn deze discussies nodig; het is echter belangrijk om de nadruk te leggen op de inhoudelijke dialoog tussen opdrachtgever en opdrachtnemer.**

## 7.2 VRAAGSPECIFICATIE

In de UAV-GC gebruiken we de term 'vraagspecificatie' om de uitvraag van een opdrachtgever aan een opdrachtnemer te duiden. De opdrachtnemer stelt zijn aanbieding op, op basis van de vraagspecificatie. In termen van Systems Engineering vormt de vraagspecificatie de output van het specificatieproces van de opdrachtgever en de input voor het specificatieproces van de opdrachtnemer. Figuur 7.2 geeft weer hoe de vraagspecificatie de scheidslijn beschrijft tussen de verantwoordelijkheden van een opdrachtgever en een opdrachtnemer. De vraagspecificatie beschrijft de gevraagde kwaliteit en de oplossingsruimte in het kader van een contract en geeft aan hoe de verantwoordelijkheden omtrent de koppelpunten zijn geregeld.

### VERZAMELING SPECIFICATIES

Het System of Interest van een opdrachtnemer wordt bepaald door de vraagspecificatie. De vraagspecificatie beschrijft die deelsystemen en systeemelementen die de opdrachtgever aan de betreffende opdrachtnemer uitbesteedt. Het is dus een verzameling specificaties die in de meeste gevallen niet gelijk is aan het totale System of Interest van de opdrachtgever. Het specificatieproces van de opdrachtnemer leidt dan ook tot een 'eigen' specificatie van het systeem, die de basis is voor zijn aanbieding. Dit noemen we de aanbodsificatie. De aanbodsificatie bevat onder andere het ontwerp van de opdrachtnemer met bijbehorende marges. Een gedegen verificatie & validatie van de aanbodsificatie van de opdrachtnemer aan de vraagspecificatie van de opdrachtgever is noodzakelijk. Dit om zeker te weten dat aan de vraag van de opdrachtgever wordt voldaan en dat de marge op het ontwerp van de opdrachtnemer past binnen de oplossingsruimte. Figuur 7.3 geeft dit principe weer.



Figuur 7.3

Het is mogelijk dat het specificatieproces van de opdrachtnemer, na sluiten contract, leidt tot nieuwe inzichten en wijzigingsvoorstellen. Worden deze voorstellen geaccepteerd door de opdrachtgever, dan leidt dit tot een contractwijziging en dus tot een aangepaste vraagspecificatie. In de UAV-GC is namelijk geregeld dat de vraagspecificatie altijd vóór de aanbieding gaat.

Na gunning vervolgt de opdrachtnemer het specificatieproces tot aan het detailniveau van een uitvoeringsgereed ontwerp. Door het detailleren van zijn specificaties kan hij ervoor kiezen gedecomposeerde deelsystemen en systeemelementen op dezelfde wijze uit te besteden aan onderliggende opdrachtnemers.

**Do!**

**Beschouw het minimaal en maximaal budget ook als een kader voor de oplossingsruimte. Geef een opdrachtnemer de mogelijkheid om binnen het beschikbare budget de optimale oplossing aan te bieden. Beoordeel vervolgens op de beste prijs-kwaliteitverhouding binnen de gestelde kaders.**

## STANDAARDEN

Rijkswaterstaat en ProRail kennen de nodige formats en instructies voor het opstellen van een vraagspecificatie bij een UAV-GC-contract. Hierin wordt de vraagspecificatie gesplitst in twee delen, te weten: deel 1 'eisen' en deel 2 'proces'.

Deze opsplitsing in twee delen kunnen we zien als een indeling in het wat (eisendeel) en hoe (procesdeel). Hiernaast is het voor de helderheid van de uitvraag belangrijk om ook het 'waarom', oftewel de projectdoelstellingen, goed te beschrijven in het contract. Het inleidende hoofdstuk in het eisendeel biedt hier het beste ruimte voor.

## VRAAGSPECIFICATIE EISENDEEL

De vraagspecificatie eisendeel wordt opgebouwd op basis van de systeemeisen die van toepassing zijn op de scope van het contract. Een vraagspecificatie omvat meestal meerdere systemen en/of deelsystemen.

Een vraagspecificatie eisendeel bevat ten minste de volgende informatie:

- Systeembeschrijving (doelstelling, systeemdefinitie en afbakening scope/ systeembegrenzing)
- Bindende en informatieve documenten
- Functionele eisen
- Aspecteisen
- Raakvlakeisen
- Informatie bij de eisen (waaronder de voorgeschreven verificatie & validatiemethodes)
- Begrippen- en definitielijsten

## NORMEN EN RICHTLIJNEN

De ervaring leert dat de mate waarin Normen en Richtlijnen in de eisen moeten worden voorgeschreven een veel voorkomend discussiepunt is binnen projecten. We hebben het hierbij over de zogenaamde bindende en informatieve documenten. Opgemerkt dient te worden dat ook de informatieve documenten niet vrijblijvend zijn. Opdrachtgever dient er daarom voor te zorgen dat de informatieve documenten juist en consistent zijn. De vraagspecificatie eisendeel bevat een opsomming van de bindende en informatieve documenten. Deze opsomming is projectspecifiek en wordt bepaald door de objecten, eisen en V&V-methodes uit de vraagspecificatie. Normen en Richtlijnen kunnen een belangrijke rol vervullen bij het afdekken van V&V-methoden.

Daarnaast kunnen ook meer generieke productstandaarden van toepassing zijn bij de ontwikkeling van het systeem. Dit zijn bijvoorbeeld Normen en Richtlijnen die pas bij nadere detaillering van het ontwerp in beeld komen. Het is niet de bedoeling alle mogelijk van toepassing zijnde Normen en Richtlijnen als bindend of informatief op te nemen in de vraagspecificatie.

Op deze wijze vervullen de Normen en Richtlijnen een belangrijke rol bij het definiëren van de scope en het beheersen van risico's. Het juist toepassen van Normen en Richtlijnen leidt tot een gedefinieerde kwaliteit van betreffende objecten.

#### VRAAGSPECIFICATIE PROCESDEEL

In het procesdeel van de vraagspecificatie staan de eisen beschreven die worden gesteld aan de processen voor de verdere ontwikkeling en realisatie van het systeem (de hoe-eisen). In de vraagspecificatie procesdeel worden de proceseisen gegroepeerd in werkpakketten, opgebouwd op basis van de WBS van de opdrachtgever. ProRail en Rijkswaterstaat delen het procesdeel in op basis van het Integraal Project Managementmodel (IPM), bestaande uit de volgende processen:

- Projectmanagement
- Omgevingsmanagement
- Technisch management
- Contractmanagement
- Projectbeheersing (risico-, plannings- en financieel management)

#### WERKPAKKETTEN

Voor ieder van deze werkpakketten uit de vraagspecificatie procesdeel beschrijft de opdrachtgever de doelstellingen en welke input/output in termen van informatie en producten van belang is. Daarnaast kan de opdrachtgever aangeven welke activiteiten minimaal verwacht worden.

De indeling van werkpakketten in de vraagspecificatie procesdeel kan anders zijn dan de indeling van de werkpakketten zoals de opdrachtnemer die gebruikt voor de aansturing van zijn project. De betalingen of vergoedingen van een project zijn vaak gebaseerd op de werkpakketten van de opdrachtnemer.

#### WERKWIJZEBESCHRIJVINGEN

ProRail en Rijkswaterstaat hanteren instructies, die werkwijzebeschrijvingen worden genoemd. Deze bevatten de gangbare regels voor het opstellen van een vraagspecificatie volgens de methodiek van Systems Engineering, gebaseerd op praktijkervaringen. Het doel daarvan is om meer eenduidigheid te creëren in de vraagspecificaties die binnen de GWW-sector op de markt worden gebracht. Deze werkwijzebeschrijvingen zijn te vinden op [www.leidraadse.nl](http://www.leidraadse.nl).

#### **Do!**

**Wees consistent, zowel binnen een contract als in verschillende contracten. Wees consequent met de structuur in de verschillende contractstukken en vind daarnaast niet bij elk contract opnieuw het 'specificatiewiel' uit. Hergebruik de goede voorbeelden en pas standaarden toe. Dit voorkomt dubbel werk bij zowel opdrachtgever als opdrachtnemer.**

# 8

## HANDREIKING

**Deze vernieuwde Leidraad Systems Engineering creëert de randvoorwaarden voor de toepassing van Systems Engineering binnen de GWW-sector. Het schetst kaders en beschrijft de negen leidende principes. Voor een gedegen uitvoering van deze werkwijze in de eigen organisatie is echter een vertaalslag nodig van dit beleid naar concrete toepassing. Deze slag is afhankelijk van de bedrijfsprocessen van een organisatie en deze moet elke organisatie daarom individueel maken. Hoewel de concrete praktijk niet de insteek van deze Leidraad is, doen we hier enkele suggesties voor het invoeren of toepassen van Systems Engineering in uw organisatie.**

### ZORG VOOR DRAAGVLAK IN DE ORGANISATIE.

Invoeren van de werkwijze vraagt om draagvlak en betrokkenheid in de organisatie. We hebben het dan zowel over commitment bij het hoger management als de overtuiging bij medewerkers dat Systems Engineering ergens toe bijdraagt. Voorwaarde bij het inrichten van de werkwijze is dat deze wordt gedragen door de directie van een organisatie. De betrokkenheid van het management kan vergroot worden door uit te leggen hoe Systems Engineering geld kan opleveren. Toon succesvolle praktijkvoorbeelden aan hoeveel er bespaard kan worden op projecten. Eén treffend voorbeeld is vaak overtuigender dan een uitgebreid rapport.

Leg bij de overige medewerkers de nadruk op de problematiek die met Systems Engineering valt op te lossen. Daarbij gaat het niet om de term Systems Engineering, het gaat erom dat u laat zien wat de toepassing van deze werkwijze kan oplossen en opleveren.

### ZORG VOOR ONDERLEGDE MEDEWERKERS.

Medewerkers die met Systems Engineering aan de slag gaan, behoren ook daadwerkelijk te weten wat er van ze wordt verwacht. Zorg dus dat mensen beslagen ten ijs komen. Bijvoorbeeld door ze cursussen te laten volgen die de theorie en praktijk van Systems Engineering belichten. Daarbij is het goed om zowel succesvolle als minder succesvolle voorbeelden aan te halen, zodat zowel de succesmogelijkheden als valkuilen van de werkwijze worden belicht. Overigens verzorgen de meeste brancheorganisaties voorlichting en opleidingsprogramma's voor de aangesloten organisaties.

Het handboek Systems Engineering van INCOSE: 'Systems Engineering Handbook' (versie 3.0, juni 2006) biedt informatie voor toepassing van de werkwijze op praktisch niveau. Ook zijn op [www.leidraadse.nl](http://www.leidraadse.nl) publicaties te vinden die meer inzicht bieden in onderdelen van Systems Engineering. Verder vindt u hier informatie over Systems Engineering-cursussen, voorbeeldprojecten en een generiek stappenplan voor partijen die met Systems Engineering aan de slag willen.

### RICHT EEN ONDERSTEUNEND TEAM IN.

Systems Engineering gaat effectiever met gedegen begeleiding. Een ondersteunend team kan een grote rol spelen bij het begeleiden van projecten die Systems Engineering toepassen. Veel organisaties hebben dit overigens al ingericht. ProRail heeft bijvoorbeeld het supportteam; dit team coacht medewerkers om Systems Engineering te vertalen naar hun projecten. Bij Rijkswaterstaat bestaat het Kennisveld Systems Engineering; dit organisatieonderdeel begeleidt projecten bij een juiste vertaling van Systems Engineering naar het project. NLingenieurs heeft het expertnetwerk Systems Engineering. Ook de meeste bouwbedrijven kennen ondersteunende teams.



Daarbij is het goed als in de uiteenlopende overlegsituaties altijd iemand aanwezig is die een Systems Engineering-insteek heeft. Het verdient aanbeveling een extra persoon aan het projectteam toe te voegen, bijvoorbeeld een bouwprocesmanager, die Systems Engineering telkens expliciet op de agenda zet.

#### **START MET EEN PILOTPROJECT.**

Natuurlijk kan het geen kwaad om elementen van Systems Engineering stapsgewijs in meerdere of alle projecten te integreren. Maar wie écht de voordelen wil ondervinden, doet er goed aan er in minimaal één project volledig voor te gaan. Zorg voor een pilotproject waarin volledig volgens de Systems Engineering-aanpak wordt gewerkt. Zorg dat hier medewerkers aan de slag gaan die overtuigd zijn van de mogelijkheden van de werkwijze. En zorg dat het ondersteunende team het project begeleidt. De in dit project opgedane ervaring kan worden meegenomen in overige Systems Engineering-projecten in de organisatie.

#### **ZORG DAT ADVIEZEN NIET VRIJBLIJVEND ZIJN.**

Wanneer een organisatie Systems Engineering serieus neemt en een ondersteunend team of een werkgroep hiermee aan de slag gaat, is het zaak dat dit team ook zeggenschap heeft. Dat betekent dat adviezen van deze partij in meer of mindere mate bindend zijn. Het team moet kunnen ingrijpen in contracten en de planning als dat vanuit het oogpunt van Systems Engineering noodzakelijk is.

#### **INVENTARISEER PROCESSEN EN PROCEDURES EN STEM DEZE AF OP DE SYSTEMS ENGINEERING-SYSTEMATIEK.**

Bij het toepassen van Systems Engineering is het raadzaam eerst te inventariseren welke bedrijfsprocessen en -procedures worden beïnvloed door Systems Engineering. Kijk vervolgens hoe deze afgestemd kunnen worden op de processtappen binnen Systems Engineering. Uiteraard kan ter ondersteuning van dit traject ICT worden ingezet. ICT-programma's mogen echter niet leidend worden, maar moeten de Systems Engineering-gedachte ondersteunen.

#### **PAK DE MEEST KRITISCHE PROCESSEN ALS EERSTE AAN.**

Dit zijn processen waarvan duidelijk is dat Systems Engineering veel meerwaarde kan hebben. Pak daarbij in eerste instantie die processen op waarbij u de kans van slagen ook groot acht. Het verschilt van organisatie tot organisatie welke processen dit zijn; voor de een kan dit de planvorming zijn, voor de ander het tenderproces of bijvoorbeeld het contracteren van onderaannemers.

#### **LEER VAN ELKAAR.**

Voorkom dat iedere organisatie opnieuw het wiel moet uitvinden. Binnen branches en over de branchegrenzen heen kan van elkaar geleerd worden. Bijvoorbeeld door best practices met elkaar te delen, maar ook door de leerpunten te delen van hoe het juist niet moet. Dit kan binnen brancheorganisaties maar ook verticaal, binnen een project, waarbij de verschillende partijen de opgedane Systems Engineering-kennis met elkaar delen.

# BEGRIPPENLIJST

Hieronder een overzicht van in de uitgave gebruikte begrippen, met de definitie van het begrip zoals die voor deze Leidraad geldt.

- **Aanbodspecificatie** Aanbiedingsdocument dat de geboden oplossing met de oplossingsmarge en bijbehorende eisen vastlegt.
- **Activiteitenboom (= Work Breakdown Structure)**, zie WBS.
- **Aspect** Specifieke eigenschap van het te ontwikkelen systeem.
- **Aspecteis** De beschrijving van de gevraagde prestatie van een product of dienst aangaande een aspect.
- **Aspectstelsel** Een dwarsdoorsnede van het systeem vanuit één perspectief.
- **Asset Management** De activiteiten waarmee een organisatie uitvoering geeft aan het optimaal beheren van de assets en de daarmee verbonden prestaties, risico's en investeringen gedurende de gehele levenscyclus, met als doel het realiseren van het strategische bedrijfsplan en de doelstellingen van de organisatie. [PAS 55 – British Standards Institution (BSI)]
- **Baseline** Formeel 'bevroren' status van een product die dient als referentie voor verdere werkzaamheden.
- **Beheer** Het gepland en financieel verantwoord treffen van maatregelen en activiteiten waarmee de functie van een systeem beschikbaar blijft.
- **Beschikbaarheid (= Availability)** De waarschijnlijkheid dat de vereiste functie op een gegeven willekeurig moment kan worden uitgevoerd onder gegeven omstandigheden.
- **Betrouwbaarheid (= Reliability)** De waarschijnlijkheid dat de vereiste functie wordt uitgevoerd onder gegeven omstandigheden gedurende een bepaald tijdsinterval.
- **Boomstructuur** Een hiërarchisch gestructureerde verzameling gelijksoortige grootheden volgens de regel 'is onderdeel van' of 'is afgeleid van'.
- **Configuratie** Functionele en materiële eigenschappen van een product, zoals omschreven in technische documentatie en gerealiseerd in het product. [ISO 10007]
- **Configuratiemanagement** De technische en organisatorische activiteiten voor het identificeren, beheersen, verantwoorden van de status en het auditen van configuraties. [ISO 10007]
- **Decomponeren** Het proces waarin het hoger gelegen detailniveau wordt opgedeeld in meer gedetailleerde afgeleide eisen, functies en bijbehorende objecten.
- **Eis** Beschrijving van de gevraagde eigenschap van het te leveren product of de te leveren dienst.
- **Eisenboom (= Requirements Breakdown Structure)**, zie RBS.
- **Faalkosten** Alle kosten die voor het eindproduct zijn gemaakt, ontstaan door vermijdbaar tekortschieten. [SBR]
- **Functie** Beoogde werking en verrichting van een product of dienst. [Van Dale]
- **Functieanalyse** Proces dat op complete wijze de functies en hun relaties identificeert en beschrijft, en deze functies systematisch karakteriseert, classificeert en evalueert. [gebaseerd op: ISO/DIS 21351-2001]
- **Functionele eis** De beschrijving van een gevraagde prestatie of conditie aangaande de primaire functie van een product.
- **Gebruiksfase** Tijdsbestek tussen oplevering en sloop waarin een systeem zijn functie vervult.

- **Integraal Project Management** Projectmanagementmodel dat de besturing van processen binnen een project beschrijft, de samenhang daartussen en de relaties met de projectomgeving.
- **Klant** Verzameling van stakeholders die een belang hebben in de ontwikkeling van een systeem. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen betalende en niet-betalende stakeholders.
- **Klantvraag** Verzameling van behoeften en randvoorwaarden van de stakeholders (klant).
- **Klant Eisen Specificatie** Document dat de klanteisen specificeert in een overzicht van de benodigde functionaliteiten, de eisen per stakeholder, de beschikbare oplossingsruimte en een beschrijving van het System of Interest van de klant. (In Engelse literatuur CRS, Customer Requirements Specification, genoemd)
- **Koppelpunt** Moment in de levenscyclus van een systeem waarop het proces over en weer gaat tussen opdrachtgever en opdrachtnemer.
- **Levenscyclus** (= Life Cycle) De evolutie in de tijd van een systeem van probleem tot sloop.
- **Object** Een afzonderlijk identificeerbaar onderdeel van een fysiek geheel.
- **Objectenboom** (= System Breakdown Structure), zie SBS.
- **Onderhoud** Activiteiten die worden uitgevoerd met het doel de functies van een systeem gedurende de gebruiksduur op het vereiste kwaliteitsniveau in stand te houden.
- **Onderhoudbaarheid** De waarschijnlijkheid dat de activiteiten voor actief onderhoud kunnen worden uitgevoerd binnen de hiervoor vastgestelde tijden onder gegeven omstandigheden teneinde de vereiste functie te kunnen (blijven) uitvoeren.
- **Ontwerp** De in documenten vastgelegde uitwerking van de oplossing van een systeem.
- **Ontwerpen** Het creatieve proces om tot de optimale uitwerking van de oplossing te komen.
- **Ontwerpproces** De verzameling van activiteiten om te komen tot de optimale uitwerking van de oplossing.
- **Ontwerpvrijheid** De mate waarin verschillende keuzes nog mogelijk zijn binnen het proces van ontwerpen.
- **Opties** Mogelijke oplossingsrichtingen.
- **PAS 55** Publicly Available Specification 55, normatief van het British Standards Institution (BSI) die handvatten aanreikt voor optimaal management van fysieke assets en infrastructuur.
- **Proces** Verzameling van onderling gerelateerde of op elkaar inwerkende activiteiten die input vertalen naar output. [gebaseerd op: EN-ISO 9000:2005]
- **Projectmanagement** Het op zo'n manier organiseren en managen van middelen dat een project wordt voltooid binnen de gedefinieerde scope en afgesproken planning en budget.
- **Projectscope** Het totaal van producten en diensten dat in het kader van een project dient te worden geleverd.
- **Raakvlak** De functionele en fysieke eigenschappen die dienen te bestaan voor het in samenhang functioneren van delen op een gemeenschappelijke grens.
- **RBS** Requirements Breakdown Structure, hiërarchische eisenstructuur van het systeem, ook 'eisenboom' genoemd.
- **Risico** Niet-geplande ongewenste of gewenste gebeurtenis met een bepaalde kans van optreden.
- **SMART** Acroniem van Specifiek, Meetbaar, Acceptabel, Realistisch en Tijdsgebonden.
- **SBS** System Breakdown Structure, hiërarchische objectstructuur van het systeem, ook 'objectenboom' genoemd.

- **Scope** Zie projectscope.
- **Sloop** Activiteiten gericht op het ontmantelen van een systeem dat zijn functie niet meer hoeft te vervullen of kan vervullen.
- **Specificatie** Een document met daarin de verzameling geordende eisen en beschrijving van de beschikbare oplossingsruimte dan wel de gekozen oplossing met de oplossingsmarge die gelden voor een systeem (product of dienst).
- **Specificeren** Het proces om middels interactie tussen analyseren, structureren & alloceren en ontwerpen te komen tot de vastlegging van de eisen en de beschikbare oplossingsruimte dan wel de gekozen oplossing met de oplossingsmarge.
- **Stakeholder** Een partij die een recht heeft in of belang heeft bij een systeem (belanghebbende).
- **Systeem** Een, afhankelijk van het gestelde doel, binnen de totale werkelijkheid te onderscheiden verzameling elementen, die onderlinge relaties hebben. [In 't Veld, 1986: 'Analyse van organisatieproblemen']
- **Systeemdenken** Benadering of denkwijze waarbij complexe problemen en mogelijke oplossingen vanuit het groter geheel en gestructureerd worden beschouwd.
- **Systeemelement** De kleinste eenheden van een systeem, waarbij de interne opbouw en relaties niet meer beschouwd worden.
- **System of Interest** Systeem vanuit het perspectief van één waarnemer.
- **System of Systems** Het grotere geheel van systemen dat weer zelfstandig kan functioneren.
- **Systems Engineering** De interdisciplinaire aanpak en de middelen die nodig zijn om de realisatie van succesvolle systemen mogelijk te maken. (gebaseerd op: INCOSE)
- **Trade-off matrix** Tabel om varianten onderling te vergelijken op hoogste waarde.
- **UAV-GC** Uniforme Administratieve Voorwaarden voor geïntegreerde contractvormen.
- **Uitvoering** Het proces van realisatie van het ontwerp.
- **Value Engineering** Systematische, multidisciplinaire benadering om met behulp van functieanalyse- en creatieve technieken de waarde van een systeem, over de gehele levensduur, te optimaliseren.
- **Varianten** Uitgewerkte mogelijke oplossingen.
- **Veiligheid** De mate waarin iemand (of iets) is gevrijwaard van (de effecten van) gevaarlijke situaties.
- **Verificatie & validatiemethode** Middel voor het aantonen dat de oplossing voldoet aan de eisen en behoeften van de klant en daarmee past binnen de oplossingsruimte met behulp van objectief bewijs.
- **Verifiëren en valideren** Alle activiteiten die nodig zijn om objectief en expliciet te kunnen aantonen dat de oplossing voldoet aan de eisen en behoeften van de klant en daarmee past binnen de oplossingsruimte.
- **Vier-partijen-overleg** Stuurgroep van vertegenwoordigers van Bouwend Nederland, NLingenieurs (voorheen ONRI), Vereniging van Waterbouwers, Rijkswaterstaat en ProRail die de implementatie van Systems Engineering binnen de GWW-sector stimuleren en afstemmen.
- **Vraagspecificatie** Contractdocument waarin de aanvraag van een opdrachtgever aan een opdrachtnemer wordt geuit. De vraagspecificatie bestaat uit een deel 1 Eisendeel en een deel 2 Procesdeel.
- **Waarde** De hoeveelheid functionaliteit, afgezet tegen de lifecycle-kosten.
- **WBS** Work Breakdown Structure, hiërarchische opdeling van een project in werkpakketten, ook 'activiteitenboom' genoemd.
- **Werkpakket** Set van samenhangende activiteiten voor een of meerdere objecten met gedefinieerde input en output.

# COLOFON

Deze vernieuwde Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-Sector is opgesteld door ProRail en Rijkswaterstaat in nauwe samenwerking met de brancheverenigingen Bouwend Nederland, NLIingenieurs (voorheen ONRI) en de Vereniging van Waterbouwers (voorheen VBKO). De eerste versie van de Leidraad Systems Engineering werd gepubliceerd in april 2007; de Engelstalige versie, met enkele aanpassingen op het origineel, volgde in mei 2008. De voorliggende versie 2.0 is officieel gedateerd op 27 november 2009.

## WERKGROEP LEIDRAAD SYSTEMS ENGINEERING

Goos de Boer (Boskalis; Vereniging van Waterbouwers)

Hans Bruinsma (Grontmij; NLIingenieurs)

Erik Elich (ProRail)

Bart van Luling (Rijkswaterstaat)

Gerrit Wemeijer (Mobilis; Bouwend Nederland)

Met dank aan alle workshopdeelnemers: 'Strategische workshop verificatie & validatie', 'Workshopdag Leidraad Systems Engineering' en 'Workshop Do's en Don'ts'.

## MET DANK VOOR DE KRITISCHE BLIK VAN

Tufail Ghauharali (namens INCOSE-NL)

Hennes de Ridder (namens TU Delft)

Karel Veenvliet (namens Universiteit Twente)

Arjan Visser (namens CROW)

## REDACTIE

Miranda van Ark, MVA Communicatie, Den Haag

## VORMGEVING

GOfor Design, Den Haag





