

INFOBLAD

Systems Engineering voor tram, metro en lightrail



Beheersbaar, kosteneffectief
en integraal werken



ExpertiseCentrum Rail



EC Rail is een samenwerkingsverband tussen stadsregio's en provincies die railinfrastructuur in beheer hebben

Colofon

Dit Infoblad SE is gerealiseerd op verzoek van het Expertisecentrum Rail (EC Rail) en bedoeld als een introductie van Systems Engineering specifiek voor de tram-, metro- en lightrailsector.

Werkgroep Infoblad SE:

Gerrit Barmantlo (ECRail-BRU), Frank Bruin (IBA Amsterdam), Evelien Fontein (Balance), Jeroen van der Meer (BAM Infraconsult), Emile Oostenbrink (ECRail-CROW), Rik Verdenius (ECRail-Stadsregio Amsterdam), Camiel Verhoeve (ECRail-Regio Haaglanden), Arjan Visser (CROW).

Met dank aan:

Bart van Lulling (2nd Nature).

Projectleiding:

Emile Oostenbrink (CROW) en Gerrit Barmantlo (namens EC Rail).

Procesbegeleiding en tekst:

Miranda van Ark (MVA Communicatie).

Opmaak:

Ivo Schouten, Amsterdam

september 2013

INHOUD

	Leeswijzer	4
Deel I	Praktijkervaringen in de tram, metro en lightrail	5
	“Kijken naar volledige levenscyclus brengt totale kosten (TCO) omlaag” / 5	
	“Faalkosten en rework voorkomen” / 6	
	“Traceerbaar en aantoonbaar werken” / 6	
Deel II	SE levert meerwaarde bij metro, tram en lightrail	7
Deel III	Systems Engineering, een korte introductie	9
	Specificeren, verifiëren, configuratiemanagement / 9	
	Helder beeld van klantvraag / 9	
	Bij elke contractvorm en in elk project / 10	
	Aandacht voor houding en gedrag / 10	
	Implementatie SE in gww-sector in ontwikkeling / 10	
	Informatieve websites over SE / 10	
Deel IV	SE inzetten: de mensen en de toolbox	11
	De mensen / 11	
	De toolbox / 12	
	Inhoud toolbox / 14	
	Literatuur	16

Leeswijzer

Systems Engineering (SE) is toepasbaar binnen alle branches, en zeker ook in de tram-, metro- en lightrailbranche biedt het meerwaarde. Bij de ontwikkeling van nieuwe systemen en bij beheer van, wijzigingen op en uitbreidingen van bestaande systemen. Met dit Infoblad bieden we u graag informatie waarmee u de toepassing van SE in de eigen organisatie kunt opstarten of verstevigen. In **deel I** leest u de praktijkervaringen van mensen met verschillende rollen binnen de tram-, metro- en lightrailsector. In **deel II** leest u welke specifieke aanleidingen en

uitdagingen in de tram-, metro- en lightrailsector de toepassing van SE wenselijk maken. In **deel III** leest u een korte introductie op Systems Engineering en verwijzen we door naar relevante publicaties en websites. In **deel IV** vindt u hulpmiddelen om de toepassing van SE door uw organisatie te vergroten. Dit betreft tips over hoe SE in de organisatie verankerd kan worden en wat dit van mensen vraagt op het vlak van houding en gedrag, alsmede een toolbox met diverse SE-gereedschappen.



Deel I Praktijkervaringen in de tram, metro en lightrail

Sectorbreed vindt de invoering van Systems Engineering plaats. Het systeem centraal stellen en integraal en expliciet werken zijn daarbij van belang. Daarbij is SE geen vak maar een werkwijze, waarbij de hele organisatie betrokken is. Maar wat is nu de meerwaarde van de werkwijze? We vroegen het enkele ervaringsdeskundigen in de tram-, metro- en lightrailsector, te weten: Ton Buijink (projectdirecteur BAM PPP), Ton Hilhorst (hoofd openbaar vervoer Haaglanden) en Frans Többen (functional delivery manager bij de Noord/Zuidlijn).

“Kijken naar volledige levenscyclus brengt totale kosten (TCO) omlaag”

“Voor ons is het geen vraag meer of we SE toepassen, het is de standaard geworden. Omdat we de meerwaarde van SE zien. Die waarde zit in de aantoonbaarheid van werken en een lagere TCO (total cost of ownership). Ook zorgt SE ervoor dat de markt zijn creativiteit kan inzetten binnen de gegeven oplossingsruimte.”

“Bij SE staat het systeemdenken centraal. Dat betekent dat we een vraagstuk vanuit het totale systeem bezien. Het aanpassen van een emplacement of vervangen van wissels vraagt om een goed beeld van de totale context. Is de context goed beschreven en is er voldoende informatie beschikbaar? Zo ja, dan kan de opdrachtnemer zijn creativiteit vervolgens goed inzetten. Dat vraagt van een opdrachtgever dat hij ruimte durft te geven met een functionele specificatie die nog geen oplossing voorschrijft.”

Kosteneffectief

“SE is kosteneffectief omdat je een optimale oplossing kunt kiezen voor het voorgelegde vraagstuk. Daarbij zit de effectiviteit onder andere in het feit dat je naar de hele levenscyclus van het systeem kijkt. Partijen die net met SE starten hebben weleens het idee dat je meer inspanning moet verrichten. Maar als je naar de totale levenscyclus kijkt, is dat een kleine investering in het begin van het traject, die zich terugbetaalt in een grote meerwaarde over de hele levenscyclus. Zo houd je de totale kosten (TCO) laag.”

Ton Buijink is projectdirecteur BAM PPP en heeft in die rol internationale ervaring met de toepassing van SE bij lightrailprojecten.

“Faalkosten en rework voorkomen”

“Een integrale aanpak draagt bij aan het toekomstige succes van een project. Vandaar dat we SE toepassen. Het zorgt dat de klantvraag helder is, voorkomt missers en helpt zicht te krijgen op hoe het er werkelijk voorstaat in het project. Juist bij railsystemen is integrale afstemming daarbij heel belangrijk. We zitten immers in een dichtbebouwde omgeving met veel stakeholders.”

“SE helpt bij het first time right bouwen en bij het voorkomen van faalkosten en rework. Met de toepassing van SE loop je namelijk in de uitvoering niet tegen zaken aan waar nog niet aan was gedacht. SE betreft ook nadrukkelijk beheer en onderhoud bij het proces. Het is uiteraard niet mogelijk alles te ondervangen. De aanbesteding van een railsysteem duurt zo’n tien jaar en in die tijd krijg je te maken met voortschrijdende techniek en veranderende wet- en regelgeving. SE biedt dan ook geen oplossing voor alles wat je kunt tegenkomen, maar zorgt wél voor een flinke verbeterlag.”

“Vaak willen opdrachtgevers snel aanbesteden en bouwen. Bestuurders willen liefst binnen vier jaar resultaten tonen. Maar gelukkig staan ze vaak wel open voor goede argumenten. Met SE zet je in op een goede voorbereiding die later voordeel oplevert. En een bestuurder wil de risico’s zo klein mogelijk houden en iets goeds neerleggen voor zijn opvolger.”

Ton Hilhorst is hoofd openbaar vervoer Haaglanden, waar SE wordt toegepast bij de doorontwikkeling van RandstadRail.

“Traceerbaar en aantoonbaar werken”

“Wie SE toepast, merkt dat het grip geeft op een project. Daarbij draagt het bij aan betere samenwerking met de opdrachtgever en heldere communicatie op de werkvloer. Tijdens de ontwikkeling van een systeem wisselt de samenstelling van het betrokken team. Het is daarom goed om keuzes en afspraken expliciet vast te leggen, zodat de kennis niet met de mensen vertrekt.”

“Doordat we met SE traceerbaar werken, voorkomen we discussie achteraf. We kunnen herleiden wat er met welke reden is afgesproken. Wanneer je de keuzes en achtergronden kent, besteed je geen onnodige tijd en discussie aan het achterhalen van zaken.”

“De inzet van raakvlakmanagement draagt daarbij bij aan een integrale werkwijze. Voorheen spraken we natuurlijk ook zaken af, maar dat werd niet altijd goed vastgelegd. Met het raakvlakkenregister maken we afspraken en vertalen we die naar raakvlakeisen die weer zijn gekoppeld aan het systeem. Dit geeft inzicht in de raakvlakken én maakt ze beheersbaar. Daarbij geeft de informatiebeheerssoftware die we gebruiken mij meer overzicht. Ik zie hoe het staat met de voortgang in de raakvlakbeheersing en kan daar meehelpen waar de voortgang stagneert. Dat vermindert risico’s en vergroot de effectiviteit binnen het project.”

Frans Többen, functional delivery manager bij ARCADIS, is werkzaam bij VIA Noord/Zuidlijn ten behoeve van het afbouwcontract (TT&A-contract) van de Noord/Zuidlijn.

Deel II SE levert meerwaarde bij metro, tram en lightrail

Tram-, metro- en lightrailprojecten zijn technisch en exploitatief ingewikkeld en kennen een complexe en dynamische omgeving. De diversiteit aan stakeholders en de drukke stedelijke omgeving op vaak complexe locaties maakt aanleg, onderhoud en beheer tot een pittige opgave. Dit zorgt regelmatig voor een veranderende scope, waardoor de raming van projecten uit de hand kan lopen. Tegelijkertijd is er de wens om de creativiteit van de markt in te zetten. Dat alles vraagt om een werkwijze die ervoor zorgt dat partijen dezelfde taal spreken, de wensen van de stakeholders helder in beeld brengt en bijdraagt aan een expliciete werkwijze.

Bij al deze uitdagingen biedt SE als werkwijze uitkomst. Deze integrale werkwijze zorgt voor expliciete afspraken en maakt complexe projecten beheersbaar. SE voorkomt verschillen in aanpak en inzicht, onnodige fouten en het uitlopen van projecten.

Uitdagingen binnen de tram-, metro- en lightrailsector waarbij SE kan helpen:

- **SE helpt om de behoeften van de opdrachtgever expliciet te maken.** In de regionale omgeving krijgen marktpartijen vaak impliciete eisen opgelegd. Daar staan vaak beperkte budgetten tegenover. SE helpt om zaken expliciet vast te leggen, zodat helder is wat binnen het project wel of niet wordt uitgevoerd. Daarmee wordt het systeem duidelijk afgebakend binnen die regionale omgeving. Ook helpt het om de vraag naar bijvoorbeeld 'sober en hoogwaardig vervoer' te vertalen naar concrete eisen.
- **SE maakt de wensen van alle stakeholders in de complexe omgeving inzichtelijk.** Dit is zeker wenselijk bij systemen binnen de metro-, tram- en lightrailsector omdat deze te maken krijgen met veel stakeholders en veel raakvlakken kennen in de openbare ruimte. Analyses helpen

bij het expliciet maken van de belangen en afwegingen.

- **SE helpt veiligheid aantoonbaar te maken.** De introductie van de Wet lokaal spoor zet het veiligheidsaspect in de schijnwerpers; de opdrachtgever moet de veiligheid aantoonbaar maken.
- **SE ondersteunt bij het expliciet beschrijven van de kwaliteit en de kosten in relatie tot de hele levenscyclus.** De nieuwe Aanbestedingswet vraagt om balans tussen kwaliteit en kosten. Doordat naar de TCO (total cost of ownership) wordt gekeken, is het niet wenselijk dat partijen hun eigen kosten minimaliseren ten laste van de totale kosten.
- **SE verlaagt de faalkosten. Partijen houden buitendienststellingen graag zo kort mogelijk.** De inzet van SE helpt bij het *first time right* bouwen. Dit door het gestructureerd ontwerpen en bijtijds voorzien van alle mogelijke knelpunten en risico's. Dat maakt doorlooptijden korter en reduceert zo de faalkosten die langere of ongeplande buitendienststellingen met zich meebrengen.

- **SE zorgt ervoor dat rekening wordt gehouden met de hele levenscyclus en met hoe het systeem gebruikt gaat worden.** SE plaatst het gebruik van het systeem voorop. Dat zorgt ervoor dat al vanaf het begin rekening wordt gehouden met de gebruiksfase en de beheerfase. Zodat bijvoorbeeld de perrons lang genoeg zijn als de vervoerder na een jaar een extra metros-tel wil toevoegen, rekening kan worden gehouden met de vertrektijden binnen andere systemen en zaken goed vallen te onderhouden. Het gaat bij SE niet alleen om infrastructuur en materieel, maar ook om onderhoud en exploitatie.
- **Het geeft inzicht in de (interactie tussen) RAMS-prestaties (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) die voor het systeem gelden en helpt de opdrachtgever daarbij optimale keuzes te maken.** De RAMS-eisen vragen om inzicht in hoe de gevolgen van eisen aan één aspect zich doorvertalen naar de andere aspecten en kosten.



Deel III Systems Engineering, een korte introductie

Systems Engineering (SE) is een integrale, expliciete, analytische en multidisciplinaire benadering die bijdraagt aan het ontwerpen, bouwen, beheren en gebruiken van systemen. Het vergroot de realiteit van plannen, verbetert de efficiëntie van het werkproces en vermindert zo de faalkosten. Doel van SE is om systemen te realiseren die voldoen aan de behoefte van gebruikers. Daarbij raakt SE niet alleen de technische processen, maar de hele organisatie. SE is dan ook niet gekoppeld aan één rol, maar een werkwijze die veel processen van de organisatie raakt.

SE gaat uit van het complete systeem; niet alleen infrastructuur en materieel, maar ook onderhoud en exploitatie. Daarbij staat de gebruikersfunctionaliteit in de gewenste levenscyclus centraal. Er wordt expliciet en traceerbaar gewerkt. Tijdens het proces worden de nodige analyses uitgevoerd, zoals een contextanalyse, systeemanalyse en raakvlakanalyse. Door de eisen waarin dat resulteert concreet en expliciet vast te leggen, vallen deze vervolgens te bewaken. ‘Vergeeten’ of impliciete en onduidelijke eisen brengen vaak flinke meerkosten met zich mee. De analytische aanpak en het inzetten van verificatie en validatie (V&V) verkleinen de kans dat er iets over het hoofd wordt gezien. Dit zorgt ervoor dat de klant of stakeholder krijgt wat hij gevraagd heeft. Daarbij is een project niet statisch en met SE kunnen de eisen gedurende het project steeds worden aangescherpt, worden raakvlakken nader bestudeerd en raken systeembeschrijvingen steeds nauwkeuriger. Hierdoor is het ontwerp uitvoerbaar, beheersbaar én first time right.

Engineering

Het ‘engineering’ van SE doelt op de Engelse uitleg van de term. Deze omvat de engineering-activiteiten tijdens de hele levenscyclus van het systeem en is dus breder dan alleen het ontwerpen en bouwen.

Specificeren, verifiëren, configuratiemanagement

Bij goed toepassen van SE spelen specificeren, ontwerpen, verifiëren, valideren en configuratiemanagement een belangrijke rol. Het project start met duidelijk zijn over wat men wil hebben, specificeren dus. Daarbij zijn verificatie en validatie van belang; regelmatige controles borgen dat er wordt geleverd wat de klant vraagt. Configuratiemanagement zorgt dat er continu een actueel en kloppend beeld is van de gemaakte afspraken. Dit door het expliciet maken, vastleggen en bewaken van de geldende stand van zaken en het vastleggen van samen overeengekomen wijzigingen daarin. Daardoor hebben betrokkenen zicht op de actuele scope van het complete systeem.

Helder beeld van klantvraag

Bij SE staat niet de technische oplossing van het probleem centraal, maar gaat het om de behoeftes van de partijen die belangen hebben

tijdens de levenscyclus van het systeem. Deze brengt men in beeld door het formuleren van eisen. Daarbij moet gecheckt worden hoe realistisch de eisen zijn. Het langslopen van alle aspecten zorgt voor een betere en completere specificatie, die daadwerkelijk realistisch is. Denk daarbij aan aspecten als: duurzaamheid, beschikbaarheid, betrouwbaarheid, onderhoudbaarheid, veiligheid (zowel arbo-, verkeers-, brand- als sociale), toekomstvastheid, barrièrewerking, vormgeving, gezondheid, geluid en kosten.

Bij elke contractvorm en in elk project

SE is in de gww-sector toepasbaar bij elke contractvorm en binnen elk project. Hoe zwaar de werkwijze wordt toegepast, hangt echter af van de complexiteit van het project. Zie voor voorbeelden van de mogelijkheden ook de toolbox in deel IV van deze uitgave. Bij traditionele contracten, zoals UAV, loopt het specificatie- en ontwerpproces aan de opdrachtgeverskant verder door dan bij geïntegreerde contracten met ontwerprijheden voor de opdrachtnemer (UAVgc). SE is daarbij een werkwijze waarop de processen door de hele organisatie heen worden aangepast. De processen richten men in op SE, maar welke instrumenten worden ingezet hangt dus af van de complexiteit van het project.

Aandacht voor houding en gedrag

De integrale SE-aanpak vraagt om samenwerking. Naast de technische ‘hard skills’, is de inzet van de zogenaamde ‘soft skills’ nodig. Dit zijn competenties die vallen onder de noemer ‘houding en gedrag’, bijvoorbeeld: open communiceren, doorvragen, creatief denken, patronen herkennen, abstraheren en concretiseren (en hiertussen kunnen afwisselen), reflecteren en conflicthantering. Het is daarbij

belangrijk dat managers dit gedrag uitdragen en in de praktijk brengen en medewerkers daarbij de ruimte geven om met deze competenties te oefenen.

Implementatie SE in gww-sector in ontwikkeling

In Nederland zet men SE in sommige domeinen – zoals defensie en lucht- en ruimtevaart – al decennia lang in. Andere domeinen kennen de werkwijze nog niet, of groeien nog in volwassenheid in de toepassing ervan. ProRail, Rijkswaterstaat, Bouwend Nederland en NL-ingenieurs (Stuurgroep 4P) introduceerden SE in Nederland in 2007 in de gww-sector. Dat maakt dat de toepassing van SE nog in ontwikkeling is. Zeker de grotere spelers passen het steeds professioneler toe en hebben hun primaire bedrijfsprocessen hierop ingericht. Andere partijen maken net kennis met de werkwijze. Om SE sectoraal te bevorderen, werkt de stuurgroep 4P samen met CROW. CROW richt zich vooral op de decentrale overheden en hun samenwerkingspartners. CROW werkt ook samen met INCOSE-nl, de organisatie die de toepassing en ontwikkeling van SE bevordert.

Informatieve websites over SE

- www.leidraadse.nl, de website van de stuurgroep 4P; hier is onder meer de Leidraad Systems Engineering voor de gww-sector te vinden.
- www.incose.nl, website van de organisatie die de toepassing van SE in Nederland bevordert.
- www.crow.nl/systemsengineering; hier is informatie te vinden over SE en specificeren.
- www.sebokwiki.org, de Wikipedia-omgeving van de Systems Engineering Body of Knowledge.

Deel IV SE inzetten: de mensen en de toolbox

Bij de invoering van SE zijn twee zaken van belang: mensen en hun competenties én de gereedschappen of tools. Dit deel van het Infoblad SE biedt eerst beknopt een aantal tips over hoe SE in de organisatie verankerd kan worden en wat dit van mensen vraagt. De toepassing van SE vraagt namelijk om de inzet van specifieke competenties. Vervolgens volgt uitleg over de 'toolbox'. Deze gereedschapskist biedt een overzicht van werkwijzen die gebruikt kunnen worden wanneer een project op SE-wijze wordt uitgevoerd. De inzet van informatiemanagementsoftware of een BIM (Bouwwerk Informatie Model) ondersteunt bij het toepassen van SE. Daarbij is het belangrijk dat software wordt gekozen die past bij het project, de organisatie en het werkproces.

De mensen

De invoering van SE is een verandering die uiteindelijk de hele organisatie raakt. Vandaar dat een succesvolle invoering altijd begint bij de houding van het management van een organisatie. Dit management zal zich achter de invoering moeten scharen. SE is immers een werkwijze en geen vak. Daardoor hoort het niet bij één persoon of één afdeling: SE raakt de hele organisatie en gaat over disciplines en fasen heen. Met SE kijken organisaties op een nieuwe manier naar hun processen en ontdekken daarbij vaak dat veel zaken, zoals integraal werken, al plaatsvinden. SE maakt deze zaken echter expliciet en vestigt er organisatiebreed de aandacht op.

De invoering van SE vindt niet op één moment plaats, het is een proces, mensen moeten wennen aan hun nieuwe rol en de veranderde werkwijze. Daarom is het nodig dat aandacht voor SE en de daarbij behorende vaardigheden in houding en gedrag blijvend aandacht krijgen. Het is goed als het regelmatig en gedurende een langere periode op de agenda staat bij overleggen en een aandachtspunt is bij de professionele ontwikkeling van medewerkers.

Competenties op het vlak van houding en gedrag

SE vraagt, behalve om de technische competenties (hard skills), om bepaalde competenties in houding en gedrag (soft skills). Dit zijn competenties als: open communiceren, creatief denken, kunnen afwisselen tussen abstraheren en concretiseren, vooruitdenken, doorvragen, systeem- en scenariodenken, aandacht voor conflicthantering, feedback geven en vragen, het vooropstellen van het gemeenschappelijk belang en multidisciplinair denken. Deze competenties zijn in wisselende mate aanwezig bij mensen en er zijn maar weinig mensen die ze allemaal kunnen inzetten. Vandaar dat er ook aandacht voor de aanwezigheid van deze competenties moet zijn bij de samenstelling van teams en organisaties. Wanneer bepaalde competenties om versterking vragen, kan de organisatie hierop inspelen bij het opleidings- en aannamebeleid.

Competenties stimuleren

Managers spelen een belangrijke rol bij een verandering in houding en gedrag. Bijvoorbeeld door de gewenste competenties waar mogelijk zelf in te zetten en medewerkers feedback te geven op hun inzet van competenties. Daarbij is het verstandig om medewerkers de kans te geven zich te ontwikkelen,

bijvoorbeeld door ze cursussen te laten volgen en te faciliteren dat mensen van elkaar leren. Het helpt de organisatie verder als mensen hun ervaringen delen met collega's. Leer daarbij van zowel de successen als de uitdagingen. Dat voorkomt dat fouten opnieuw gemaakt worden en het zorgt ervoor dat de geleerde lessen direct kunnen worden ingezet bij nieuwe projecten.

Werken aan vertrouwen

Wanneer partijen op SE-wijze samenwerken, vraagt dat om integraal werken en over disciplines en fasen heen kijken. Dat vereist vertrouwen en communicatie met alle stakeholders. Om dit vertrouwen op te bouwen en te vergroten is het verstandig regelmatig met elkaar om tafel te zitten.

De toolbox

Bij het toepassen van SE zijn er diverse instrumenten om uit te kiezen. Hieronder volgt een overzicht van een aantal relevante basistechnieken. De toolbox is procesgericht en niet organisatiegericht. De diverse tools worden afhankelijk van de contractafspraken ingezet door opdrachtgever en/of opdrachtnemer. Om de communicatiestromen te optimaliseren is het wenselijk dat mensen ondersteund worden met een effectief informatiebeheersysteem.



Voor het expliciet en traceerbaar werken – gericht op de levenscyclus en de klantbehoefte – biedt SE de nodige instrumenten, oftewel: de toolbox. Deze tools helpen bij het systematisch oppakken van vraagstukken en het gestructureerd en transparant weergeven van de inhoud. Dit biedt overzicht en volledigheid en zorgt ervoor dat de focus op de juiste zaken gericht blijft. Een risicobenadering helpt bij het kiezen van de juiste tools en het juiste detailniveau van uitwerking.

Hierna volgt een beschrijving van we verschillende met SE doorlopen processen, namelijk:

- De klantvraag in kaart brengen
- Specificeren van het systeem
- Ontwerpen van het systeem
- Projectbeheersing

Bij al deze processen is een aantal veelgebruikte tools inzetbaar, die genoemd worden. Deze staan dikgedrukt in de procesbeschrijving en zijn vervolgens terug te vinden in de toolbox. Hier staat een beknopte beschrijving bij.

Klantvraag in kaart brengen

Omdat bij SE de klantvraag centraal staat, moet deze expliciet worden gemaakt en worden gemonitord tijdens de systeemontwikkeling. De systeemontwikkeling start met het in beeld brengen van alle relevante stakeholders met hun belangen, met een **stakeholderanalyse** en **stakeholderdiagrammen**. Dit moet voortdurend worden beheerd en geactualiseerd. Deze belangen vormen de basis voor de kritische eisen van de stakeholder. Een **eisenanalyse** is noodzakelijk om scherp te in de omschrijving van de eisen te krijgen, de relevantie en impact te bepalen en tegenstrijdigheden op te sporen. De **klanteisenspecificatie (KES)**, ook wel **Customers Requirements Specification (CRS)** genoemd, helpt om per stakeholder alle ingebrachte klanteisen, wensen en harde randvoorwaarden expliciet vast te leggen en voortdurend te beheren. De KES biedt een basis die vertaald kan worden naar systeemeisen. Ook biedt deze ondersteuning bij de terugkoppeling naar de stakeholders.

Specificeren van het systeem

Vervolgens is het zaak de voorliggende opgave ‘SMART’ (Specifiek, Meetbaar, Acceptabel, Realistisch en Tijdgebonden) in specificaties vast te leggen. Om juiste en complete specificaties tekrijgen, dubbelingen te voorkomen en helder te maken wat binnen de scope valt, zijn diverse analysetechnieken vanuit verschillende invalshoeken mogelijk. Het systeem moet goed gedefinieerd worden met een **stroomdefinitie**: hoe is het systeem opgebouwd, wat valt binnen de scope? Interpretatie speelt een belangrijke rol in de communicatie tussen partijen over het gedefinieerde systeem. Daarom is het werken met eenduidige begrippen en definities, via een **begrippen- en afkortingenlijst**, cruciaal.

Het borgen van het juist functioneren van het systeem in eisen vraagt om een gedegen functieanalyse. Wat moet het systeem precies kunnen? Hiervoor zijn diverse technieken voorhanden, zoals de **Functie Analyse Systeem Techniek (FAST)** of de **Extended Functional Flow Block Diagram (EFFBD)**. Om het systeem goed te laten aansluiten op de omgeving dienen de context en raakvlakken in beeld gebracht te worden met **contextdiagrammen** en **raakvlakanalyses**. Voor het bepalen van de juiste gevraagde prestaties van het systeem op integrale aspecten, zoals betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en veiligheid, zijn **RAMS-analyses** inzetbaar. Om de resultaten van analyses gestructureerd in beeld te brengen, gebruikt men **boomstructuren (system breakdowns)** en **allocatietabellen**.

Ontwerpen van het systeem

In het SE-proces zijn het specificeren en ontwerpen verweven tot een iteratief proces van eisen-ontwerp-verificatie en validatie. Naast het stellen van de juiste eisen moet men breed de mogelijkheden verkennen voor de optimale oplossing om vervolgens aan te tonen dat de uitwerking daarvan beantwoordt aan de gestelde eisen (verificatie) en het beoogde gebruik (validatie). **Brainstormsessies**, **morfologische box** en **ontwerpateliers** bieden de

gelegenheid om ‘out of the box’ de creativiteit te benutten om oplossingen te bedenken. Afhankelijk van het project kan het hierbij van belang zijn om met scenarioanalyses verschillende scenario’s te doordenken.

Met een **Trade-off matrix (TOM)** of **multicriteria-analyse (MCA)** kan men varianten onderling afwegen op basis van eisen en criteria. Om op een juiste wijze aan te tonen dat een keuze aan de eisen en het beoogde gebruik voldoet, zijn diverse **verificatiemethoden** en **validatiemethoden** voorhanden, zoals berekeningen, simulaties, visualisaties, reviews en interviews. De keuze is afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid van aantonen en van de mogelijkheden om de grootte te verifiëren dan wel te valideren. Een en ander kan gestructureerd vastgelegd worden in een **verificatie- en validatiematrix** om zo een compleet (digitaal) **V&V-dossier** te krijgen.

Projectbeheersing

Doordat ze het systeem en de consequenties van keuzes goed vastleggen, dragen SE-tools bij aan de beheersbaarheid. **Configuratie-management** ondersteunt bij het expliciet werken; het goed vastleggen van alle werkproducten in baselines. Daarbij is het wijzigingenbeheer van informatie essentieel. Door werkzaamheden goed en gestructureerd vast te leggen in werkpakketten, helpt **werkpakketmanagement** sturing houden op de juiste activiteiten op het juiste moment door de juiste persoon. Een en ander kan, ook aan de projectbeheersingskant, weer overzichtelijk vastgelegd worden in boomstructuren, zoals de **Product Breakdown Structure (PBS)** en **Work Breakdown Structure (WBS)**. Essentieel bij het toepassen van SE is een goede risicobenadering door het koppelen van de resultaten van **risicoanalyses** aan onder meer eisen, afwegingen en verificaties.

Inhoud toolbox

Klantvraag in kaart brengen

- **Stakeholderanalyse:** inventarisatie van alle relevante stakeholders en hun belangen bij en invloed op het project.
- **Stakeholderdiagram:** grafische weergave van alle stakeholders met hun relatie tot of rol in het project (initiatiefnemer, financier, exploitant, beheerder, gebruiker).
- **Eisenanalyse:** analyse en interpretatie van door de stakeholder ingebrachte eisen aan het project met check op relevantie, duidelijkheid (SMART) en onderlinge strijdigheid. Dit om de vraag achter de vraag te achterhalen.
- **Klanteisenspecificatie (KES) Customers Requirements Specification (CRS):** systematisch opgebouwde verzameling stakeholdereisen aan het project.

Specificeren van het systeem

- **Systeemdefinitie** – Compacte beschrijvingen die verduidelijken wat het systeem en de verschillende onderdelen van het systeem wel en niet inhouden.
- **Begrippen- en afkortingenlijst** – Overzicht van beschrijvingen die gebruikte begrippen en afkortingenuitleggen.
- **Functionanalyse** – Grafische weergave van het gedrag van het systeem, die de samenhang in beeld brengt van functionaliteiten die het systeem moet bieden om de gestelde doelen te bereiken.
- **Contextdiagram** – Grafische weergave van alle relaties tussen het systeem en de objecten in de omgeving, waarbij het systeem centraal wordt weergegeven.
- **Raakvlakanalyse** – Beschouwing en definitie van alle mogelijke en relevante relaties tussen objecten, zowel binnen als buiten het systeem.
- **RAMS-analyse** – RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) staat voor de samenhang tussen de aspecten: betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en veiligheid. Een RAMS-analyse is een gecombineerde analyse van

deze vier aspecten om voor (rail)systemen de gewenste kwaliteit op deze aspecten te beschrijven, te bepalen en te monitoren.

- **Objectenboom (system breakdown structure – SBS)** – Hiërarchische opdeling van het systeem in steeds kleinere onderdelen (die met elkaar het totale systeem vormen).
- **Funcatieboom (functional breakdown structure – FBS)** – Hiërarchische opdeling van het systeem in functies, op basis van functieanalyse.
- **Allocatietabel** – Tabel waarbij de specifieke informatie, zoals functies, eisen en aspecten, worden toegewezen aan de juiste objecten.

Ontwerpen van het systeem

- **Brainstorm** – Creatieve techniek om snel, veel nieuwe ideeën over een bepaald onderwerp of vraagstuk te genereren, waarbij het waardeoordeel pas volgt als alle ideeën zijn opgesomd.
- **Morfologische box** – Een middel om nieuwe producten te bedenken; door combinaties te maken van onderdelen van bestaande producten ontstaan nieuwe inzichten.
- **Ontwerpatelier** – Een ontwerpatelier is bedoeld om met uiteenlopende partijen samen, in een creatieve werkwijze, nieuwe oplossingen te zoeken voor complexe opgaven, acceptatie te creëren dan wel een proces in beweging te zetten.
- **Scenarioanalyse** – Het onderzoeken van de robuustheid van een ontwerp oplossing in verschillende omgevingsomstandigheden.
- **Trade-off matrix (TOM)** – Afwegingstabel van verschillende ontwerp oplossingen op basis van gestelde systeemeisen en -criteria.
- **Multicriteria-analyse (MCA)** – Op basis van vooraf gestelde en eventueel op basis van risico's gewogen aspectcriteria voor het afwegen van ontwerpkeuzes.

- **V&V-matrix (E)** – (Verificatie- en validatiematrix) Een overzicht van de per klant-en/of systeemeis mogelijk in te zetten V&V-methoden afgezet tegen de projectfasen.
- **Verificatiemethoden/Validatiemethoden (E)** – Een keuze maken voor een geschikte methode om aan te tonen dat een bepaalde ontwerpkeuze voldoet aan een gestelde systeemeis en/of correcte invulling geeft aan een klantbehoefte.
- **V&V-dossier** – Dossiervorming per projectfase of betaalmoment met daarin de vastlegging van de resultaten van een verificatie en/of validatie van de uitgevoerde verificaties en/of validaties ingedeeld naar objecten.
- **Wijzigingenbeheer** – Het expliciet vastleggen van wijzigingen van projectinformatie ten opzichte van een baseline.
- **Werkpakketmanagement** – Het structureren en beheren van alle samenhangende activiteiten (werkpakketten) die nodig zijn om het systeem te realiseren.
- **Productenboom (product breakdown structure – PBS)** – Hiërarchische weergave van alle op te leveren producten (documenten).
- **Activiteitenboom (work breakdown structure – WBS)** – Hiërarchische weergave van alle te verrichten (generieke) activiteiten, opgedeeld in werkpakketten.
- **Risicoanalyse** – Het in kaart brengen, kwantificeren en beheersen van de risico's per systeemonderdeel.

Projectbeheersing

- **Configuratiemanagement** – Het identificeren en continu vastleggen van het werk in baselines en wijzigingen.
- **Baselines** – Het bevriezen van de projectinformatie op specifieke momenten in een project.



Literatuur

Meer lezen over SE

- Handboek specificeren. CROW-publicatie 289. Ede, CROW, 2011. Dit handboek behandelt het werkproces en de relatie met contracten en diverse analyses, zoals: contextstelsel-, functie-, aspectstelsel-, RAMS- en eisen-analyses.
- Systems Engineering Handbook – A guide for system life cycle processes and activities, version 3.1. San Diego, INCOSE, 2007.
- Leidraad voor Systems Engineering binnen de gww-sector, versie 2.0. Utrecht, ProRail, Rijkswaterstaat, Bouwend Nederland, NLI Ingenieurs en Vereniging van Waterbouwers, 2009. Dit handboek wordt eind 2013 aangevuld met versie 3.0. (via www.leidraadse.nl)
- Stappenplan Systems Engineering voor RWS-projecten – Van projectopdracht tot Vraagspecificatie. Utrecht, Rijkswaterstaat, 2010. Dit document is geschreven voor SE binnen de RWS-praktijk, maar bevat algemeen toepasbare stappen voor projecten. (via www.leidraadse.nl)
- Expliciet werken. Nooit meer gissen, graven en grommen, Martin Lamers. Amersfoort, uitgeverij Dialoog, 2008. (ISBN 978-90-80812-28-4)
- Requirements Engineering Fundamentals. IREB, 2011. (via <http://www.rockynook.com/book/210/requirements-engineering-fundamentals.html>)
- Systems Engineering Fundamentals. Virginia (USA), Department Of Defence, Systems Management College, 2008.
- NEN-ISO/IEC 15288 (en) Systems and software engineering – System life cycle processes (ISO/IEC 15288:2008, IDT). Delft, NEN Normcommissie 381 007, 2008.

De diepte in

- Systems Engineering Principles and Practice, Alexander Kossiakoff, William N. Sweet, Samuel J. Seymour, Steven M. Biemer. USA, John Wiley & sons, 2011.
- Red Book: Methods for determining and processing probabilities. J.C.H. Schüller, NRG Arnhem 1997.
- NEN-EN50126, Spoorwegen en soortgelijke geleid vervoer – De specificatie en het bewijs van de bruikbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en veiligheid.
- Hand-out RAMS/LCC analyse, versie 3. Utrecht, ProRail, 2008. (via www.leidraadse.nl)
- Werkwijzebeschrijving 00044 Verificatie en Validatie (Rijkswaterstaat). (via www.leidraadse.nl)
- SE-wijzer – Handleiding Systems Engineering voor BAM Infra. Bunnik, Koninklijke BAM Groep, 2008. Hoofdstuk 2 gaat over verificatie en validatie. (via www.leidraadse.nl)
- Effective Work Breakdown Structures, Gregory T. Haugan. USA, Management-concepts, 2002.

