

Witteveen+Bos  
postbus 12205  
1100 AE Amsterdam  
telefoon 020 312 55 55  
telefax 020 697 47 95

onderwerp        Systems Engineering, een toelichting  
projectcode     ZZWI5066-1  
referentie       ZZWI5066-1/arnc/003  
opgemaakt door  ir. E.G. Molier  
datum opmaak   8 juni 2010  
bijlagen        -

aan  
kopie

### **inleiding**

Systems Engineering (SE) gaat over het integraal expliciteren van het specificatie-, ontwerp- en verificatieproces. Het is betrekkelijk nieuw in de bouwwereld, maar in andere branches (lucht- en ruimtevaart) al helemaal ingeburgerd. In de Nederlandse bouwwereld wordt SE gepromoot door Rijkswaterstaat en ProRail, die dat zijn gaan doen om met minder vergaande betrokkenheid toch grip op de kwaliteit van hun projecten te kunnen behouden. De internationale vakvereniging op het gebied van SE is INCOSE met een afdeling in Nederland: INCOSE-NL.

#### **definitie SE van INCOSE-NL**

SE is de discipline van het ontwikkelen van producten of processen, waarbij alles wordt bekeken vanuit het perspectief van het totale systeem en het belang van alle aspecten zorgvuldig wordt afgewogen.

#### **definitie uit de Leidraad voor SE binnen de GWW-sector:**

SE biedt een geïntegreerde en gestructureerde set methodieken om projecten succesvol te verwezenlijken en te beheren. De kernelementen uit de gehanteerde definitie zijn als volgt samen te vatten:

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

(De leidraad is een initiatief van RWS, ProRail, NLingenieurs en Bouwend Nederland.)

SE is eigenlijk een combinatie tools op het gebied van projectmanagement, informatiemanagement, ontwerpmanagement en van kwaliteitsmanagement om:

1. op een gestructureerde manier de klantvraag echt goed in beeld te brengen: wensen en eisen, verwachtingen, prioriteiten, de vraag achter de vraag waarbij het hele speelveld in beeld wordt gebracht
2. op een efficiënte manier bij complexe opgaven haalbare oplossingen te ontwikkelen en te realiseren: integrale, gestructureerde, expliciete werkwijze
3. ervoor te zorgen dat het realiseren van de klantvraag wordt geborgd (= kwaliteitsborging zoals ISO9001 dat eigenlijk bedoeld)

Er zijn derhalve veel instrumenten die al bekend voorkomen, maar dat is verraderlijk, want de werkwijze wijkt toch meestal ingrijpend af van dat wat men gewend is in de bouwwereld. Zo zijn veel ontwerpers gewend aan een heel intuïtieve manier van het oplossen van problemen, waarbij hun creativiteit een grote rol speelt, terwijl SE vereist dat het werk expliciet en transparant geschiedt, onder meer waar het gaat om het maken van een keuze uit meerdere opties. Ook als vreemd ervaren wordt het afwisselend specificeren van eisen en het maken van een ontwerpstep, daar waar men gewend was dat er eerst een compleet programma van eisen zou moeten worden afgerond voordat ontwerpers aan de slag konden. SE betreft het gehele proces van de bouwopgave, dat wil zeggen de volledige life-cycle, hetgeen voor opdrachtgevers belangrijk is maar voor veel projectmensen toch in feite ongewoon. SE bewijst zijn nut vooral bij complexe projecten omdat het het projectteam helpt om overzicht te houden op alle mogelijke raakvlakken, over alle relevante relaties tussen mogelijk conflicterende eisen, tussen deelprojecten en deelproducten, tussen deeltaken en dus tussen betrokkenen bij de projectrealisatie in alle stadia. Bij SE is sprake van systeemdenken en dat zijn technici in de bouw eigenlijk helemaal niet gewend. Hun kracht juist ligt in 'reductionisme' (moeilijke problemen simpel maken) en in 'analyse' (uit-eenrafelen van oorzaak en gevolg relaties of hoe werkt het), terwijl systeemdenken juist vraagt om 'synthese' (samenhang), om lange termijn perspectief, aandacht voor achtergronden en voor de context van de opgave, de eventuele samenhang met andere zaken en om een mogelijk groter belang, waarmee suboptimalisatie per discipline of aandachtsveld wordt vermeden.

Kortom: SE vereist een andere manier van denken en het gebruik van procedures, die zonder meer formeel en vaak omslachtig aandoen voor pragmatici uit de bouwwereld.

SE bevat elementen van ontwerpmanagement, projectmanagement, informatiemanagement en kwaliteitsmanagement.

**tabel 1. Elementen SE**

ontwerpmanagement	projectmanagement	informatiemanagement	kwaliteitsmanagement
<ul style="list-style-type: none"> <li>- opzetten rekenmodel</li> <li>- verzamelen relevante gegevens</li> <li>- genereren van oplossingen</li> <li>- methodisch ontwerpen</li> <li>- controle berekeningen</li> <li>- controle tekeningen, specificaties, uittrekstaten</li> <li>- value engineering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- structureren, decompositie</li> <li>- plannen en beheersen</li> <li>- beslissen (trade-off)</li> <li>- risicomangement</li> <li>- scopemangement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- boomstructuren</li> <li>- documentatiesystemen</li> <li>- tooling (software)</li> <li>- configurationmanagement</li> <li>- raakvlakbeheersing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- werkprocessen beschrijven</li> <li>- georganiseerde manier van controleren</li> <li>- verificatiematrices</li> <li>- keuringsplan</li> <li>- inspectieplan</li> </ul>

zie ook NEN-ISO/IEC 15288: 2008

### het nut van SE

Als SE zoveel van ons en onze werkwijze vraagt, waarom doen we het dan? Natuurlijk omdat opdrachtgevers het eisen, maar inmiddels begint door te dringen dat SE geen trend is, maar een werkwijze die we ook zullen willen toepassen als de opdrachtgever er niet expliciet om vraagt.

#### voordelen SE

- SE brengt meer structuur in de projectspecificatie en verhoogt daarmee de leesbaarheid van een programma van eisen;
- het biedt in een vroeg stadium een uitspraak over de gehanteerde criteria: expliciet, toetsbaar en voor alle betrokkenen duidelijk;
- SE is het instrument bij uitstek bij integraal ontwerpen omdat het zich richt op raakvlakken (tussen onderdelen of deelproducten, disciplines, deelopdrachten) en alle denkbare relaties (tussen taken en activiteiten, invalshoeken, projectstadia);
- het levert een betere en transparante motivatie van ontwerpkeuzes;
- het biedt vanaf het allereerste begin een structuur voor alle projectinformatie en documentatie;
- SE helpt je aan een effectief en efficiënt controleproces van zowel het ontwerp en van de uitvoering (verificatie en validatie);
- het verhoogt de efficiëntie bij het doorvoeren van veelal onvermijdelijke ontwerpwijzigingen: minder rework, minder kans op fouten, minder verspilling en minder fouten);
- SE levert de projectmanager integrale informatie over alle beheersaspecten (G,T,K,O,I,R) op het moment dat er (bij)gestuurd moet worden;
- het helpt bij het vastleggen van basisinformatie uit projecten ten behoeve van kennisbeheer in een projectenorganisatie;
- SE is een hulpmiddel bij het implementeren van de life-cycle benadering.

SE is in feite een verzameling hulpmiddelen om ons werk goed te doen, vooral ook in de complexere projecten. Het moet een antwoord geven op de volgende problemen in de GWW:

- prioriteiten stellen bij multidisciplinaire opgaven en vermijden van suboptimalisatie per discipline (in plaats van integrale optimalisatie);
- vermijden van fouten of relatief veel extra rework bij doorvoeren van wijzigingen;
- orderingsproblemen bij het opknippen van een complexe opgave doordat er teveel raakvlakken ontstaan;
- hoog percentage faalkosten en relatief veel verspilling van geld, tijd en inspanningen;
- zorgen voor een evenwichtig afwegingskader tussen tijd, geld, kwaliteit, projectomvang en risico.

#### waarom is SE zo lastig in te voeren?

Inmiddels wordt SE al een kleine 10 jaar in de Nederlandse bouw toegepast, maar het blijft toch nog steeds lastig voor zowel opdrachtgevers, ingenieursbureaus en aannemers.

- SE is afkomstig uit andere branches, zoals de vliegtuigbouw, waar het gaat om serieproductie, een totaal andere beleving van constructieve veiligheid;
- veel hulpmiddelen zijn inderdaad al 'bekend', bijvoorbeeld uit de kwaliteitszorg en dat geeft vaak ten onrechte een reactie 'zo doen we het toch al';
- SE maakt ook de managementprocessen expliciet en dat staat meestal ver af van de beleving van technici in de bouwbranche;
- onze kracht en derhalve onze werkwijze is reductionistisch en systeemdenken vraagt het tegenovergestelde;
- als je het van begin af aan bij een nieuw project niet goed opzet, loop je een groot risico dat SE inderdaad leidt tot overmatig veel papierwerk;
- om SE goed te begrijpen en om tot een pragmatische aanpak (maatwerk) te komen, moet je echt het ontwerpproces zelf in stappen en dat is voor mensen die al lang in het management zitten lastig.

SE is afkomstig uit de vliegtuigbouw- en ruimtevaartindustrie en met succes toegepast in de wapen- en automobielenindustrie. Bij het toepassen van de in die industrieën ontwikkelde werkwijzen in de bouw moeten de verschillen wel goed voor ogen worden gehouden:

- in de bouw is bijna nooit sprake van seriebouw en de verhouding tussen de ontwerp- en ontwikkelkosten en de realisatiekosten zijn totaal anders:

**voorbeeld**

- ontwikkelkosten van een gebouw: 0,05 × de stuksprijs;
- ontwikkelkosten van een vliegtuig: 50 à 100 × de stuksprijs;
- ontwikkelkosten van een auto: 50 à 150 × de stuksprijs.

- veiligheidsrisico's bij vliegtuigbouw en ruimtevaart zijn erg groot terwijl civiele constructies meestal veel reserves bevatten waardoor een fout of gebrek meestal niet direct fataal zal zijn;
- in de grond-, weg- en waterbouw wordt voornamelijk top down ontwikkeld en in de andere branches (auto's, vliegtuigen) heeft de aanbieder een bottom-up ontwikkeld aanbod;
- de bouw levert capaciteit; de andere branches leveren producten, al dan niet uit voorraad.

Deze verschillen zijn groot en bepalend bij de inrichting van specificatie-, ontwerp-, realisatie- en verificatieprocessen. Om te beginnen zullen de relatief hoge ontwikkelkosten en de grote veiligheidsrisico's in de genoemde industrieën het rechtvaardigen om daar meer geld uit te trekken voor SE. Toepassingen uit de verschillende industrieën kunnen niet zomaar in de bouw worden toegepast: bij SE noemen we dat aanpassen aan de eigen omstandigheden 'tayloring'.

### **wat vraagt SE aan veranderingen van de ontwerpers en bouwers?**

De invoering van SE heeft direct invloed op het dagelijks werk van een ontwerper en op de taken van een projectleider: er moeten bomen worden opgezet, verificatiematrices worden geproduceerd, raakvlakken worden geïnventariseerd, maar 'SE gaat verder dan bomen'.

SE gaat over het integraal expliciteren van het specificatie-, het ontwerp- en het verificatieproces op een zodanige wijze dat je daarmee een aantal zaken goed - effectief en efficiënt - in beeld kan brengen zoals:

- besturingsmomenten (en bijsturingsmomenten) of beslispunten (inclusief het bijbehorende integrale overzicht van de stand van zaken = 'dashboard', zodat je kunt voorkomen dat er verkeerd wordt gereageerd op één aspect, zoals bijvoorbeeld een dreigende vertraging);
- interfaces (met name van belang voor werkafspraken en logisch samengestelde werkpakketten, informatie-uitwisseling, afstemming);
- (kwaliteits-)controlepunten (witness, hold en review);
- onderhandelingsmomenten (daar waar compromissen of prioritering nodig is en eventueel opschaling naar het management om hierover beslissingen te nemen);
- het ontstaan - of introduceren - van nieuwe eisen en randvoorwaarden die van invloed zijn op oplossingen of taken (te denken valt aan raakvlakeisen);
- het traceren van (nieuwe) risico's en bijbehorende (beheers-)maatregelen;
- communicatiestromen (wie heeft welke informatie nodig om zijn/haar werk naar behoren te kunnen doen);
- informatiestromen (actuele informatie ten behoeve van het uitvoeren van taken, ten behoeve van transparantie en verantwoording en als een goede basis voor toekomstige wijzigingen).

Dat doe je allemaal als je 'het' niet meer aan het toeval kan of wil overlaten want het vraagt heel wat discipline van de ontwerpers. Het is - zoals gezegd - niet allemaal volledig nieuw, want er zijn in de voortbrengingsketen van een project altijd wel stukken proces expliciet gemaakt (door een individuele bijdrage van een persoon of een organisatie). Voor een ervaren ontwerper is SE niet leuk en voelt het soms zelfs tegennatuurlijk; SE vereist namelijk naast veel discipline ook hulp van ICT-middelen en projectmanagement.

**veranderingen in de werkprocessen bij invoering van SE:**

- niet langer fixeren van het programma van eisen voordat je met het ontwerp kunt beginnen, maar een doorlopend afwisselend proces van specificeren en ontwerpen;
- (daar waar mogelijk) oplossingsvrij specificeren;
- transparante ontwerpbeslissingen;
- complexiteitsbeheersing door middel van systeemarchitectuur (workbreakdown structure, object breakdown structure, eisenboom, etc.);
- de life-cycle gedachte wordt voor ontwerpers echt belangrijk;
- expliciet werken;
- vanaf dag 1 in een nieuw project moet SE worden toegepast en aandacht krijgen van de projectleiding.

**waar moet je nu beginnen?**

Als opdrachtgever en initiator van een nieuw project begint SE met het ontwikkelen van specificaties, gegeven een bepaald probleem dat opgelost moet worden, een wens of behoefte of een bepaalde ontwikkeling of kans. In termen van SE heet dat Quality Function Deployment. De belangrijke stap is dan het maken van een stakeholder-analyse direct gevolgd door een inventarisatie van belangen, wensen, eisen en prioriteiten van de belangrijkste stakeholders.

Als ontwerper of als vertegenwoordiger van een opdrachtgever die zijn project al heeft afgebakend in de vorm van een resultaatsbeschrijving of een projectopdracht begint SE met het bepalen van de oplossingsruimte en het ontwikkelen van alternatieven en het vervolgens ontwikkelen van nadere specificaties.

Als hoofdaannemer bij een D&C contract of als diens ontwerper begint SE met het ordenen en het analyseren van de door de opdrachtgever gestelde eisen. Voordat er dan ook maar iets gedaan wordt aan ontwerpen of plannen maken start het proces met het definiëren van een structuur (dat wil zeggen een eisenboom) ten behoeve van de ordening van de eisen en een structuur om de eisen te beoordelen (een verificatiematrix: hoe kan de aannemer te zijner tijd aantonen dat hij voldoet aan de door de opdrachtgever gestelde eisen - dat vereist eenduidige criteria - en op welke wijze gaat hij dat aantonen). Bij het beoordelen van de eisen is het noodzakelijk om de eisen te koppelen aan (deel)objecten, die gebouwd moeten worden.

**tabel 2. Waar te beginnen met SE**

als opdrachtgever	als ontwerper	als hoofdaannemer
Om te komen tot een klanteisen-specificatie ('wat de klanten willen')	Om te komen tot een systeemeisen-specificatie ('wat de klanten krijgen')	om te komen tot een vraag-specificatie ('wat wordt uitbesteed' of 'wat gebouwd moet worden')
stap 1: analyseren van de behoefte & bepalen van het doel van de technische oplossing stap 2: analyseren van het probleem & bepalen van de te vervullen functies ('toepisen') stap 3: stakeholderanalyse en bepalen van klantenwensen stap 4: afbakenen projectscope	stap 1: bepalen van de oplossingsruimte stap 2: bepalen van de manier waarop de gedefinieerde functies worden vervuld stap 3: decompositie van functies en eisen; bepalen van systeemeisen aan de oplossing (aspecteisen, raakvlakeisen, randvoorwaarden) stap 4: (voorlopig ontwerp)	stap 1: analyseren eisen (is een eis haalbaar en hoe ga je te zijner tijd aantonen dat je aan een bepaalde eisen voldoet) stap 2: structureren van de eisen allocatie (opzetten eisenboom en koppelen van eisen aan objecten) stap 3: ontwerpproces (genereren van opties, uitwerken en kiezen) stap 4: voorbereiden realisatieproces stap 5: verificatie van eisen d.m.v. ontwerp en keuringsplannen stap 6: opstellen van werkpakketten (WBS)

### **wat doet Witteveen+Bos aan SE?**

In 2000 zijn we bij het project MER IJzeren Rijn voor het eerst geconfronteerd met SE (ofwel expliciet werken zoals ProRail het toen noemde). Inmiddels wordt SE in meer dan 50 van onze projecten toegepast.

- Witteveen+Bos is met SE bezig in diverse projecten, ook als de klant het niet uitdrukkelijk eist;
- er is een taskforce SE, die de kennisuitwisseling stimuleert, zorgt voor de verspreiding van leidraden, opleidingen ontwikkelt, workshops organiseert;
- Witteveen+Bos heeft haar eigen leidraad SE;
- we hebben specifieke software aangeschaft en zijn bekend met de meest gangbare softwarepakketten;
- er worden regelmatig bijeenkomsten georganiseerd om kennis uit te wisselen;
- er zijn interne cursussen 'introductie SE' en 'verdieping SE';
- we leveren docenten aan de PAO opleidingen SE en zijn verantwoordelijk voor de cursusleiding;
- Witteveen+Bos is sponsor en lid van INCOSE-NL.

Witteveen+Bos Taskforce SE, 8 juni 2010.