

# Is systems engineering zo

Fedde Tolman; KOAC-NPC en Universiteit Twente  
Evert de Jong; VBW Asfalt

Oplossingsvrij specificeren kan voor zowel de opdrachtgever als de opdrachtnemer aantrekkelijk zijn. Hierdoor wordt het werk wel complexer. Beheersing van die complexiteit is een doel van systems engineering en draagt bij vakkundig gebruik bij aan de realisatie van de vraag van de klant.

Oplossingsvrij specificeren staat sterk in de belangstelling omdat vrager en aanbieder op deze wijze beter hun eigen belangen kunnen inbrengen dan wanneer zij zich op elkaars kennisgebied moeten begeven. Een opdrachtgever is vaak minder goed op de hoogte van de uitvoering dan een aannemer en een aannemer weet vaak minder van de maatschappelijke gevolgen van een verharding. Zowel opdrachtgevers als aannemers als leveranciers zien daarom voordelen in het stellen van de vraag in termen van functies in plaats van de toestand van constructies. Het werk wordt door deze aanpak echter wel complexer, vooral doordat in detail vooruitgedacht moet worden. Beheersing van deze complexiteit is het doel van systems engineering. Toch blijkt systems engineering (SE) in de wegenbouw vaak meer problemen op te roepen dan op te lossen. In dit artikel wordt daarom getracht SE op simpele wijze te belichten. Uiteraard wordt door deze eenvoud wel ingeboet aan volledigheid en nauwkeurigheid.

## De verandering

Sinds de eeuwwisseling komen meer en meer contracten op de markt waarin niet meer een bestek volgens de RAW systematiek in volle omvang wordt gehanteerd, maar de aannemer ook delen van het ontwerp moet maken. Bijvoorbeeld

het grondonderzoek verrichten en de opbouw van de constructie uitwerken om een gevraagde vlakheid van het wegdek te bereiken. Een volgende stap in het bij de aannemer onderbrengen van het ontwerpen en de uitvoering van een compleet tracé, inclusief de bruggen en viaducten. Dit is bij een toenemend aantal werken aan de orde.

## Historie

Tot de Tweede Wereldoorlog bestond de aanleg van wegen voor de aannemer vooral uit de inzet van menskracht. De overheid legde de opbouw, materiaalkeuze en uitvoeringswijze op en de uitvoering vond plaats via ingehuurd krachten. Dit speelde in grote lijn zowel bij de aanleg van de Romeinse wegen als de wegen vanaf de Napoleontische periode de Tweede Wereldoorlog. De Nederlandse wegeaanleg was geringe omvang omdat vervoer over water en spoor veel aantrekkelijker was. Na de Tweede Wereldoorlog kwam de mechanisatie in de wegenbouw, zowel bij de productie (asfaltinstallaties) als de aanleg (afwerkmachines en walsen), goed op gang. Dit materieel was in handen van de aannemer die daarbij ook steeds meer kennis in huis haalde. De gelijkwaardigheid tussen de opdrachtgever en de aannemer en daarmee de noodzaak om gezamenlijke afspraken te



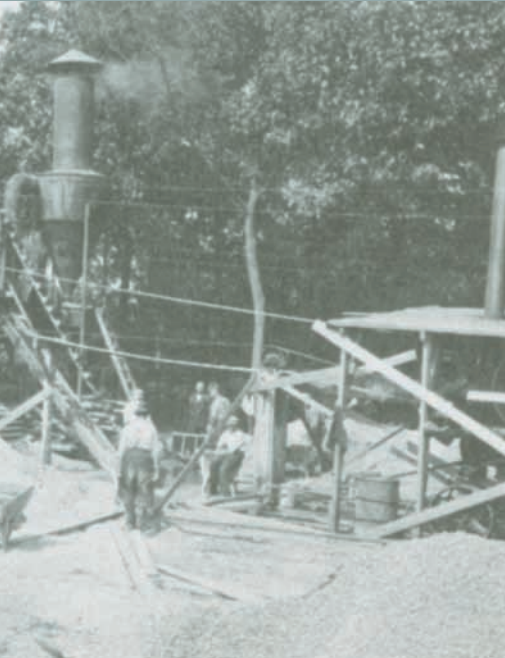
*Materieelontwikkeling asfaltmenginstallatie*

maken over de uitvoering en later ook over het product groeide. Met de gedachte dat voor de opdrachtgever eigenlijk alleen het resultaat van belang is en het realiseren daarvan beter aan de aannemer overgelaten kan worden, veranderde geleidelijk de eeuwenoude relatie.

## Resultaatbeschrijving

De keerzijde van deze ontwikkeling is dat de opdrachtgever meer aandacht moet besteden aan de beschrijving van het resultaat om zeker te stellen dat dit resultaat aan zijn vraag voldoet. Anderzijds moeten eisen die overbodig en daarmee kostenverhogend zijn, worden vermeden. Zulke eisen komen vaak voort uit overnemen van eisen uit het verleden, het afdekken van onzekerheden of het afschuiven van risico's. De opdrachtgever kan overbodigheid beperken door zijn vraag te formuleren in termen van functioneren zonder het uitvoeringstraject of de oplossing te benoemen. De aannemer kan zich dan richten op de voor hem best uitkomende werkwijze en keuze van materialen en

# nieuw in de wegenbouw?



constructies die het gevraagde resultaat opleveren. Deze verandering vereist een zorgvuldige voorbereiding. Zowel opdrachtgever als aannemer moet hun eigen zaken goed op orde hebben. Maar ook hun onderlinge afstemming en de afstemming met de omgeving waarin ze werken moet geregeld zijn. Uiteraard betreffen de plannen niet enkel de techniek, maar alle relevante aspecten, zoals tijd, geld, wetten en regelingen. Om deze samenhang te orkestreren is in andere industrieën met een grote complexiteit en vereiste nauwkeurigheid SE ontwikkeld. Het ligt dus voor de hand het goede daaruit in de civiele techniek over te nemen. De ervaring leert dat er bij het overnemen gelet moet worden dat:

- Beide partijen - maar vooral de opdrachtgever - verder en vaak abstracter vooruit moeten denken en mogelijkheden tot bijsturing beperkter zijn.
- Standaardgevallen (vaak) goed gaan maar in nieuwe situaties neemt de kans toe dat het desastreuus fout gaat.
- Het formuleren van een eenduidig resultaat soms moeilijk is.

Om de contractuele aspecten van het oplossingsvrij specificeren te regelen is naast het traditionele stelsel van regelingen er ook één voor geïntegreerde contracten uitgewerkt. In geïntegreerde contracten richt de opdrachtgever zich zoveel mogelijk op het formuleren van eisen aan het resultaat.

## Wat is er anders?

Door verschuiving van taken en verantwoordelijkheden verandert er niets aan de omvang van het werk. Met de verschuiving wordt wel beoogd de efficiency te verbeteren, zodat winst behaald wordt door het toewijzen van werkzaamheden aan die partij die daarvoor het meest geschikt is. Daarbij treden twee

## Voorbeeld: de bestrijding van insecten met pesticiden

Het insect waarvoor de pesticide bedoeld was, werd verdelgd en het gewas gedijde. De gevolgen door sterke toename van andere insecten en vogelsterfte bleken naderhand deze winst echter zwaar te overtreffen. De analytische beschouwing selecteerde pesticiden als de optimale mogelijkheid van insectenbestrijding sec en verloor daarbij de omgeving uit het oog.

elementen, systematisch denken en betrekken omgeving, op de voorgrond die zowel bij traditionele werken als bij SE de aandacht krijgen. Systematisch

## Belangrijke regelingen

	Traditioneel bestek	Geïntegreerd contract
Aanbesteding	UAR 2001	ARW 2005, 2008
Projectadministratie	UAV 1998	UAVgc 2005
Productie	Standaard RAW Bepalingen	o.a. vraagspecificatie, risicoverdeling en acceptatiewijze

*Verwerking is van de inzet van veel menskracht overgegaan naar een bijna volledig gemechaniseerd proces.*



denken is altijd al aanwezig geweest bij de voorbereiding en uitvoering van civieltechnische projecten. Het betrekken van de effecten op de omgeving deden de opdrachtgevers deels onbewust bij de uitwerking. Ook is een groot deel van de gereedschappen al bekend en in gebruik, terwijl eventuele andere vrij makkelijk aan te leren zijn. De verandering is hier het ordelijk en expliciet uitvoeren van een aantal zaken als:

- het geheel in beschouwing nemen;
- analyse en synthese in adequate stappen uitvoeren;
- expliciete verificatie (komt de realisatie met de specificatie overeen) en validatie (is een onderdeel relevant voor het omvattende geheel).

### Voorbeeld

De installaties van de tunnels in de A73 bij Roermond bevatten 56 onderdelen die als apart onderdeel zijn getest. Bij de ingebruikname in januari 2008 bleek echter dat de afstemming tussen de onderdelen problematisch verliep. Tot eind 2009 vinden geregeld afsluitingen plaats om maatregelen te treffen om het totale systeem te laten functioneren.

### Aandachtspunten

Gereedschap krijgt pas waarde in de handen van de gebruiker. En de gebruiker bepaalt wat hij handig vindt voor een bepaalde toepassing. SE kan als een gereedschapskist worden gezien en voor de aanwezige gereedschappen geldt dit dus ook. Beperk het aantal begrippen en gereedschappen en vermijd onduidelijke en ingewikkelde begrippen. Recent zijn meerdere Nederlandse handleidingen verschenen, waaruit blijkt dat enige keuzen in middelen en afstemming nog wel

### Systems engineering

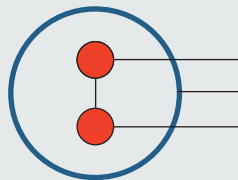
Kennis van systemen wordt vaak beschreven op vier niveaus: filosofisch (beginselen), wetenschappelijk (theorieën), technisch (gereedschappen) en de toepassing op concrete gevallen. In de civiele techniek krijgen twee niveaus, de beginselen en de gereedschappen, momenteel de meeste aandacht. Het mankeren van de verbindende schakel en van concrete voorbeelden lijkt een belangrijke oorzaak voor de moeilijke plaatsvererving van SE in de civiele techniek.

wenselijk zijn. Overleg tussen partijen, o.a. om te toetsen of de ingeslagen weg tot het gewenste resultaat leidt, is in het V-model vervat en kan nuttig zijn.

Dit overleg hoeft niet te verschillen van gebruikelijke werkwijzen, behalve dat er andere onderwerpen over de tafel gaan. De belangrijkste discussiepunten

### Beginselen

Een systeem kan omschreven worden als een verzameling gerelateerde onderdelen die een interdisciplinair geheel vormen binnen een omgeving. In de figuur zijn de belangrijkste basisbegrippen benoemd.

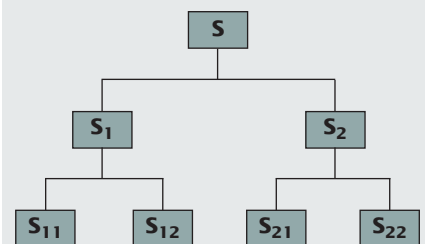


systeem (binnen blauwe lijn)  
 grens (blauwe lijn)  
 omgeving (buitenblauwe lijn)  
 entiteit (rode cirkels)  
 relaties tussen: entiteiten  
 entiteit en omgeving  
 systemen en omgeving

*Schematische weergave basisbegrippen systeem*

### Gereedschappen

Praktisch toepasbare gereedschappen zijn bijvoorbeeld break-downstructure (bomen), technische ontwerpen, begrotingstabellen, plannings, technische ontwerpen. Op het niveau van de gereedschappen zelf is er dus niet zoveel nieuws met de invoering van systems engineering in de wegenbouw. Binnen SE wordt vooral de onderlinge afstemming tussen de diverse gereedschappen en de invloed van en op de omgeving benadrukt.



*Gelaagde (hiërarchie) en vertakte (boom) structuur (break-down) van veel systemen, S = (sub)systeem*



moet gaan over de oplossingen die de aannemer voorstelt zodat de opdrachtgever zijn beoogde functionaliteit en aanvullende wensen krijgt. Ook moet de samenwerkingsvorm bij de partijen en het project passen. Een overeenkomst (de oplevering, acceptatie product) moet objectieve en meetbare criteria bevatten.

#### Tot slot

De voornaamste praktische winst van de toepassing van de SE gedachtegang

met de adequate gereedschappen is:

- Opdrachtgevers moeten hun vragen adequaat kiezen en helder formuleren. De eisen aan het resultaat moeten vooraf duidelijk worden vastgelegd.

- Opdrachtnemers krijgen de ruimte om processen en producten te kiezen die hun het beste uitkomen; zij moeten laten zien dat hun oplossing aan de eisen voldoet.

#### Enige Nederlandse handleidingen over systems engineering voor de civiele techniek

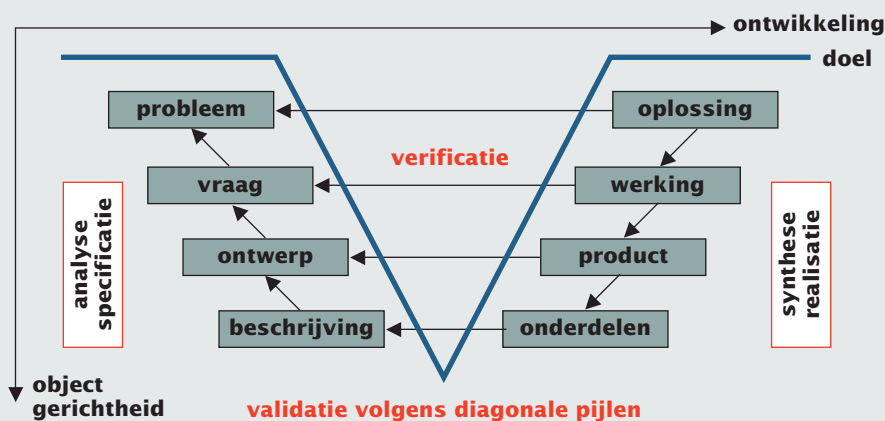
RWS - Prorail – Bouwend Nederland – ONRI; Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW sector 2007;

RWS; Handleiding Systeem-gerichte contractbeheersing; 2007

CROW; Handboek oplossingsvrij specificeren; febr. 2007

BAM; SE-wijzer – Handleiding Systems Engineering voor BAM Infra; juni 2008

Onderstaand is het voortgangsmodel weergegeven dat momenteel in SE het meest populair is, het zogenaamde V-model. De weergegeven invulling is één van de mogelijkheden, namelijk voor het uitvoeren van een project. Deze invulling kan dus ook voor wegbouwprojecten nuttig zijn. Het probleem is vrijwel altijd multi-disciplinair en heeft in de regel te maken met techniek, kosten, fysieke omgeving, belangen etc.

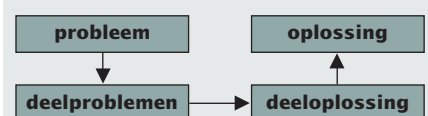


V-model, schematische weergave van de systeemvoortgang in de civiele techniek

Een andere veel voorkomende invulling van het V-model gaat uit van het opdelen van een object in deelobjecten. Een lager niveau betreft dan een deelobject van het object op een hoger niveau. Langs de linker- en rechterpoot van de V kunnen diverse processen worden uitgezet, bijvoorbeeld ontwerp en assemblage. Er zijn diverse meer complexe presentaties van het V-model. Die lopen daardoor wel een kans hun doel, een proces op schematische wijze te verduidelijken, voorbij te schieten.

#### Staat SE gelijk aan systematisch werken?

In de techniek wordt vaak systematisch gewerkt. Een gebruikelijke werkwijze is dat het probleem wordt ontleed. De context wordt er slechts bij betrokken als onderdelen van die context bij die analyse belangrijk gevonden worden, min of meer toevallig dus. Het model gaat uit van het gestelde probleem, zonder dit probleem zelf ter discussie te stellen. Ook betreft het probleem vooral één discipline en komen andere disciplines slechts zijdelings aan de orde. Verder worden verificatie en validatie niet expliciet uitgevoerd. SE is dus meer dan enkel systematisch werken.



Systematisch werken, een analytisch - synthetische werkwijze