

## Als alternatief voor de traditionele over-de-schutting ontwerpmethodiek

# Een system engineering benadering

Zoals kan worden gezien in figuur 1 zijn bij de meeste ontwerp- en bouwprocessen veel en diverse spelers betrokken. Omdat de meeste spelers niet in direct contact staan met de eindgebruikers van een gebouw is het niet gek om te zien dat het identificeren van de behoeften van eindgebruikers, het opstellen van een programma van eisen (PVE) en communiceren hierover, een probleem is in de huidige praktijk. Toch is het opstellen van het programma van eisen één van de belangrijkste activiteiten in de hele levenscyclus van een gebouw. Met een dergelijk problematisch uitgangspunt zal vertaling van het PVE naar technische eisen zeer waarschijnlijk niet resulteren in datgene wat nodig en wenselijk is. Daarnaast zullen als gevolg van niet integraal werkende partijen faalkosten [1], afleverfouten [2] en ernstige problemen [3] ontstaan.

- Mw. dr.ir. Ph.M. Bluysen\*, mw.dr.ir. M.A.R. Oostra\*,  
dr.ir. H.M. Böhms\*

In een traditioneel ontwerp- en bouwproces, wordt door de betrokken partijen vaak gebruik gemaakt van de zogeheten “over-de-schutting” methodiek: wanneer men klaar is met zijn/haar werk wordt, extreem gesteld, het werk overgedra-

gen naar de volgende zonder terugkoppeling en zonder dat later wordt geëvalueerd hoe de voorgestelde oplossing in de praktijk uitpakt. Een echt team wordt niet gerealiseerd. Partijen begrijpen elkaars belangen en producten niet. Al in de tijden van Vitruvius



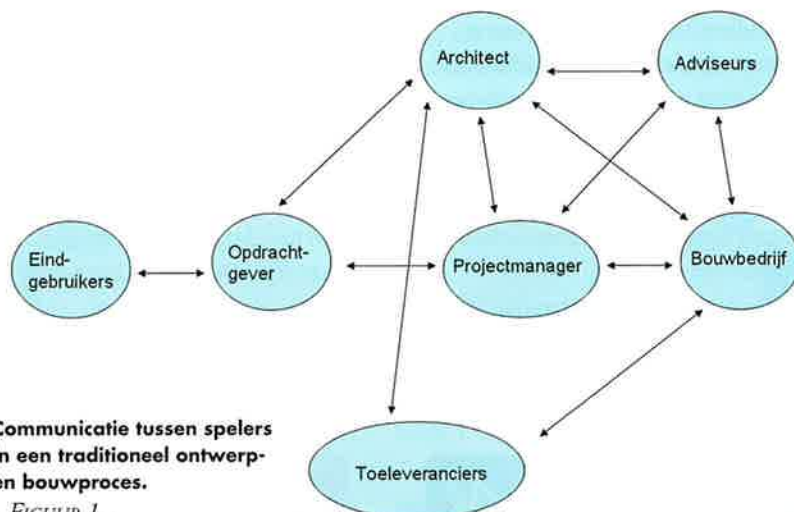
Mw. dr.ir. Ph.M. Bluysen



mw.dr.ir. M.A.R. Oostra



dr.ir. H.M. Böhms



Communicatie tussen spelers in een traditioneel ontwerp- en bouwproces.

- FIGUUR 1 -

[4] en Palladio [5] werd effectieve communicatie tussen de verschillende betrokken disciplines als een belangrijke voorwaarde gezien om tot goede gebouwen te komen. Zij benadrukten de behoefte aan een duidelijke relatie tussen architectuur, gezondheid, comfort, bruikbaarheid en schoonheid in architectuur. Heden ten dage is er eigenlijk niets veranderd: door een toename van het aantal betrokken disciplines en experts is het communicatie proces zelfs nog complexer geworden. Daarnaast eisen eindgebruikers meer invloed (keuze, flexibiliteit in gebruik, veranderbaarheid). Ook wij, als samenleving, eisen hogere kwaliteitsniveaus (comfort, gezondheid en veiligheid), sneller resultaat, een levenscyclus focus en vooral een vermindering in het gebruik van fossiele energiebronnen.

\*TNO Built Environment and Geosciences

Indien toch dezelfde ontwerp- en bouwprocessen worden gebruikt, zullen behalve meer problemen en hogere faalkosten, de mogelijkheden voor het bereiken van een lager energiegebruik en een hogere kwaliteit verminderen, met alle gevolgen van dien [6]. Een fundamentele verandering in het ontwerp- en bouwproces is nodig om het bereiken van al die nieuwe eisen, en meer, mogelijk te maken. Een top-down benadering is hierbij een randvoorwaarde [7].

Gelukkig is er in andere sectoren en zelfs in de bouw al veel kennis en ervaring voor handen om deze verandering vorm te geven: zoals de theorieën over Lean Construction [8], Prestatiericht bouwen [9], Open bouwen benadering [10], het Waardekader model [11], Integraal ontwerpen [12] en de System engineering benadering [13, 14, 15]. Bij elk van deze theorieën wordt gebruik gemaakt van een onderliggende structuur (organisatiestructuur, -proces, -model, of zelfs een contract) die het communicatieproces ondersteunt. Hierdoor wordt dit proces effectiever en efficiënter terwijl de risico's dat de projectdoelstellingen niet worden bereikt verminderen. In deze publicatie ligt de nadruk op de bijdrage die system engineering kan leveren aan het communicatie proces en de informatie- en kennisoverdracht van eisen tijdens de levenscyclus van een gebouw.

### SYSTEM ENGINEERING ALS STARTPUNT

De system engineering benadering maakt het mogelijk om de eisen en behoeften van eindgebruikers te definiëren en op een goede manier te vertalen. De toepassing van deze benadering veronderstelt een nieuwe manier van samenwerken tussen vraag en aanbod, waarbij alle gebruikelijke belanghebbenden en misschien ook nog anderen betrokken zijn. System engineering veronderstelt [13] een:

- top down benadering, waarbij het systeem (het gebouw) als een geheel wordt beschouwd;
- levenscyclus oriëntatie;
- een verbetering om het relateren van de systeemeisen aan de specifieke ontwerpdoelen en de bijbehorende ontwerpcriteria, gevolgd door een analyse waarmee de effectiviteit van het vroeg beslissen in het ontwerpproces wordt verzekerd;

- interdisciplinaire samenwerking (of team benadering) tijdens het systeemontwerp en -proces zodat alle ontwerpdoelen op een effectieve manier worden bereikt.

Indien het gebouw als een systeem wordt beschouwd ontstaan mogelijkheden om het huidige bouwproces te verbeteren. Behalve de verdeling van de levenscyclus van een gebouw in stappen, zijn twee andere belangrijke eigenschappen van system engineering van belang: het team en het continue terugkijken naar de systeemeisen die aan het begin van het proces worden bepaald. De volgende stappen worden genomen [7]:

*Stap 1: wensen en eisen:* systeemgrenzen en voorwaarden (systeemeisen);

*Stap 2: van eisen en wensen naar ontwerpeisen:* conceptueel ontwerp;

*Stap 3: van ontwerpeisen naar technische eisen:* voorontwerp;

*Stap 4: prototypen:* detail systeemontwerp en -ontwikkeling;

*Stap 5: demonstratie en marketing:* productie en/of uitvoering;

*Stap 6: bewoning en verandering:* operationeel gebruik en systeemondersteuning;

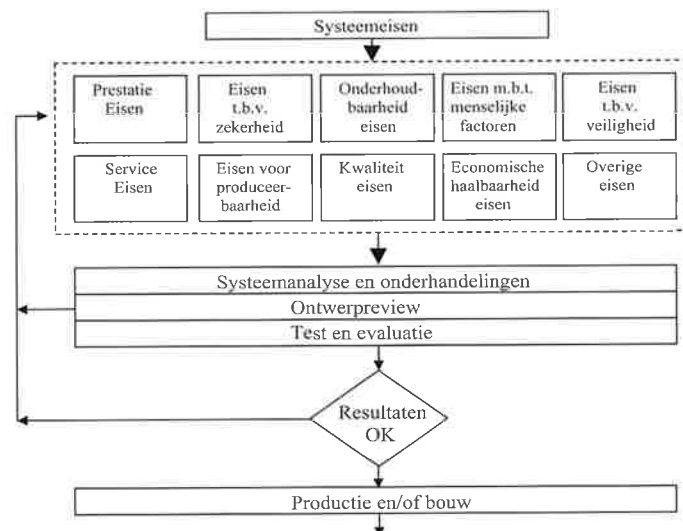
*Stap 7: afbraak en hergebruik:* ontmanteling van het systeem en materiaalhergebruik/afval.

In figuur 2 wordt een voorbeeld van een ontwerpproces volgens de system engineering benadering gepresenteerd. In de system engineering benadering draait het om het bepalen van eisen en het vertalen van die eisen naar proces-

sen en producten in de verschillende fases van de levenscyclus. Deze manier van denken voor gebouwen is op verschillende niveaus getest en toegepast in het nationale project Omnium [16] en in de Europese projecten Manu-Build [17], InPro [18] en SWOP ([www.swop-project.org](http://www.swop-project.org)). In Omnium werden de eerste twee stappen uitgevoerd voor een integraal ontwerp van sociale woningbouw. De focus lag hierbij op het communicatieproces en de definitie van de systeemeisen. In InPro werd een algemeen raamwerk met verschillende eisen ontwikkeld, ter ondersteuning van het definitieproces. De behoefte naar een ander organisatie-model werd uitgewerkt in ManuBuild, wat resulteerde in gewijzigde en aanvullende rollen, nieuwe ontwerp-, productie- en assembleerconcepten ondersteund door intelligente configuratie hulpmiddelen. In het SWOP-project, ten slotte, werd een nieuw industrieel bouwconcept gespecificeerd, in combinatie met de ontwikkeling van een semantisch modelleringbenadering met ondersteunende software tools.

### OMNIUM: COMMUNICATIE IN DE SYSTEM ENGINEERING BENADEFERING

In het Omnium project werden de eerste twee stappen van de system engineering benadering toegepast voor het ontwikkelen van een conceptueel ontwerp voor een sociaal woningbouwcomplex geschikt voor eindgebruikers in 2030. Dit conceptueel ontwerp zou de informatie moeten leveren die nodig is voor het beoordelen van de vereiste investering, de kos-



Voorbeeld van een ontwerpproces (overgenomen en aangepast van Blanchard [13]).

- FIGUUR 2 -

Algemene Criteria	Duurzaamheid	Kosten	Comfort	Concept (verfrissend)	TRL <sup>1</sup>	Energie
Gewichtsfactor	0,30	0,15	0,00	0,05	0,10	0,0
Vezelversterkte polymeer materialen	++	++	0	++	0	--
(staal) bewapend beton	--	--	0	--	0	++
Baksteen	--	--	0	--	0	++
Houten composieten	0	-	0	+	0	0
Bamboe composieten	++	+	0	+	0	-
Specifieke criteria	Massa/Vo-lume	Sterkte/Gewicht	Energie/Sterkte	Veroudering	TOTAL	
Gewichtsfactor	0,10	0,10	0,10	0,10	1,0	
Vezelversterkte polymeer materialen	++	++	+	++	4,7	<b>Best</b>
(staal) bewapend beton	--	+	-	0	1,8	
Baksteen	0	-	0	+	2,0	
Houten composieten	+	+	0	-	3,0	
Bamboe composieten	++	++	++	0	4,4	

<sup>1</sup> = Technologie Readiness Level

**Vergelijking voor draagconstructie materialen in 2030 [19]: in deze matrix zijn de waarden Comfort en Energie niet meegenomen en daarom is de gewichtsfactor op nul gezet. (-- = 1; - = 2; 0=3; + = 4; ++ = 5).**

- TABEL 1 -

ten en de inkomsten van het gebouw tijdens de gehele levenscyclus, evenals de technologische haalbaarheid. Voor het bepalen van de systeemeisen van het Omnium project werd eerst een screening van eisen en wensen van de eindgebruiker in 2030 uitgevoerd samen met de klant, een woningbouwcorporatie [16]. De eindgebruiker bestond hierbij uit twee type partijen: eigenaren (woningbouwcorporaties, bank, investeerder, etc.) en bewoners (de personen die echt in het gebouw wonen). Voor woningbouwcorporaties is het belangrijk om zo laag mogelijke exploitatiekosten van hun gebouwvoorraad te realiseren. Dit betekent niet alleen dat moet worden gekeken naar reductie van de initiële kosten, zoals door het gebruik van geprefabriceerde componenten, en andere "lichtere" materialen en constructies, goedkopere funderingen kunnen worden gerealiseerd. Maar het betekent ook een streven naar kostreductie tijdens het gebouwgebruik. Voor de bewoner zelf, die niet altijd bewust is van zijn of haar wensen met betrekking tot de leefomgeving, zal deze omgeving natuurlijk gezond, comfortabel en veilig moeten zijn. Na de eerste screening werd een methode toegepast uit de system engineering: de *concurrent design* (CD) methode. Deze CD-methode wordt door ESA (Europese ruimte agent-schap) succesvol toegepast, in de daar-

voor specifiek ingerichte ruimte (ESA CDF) ([www.esa.int/cdf](http://www.esa.int/cdf)). De methode begint met het formeren van een team. In het Omnium project bestond dit team uit de klant (de woningbouwcorporatie in dit geval) en een aantal expert teamleden (een architect, een materialenexpert, een kostendeskundige, een comfortexpert, een installatieadviseur (water, elektriciteit, verwarming), en experts op het gebied van energiesystemen, duurzaamheid, draagconstructies en regelgeving). Dit team werd begeleid door een procesmanager en projectmanager. Tijdens acht sessies van elk vier uur in het ESA CDF werd een conceptueel ontwerp gemaakt gebaseerd op de volgende eisen [19]:

- het gebouw is energieneutraal gedurende de hele levenscyclus en tijdens gebruik het liefst energie positief;
- kosten zijn over de gehele levenscyclus bekeken positief (maar tenminste neutraal);
- duurzaam tijdens de gehele levenscyclus;
- autarkisch, oftewel zonder verbinding met een extern netwerk voor energie, water, riolering en gas (maar wel internet / telefoon);
- flexibel, inspeland op veranderingen in functies, type bewoner en veranderende behoeftes gedurende zijn of haar levensloop;
- "verfrissend" architectonisch concept;
- de primaire draagstructuur is voor

- ten minste 50 jaar onderhoudsvrij;
- de technische garantie voor de diverse installatiesystemen is ten minste 30 jaar;
- het gewicht van het gebouw is 10 % van het gewicht van een traditioneel gebouw;
- het binnenmilieu is comfortabel (en gezond) voor de bewoners.

Met deze basis systeemeisen werd vervolgens door elk teamlid, de relevante parameters en hun waarden bepaald, wat resulteerde in een pakket van ontwerpeisen en transparante keuzes. Tabel 1 laat hiervan een voorbeeld zien. De vergelijking tussen verschillende materiaalopties voor de draagconstructie resulteerde in de keuze voor vezelversterkende polymeren als de beste optie.

De sessies bestonden uit een combinatie van presentaties, discussies over de te maken afwegingen, evaluatie van het ontwerp in relatie tot de systeemeisen, het introduceren van nieuwe criteria met bijbehorende parameters en waarden, evenals het constant bijsturen van het ontwerp. Na de acht sessies resulteerde dit in een conceptueel ontwerp (zie figuur 3).

#### **INPRO: HET BEPALEN VAN EEN KADER VOOR SYSTEEMEISEN**

In het Europese project InPro [18] werd een algemeen kader voor systeemeisen gedefinieerd waarmee het





**Omnium Concept voor een woontoren voor 2030 (ontwerp van Dil en Bonazzi architecten) [19].**

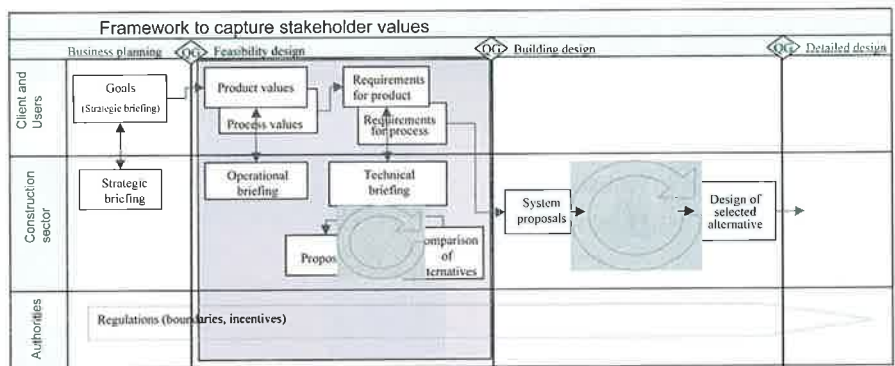
- FIGUUR 3 -

mogelijk is om:

- wensen en eisen (de doelen) van verschillende belanghebbenden in kaart te brengen en deze uit te drukken in systeemeisen, die ook wel het programma van eisen wordt genoemd in de bouwsector (strategische briefing genoemd in termen van system engineering);
- de systeemeisen te vertalen naar mogelijke ontwerpeisen (operationele briefing);
- in de volgende stap deze ontwerpeisen te vertalen naar technische eisen (technische briefing).

Figuur 4 laat het InPro kader voor het in kaart brengen van doelen en waarden van belanghebbenden zien en het implementeren daarvan in het InPro levenscyclus ontwerpproces. Het kader is een poging om system engineering toe te passen met gebruik van de taal die in de bouwsector wordt gehanteerd. In de strategische briefing worden de projectdoelen in niet-technische termen (de basis systeemeisen) uitgedrukt. Waarden worden dan van deze doelen afgeleid en vertaald naar ontwerpeisen (operationele briefing) gedefinieerd. Projectwaarden kunnen zowel product als proceswaarden zijn. Het product (of het gebouw) wordt op architectonische, economische, materiële en functionele aspecten beoordeeld. Gerelateerde waardefactoren in de productwaarde categorie zijn bijvoorbeeld bruikbaarheid voor de eindgebruiker, levenscycluskosten, technische prestatie en milieu impact. Proceswaarde gerelateerde factoren kunnen het volgende karakter hebben: tijd, manieren om samen te werken, gebruik van innovatieve technieken, kwaliteitsmanagement, feedback van ervaringen, efficiënt gebruik van energiebronnen, transparantie van management en het maken van beslissingen, etc.

In het InPro-project is een poging ge-



**Het InPro kader voor het bepalen van de waarden van belanghebbenden in de initiatie fase van het ontwerpproces [18].**

- FIGUUR 4 -

daan om een voorbeeldlijst met doelen en waarden van belanghebbenden voor toekomstige projecten op te zetten. Wetende dat in elk nieuw project het aantal en soort doelen kan verschillen, kunnen belanghebbenden deze lijst gebruiken om hun eigen doelen gemakkelijker te identificeren. Op deze manier kan worden voorkomen dat bij elk nieuw project vooraan moet worden begonnen.

De volgende stappen werden genomen [18]:

1. een case studie werd gebruikt als uitgangspunt: met name het ontwerp en het programma van eisen werden hiervan gebruikt;
2. een team werd gevormd uit partners van het InPro-consortium. Dit betekende dat sommige deelnemers helaas verschillende rollen op zich moesten nemen om te zorgen dat elke belanghebbende werd gerepresenteerd;
3. De volgende rollen werden vertegenwoordigd:
  - *bouwsector*: architect, installatieadviseur, constructief ontwerper, ontwikkelaar, bouwer, BIM manager;
  - *samenleving en overheid*: regelgever, stedenbouwkundige;
  - *klant en gebruikers*: initiator, eindgebruiker, eigenaar, facility manager, investeerder.
4. gedurende drie sessiedagen werd iedere partij gevraagd waarden en ontwerpparameters te relateren aan de oorspronkelijke doelen of basiseisen van de case studie. Dit werd begeleid door een procesmanager. Elke ronde, meerdere per dag, werd afgesloten met een mondelinge "ronde tafel" sessie om waar nodig parameters te verduidelijken, waarden van belanghebbenden te identificeren en mogelijke missende

belanghebbenden aan te geven;

5. analyse van de resultaten: Per partij werd een overzicht gemaakt met alle waardegroepen, voorwaarden en parameters. Verdubbeling of enigszins verschillende interpretaties werden eruit gehaald en de oorspronkelijke doelen werden opnieuw geformuleerd. Tabel 2, op de volgende pagina, presenteert de veralgemeende doelen, waardegroepen en waarden. Ontwerpparameters werden eveneens bepaald maar zijn hier niet weergegeven.

#### **MANUBUILD: HET ONTWIKKELEN VAN EEN NIEUW ONTWERPCONCEPT EN BIJBEHORENDE INSTRUMENTEN**

ManuBuild, een afkorting die staat voor Open Building Manufacturing, was een Europees project gericht op de ontwikkeling van een radicale integratie en industrialisatie over de hele levenscyclus van gebouwen. Bekende ontwerp- en bouwprocessen werden veranderd tot een op elkaar aansluitend geheel van ontwerp-, productie-, assemblage- en nazorgprocessen opgebouwd uit vier sleutelementen: open industriële gebouwssystemen, nieuwe bedrijfsmodellen, ICT supportsystemen en industriële productie/assemblagesystemen. Een inventarisatie van de eisen en wensen (doelen) van de verschillende partijen in het proces, inclusief die van opdrachtgevers en eindgebruikers uit heel Europa, vormde de basis voor het testen en sturen van de uitkomsten van de vier sleutelementen. Om tot een dergelijk geïntegreerde en geïndustrialiseerde aanpak te komen, moet een nieuw paradigma voor ontwerp- en bouwprocessen worden geformuleerd (zie tabel 3: vrij naar PSI-Bouw [20]). Voor de gebouwde omgeving wordt in ManuBuild een duidelijke onder-

Mogelijke doelen/ WAARDE GROEP	WAARDEN	Mogelijke doelen/ WAARDE GROEP	WAARDEN
Gezond en comfortabel binnenmilieu voor alle mensen/ WELBEVINDEN	Gezondheid Comfort Veiligheid Veiligheidsgevoel Bruikbaarheid Toegankelijkheid	Duurzaam gebouw / DUURZAAMHEID	Levenscyclus van materiaal Energiebeheer Waterbeheer Afvvalbeheer Biodiversiteit Milieubeheer
Een veilig en zeker gebouw/ VEILIGHEID EN ZEKERHEID	Brandveiligheid Noodprocedure Operationele zekerheid Onderhoudbaarheid Constructieve veiligheid Veiligheidsgevoel	Flexibel en aanpasbaar gebouw / FUNCTIONALITEIT	Aanpasbaarheid Uitbreidbaarheid Buitendiensten Binnendiensten
Indruk: i.e. open, verenigd, vriendelijk, interactie met milieu / ESTHETICA	Architectonische kwaliteit Imago	Komt overeen met lokale bouwtraditie / CULTUREEL EN SOCIAAL	Bouwtraditie Architectonische stijl Leefstijl
Betaalbare bouw en gebruik van gebouw / ECONOMIE	Investeringskosten Levenscyclus kosten		

**Algemene lijst van doelen, groepwaarden en waarden.**

- TABEL 2 -

VAN	NAAR
Initiële investering	Levenscyclus financiering
Project georiënteerd	Levenscyclus en proces georiënteerd
Partijen betrokken bij realisatie	Alle belanghebbenden in de levenscyclus (inclusief dienstenaanbieders)
Statische beheersing van het product	Dynamische beheersing van het proces
Sequentiële logistiek proces	Transparant dynamische toeleveringsketen
Gefragmenteerde waardeketen	Geïntegreerde waardeketen
Individuele suboptimalisatie	Algehele optimalisatie door het gehele partner netwerk
Focus op laagste opleveringskosten	Prestatie vs. levenscyclus kosten
Over partijen verdeelde risico's en kosten	Door partijen gedeelde risico's en kosten (+/-)
Aanschafprijs	Totaal gecreëerde waarde

**Nieuwe paradigma voor ontwerp- en bouwprocessen.**

- TABEL 3 -

	GENERIEK	SPECIFIEK
Gebied	Concepten, onderhoud scenario's & additionele diensten	Specifiek plan lay-out, onderhoud scenario & dienstencontract
Gebouw	Gebouw concepten, gebouwsysteem & additionele diensten	Specifiek gebouw gebouw specifieke configuratie & dienstenscenario & contract
Appartement	Templates, inbouwpakketten & additionele diensten	Specifiek appartement, eindgebruiker specifieke configuratie, diensten & contract

**Verskillende ontwerpvormen.**

- TABEL 4 -

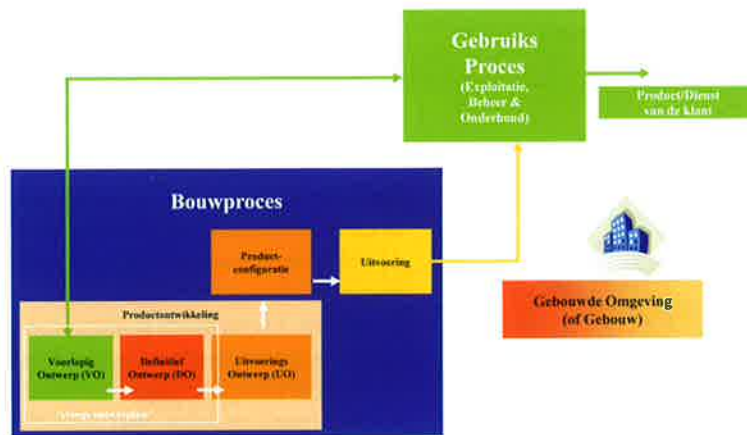
scheid gemaakt tussen ten minste drie ontwerp-niveaus: gebied, gebouw en inbouwpakket (bijvoorbeeld voor een appartement). Dit onderscheid, dat haar oorsprong heeft in het Open Bouwen, is gemaakt ter ondersteuning van keuze en flexibiliteit voor de eindgebruiker. Voor elke van de drie ontwerp-niveaus is er een generieke en specifieke ontwerpvorm (zie tabel 4). Het generieke niveau zorgt ervoor dat eenvoudig gebruik kan worden gemaakt van reeds opgebouwde kennis, die kan worden ingezet bij het ontwerp voor een specifieke bouwopgave. Om het gebouwniveau als voorbeeld te nemen: naast typologieën zijn hierin concepten te vinden, samen met voorstellen voor aan te bieden diensten. Deze generieke ontwerpen worden gebruikt als startpunt voor een specifieke opdracht. Het opgestelde PVE helpt bij de afweging tussen alternatieven. Als een tweede stap worden de relevante concepten, systemen en types uitgewerkt tot een project specifiek ontwerp. Op basis van specifieke eisen ingegeven door locatie, cultuur, gebruikersgroep, persoonlijke wensen, etc. worden de benodigde keuzes, veranderingen en toevoegingen gemaakt. Dit uit twee stappen bestaand ontwerpproces betekent dat het ontwerpen van gebouwen niet elke keer opnieuw wordt behandeld als een compleet nieuw totaalontwerp. De ontwerper integreert standaardontwerp ingrediënten met voor de situatie relevante maatoplossingen. Hiermee verbetert de kwaliteit van het gebouw omdat meer eisen kunnen worden geadresseerd en meer kennis kan worden meegenomen in het ontwerp. Daarnaast wordt het mogelijk om diensten te leveren, bijvoorbeeld op het gebied van onderhoud. ICT instrumenten waarmee financiële consequenties en de gevolgen voor het energiegebruik van keuzes inzichtelijk kunnen worden gemaakt, kunnen klanten en eindgebruikers helpen bij het kiezen tussen alternatieven. Het volgens de wensen en eisen van eindgebruikers ontwerpen van gebouwen wordt met al deze hulpmiddelen een stuk professioneler. Het integreren en vertalen van eisen en wensen op de verschillende niveaus is essentieel. Daarom is er in ManuBuild veel aandacht besteed aan het identificeren en ontwikkelen van hulpmiddelen voor het integreren van verschillende soorten eisen.

Belangrijke gevolgen van het nieuwe paradigma zijn de benodigde veranderingen in businessmodellen en rollen. In het ManuBuild project werd duidelijk dat een nieuwe benadering ook tot nieuwe ondernemerskansen leidt voor meer dienstgerichte bedrijfsmodellen. Deze nieuwe bedrijfsmodellen zullen automatisch de rollen die de partijen hebben, beïnvloeden. Er is een kans voor bestaande partijen om hun rol uit te breiden met taken die eerder door andere bestaande partijen werden uitgevoerd (voorwaartse en achterwaartse integratie). Een aannemer, bijvoorbeeld, kan beslissen om diensten te leveren op het gebied van onderhoud. Nieuwe bedrijfsmodellen kunnen ook nieuwe rollen vereisen. Bijvoorbeeld door de eindgebruiker centraal te stellen zal er behoefte ontstaan aan een partij die ondersteunt bij het opstellen en realiseren van eisen die specifiek zijn voor eindgebruikers. Dat is nu al te zien aan de opkomst van de nieuwe functie van kopersbegeleiders bij bouwbedrijven in de woningbouw. Er zullen ook partijen zijn die hun bestaande rol willen limiteren. Gemeenten kunnen bijvoorbeeld kiezen om bepaalde aspecten van hun werk uit te besteden aan marktpartijen vanwege capaciteitsgrenzen binnen de organisatie. Vanuit system engineering betekent dit dat het proces echt interdisciplinair wordt, en dat taken binnen het proces herverdeeld worden tussen nieuwe en bestaande partijen.

### SWOP: ICT ARCHITECTUUR

Het Europese SWOP ('Semantic Web'-based Open engineering Platform) project houdt zich bezig met bedrijfsinnovatie gericht op de op eindgebruikers afgestemde specificatie van producten (gebouwen) ([www.swop-project.org](http://www.swop-project.org)). De volgende twee drijfveren liggen ten grondslag aan deze innovatie:

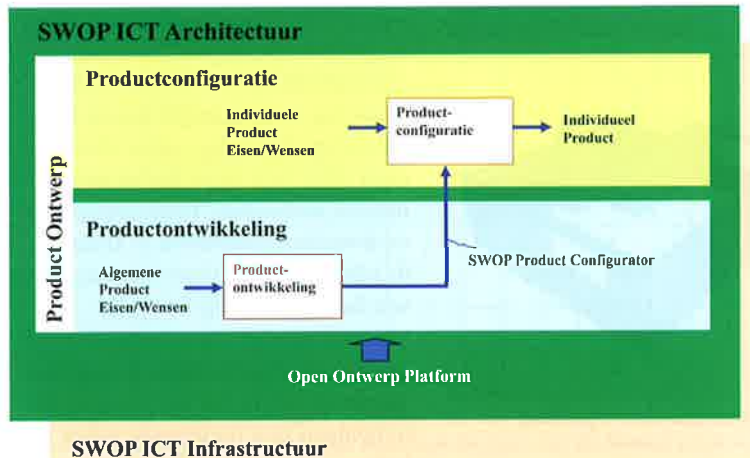
- vermindering van verspilling uitgedrukt in kosten en tijd bij het herontwerpen en het opnieuw specificeren van producten wanneer het grootste deel van het werk reeds eerder is uitgevoerd;
- configuratie van oplossingen uit van tevoren gedefinieerde deeloplossingen ('modules') in plaats van ontwerpen vanaf nul. Wanneer keuzes mogelijk zijn, worden in SWOP product configuraties geoptimaliseerd met behulp van genetische



Vorbereiding ... Ontwerp ..... Uitvoering ..... Gebruik

### Een ander proces voor het ontwerp, realisatie en ingebruikname van een gebouw.

- FIGUUR 5 -



### SWOP ICT Infrastructuur

### Systeem architectuur met productontwikkeling en productconfiguratie.

- FIGUUR 6 -

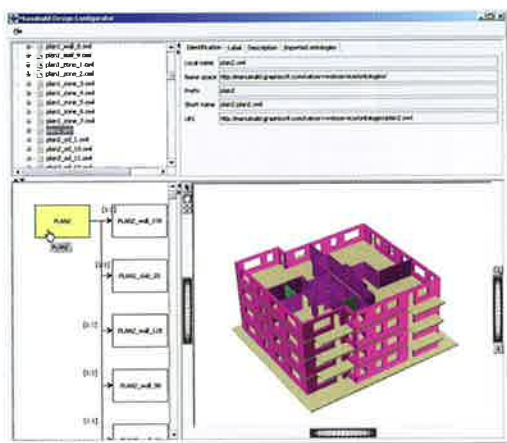
algoritmes (GA). Dit laatste resulteert in een product dat niet alleen een valide oplossing is maar zelfs een bijna optimale oplossing, die kan worden bereikt door het nastreven van ontwerpeisen, eisen van eindgebruikers en optimalisatie criteria. Net zoals in Manubuild, heeft het besef dat het ontwerp, realisatie en ingebruikname van een gebouw niet langer keer op keer kan worden benaderd als een project, maar dat dit levenscyclus en proces georiënteerd moet zijn, in het SWOP-project tot een duidelijke definitie van een ander bouwproces geleid, die is verdeeld in twee niveaus (zie figuur 5):

- productontwikkeling;
- productconfiguratie.

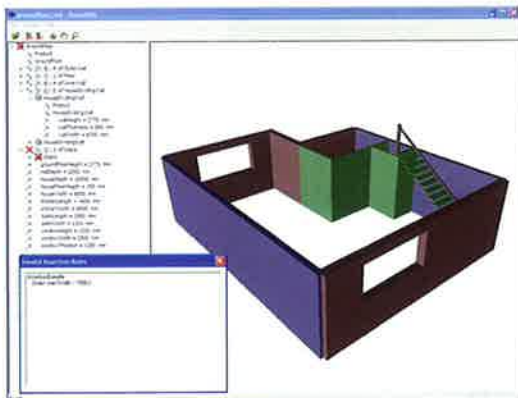
De inspanning voor ontwikkeling en configuratie verschilt per bedrijfstak. Terwijl op dit moment het configuratieniveau voor de bouwindustrie niet of nauwelijks aanwezig is: het ontwerp van een gebouw begint elke keer opnieuw (alle inspanning gaat naar de klantspecifieke ontwikkeling of productontwikkeling), is voor het ontwerp van een PC de benodigde ontwikkeling minimaal. Omdat bijna alle

onderdelen zijn gestandaardiseerd (op productniveau) kan zelfs een geïnformeerde eindgebruiker zijn eigen PC in elkaar zetten. Configuratie vergt in dit geval niet veel. Voor een willekeurig bedrijf ligt de waarheid ergens in het midden. Meestal wordt de regel 80 % configuratie van referentie producten en 20 % klantspecifieke ontwikkeling gevolgd. Dit betekent dat 20 % van het aantal opdrachten klantspecifieke ontwikkeling nodig heeft (en niet 20 % van elke opdracht heeft klantspecifieke ontwikkeling nodig!). Het bouwproces wordt dus geïnterpreteerd als een werktafel met gerelateerde software-instrumenten die de productontwikkelingslaag ondersteunen. Dit resulteert in de werkelijke configuratoren en productconfiguratie niveaus. In een ideale wereld zou het 'ontwikkeldeel' van een dergelijke werktafel een soort van een 'Configurator' zijn: je stopt de keuzes en grenzen voor een product en de bijhorende (vaak extern toegevoegd) delen erin en vervolgens wordt automatisch een specifieke webapplicatie gegenereerd voor gebruik door een bepaalde klant om zijn/haar product over het web te configureren (Figuur 6).





Gebruik van de PMO Editor in productontwikkeling.  
- FIGUUR 7 -



Gebruik van de PMO Configurator in productconfiguratie.  
- FIGUUR 8 -

In het Europese SWOP-project werd de benodigde ICT-infrastructuur gericht op de definitieaspecten op beide lagen gerealiseerd en toegepast op gebouwen. Eerst werd de ontologie voor de “product familie” gedefinieerd in de PMO (Product Modelling Ontologie) Editor (Figuur 7) ([www.swop-project.org](http://www.swop-project.org)). Vervolgens werd de product ontologie voor specifieke eindgebruikers in de “PMO Configurator” geopend: hierin kan het klant specifieke product worden geconcretiseerd door waarden, gebaseerd op eindgebruikers voorwaarden, toe te kennen aan alle vrije parameters (Figuur 8). De onderliggende software infrastructuur is hierbij volledig gebaseerd op open standaarden: het World Wide Web Consortium (W3C)’s Web Ontology language ([www.w3.org/2004/OWL/](http://www.w3.org/2004/OWL/)) voor het semantische deel en Building Smart’s Industry Foundation Classes (IFC) ([www.buildingsmart.org](http://www.buildingsmart.org)) voor de 3D geometrische (“explicitie vorm”) visualisatie.

## DISCUSSIE

In de vier gepresenteerde projecten zijn verschillende aspecten van de system engineering benadering toegepast. De observaties en bevindingen

worden hieronder besproken.

### *Het team en het communicatie proces*

In de verschillende projectsessies werd duidelijk dat het succes van de benadering sterk afhangt van de betrokken teamleden. De methode is niet succesvol wanneer cruciale leden ontbreken, of wanneer sommige leden niet bereid zijn informatie te delen. Veel onbegrip en tijdsverlies kan, door goede communicatie, worden voorkomen. Ook zal men bereid en in staat moeten zijn elkaars taal te begrijpen. Het samen selecteren en definiëren van de waarden en gerelateerde ontwerpeisen kan dit communicatieproces helpen, en tijdsbesparing in de daaropvolgende fases opleveren. Alle leden zullen elkaars, maar zeker hun eigen doelen en eisen moeten herkennen. Totale transparantie is vereist. Vertrouwen in elkaar is de basisvoorwaarde voor het toepassen van deze benadering.

Het was moeilijk voor de teamleden om de vertrouwde rollen op te geven. Samenwerken in een team vereist dat individuen hun traditionele rollen loslaten. Het voldoen aan sommige systeemeisen vereist gezamenlijke ontwerpinspanningen, die tot conflicterende eisen kunnen leiden. Het scheiden van de verantwoordelijkheid voor het technische ontwerp van dat voor het functionele en architectonische ontwerp is dan niet de oplossing, maar wel een gemakkelijke valkuil. Daarnaast bleek dat sommige teamleden moeite hadden met het openstaan voor meer dan één optie. Vaak was er de neiging om meteen te focussen op de meest voor de hand liggende oplossing, in plaats van eerst proberen te bepalen wat de uitdaging is.

Terwijl in Omnium en Manubuild de eindgebruiker werd vertegenwoordigd door een woningbouwcorporatie (die tegelijk ook de klant was), ontbrak in het InPro project de eindgebruiker als teamlid. Ook al hebben eindgebruikers en/of klanten meestal problemen met het verwoorden van hun eisen, toch is het belangrijk om ze te betrekken in wat voor een vorm dan ook. Gebouwen worden tenslotte neergezet voor eindgebruikers. Van Manubuild kan worden geleerd dat deze betrokkenheid vele vormen kan aannemen, variërend van co-ontwerp tot het vertalen van de uitkomsten uit (sociaal) onderzoek in configuratieconcepten die verschillende groepen eindgebruikers bedienen.

kers bedienen.

Het betrekken van andere partijen bij het ontwerp van een gebouw (in Omnium) kan in “nieuwe” systeemeisen resulteren. Een voorbeeld hiervan is de door de ESA-expert toegevoegde eis “10 % van het gewicht van een traditioneel gebouw”, die vervolgens door de vliegtuigmateriaal-expert werd vertaald naar ontwerpeisen. Het betrekken van externe partijen kan het ontstaan van innovatieve ideeën, waarden en eisen stimuleren.

### *Eisen op verschillende niveaus*

Het bepalen van de systeemeisen (de doelen en waarden van de betrokken teamleden) is niet gemakkelijk. Behalve communicatieproblemen werden nog een aantal andere zaken duidelijk.

1. Het is veel makkelijker om gewoon te beginnen met de traditionele eisen en/of de huidige richtlijnen en normen. Het aantal eisen en het feit dat ze elkaar beïnvloeden en soms conflicteren maakt het behoorlijk gecompliceerd. Bovendien maakte de tijdshorizon van 2030 in het Omnium-project het nog moeilijker. In InPro bleek het moeilijk de individuele waarden van de belanghebbenden te generaliseren. En in Manubuild werd het al snel duidelijk dat eisen kunnen variëren per regio als gevolg van verschillen in populatie, cultuur, klimaat en gewenst kwaliteitsniveau.
2. Tijdens de sessies van InPro en Omnium bleek dat het op de system engineering manier bepalen van waarden, niet eerder geïdentificeerde eisen kan opleveren. Omdat belanghebbenden verschillende doelen kunnen hebben, zullen hun eisen ook verschillen. Indien alleen de over-de-schutting methode wordt toegepast, dan ligt de focus zeker op de eisen en wensen van de meest dominante partij. En door het ontbreken van de eindgebruiker (zoals in InPro) wordt het *makkelijker* gemaakt voor dominante teamleden om te beslissen wat “het beste” is voor de afwezige eindgebruikers.
3. In InPro werd een eerste raamwerk van eisen en waarden gedefinieerd. Incompleet maar toch een eerste poging die zal moeten worden uitgebreid om bruikbaar te zijn voor toekomstige projecten. Behalve waardegroepen en gerelateerde waarden, zullen ook de gerelateerde

Waarde groep welbevinden						Ontwerpeis	Technische eis	Levenscyclus fase					Belanghebbenden				Type										
Gezondheid	comfort	veiligheid	veiligheidsgevoel	toegankelijkheid	bruikbaarheid			ontwerp	productie	in gebruik name	onderhoud	sloop	architect	aanemers	eigenaar	eindgebruiker	Installatie adviseur	installatie service	parameter	element	procedure						
						<b>binnenluchtkwaliteit</b>																					
X	X	X				Gebruik alleen producten die geen gevaarlijk stoffen afgeven	Pas geen asbestbevattende materialen toe	X					X									X					
X	X	X				Gebruik een ventilatiesysteem die de binnenkomende lucht schoonmaakt	Ventilatiesysteem moet een filter bevatten voor fijn stof,....	X									X					X					
X	X	X				Producten moeten tijdens de bouwfase niet nat worden	bedek buitenliggende producten		X					X								X					
X	X	X				Ventilatiesysteem moet schoon zijn voor de installatie	Schone kanalen (e.g. olie)		X					X								X					
X	X	X				Ventilatiesysteem moet regelmatig worden gecontroleerd tijdens de ingebruikname	Onderhoudsschema voor ventilatiesysteem				X							X				X					
					X		Ventilatiesysteem moet toegankelijk zijn voor onderhoud	X									X					X					
X						Producten moeten zoveel mogelijk herbruikbaar zijn						X										X					

**Voorbeelden van ontwerp- en technische eisen voor de algemene ontwerpeis "Creëren van een goede binnenluchtkwaliteit" onder de waarde Gezondheid in de groep Welbevinden. De kolom levenscyclus fase laat de fase van de levenscyclus van een gebouw zien waarvoor de technische eis relevant is. De kolom belanghebbenden geeft aan voor welke belanghebbenden de eis belangrijk is en de kolom type geeft aan of de technische eis is gerelateerd aan een parameter, een element of een procedure.**

- TABEL 5 -

parameters en criteria voor die parameters, product of proces gerelateerd, moeten worden aangevuld in ingevuld.

4. Waarden kunnen zijn gerelateerd aan verschillende fasen van het bouwproces, verschillende belanghebbenden en verschillende parameters. Daarom kunnen waarden verschillende betekenissen hebben, al lijkt dit op het eerste gezicht hetzelfde, omdat hetzelfde "woord" wordt gebruikt.

In tabel 5 wordt een voorbeeld van de algemene ontwerpeis "Creëren van een goede binnenluchtkwaliteit" onder de waarde Gezondheid in de groep Welbevinden gepresenteerd. De hier gepresenteerde ontwerpeisen, die slechts voorbeelden zijn, vormen de basis voor de volgende stap: het bepalen van de technische eisen voor het gebouw en haar producten en materialen. Dit kunnen zijn:

- technische specificaties van een product (zoals de minimum toelaatbare emissie van een vloer);
- specificaties voor een parameter (zoals een temperatuur van de lucht

in een ruimte);

- procedures die bepalen hoe een product of deel van het gebouw moeten worden gebruikt (zoals het regelmatig schoonmaken van een vloer om emissie van bepaalde stoffen te voorkomen).

Deze technische eisen kunnen verschillen per bouwfase en ook per belanghebbende. Voor elke in de initiatie fase bepaalde waarde of eis kan een dergelijke analyse worden gemaakt.

Op deze manier kan voor elk toegepast bouwproduct een lijst van technische specificaties worden bepaald, interacties worden geïdentificeerd en keuzes worden gemaakt. Hetzelfde geldt voor parameters en procedures.

Echter, een probleem kan optreden indien niet bekend is hoe bepaalde ontwerpeisen moeten worden bereikt: welke parameter moet worden beheerst om een bepaalde kwaliteit of prestatie te bereiken of met welke procedure kan die prestatie worden bereikt, worden onderhouden en behouden. In sommige gevallen worden prestatie-indicatoren gebruikt om dit probleem te omzeilen. Dit is bijvoorbeeld het

geval bij de CO<sub>2</sub>-concentratie, die als indicator voor luchtkwaliteit wordt gebruikt indien de belangrijkste vervuiler in een ruimte de mens is (opmerking: CO<sub>2</sub>-concentratie kan alleen in dat geval worden gebruikt als een indicator voor luchtkwaliteit, naast andere indicatoren). In de conceptuele en voorontwerpfase worden modellen toegepast om de benodigde technische productspecificaties van producten, parameters en procedures te voorspellen of in te schatten.

### Interacties

Behalve de hiervoor aangegeven ontbrekende vertalingen van bepaalde waarden (van ontwerp naar technische eisen), is de interactie tussen de verschillende waarden en eisen een belangrijk punt.

Het InPro-raamwerk laat zien dat bepaalde waarden aan meer dan één waardegroep zijn gerelateerd: zoals veiligheidsgevoel (zekerheid). Dit is zelfs nog meer het geval voor ontwerp en technische eisen. Interacties treden tussen allen op. Indien men een ontwerpeis opstelt voor de waarde gezondheid dan zal dat hoogstwaar-



schijnlijk ook gevolgen hebben voor verscheidene ontwerpseisen onder de waarde energiebeheersing in de waardegroep duurzaamheid. Dit proces van heen en weer gaan en het proberen te optimaliseren van het ontwerp voor beiden waarden, zal uiteindelijk leiden tot een set van geoptimaliseerde technische eisen (maatregelen en criteria) voor producten of elementen van een gebouw, parameters van het binnenmilieu en de benodigde processen voor ontwerp, bouw, gebruik en onderhoud van het gebouw.

In het renovatie-instrument TOBUS, waarin een diagnose wordt gemaakt van de algemene staat van een kantoorgebouw, gevolgd door het opstellen van een lijst met verbeteracties voor renovatie, werd een poging gedaan om interacties te bepalen [21]. Door de basisverdeling van een gebouw in objecten of elementen, is het mogelijk om voor elk van de elementen acties te formuleren die de gebouwbeheerder, de architect of de ingenieur helpen om dit element op een bepaald aspect te verbeteren (of te veranderen). Verschillende oorzaken voor problemen worden bepaald op basis van relaties tussen eigenschappen van gebouw en systemen en het gebruik van het gebouw. Mogelijke verbeteracties worden geselecteerd aan de hand van vier aspecten: fysieke staat van degradatie, functionele veroudering, energiegebruik en binnenmilieu-kwaliteit - en zijn verdeeld in:

- *object gerelateerde acties*: bijvoorbeeld:
  - observatie: Geluidshinder van verkeer als gevolg van het gebruik van natuurlijke ventilatie (e.g. ventilatieroosters in gevel);
  - actie: Gebruik geluiddempers in ventilatieroosters.
- *niet object gerelateerde acties*: bijvoorbeeld:
  - observatie: stoffig/slechte lucht binnen door roken (roken is toegestaan in alle ruimten);
  - aanbeveling: gebruik gescheiden rookzones met goede afzuig of verbod op roken.

Daarnaast is er in TOBUS een interactieschema ontwikkeld, dat zowel binnenmilieu interacties als interferenties tussen binnenmilieu en andere aspecten bevat [22]. Het moet wel worden gezegd dat veel meer soorten interacties kunnen plaatsvinden. Deze

kunnen worden verdeeld in [19]:

- *interacties op menselijk niveau*: interacties vanuit de fysiologie van het lichaam en/of vanuit psychologisch oogpunt, interacties tussen mensen en interacties van de mens (de eindgebruiker) met zijn/haar omgeving vanuit de omgeving of vanuit de mens;
- *interacties op omgevingsparameter niveau*: De interacties die belangrijk worden geacht op binnenmilieu parameter niveau zijn de chemische reacties tussen stoffen in de lucht, en microbiologische groei op binnenoppervlakken, maar ook interacties met het buitenmilieu zoals lawaai van buiten, fijn stof en biologische verlichting;
- *interacties op gebouw(element) niveau*: interacties tussen gebouwelementen en tussen gebouw en omgeving, zoals interactie van het gebouw met het oppervlak waarop het rust (de fundering van het gebouw), interactie van het buitenmilieu met het gebouw (de bescherming en doorgeef eigenschappen van de gevel) en interactie van het gebouw met het binnenmilieu (zoals onderhoud en emissie van de binnenwanden en de wel of niet in de gevel geïntegreerde licht-, verwarming-, koeling- en ventilatiesystemen).

### **Bouwproces**

Uit InPro werd geconcludeerd dat het creëren van een algemeen kader voor het bepalen van waarden van belanghebbenden niet eenvoudig is en dat het moeilijk is om niet terug te vallen op het traditionele ontwerpproces. De interacties tussen de eisen die volgen uit de bepaalde waarden zijn zeer complex. Manieren voor het omgaan met die toenemende complexiteit werden in respectievelijk ManuBuild en SWOP naar voren gebracht: de verdeling van het ontwerp op verschillende niveaus (gebied - gebouw - invulling) en het onderscheid tussen generieke ontwerpvormen, wat tot verschillende concepten leidt, en project specifieke ontwerpvormen. Deze structurering maakt het mogelijk om beter met de complexe interactie van eisen van product, proces en dienstenniveau om te gaan.

In SWOP werd aangetoond dat het mogelijk is om ICT-software te creëren voor het nieuwe (systeem) engineering deel van het bouwproces (zie figuur

5). Zoals hierboven is besproken, bepalen de invoergegevens voor een dergelijk softwaresysteem uiteindelijk de uitkomst en de bruikbaarheid. Daarom blijft de uitdaging om de eisen en de interacties op verschillende niveaus in het productieproces te bepalen maar ook in en met het operationele proces. Men kan gemakkelijk een systeem visualiseren waarin niet alleen de verschillende aspecten van de gegevens, maar ook de software functionaliteiten die daarop reageren, worden geïntegreerd in interactieve manieren; en waarbij het systeem tijdens de ontwikkeling constant bijleert en productkennis wordt hergebruikt. Functionaliteiten die niet alleen de huidige productomschrijvingen/configuraties evalueren, maar ook de productontwikkelaars en vormgevers begeleiden in hun keuzes.

### **CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN**

De besproken system engineering benadering lijkt een aanzienlijke verbetering voor het bouwproces, maar we hebben nog een lange weg te gaan. Behalve de voor de hand liggende bottlenecks zoals de selectie van teamleden en het communicatieproces, kan worden geconcludeerd dat om echt bruikbaar te zijn, ondersteuning nodig is. Deze ondersteuning kan de vorm hebben van een kader of raamwerk die voor alle belanghebbenden duidelijke relaties legt tussen systeem-, ontwerp- en technische eisen voor de verschillende fasen van een gebouw. Het elke keer opnieuw bepalen van een lijst van systeemeisen kost niet alleen veel tijd, maar het veroorzaakt ook een hoop irritatie en onbegrip tussen de betrokken partijen. Met alleen systeem engineering zijn we er dus niet: System Engineering in combinatie met kennis van innovatief aanbesteden, innovatief rollenspel van belanghebbenden, innovatief management (integratie management) en perceptie en gedrag door mensen in het binnenmilieu.

Er is behoefte aan een soort van een platform die de ondersteuning van communicatie en het vertaalproces mogelijk en uitvoerbaar maakt tijdens het system engineering proces. Dit platform zal met twee belangrijke aspecten rekening moeten houden:
 

- het kader met informatie en instrumenten; dit kan een op software gebaseerd systeem zijn;

- een gevalideerde procedure voor het communicatieproces, die het liefst wordt geleid door een expert in dit gebied (bijvoorbeeld een aangepaste CD-methode).


Het software gebaseerd systeem kan het volgende bevatten:

- een eerste algemeen kader met waarden, ontwerpisen en technische eisen die de basis vertegenwoordigen voor elk te ontwerpen gebouw: het generieke deel (ontwikkeling);
- de mogelijkheid om waarden, eisen, parameters, elementen en procedures aan te passen en toe te voegen: het specifieke deel (configuratie);
- instrumenten modellen en methoden voor:
  - de selectie van de juiste eisen, criteria & parameters;
  - de interacties en keuzemogelijkheid uit verschillende opties en de gevolgen daarvan;
  - het weergeven van de prestatie en prijs bij het maken van vergelijkingen;
  - het invoegen en verwerken van prestatiegegevens uit de praktijk (terugkoppeling).

Om dit communicatie- en ondersteuningsplatform goed te laten functioneren is het aan te bevelen om het bouwproces eveneens aan te passen. Voor andere sectoren lijkt de volgende verdeling van het engineering proces goed te werken:

- ontwikkelingsdeel (gestandaardiseerd, generiek deel), in combinatie met een;
- configuratie deel, waarin de klant, de eindgebruiker, eventueel met hulp, zelf eisen en wensen kan specificeren en hiermee het gebouw haar eigen stempel kan geven;
- en een klant specifiek ontwerp- en ontwikkelingsdeel, waarin het ontwerpteam oplossingen op maat voor een bepaalde ontwerp opgave bedenkt en de verschillende onderdelen integreert tot een totaalontwerp (specifieke deel).

Deze aanpak zal voorkomen dat elke "team" het wiel opnieuw uitvindt. Ontwikkeling van effectievere terugkoppelsystemen met gegevens uit de praktijk is hierbij belangrijk. Om het systeemdenken en de systeemanalyse toe te kunnen laten, zullen behalve het bepalen van prestatiedoelen, creatieve

integratie en een gezamenlijke visie vanaf het begin onderdeel moeten zijn van de gekozen aanpak. 

#### REFERENTIES

1. Brokelman, L. en Vermande, H., 2005, Faalkosten de (bouw)wereld uit, SBR in Rotterdam.
2. Elkhuizen, B. en Rooijackers, E., 2008, Duurzaam beheer van gebouwen, TVVL Magazine, 2, pp.14-17.
3. Layard, R. en Glaister, S., 1994, Cost-Benefit Analysis CUP 2nd edition.
4. Vitruvius, 100 BC, Ten books of architecture, Morgen MH (translation), Dover, NY, 1961, Chapter 1.
5. Palladio, A., 1570, The four books of architecture, translated by Ware, I., 1738, Dover publications, New York, 1964 edition.
6. Aries, M.B.C. and Bluysen, P.M., 2009, Climate Change Consequences for the Indoor Environment Heron, vol.54, no.1, pp49-69.
7. Bluysen, P.M., 2008, 'Beheersing van het binnenmilieu: van onderdeel gerelateerde naar interactieve top-down benadering, TVVL Magazine nr.9, pp.40-52.
8. Jørgensen, B., 2006, Integrating Lean Design and Lean Construction; Processes and Methods, PhD Thesis Technical University of Denmark.
9. CIB, 1982, Working with the performance approach in building, CIB Report Publication 64, CIB, Rotterdam: Intern. Council for Research and Innovation in Building and Construction. (<http://www.pebbu.nl>) (1982).
10. Kendall S, Teicher, J., 2000, Residential Open Building, 301 p., Ill., E & FN Spon, London and New York, ISBN 0-419-23830-1.
11. Rutten P.G.S., Trum H.M.G.J., 1998, Prestatiegericht ontwerpen en evalueren, faculteit Management, Technische Universiteit Eindhoven.
12. Quanjel, E., Zeiler, W., Savanović, P., Design methodology: integral approach, levels, integral design, Technische universiteit Eindhoven, document OD.05-N-io-011107-2.
13. Blanchard, B.S., 2004, System engineering management, third edition, John Wiley & Sons, Inc., ISBN 0-471-29176-5, New Jersey, USA.
14. NEN, 2008, NEN-ISO/IEC 15288 Systems and software engineering – system life cycle processes, Delft.
15. RWS, 2007, Leidraad voor systems engineering binnen de GWW-sector, Ministerie van verkeer en waterstaat.
16. Adan, O.C.G. and Bluysen, P.M., 2004, (Ver)huren in de nabije toekomst: verkennende studie naar toepassingsmogelijkheden van ruimtevaarttechnologie voor innovatie van wonen in de context van energie, TNO-rapport, Delft.
17. Claeson-Johnson, Christina, 2008, D2.1-3 Product Development Process, unpublished ManuBuild publication.
18. Sormunen, P., Holopainen, R., Jokela, M., Laine, T., Dehlin, S., Heikkilä, K., Nummelin, O., Hirvonen, T., Sandesten, S., Fristedt, S., Benning, P., Åberg P., Olofsson, T., Schade, J., Matthyssen, A., Gerene, S., Fijneman, M., Bluysen, P.M., 2009, InPro Task 2.3 Capturing stakeholder values, Deliverable 14b: Stakeholder values, stakeholder preferences and requirements for the life cycle design process, Helsinki, Finland.
19. Bluysen, P.M., 2009, The Indoor Environment Handbook, How to make buildings healthy and comfortable, (book), Earthscan, London, UK, ISBN 9781844077878.
20. PSI-Bouw, 2008, MegaTrends. PSI-Bouw, Gouda.
21. Caccavelli, D., Balaras, C., Güngerli, H., Allehaux, D., Witchen, K., Rasmussen, M.H., Bluysen, P.M., Flourentzous, F., 2000, 'EPIQR-TOBUS: a new generation of decision-aid tools for selecting building refurbishment strategies', Proceedings of Second International Conference on Decision making in urban and civil engineering, Lyon, France, vol.2, pp. 777-788.
22. Bluysen, P.M. and Cox, C., 2002, 'Indoor Environment quality and upgrading of European office buildings', Energy & Buildings, vol.34, no.2, February, pp155-162.