Systematiek in het ontwerppproces

Een onderzoek naar de mate van systematisch werken door aannemers in de asfaltwegenbouwsector

J. Boersma

Systematiek in het ontwerpproces

Een onderzoek naar de mate van systematisch werken door aannemers in de asfaltwegenbouwsector

Afstudeerscriptie:	Systematiek in het ontwerpproces; een onderzoek naar de mate van systematisch werken door aannemers in de asfaltwegenbouwsector
Uitgevoerd door:	J. Boersma
In samenwerking met:	KOAC-NPC Vestiging Apeldoorn
Opleiding:	Civiele Techniek specialisatie bouwprocesmanagement. Universiteit Twente, Enschede
Begeleiders:	Ir. K.T. Veenvliet Dr. ir. H.L. ter Huerne Ir. F. Tolman
Versie:	1.1
Status:	Definitief
Bestandsnaam:	Systematiek in het ontwerpproces definitief.pdf
Datum:	27 oktober 2006

Voorwoord

"*Een reis van duizend mijlen begint met een enkele stap"* Lao Tse

Voor u ligt het eindresultaat van mijn afstudeeronderzoek, met de titel: systematiek in het ontwerpproces, een onderzoek naar de mate van systematisch werken door aannemers in de asfaltwegenbouwsector. Met deze scriptie is een eind gekomen aan mijn studie Civiele techniek aan de Universiteit Twente. Ondanks een paar, om persoonlijke redenen, moeilijke maanden aan het begin van mijn afstuderen, heb ik met veel plezier aan deze opdracht gewerkt. Het onderzoek heeft mij veel geleerd, niet alleen op het gebied van de systematische ontwerpbenaderingen maar ook op het persoonlijke vlak. De belangrijkste les van het afgelopen anderhalf jaar is waarschijnlijk geweest dat je sommige dingen gewoon moet accepteren. Achteraf gezien is het proces misschien niet geheel vlekkeloos verlopen, maar ik kan achterom kijken en trots zijn op wat ik heb bereikt.

Dit onderzoek zou echter nooit succesvol zijn afgerond zonder de hulp en steun die ik heb gehad van mijn begeleiders. Allereerst wil ik Fedde Tolman bedanken voor zijn vakkundige begeleiding. Je kritische houding, maar ook je vertrouwen en begrip waren voor mij van grote waarde. Daarnaast wil ik ook graag mijn twee begeleiders vanuit de Universiteit Twente bedanken, die van groot belang zijn geweest voor de ontwikkeling en structuur van het rapport. Karel Veenvliet met name voor de systematische benadering en Henny ter Huerne voor de kennis met betrekking tot de wegenbouw. Jullie kritische vragen en waardevolle opmerkingen zijn voor mij van groot belang geweest en ik heb de samenwerking met jullie als zeer prettig ervaren.

Gedurende het onderzoek heb ik naast mijn begeleiders ook enorm veel hulp gehad van verschillende mensen en organisaties. Mijn dank gaat dan ook uit naar iedereen die heeft bijgedragen aan het bereiken van mijn onderzoeksdoel. Speciale dank gaat uit naar alle geïnterviewde personen bij de aannemers, die veel tijd en energie hebben gestoken in dit onderzoek. Tevens wil ik de medewerkers van het KOAC-NPC te Apeldoorn bedanken voor hun inhoudelijke bijdrage en gezelligheid.

Verder wil ik mijn familie en vrienden bedanken voor de steun en vertrouwen die zij mij hebben gegeven tijdens mijn afstudeertraject. In het bijzonder wil ik daarbij mijn vader en Leny bedanken voor de onvoorwaardelijke steun die zij mij hebben gegeven gedurende mijn studie en het afstuderen. Tot slot wil ik mijn vriendin Floor Holvast bedanken, die ondanks alle moeilijke periodes in mij is blijven geloven en mij veel steun en vertrouwen heeft gegeven.

Ik wens u veel leesplezier en hoop dat dit rapport meer inzicht verschaft in de systematiek binnen de asfaltwegenbouwsector.

Jens Boersma

Enschede, oktober 2006

Samenvatting

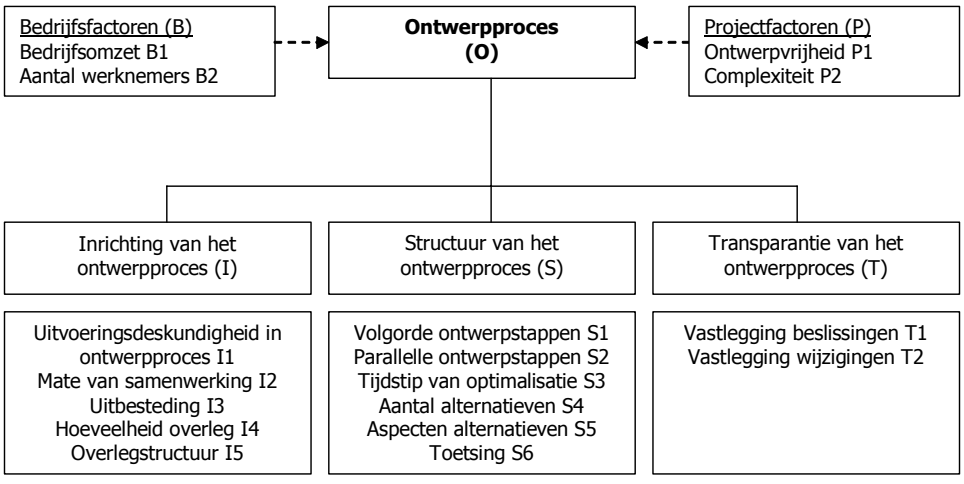
In opdracht van de Universiteit Twente is er onderzoek gedaan naar de systematiek in het ontwerpproces van de aannemer binnen de asfaltwegenbouwsector in Nederland bij geïntegreerde contractvormen. De aanleiding voor dit onderzoek is de verschuiving in de contractvormen die opdrachtgevers kiezen. Steeds vaker kiezen opdrachtgevers binnen de wegenbouwsector voor een geïntegreerde contractvorm met een functionele vraagspecificatie in plaats van een traditionele contractvorm met een RAW-bestek. Bij een geïntegreerde contractvorm is de aannemer niet alleen verantwoordelijk voor de uitvoering, maar tevens voor een aantal ontwerptaken. Deze ontwerptaken waren bij een traditionele contractvorm de verantwoordelijkheid van de opdrachtgever.

Door de integratie van ontwerptaken in het contract, vergt dit een andere benaderingswijze van de aannemer. De aannemer voert niet alleen meer uit, maar maakt ook zelf het ontwerp en wordt in de uitvoeringsfase geconfronteerd met zijn eigen ontwerp. Daarbij zijn de kosten ten gevolge van ontwerpfouten voor eigen rekening en is het claimen van meerwerk uitgesloten. Er komt dus meer nadruk te liggen op het ontwerp en het optimaliseren hiervan. Tevens speelt mee dat de aannemer in een eerder stadium de inschrijfprijs moet bepalen, terwijl de taken en projectrisico's zijn toegenomen. Om de risico's goed in te schatten en een scherpe inschrijfprijs voor het project te calculeren wordt het systematisch doorlopen van het ontwerpproces steeds belangrijker.

Ondanks de snelle opkomst van geïntegreerde contractvormen binnen de wegenbouwsector, zijn deze contractvormen voor de meeste aannemers niet meer nieuw. Er is inmiddels al een aantal jaren ervaring opgedaan met het werken met deze contractvormen. De vraag is hoe systematisch het ontwerpproces van de aannemers inmiddels is en van welke factoren dit afhangt. De doelstellingen van het onderzoek zijn dan ook: *"inzicht te krijgen in de mate waarin er systematisch wordt gewerkt door aannemers binnen de asfaltwegenbouwsector bij het doorlopen van het ontwerpproces en het bepalen van de factoren die hierop van invloed zijn".*

Onderzoeksopzet en doorlopen proces

Om de mate van systematisch werken vast te kunnen stellen is er allereerst een beschrijving gemaakt van het ontwerpproces als systeem. Hierbij is het ontwerp van een wegverharding als systeem gedefinieerd met onderliggende componenten en elementen. Tevens is er literatuuronderzoek gedaan naar systeembenaderingen die gebruikt kunnen worden voor het systematisch doorlopen van het ontwerpproces. Binnen dit onderzoek is er voor gekozen om de ontwerpbenaderingen van Systems Engineering, Value Management en Constructability te analyseren. Er wordt daarbij specifiek ingegaan op de ontstaansgeschiedenis, de kenmerken en de structuur van de ontwerpbenaderingen. Vervolgens is er een toetsingsmodel opgesteld dat gebruikt kan worden om de mate van systematisch werken in het ontwerpproces te bepalen (O). Hiervoor zijn parameters opgesteld die bepalend zijn voor de inrichting (I), de structuur (S) en de transparantie (T) van het ontwerpproces. Daarnaast zijn er externe factoren opgesteld (B en P), waarvan verondersteld is dat deze van invloed zijn op de mate van systematisch werken. Het toetsingsmodel is hieronder weergegeven:



Om de mate van systematisch werken vast te stellen en het toetsingsmodel te evalueren zijn vervolgens een aantal hypothesen opgesteld voor zowel de parameters als de externe factoren. De hypothesen zijn getoetst door middel van een praktijkonderzoek, waarbij er interviews zijn afgenomen. De interviewvragen zijn daarbij onderverdeeld in een zestal thema's, te weten: algemene ervaring met het werken met functionele vraagspecificaties, ervaringen betreffende het project, inrichting van het ontwerpproces, structuur van het ontwerpproces, transparantie van het ontwerpproces en ontwerpvrijheid. Om een beeld te krijgen van de organisatie is er tevens gevraagd naar de omzet, het aantal werknemers en het aantal projecten van het afgelopen jaar.

De interviews zijn afgenomen bij acht verschillende bedrijven die bij één of meerdere van de drie onderzochte projecten een inschrijving hebben gedaan. De selectiecriteria voor de projecten waren dat er sprake was van een geïntegreerde contractvorm met een vorm van ontwerpinspanning en dat de projecten recent waren uitgevoerd of reeds in de uitvoeringsfase waren. Er zijn voor het praktijkonderzoek elf personen geïnterviewd die direct betrokken waren bij het ontwerpproces. Daarnaast zijn er nog drie personen geraadpleegd voor aanvullende informatie.

Resultaten en conclusies

Om de resultaten van de interviews te vertalen naar de mate van systematisch werken zijn voor de parameters waarden toegekend tussen de één (onsystematisch) en vijf (systematisch). Op basis van deze waardetoekenning zijn vervolgens scores bepaald voor de inrichting, de structuur en de transparantie van het ontwerpproces. Daarnaast is er een totaalscore voor de mate van systematisch werken bepaald, waarmee onderzocht is welke invloeden de externe factoren op de mate van systematisch werken hebben.

De inrichting van het ontwerpproces is bij de onderzochte aannemers niet systematisch, maar ook niet onsystematisch met een gemiddelde score van 3,2 op een schaal van één tot vijf. Daarnaast is er veel spreiding in de onderzoekresultaten. Er zijn drie aannemers met een score van 2,3, maar ook twee aannemers met een score hoger dan vier. Er wordt bij de inrichting van het ontwerpproces over het algemeen slecht gescoord op de parameters: mate van samenwerking, uitbesteding en integratie van uitvoeringskennis in het ontwerpproces.

De structuur van het ontwerpproces is bij de aannemers systematisch met een gemiddeld score van 4,2. De spreiding is bij de structuur van het ontwerpproces ook kleiner dan bij de inrichting. Er zijn maar twee aannemers die een lagere score hebben dan vier. Deze lagere score wordt met name veroorzaakt, doordat er niet in het ontwerpproces wordt geoptimaliseerd en/of doordat dit pas op het einde van het proces plaatsvindt. Daarnaast is het opvallend dat de structuur van het ontwerpproces veel systematischer is bij het meest complexe project dan bij de overige twee projecten. Mogelijk is er een verband tussen de structuur van het ontwerpproces en de complexiteit van het project. Ondanks de systematische score voor de structuur van het ontwerpproces kan er bij de parameters optimalisatie van het ontwerp en het aantal aspecten waarvoor alternatieven worden opgesteld nog veel worden verbeterd.

De transparantie van het ontwerpproces is bij de meeste aannemers niet systematisch en er is veel spreiding in de onderzoeksresultaten. Er zijn maar vier aannemers die een score halen van drie of hoger. Dit wordt met name veroorzaakt doordat het vastleggen van de beslissingen en wijzigingen in het ontwerpproces erg slecht gebeurt en dit proces vaak niet gestructureerd is. Er zijn maar twee aannemers die op deze twee parameters wel goed scoren. Daarnaast is het opvallend dat er bij complexe projecten met meer ontwerpvrijheid een hogere score wordt gehaald voor de transparantie dan bij projecten die minder complex zijn en minder vrijheid bieden.

De mate van systematisch werken is bij de onderzochte aannemers gemiddeld 68%, maar de onderzoeksresultaten vertonen ook hier veel spreiding. Er zijn twee aannemers die een score halen die lager ligt dan 55%, maar er is ook één aannemer met een score van 85%. Over het algemeen wordt er op de inrichting en de transparantie van het ontwerpproces slecht gescoord. De structuur van het ontwerpproces is bij de onderzochte aannemers wel systematisch.

Er zijn geen duidelijke conclusies te trekken bij een onderlinge vergelijking van de aannemers. De spreiding van de scores is te groot om harde uitspraken te kunnen doen of de verschillen voortkomen uit het verschil in project of juist afhangen van de aannemer.

Anders dan verwacht blijken de externe factoren nauwelijks invloed te hebben op de mate van systematisch werken. Uit statistisch onderzoek blijkt dat alleen de complexiteit van een project invloed heeft op de mate van systematisch werken. De overige externe factoren: bedrijfsomzet, aantal werknemers en ontwerpvrijheid, lijken nauwelijks tot geen invloed te hebben op de mate van systematisch werken. Hier kunnen echter geen harde uitspraken over worden gedaan, omdat de onderzoeksresultaten te veel spreiding vertonen.

Ten slotte is er nog gekeken naar het opgestelde toetsingsmodel. Het model geeft inzicht in de mate van systematisch werken in het ontwerpproces, maar is gebaseerd op een aantal parameters waarvan verondersteld is dat deze van invloed zijn op de mate van systematisch werken. Daarnaast zijn de wegingsfactoren voor de parameters slechts door één persoon bepaald. De wegingsfactoren zijn daardoor niet objectief en het toekennen van andere wegingsfactoren kan andere conclusies tot gevolg hebben. Tevens blijkt dat alleen de externe parameter complexiteit van het project van invloed is op de mate van systematisch werken. De overige factoren hebben een te lage correlatie om hier uitspraken over te kunnen doen. Verder zijn er alleen projecten onderzocht die als middelgroot tot groot getypeerd kunnen worden. De onderzoeksresultaten geven daardoor alleen een beeld van de onderzochte aannemers bij middelgrote tot grote projecten. Door het geringe aantal projecten en het beperkte aantal respondenten kunnen er geen harde uitspraken worden gedaan over de verschillen tussen de aannemers onderling. De conclusies van dit onderzoek kunnen dus niet zonder meer gegeneraliseerd worden voor de gehele asfaltwegenbouwsector.

Inhoudsopgave

1 Inleiding 9
1.1 Ontwikkelingen in de wegenbouw 9
1.1.1 Veranderende vraag 10
1.1.2 Focus 10
1.2 Probleemstelling, centrale vraag en doelstelling 11
1.3 Afbakening 11
1.4 Onderzoeksopzet en onderzoeksmodel 12
1.5 Onderzoeksvragen 13
1.6 Leeswijzer 13

2 Het ontwerpproces als systeem 14
2.1 De weg als een systeem 14
2.1.1 Omgeving 15
2.1.2 Systeemgrens 15
2.1.3 Systeem 16
2.1.4 Het systematische ontwerpproces 16
2.2 Ontwerpbenaderingen 16
2.3 Systems Engineering 17
2.3.1 Onstaansgeschiedenis 17
2.3.2 Fasen Systems Engineering 17
2.3.3 Kenmerken Systems Engineering 18
2.3.4 Systems Engineering Proces (SEP) 19
2.3.5 Systeem analyse en controle 21
2.4 Value Management 21
2.4.1 Ontstaansgeschiedenis 21
2.4.2 Definitie 22
2.4.3 Fasen Value Management 22
2.4.4 Kenmerken Value Management 23
2.5 Constructability 24
2.5.1 Ontstaansgeschiedenis 24
2.5.2 Definitie 24
2.5.3 Fasen Constructability 25
2.5.4 Kenmerken Constructability 25
2.6 Toepasbaarheid van de ontwerpbenaderingen 26
2.7 Conclusies ten aanzien van de ontwerpbenaderingen 26

3 Karakterisering van het ontwerpproces 28
3.1 Inleiding 28
3.2 Externe factoren 28
3.2.1 Bedrijfsafhankelijke factoren 28
3.2.2 Projectafhankelijke factoren 29
3.3 Parameters van het ontwerpproces 30
3.3.1 Inrichting van het ontwerpproces (I) 30
3.3.2 Structuur van het ontwerpproces (S) 31
3.3.3 Transparantie van het ontwerpproces (T) 32
3.4 Toetsingsmodel ontwerpproces 33
3.4.1 Wegingsfactoren 33
3.4.2 Mate van systematisch werken 35
3.5 Conclusies ten aanzien van het model 36

4 Hypothesen 37
4.1 Inrichting van het ontwerpproces 37
4.2 Structuur van het ontwerpproces 38
4.3 Transparantie van het ontwerpproces 39
4.4 Externe factoren 39
4.4.1 Bedrijfsgrootte 39
4.4.2 Ontwerpvrijheid 39
4.4.3 Complexiteit van project 40
4.5 Invloed externe factoren op het ontwerpproces 40

5 Onderzoeksopzet interview en vragenlijst 42
5.1 Projecten 42
5.1.1 Project C: A2 "Slingertracé" 42
5.1.2 Project D: A73 "Wegvak F en G" 43
5.1.3 Project E: aanleg spits- en plustroken A1/A50 44
5.2 Onderzoekstrategie 45
5.2.1 Respondenten 46
5.2.2 Onderwerpen en vragen 46

6 Resultaten en analyse 48
6.1 Inrichting van het ontwerpproces 48
6.1.1 Score voor de inrichting van het ontwerpproces 49
6.2 Structuur van het ontwerpproces 50
6.2.1 Score voor de structuur van het ontwerpproces 52
6.3 Transparantie van het ontwerpproces 53
6.3.1 Score voor de transparantie van het ontwerpproces 54
6.4 Mate van systematisch werken 55
6.5 Externe factoren 56
6.6 Invloed externe factoren op het ontwerpproces 58
6.6.1 Bedrijfsafhankelijke factoren 59
6.6.2 Projectafhankelijke parameters 60

7 Conclusies en aanbevelingen 62
7.1 Conclusies 62
7.1.1 Inrichting van het ontwerpproces 62
7.1.2 Structuur van het ontwerpproces 62
7.1.3 Transparantie van het ontwerpproces 62
7.1.4 Mate van systematisch werken 63
7.1.5 Invloed van externe factoren 63
7.1.6 Toetsingsmodel 63
7.2 Aanbevelingen 64
7.2.1 Aanbevelingen voor de praktijk 64
7.2.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek 65

Referentielijst 66

Bijlagen 69

1 Inleiding

De wegenbouwsector in Nederland is een sector die van oudsher zeer traditioneel werkt en weinig aan veranderingen onderhevig is. De ervaringen en werkwijzen zijn in de loop der jaren ontwikkeld en deze zijn eigenlijk na de invoering van de RAW-systematiek[1] nauwelijks meer veranderd. Toch is hier de laatste jaren een verandering in gekomen door de opkomst van geïntegreerde contractvormen.

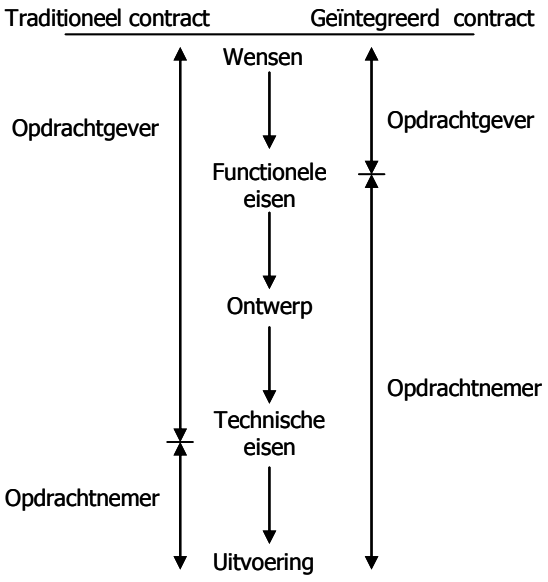
Bij geïntegreerde contractvormen is de aannemer niet alleen voor de uitvoering, maar ook voor het geheel of gedeeltelijk maken van een ontwerp en soms zelfs voor het onderhoud verantwoordelijk. De verschillende taken worden daarbij ondergebracht in één contract, waardoor er sprake is van een geïntegreerd karakter. Dit vergt een andere benaderingswijze van de aannemer omdat de aannemer wordt geconfronteerd met een veranderende vraag, waarbij het niet alleen meer gaat om het uitvoeren, maar waarbij er ook een ontwerpinspanning wordt verlangd. De kosten ten gevolge van ontwerpfouten zijn daarbij voor eigen rekening en het claimen van meerwerk is bij geïntegreerde contractvormen uitgesloten. Er komt daardoor meer nadruk te liggen op het ontwerp en het optimaliseren hiervan. Tevens speelt mee dat de aannemer in een eerder stadium de inschrijfprijs moet bepalen, terwijl de taken en projectrisico's zijn toegenomen. Een systematisch ontwerpproces wordt daardoor steeds belangrijker.

In dit onderzoek zal worden ingegaan op de systematiek in het ontwerpproces van de aannemers binnen de asfaltwegenbouwsector in Nederland.

1.1 Ontwikkelingen in de wegenbouw

De laatste jaren is er binnen de wegenbouw een sterke toename in de toepassing van geïntegreerde contractvormen. Opdrachtgevers kiezen steeds vaker voor deze contractvormen en RWS streeft zelfs "*naar minimaal 80% design & construct"* (Bouwweb, 2004). In dergelijke geïntegreerde contractvormen *"wordt het ontwerp van een object niet langer gemaakt in opdracht van de opdrachtgever, maar van de aanbieder"* (Bouwweb, 2004). Het doel is meer over te laten aan de markt, waardoor de overheid zich meer kan richten op haar kerntaken. Er wordt in dit verband dan ook gesproken over een terugtredende overheid.

Een gevolg van een terugtredende overheid is dat het moment van aanbesteden in het bouwproces naar voren schuift en dat de opdrachtnemende partij eerder in het proces wordt betrokken. Dit heeft niet alleen consequenties voor de aannemer die meer verantwoordelijkheden krijgt en eerder betrokken raakt in het proces, maar ook voor de opdrachtgever die de eisen verwoord. Bij de traditionele contractvormen worden de opdrachten vaak door de opdrachtgever tot in detail voorgeschreven en vinden de aanbestedingen plaats op basis van volledig gespecificeerde bestekken en uitgewerkte asfaltconstructies. De opdrachtnemende partij wordt hierdoor " (…) *geen ruimte geboden om zijn kennis en inventiviteit in het project in te brengen"* (Regieraad Bouw, 2004, p.6). Bij geïntegreerde contractvormen wordt niet meer tot in detail gespecificeerd hoe de asfaltconstructie er uit dient te zien, maar wordt volstaan met het specificeren van functionele eisen waarbij " *wordt aangegeven wat de gewenste (gebruiks-)eigenschappen zijn (onafhankelijk van de gekozen oplossing)"* (DWW, 1991, p.8).



Figuur 1.1: Schematisch overzicht verschuiving van verantwoordelijkheden

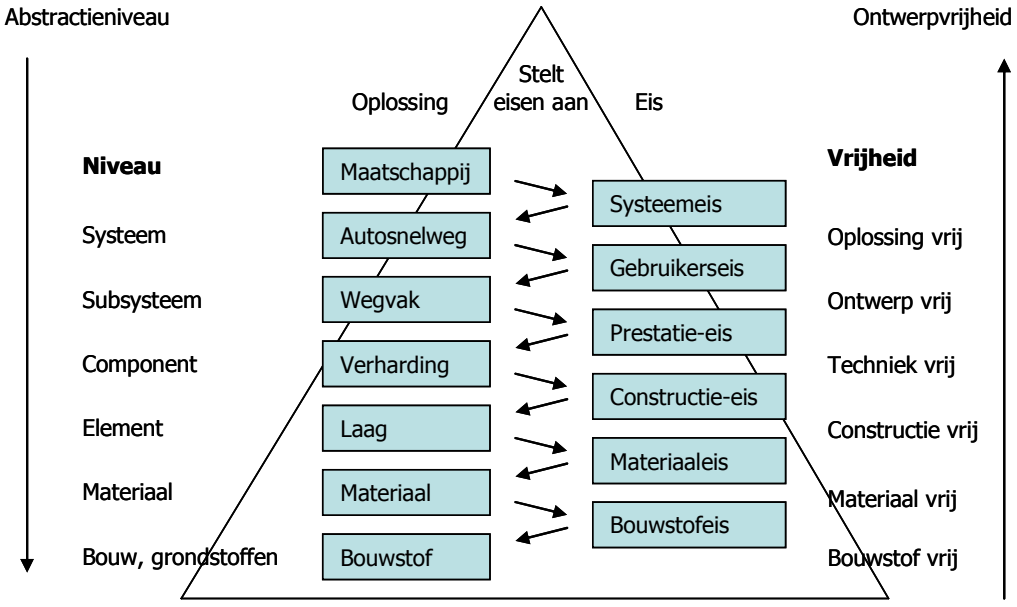
1 R.A.W. staat voor: Rationalisatie en Automatisering in de Grond-, Water- en Wegenbouw.

Het uitwerken van een ontwerp is de taak van de opdrachtnemer en de opdrachtgever hoeft " *feitelijk alleen maar de eisen functioneel te specificeren en hoeft zich niet te bekommeren over de vraag hoe een bepaalde functionaliteit gerealiseerd kan worden, want dat is strikt genomen het probleem van de opdrachtnemer"* (DWW, 1991, p.18). Deze vernieuwende werkwijze, waarbij de opdrachtgever functioneel specificeert en er aanbesteding plaats vindt op basis van een functionele vraagspecificatie wordt binnen dit onderzoek de veranderende vraag genoemd.

1.1.1 Veranderende vraag

Waar vroeger de technische vraagspecificaties op basis van een R.A.W.-bestek werden opgesteld, is er nu sprake van een functionele vraagspecificatie met functionele eisen. In plaats van voorgeschreven laagdiktes, constructieopbouw en asfaltmengsels, worden er nu eisen gesteld aan de weerstand van de constructie tegen vervormingen en rafeling over een bepaalde gebruiksduur; kortom er worden eisen gesteld aan het presteren van de constructie. Het idee achter deze manier van specificeren is, dat de opdrachtnemende partij de ruimte wordt gelaten om een oplossing te bedenken die voldoet aan de eisen in plaats van een oplossing voor te schrijven. Door de eisen te omschrijven als oplossingsvrije functies waaraan het ontwerp dient te voldoen, wordt aan de opdrachtnemer de ruimte gelaten om het meest geschikte ontwerp aan te bieden.

Er wordt in dit verband dan ook vaak gesproken over een hiërarchie van eisen, waarbij de eisen zijn onderverdeeld in een aantal niveaus. Hoe hoger het niveau, hoe hoger het abstractieniveau en de ontwerpvrijheid voor de opdrachtnemer. Om dit inzichtelijk te maken, zijn de eisen op verschillende abstractieniveaus weergegeven in een piramide van eisen:



Figuur 1.2: Piramide van eisen (CROW, 2004a)

Daarnaast spelen ook andere aspecten van het ontwerp een steeds belangrijkere rol. Waar vroeger alleen gelet werd op het kostenaspect, worden de leefbaarheid en duurzaamheid van het ontwerp in toenemende mate belangrijk. Er worden steeds vaker eisen gesteld met betrekking tot overlast voor de weggebruikers en omwonenden tijdens aanleg en onderhoud. Het life-cycle ontwerpen, waarbij getracht wordt de kosten van het ontwerp over zijn gehele levensduur te optimaliseren, neemt daarbij een steeds prominentere rol in bij de selectiecriteria van opdrachtgevers.

1.1.2 Focus

De veranderende vraag zorgt voor meer verantwoordelijkheden en ontwerpvrijheden bij marktpartijen, doordat de opdrachtgever geen technisch bestek meer opstelt maar al zijn eisen (functioneel) verwoordt in een programma van eisen. Dit biedt aannemers meer ruimte voor innovativiteit en het optimaliseren van bedrijfsprocessen.

Door het gebruik van geïntegreerde contractvormen zal het niet alleen meer gaan om "*het leveren van capaciteit*" , maar wordt het ook belangrijk *"wie de slimste geïntegreerde oplossing kan aanbieden (product, services)*" (Bouwweb, 2004). Bij de traditionele werkwijze *"werden ontwerpen niet gemaakt in competitie , waardoor er minder gelet werd op over-engineering, constructability en klantbehoefte "* (Bouwweb, 2004). Daarnaast wordt er bij de traditionele bestekken alleen gegund op basis van de laagste prijs, waardoor het voor aannemers niet aantrekkelijk is om met innovatieve, maar duurdere oplossingen te komen die een langere levensduur hebben en lagere life-cycle-kosten (NRC, 2001). Bij geïntegreerde contractvormen worden kwalitatieve aspecten wel steeds meegenomen door te gunnen op basis van de meest economisch voordelige inschrijving (EMVI). Hierdoor worden aannemers gedwongen ook op de kwaliteit van het geleverde product te letten. De aannemers dienen niet alleen meer te zoeken naar oplossingen die voldoen aan de gestelde functionele eisen, maar worden tevens uitgedaagd om innovatieve en kostenefficiënte life-cycle oplossingen te genereren.

1.2 Probleemstelling, centrale vraag en doelstelling

De toepassing van geïntegreerd contractvormen dwingt aannemers niet alleen te streven naar het optimaliseren van de uitvoering, maar ook naar het optimaliseren van het ontwerp. Er komt dus ook nadruk te liggen op de beheersing en kwaliteit van het ontwerp. Daarnaast worden de projecten steeds complexer, waardoor een systematische werkwijze bij het doorlopen van het ontwerpproces steeds belangrijker wordt. Dit leidt tot de volgende **probleemstelling**:

"Door de toepassing van geïntegreerde contractvormen dienen aannemers het ontwerpproces systematisch te doorlopen, doordat er nadruk komt te liggen op het life-cycle ontwerpen en de constructability van de oplossing"

Geïntegreerde contractvormen worden echter al enige jaren toegepast binnen de wegenbouwsector en er is dus reeds door de meeste aannemers binnen de sector al ervaring opgedaan met het werken hiermee. De vraag is dan ook in hoeverre de aannemers het ontwerpproces al systematisch benaderen en van welke factoren de mate van systematisch werken afhangt.
De **centrale vraag** voor dit onderzoek is dan ook als volgt geformuleerd:

"Hoe systematisch is het ontwerpproces bij de aannemer en van welke factoren hangt dit af?"

De hieraan gekoppelde tweeledige **doelstelling** voor het onderzoek is:

"Het doel van het onderzoek is inzicht te krijgen in de mate waarin er systematisch wordt gewerkt door aannemers binnen de asfaltwegenbouwsector bij het doorlopen van het ontwerpproces en het bepalen van de factoren die hierop van invloed zijn".

1.3 Afbakening

Dit onderzoek richt zich uitsluitend op de ontwerpprocessen van aannemers binnen de asfaltwegenbouwsector in Nederland. Er is gekozen voor deze sector, omdat de sector van oudsher traditioneel werkt, maar door de versnelde invoering van de "nieuwe" contractvormen geconfronteerd wordt met de noodzaak van het invoeren van een systematische werkwijze.

Daarnaast richt het onderzoek zich alleen op de ontwerpprocessen van aannemers bij geïntegreerde contractvormen. Traditionele contractvormen, waarbij slechts een klein deel of zelfs helemaal geen ontwerpwerk gevraagd wordt, worden buiten beschouwing gelaten.

Er wordt binnen het onderzoek alleen gekeken naar het ontwerpproces gedurende de pre-gunningsfase. Deze fase, voorafgaande aan de gunning, wordt binnen dit onderzoek de tenderfase genoemd. Het ontwerpproces wordt in de tenderfase onderzocht, omdat in deze fase bij geïntegreerde contractvormen vaak het meeste ontwerpwerk wordt gedaan.

Tenslotte wordt er binnen het onderzoek alleen gekeken naar het ontwerpproces van de aannemer en worden andere markpartijen, zoals ingenieursbureaus, buiten beschouwing gelaten.

1.4 Onderzoeksopzet en onderzoeksmodel

Om inzicht te krijgen in de mate van systematisch werken bij de aannemer binnen het ontwerpproces, dient eerst gedefinieerd te worden wat er onder "systematisch werken" wordt verstaan. Binnen dit onderzoek is een systematisch proces gedefinieerd als een proces waarbij alle stappen expliciet worden doorlopen en worden vastgelegd. Een ontwerpproces waarbij dit impliciet gebeurd wordt binnen dit onderzoek een traditioneel proces genoemd.

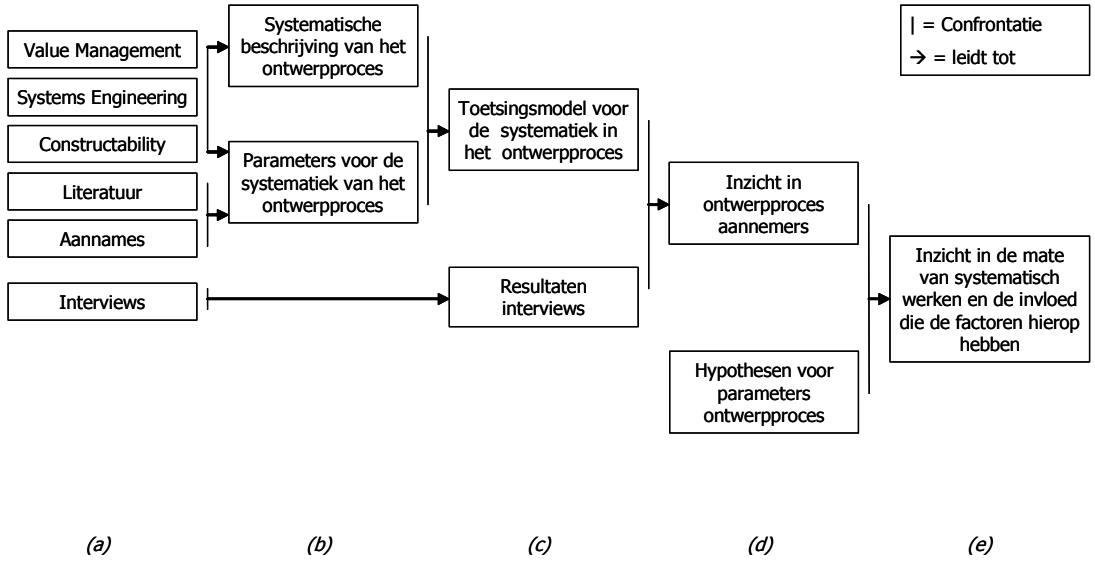
Om een beeld te krijgen van het ontwerpproces van de aannemer wordt een beschrijving gemaakt van het ontwerpproces als systeem. Hierbij wordt het ontwerp van een wegverharding als systeem gedefinieerd. Tevens wordt er literatuuronderzoek verricht naar de systeembenaderingen die gebruikt kunnen worden voor het systematisch doorlopen van het ontwerpproces. Hiervoor worden de systeembenaderingen van Systems Engineering (SE), Value Management (VM) en Constructability (CS) onderzocht.

Vervolgens worden er parameters opgesteld te worden, waarmee bepaald kan worden hoe systematisch het ontwerpproces is. De parameters worden opgesteld aan de hand van de onderzochte systeembenaderingen en aanvullende literatuur. Op basis van de parameters wordt een toetsingsmodel opgesteld, welke gebruikt kan worden om de mate van systematisch werken te bepalen.

Om dit toetsingsmodel te kunnen evalueren worden hypothesen opgesteld, die worden afgeleid uit de literatuur. De hypothesen geven veronderstellingen weer voor de parameters die de systematiek in het ontwerpproces beschrijven. Daarnaast worden er hypothesen opgesteld voor de invloed die de externe factoren op de mate van systematisch werken hebben. De hypothesen worden door middel van een praktijkonderzoek getoetst, waarbij er interviews worden afgenomen.

De onderzoeksresultaten worden vervolgens met behulp van het opgestelde toetsingsmodel omgezet in een score voor de mate van systematisch werken in het ontwerpproces. Hiermee worden dan de hypothesen getoetst en ontstaat er inzicht in de mate waarin er systematisch wordt gewerkt en van welke factoren de mate van systematisch werken afhangt.

De beschrijving van de onderzoeksopzet resulteert in het volgende onderzoeksmodel:



Figuur 1.3: Onderzoeksmodel

Het hierboven weergegeven onderzoeksmodel kan als volgt worden verwoord:
Aan de hand van een literatuuronderzoek waarbij Systems Engineering, Value Management en Constructability (a) worden onderzocht, wordt een systematische beschrijving voor het ontwerpproces opgesteld (b). Daarnaast worden op basis van aannames en de onderzochte literatuur parameters opgesteld voor de systematiek in het ontwerpproces. Hiermee wordt een toetsingsmodel voor de systematiek in het ontwerpproces opgesteld (c). Uit de vergelijking van het toetsingsmodel en de resultaten van de interviews volgt inzicht in het ontwerpproces van de aannemers (d). Door het inzicht in de ontwerpprocessen van de aannemers te vergelijken met de hypothesen wordt inzicht verkregen in de mate waarin er systematisch wordt gewerkt binnen het ontwerpproces en de factoren die hierop van invloed zijn (e).

1.5 Onderzoeksvragen

Op basis van de doelstelling, de centrale vraag en het onderzoeksmodel zijn de volgende onderzoeksvragen afgeleid:

I. Op welke wijze kan het ontwerpproces systematisch worden beschreven?
    A. Welke theoretische ontwerpbenaderingen kunnen worden gebruikt voor het ontwerpproces?
    B. Welke conclusies kunnen worden getrokken naar aanleiding van de onderzochte ontwerpbenaderingen?

II. Op welke wijze kan het ontwerpproces worden gekarakteriseerd?
    A. Welke externe factoren worden verwacht van invloed te zijn op de systematiek in het ontwerpproces?
    B. Welke parameters zijn bepalend voor de mate van systematisch werken in het ontwerpproces?
    C. Hoe wordt de mate van systematisch werken in het ontwerpproces bepaald?

III. Welke hypothesen kunnen worden afgeleid over de mate van systematisch werken en de parameters die hier invloed op hebben?
    A. Welke hypothesen kunnen worden opgesteld betreffende de parameters van het ontwerpproces?
    B. Welke hypothesen kunnen worden opgesteld voor de externe factoren die van invloed zijn op het ontwerpproces?

IV. Welk beeld komt er naar voren uit een vergelijking tussen de hypothesen en de praktijk?
    A. In hoeverre kunnen de hypothesen bevestigd of verworpen worden?
    B. Hoe systematisch werken de aannemers op basis van het onderzoeksmodel
    C. Hoeveel invloed hebben de externe factoren op de systematiek in het ontwerpproces?

1.6 Leeswijzer

Voor de indeling van dit rapport is grotendeels het onderzoeksmodel gevolgd. In hoofdstuk twee zal worden ingegaan op de systematische beschrijving van het ontwerpproces en de systeembenaderingen Systems Engineering, Value Management en Constructability. In hoofdstuk drie worden de parameters opgesteld welke bepalend zijn voor de systematiek in het ontwerpproces. Daarnaast wordt er een toetsingsmodel opgesteld, welke gebruikt kan worden om de mate van systematisch werken te bepalen. Vervolgens worden er in hoofdstuk vier een aantal hypothesen opgesteld. In hoofdstuk vijf wordt de onderzoeksopzet voor de interviews beschreven en wordt er in gegaan op de geselecteerde projecten en de vragenlijst. Hoofdstuk zes beschrijft de onderzoeksresultaten en de toetsing van de hypothesen op basis van de onderzoeksresultaten. Tot slot worden in hoofdstuk zeven de conclusies getrokken en worden er aanbevelingen gedaan over de mate van systematisch werken door aannemers bij het doorlopen van het ontwerpproces en de factoren die hierop van invloed zijn.

2 Het ontwerpproces als systeem

In dit hoofdstuk zal in worden gegaan op de ontwerpbenaderingen die gebruikt kunnen worden, om op een systematische wijze het ontwerpproces te doorlopen. Er wordt daarbij een beschrijving gegeven van het systeem dat binnen dit onderzoek wordt beschouwd, namelijk het ontwerpproces van asfaltverhardingen bij een geïntegreerde contractvorm. Daarna volgt een beschrijving van de theoretische benaderingswijzen die gebruikt kunnen worden om het ontwerpproces systematisch te doorlopen. Aan het einde van dit hoofdstuk worden de benaderingswijzen met elkaar vergeleken en worden een aantal conclusies getrokken over de toepasbaarheid voor het ontwerpproces bij de aannemer.

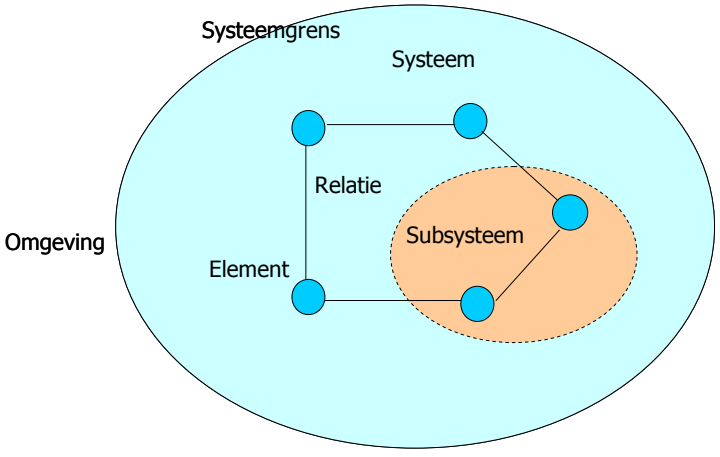
2.1 De weg als een systeem

Wegen zijn zo oud als de mensheid en het doel is gedurende de eeuwen onveranderd gebleven, namelijk transport mogelijk maken tussen een vertrekpunt en een plaats van bestemming. In eerste instantie waren wegen smal en onverhard, omdat ze alleen werden belopen door mensen en of lastdieren, maar dit veranderde door de Romeinen. De Romeinen zagen in dat, door middel van het verharden van de ondergrond, het transport per as aanzienlijk sneller kon dan voorheen. Aanvankelijk zagen wegen er uit als zijnde zandpaden, maar door het toepassen van stenen werd de capaciteit aanzienlijk vergroot waardoor het transport sneller kon plaats vinden. Toen in de 20^{e} eeuw de vervoersmiddelen steeds sneller begonnen te worden en de geluidsproductie toenam, rees ook de vraag naar meer comfort en uiteindelijk veiligheid.

Door de snelle groei van ons wegennetwerk en de toenemende mobiliteit neemt het aantal verplaatsingen nog steeds toe en is de term leefbaarheid in opkomst gekomen. Bij de aanleg van wegen is het tegenwoordig van belang dat de natuur en omgeving beschermd worden en dat niet alles ten koste van mobiliteit wordt opgeofferd. De functie van een weg is in de loop der jaren onveranderd, maar de eisen die hieraan gesteld worden zijn uitgebreid.

Specificaties gerelateerd aan tijd, comfort, veiligheid, leefbaarheid, capaciteit en kosten, en die bepalend zijn voor het ontwerp, zijn aan de hoofdfunctie van de weg toegevoegd. Het ontwerpen van een weg is daardoor niet meer het aanleggen van een zandpad, maar is een ontwerpproces op zich geworden. De weg is niet meer alleen een object dat slechts één functie heeft, maar is een systeem geworden dat meerdere functies dient te vervullen. De weg dient als systeem beschouwd te worden, waarbij het ontwerpen ervan vraagt om een systematische benadering.

Systeembenadering is een werkwijze om verschijnselen te bestuderen als een geheel met een onderlinge samenhang en een wisselwerking met de omgeving (Churchman, 1975). De weg kan dus als systeem worden beschouwd, met haar eigen omgeving, systeemgrenzen en elementen (KOAC-NPC, 2005).



Figuur 2.1: Systeembegrippen

2.1.1 Omgeving

De omgeving van het systeem wegverharding wordt bepaald door een aantal kenmerken binnen de wegenbouwsector. Aangezien het bespreken van alle kenmerken van de wegenbouwsector een studie op zich is, is besloten hier een aantal kenmerken weer te geven om een algemeen beeld te schetsen van de wegenbouwsector. Hierbij wordt ingegaan op:

- Fusies
- Terugtredende overheid
- Aanbestedingsbeleid

Fusies

De wegenbouwsector heeft de laatste jaren veel veranderingen meegemaakt, mede als gevolg van de bouwfraude. Een van de belangrijkste veranderingen is wel dat het aantal wegenbouwers de laatste jaren sterk is afgenomen ten gevolge van fusies. "*In de grond-, water- en wegenbouwsector (GWW) zijn zes bouwconglomeraten actief, ongeveer twintig middelgrote bedrijven en ruim 600 kleinere ondernemingen". Afgezien van de heel grote bedrijven zijn de meeste wegenbouwers alleen in de eigen regio actief"* (NRC, 2001). De fusies zijn voor een deel het gevolg van de bouwfraude en het geschade vertrouwen, maar ook van de economische omstandigheden en het steeds groter worden van projecten. De wegenbouwsector is qua materieel kapitaalintensief en de marges zijn relatief klein, waardoor er efficiënt gewerkt moet worden. Een van de manieren om dit te realiseren is schaalvergroting.

Terugtredende overheid

De overheid is binnen de wegenbouwsector bijna altijd opdrachtgever. Dit betekent dat in bijna alle gevallen de marktpartijen te maken krijgen met een opdrachtgever waarbij items als maatschappelijk belang en maatschappelijke verantwoordelijkheid een prominente rol spelen. Rijkswaterstaat heeft echter besloten dat het haar invloed op het gehele proces wil terugdringen en zich meer wil gaan richten op haar kerntaken. Dit betekent dat verantwoordelijkheden die vroeger bij de overheid lagen, verschuiven naar de marktpartijen. De marktpartijen krijgen dus meer verantwoordelijkheden en de verantwoordelijkheden van de opdrachtgever nemen af. Dit past binnen het beleid om nieuwe bestekken als geïntegreerde contractvormen op de markt te zetten. Dit vereist echter wel een hele ander werkwijze waarbij de opdrachtgever niet meer sturend, maar toetsend aanwezig is bij het ontwerpproces. De opdrachtgever dient in een eerder stadium zijn eisen bekend te maken en meer aan de markt over te laten.

Aanbestedingsbeleid

Waar in het verleden gunning plaats vond op basis van de laagste prijs is de laatste jaren het kwaliteitsaspect steeds belangrijker geworden. Door het toepassen van geïntegreerde contractvormen is de weg vrij gemaakt om kwalitatieve aspecten op een andere manier te toetsen. De opdrachtgever kan er voor kiezen om te gunnen op basis van de Economisch Meest Verantwoordde Inschrijving (EMVI). Hierbij heeft de opdrachtgever de mogelijkheid om naast de prijs ook kwalitatieve aspecten in de beoordeling mee te nemen. Deze vorm van gunning wordt nog maar weinig toegepast, maar is wel in sterke opkomst. Vermoedelijk vinden opdrachtgevers het lastig om de kwalitatieve aspecten te beoordelen en hebben zij weinig vertrouwen in de oplossingen die marktpartijen aanbieden. Als gevolg hiervan is de prijs vaak bepalend en hebben de kwalitatieve aspecten nauwelijks een rol van betekenis bij de gunning.

2.1.2 Systeemgrens

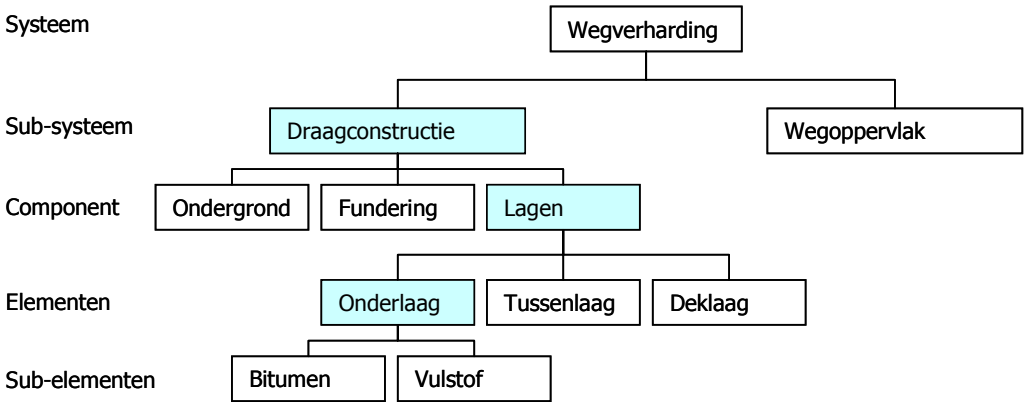
De systeemgrens wordt afgebakend door de scope van het project. Het is afhankelijk van de aspecten die de aannemer dient mee te nemen in de aanbieding. De systeemgrens wordt afgebakend door het programma van eisen en de mate van detaillering, die door de opdrachtgever wordt gevraagd. Dit wordt ook wel de vraagspecificatie genoemd en de opdrachtgever heeft bij geïntegreerde contractvormen hiervoor drie opties (CROW, 2000, p15):

- De aannemer is verantwoordelijk voor het voorlopig ontwerp, het definitief ontwerp en het uitvoeringsontwerp.
- De aannemer is verantwoordelijk voor het definitief ontwerp en het uitvoeringsontwerp.
- De aannemer is alleen verantwoordelijk voor het uitvoeringsontwerp.

Bij de laatste vorm dient opgemerkt te worden, dat de ontwerptaken minimaal zijn, waardoor er niet meer echt sprake is van een geïntegreerde contractvorm.

2.1.3 Systeem

Het systeem wordt gevormd door de afbakening van de systeemgrenzen. Alles wat binnen de systeemgrenzen valt is onderdeel van het systeem. Het systeem kan daarbij worden onderverdeeld in sub-systemen, componenten en elementen. In onderstaand figuur is een voorbeeld gegeven van het systeem wegverharding, dat bestaat uit de subsystemen draagconstructie en wegoppervlak.



Figuur 2.2: Voorbeeld systeem wegverharding (CROW, 2004a)

Om een ontwerp te maken voor de wegverharding dient rekening te worden gehouden met de eisen die worden gesteld op ieder niveau. Het ontwerpproces wordt daarbij doorlopen van grof naar fijn, waarbij er gewerkt wordt naar een gedetailleerde oplossing. De onderliggende eisen zijn daarbij van invloed op de eisen die op een hoger niveau worden gesteld. De ruimte die de ontwerpende partij daarbij heeft voor een oplossing wordt binnen dit onderzoek de ontwerpvrijheid genoemd. De ontwerpvrijheid bepaalt de keuzevrijheid voor een bepaalde type component of element.

2.1.4 Het systematische ontwerpproces

Door de weg als een systeem te zien, met bijbehorende subsystemen, componenten en elementen wordt het ontwerpproces een onderdeel van het totale proces om tot een systeem te komen. Het ontwerpproces wordt daarbij afgebakend door de vraagspecificatie en de eisen die gesteld worden aan het systeem. Deze eisen zijn binnen een functionele vraagspecificatie vaak omgezet in functies waaraan het systeem dient te voldoen. Het ontwerp dient dus te voldoen aan alle eisen die gesteld worden op alle verschillende niveaus en de functies die hieraan gekoppeld zijn. Door deze samenhang en de toegenomen complexiteit van de projecten dient het ontwerp aan steeds meer eisen te voldoen en wordt het gestructureerd doorlopen van het proces essentieel. Door het ontwerpproces systematisch te benaderen kan het proces gestructureerd worden doorlopen.

2.2 Ontwerpbenaderingen

Om het ontwerpproces te doorlopen kunnen verscheidene ontwerpmethoden worden gebruikt. Door de toenemende complexiteit van de projecten komt er echter steeds meer nadruk te liggen op het gestructureerd doorlopen van dit proces. Het dimensioneren van de asfaltlagen is niet meer de hoofdtaak van het ontwerpen, maar slechts een onderdeel geworden van het ontwerpproces. Dit wordt benadrukt door het toenemende aantal competenties in het ontwerpproces. Het ontwerpen van een weg is een proces op zich geworden, die vraagt om systematische benadering, waarbij de weg als systeem wordt gezien. Omdat de systeembenadering centraal staat in dit onderzoek, is er voor gekozen om de ontwerpbenaderingen Systems Engineering, Value Management en Constructability te onderzoeken. Deze benaderingen komen alledrie voort uit de systeemleer en hebben elk hun proceseigen kenmerken. Er zal in deze paragraaf worden ingegaan op de ontstaansgeschiedenis, de kenmerken en structuur van de ontwerpbenaderingen. Aan het einde van deze paragraaf worden de benaderingen met elkaar vergeleken en worden er conclusies getrokken.

2.3 Systems Engineering

Systems Engineering (SE) is een systematische benadering voor de aanpak van product- of procesgerichte probleemaanduiding. Het doel daarbij is het probleem te beschouwen als een geheel in plaats van afzonderlijke deelproblemen. SE is de afgelopen jaren binnen de Nederlandse infrabouw sterk in opkomst gekomen als de systematische benaderingswijze. Dit komt met name door de keuze van grote opdrachtgevers, zoals Prorail en RWS, die het gebruik van SE voorschrijven. Daarnaast worden projecten steeds omvangrijker en gecompliceerder, waardoor het traceerbaar maken van de eisen belangrijk wordt. Ook dit is een reden dat steeds meer bedrijven in de sector kiezen voor het gebruik van SE.

2.3.1 Onstaansgeschiedenis

Systems Engineering is tijdens de tweede wereldoorlog ontstaan bij het department of defense (DOD) in de Verenigde Staten. Het idee achter SE ontstond bij de ontwikkeling van een nieuw type vliegtuig. De subsystemen zoals aandrijving, besturing en chassis functioneerden afzonderlijke wel, maar waren als systeem niet optimaal. Er werd besloten het vliegtuig te beschrijven als een systeem, waarbij ieder onderdeel werd omschreven als een functie waaraan het diende te voldoen (INCOSE, 2004, p.9). Door een rangorde aan te brengen in de functies ontstonden sub-systemen, componenten en elementen, die als geheel het systeem vormden.
SE begon als ontwerpbenadering pas echt te evolueren tijdens de jaren vijftig. Tijdens deze periode vond het gevecht plaats om als eerste de ruimte in te gaan en kernraketten te ontwikkelen. Door de extreme druk gedurende het ontwerpproces werden methoden en technieken ontwikkeld om systeemperformance en projectmanagement toe te kunnen passen. In dezelfde tijd kwam ook SE in opkomst binnen de commerciële sector.

SE evolueerde gedurende de jaren en standaardiseerde het gebruik van specificaties, interface control documenten, ontwerp-reviews en configuratiemanagement. Dit werd nog eens versneld door de opkomst van de computer, waardoor intensieve simulaties, evaluaties van systemen, subsystemen en componenten mogelijk werden. Hierdoor zijn accurate synthesen van systeem elementen en trade-offs mogelijk. Tegenwoordig is SE " een interdisciplinair engineering management proces, waarbij een geïntegreerde life-cycle gebalanceerde set van systeem oplossingen geëvolueerd en geverifieerd worden om tegemoet te komen aan de eisen van de klant" (Veenvliet, 1999).

2.3.2 Fasen Systems Engineering

Om tot deze set van systeem oplossingen te komen worden binnen het SE-proces een aantal fasen doorlopen welke voortkomen uit de integratie van de drie hoofdactiviteiten:

- Ontwikkelfase
- Systems Engineering Proces (SEP)
- Life-cycle integratie

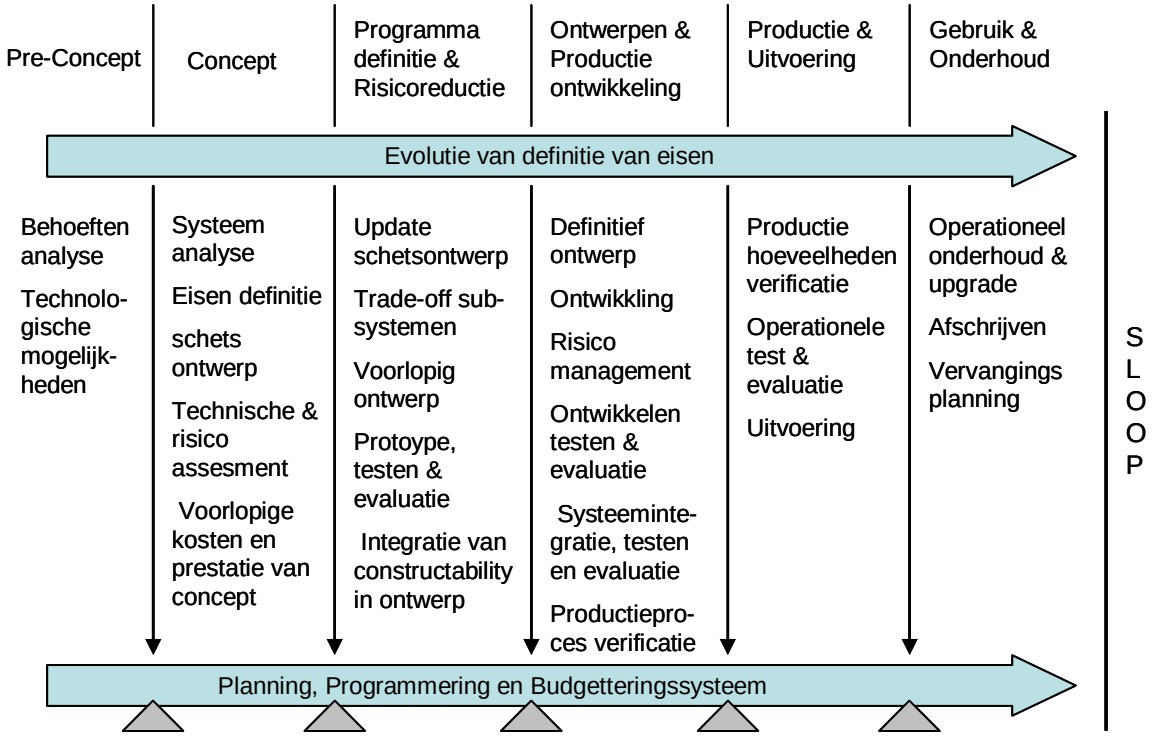
Ontwikkelfase
Tijdens deze fase wordt het ontwerpproces gecontroleerd en worden uitgangspunten opgesteld om de ontwerptaken te coördineren. Bij het doorlopen van de ontwikkelfase worden daarbij de volgende fasen doorlopen:

- Conceptfase: In deze fase wordt een beschrijving van het concept systeem gegenereerd.
- Systeemfase: In deze fase wordt het systeem beschreven in prestatie-eisen.
- Subsysteem/componentenfase: In deze fase worden eerst een set subsystemen en prestatiebeschrijvingen van componenten geproduceerd. Hierna volgt een set gedetailleerde beschrijvingen van de productkarakteristieken, welke essentieel zijn voor productie.

System Engineering Proces
"Het systems engineering proces (SEP) is een veelomvattend, iteratief en terugkerend probleem oplossend proces, wat sequentieel top-down wordt toegepast door geïntegreerde teams" (Veenvliet, 1999). Het transformeert de wensen en eisen in een set van systeemproducten en procesomschrijvingen, genereert informatie voor beslissingsmakers en zorgt voor input voor het volgende niveau van ontwikkeling.

Het proces wordt sequentieel toegepast, wat inhoudt dat telkens één ontwikkelniveau per keer wordt bekeken. Er worden dan additionele details en definitie-eisen toegevoegd aan ieder niveau van ontwikkeling.

Life-cycle integratie
Bij Life-cycle integratie worden de wensen van de klant in het ontwerpproces betrokken en wordt er getracht om een systeem te ontwikkelen dat bruikbaar blijft gedurende de levensduur. Dit wordt bevorderd door het gebruik van interdisciplinaire teams en het doel is alle eisen die voortkomen uit alle life-cycle functies in het ontwerp te integreren. Life-cycle integratie is niet specifiek bedoeld voor bepaalde fasen in het bouwproces, maar kan gedurende het gehele proces van initiatieffase tot en met het onderhoud wordt toegepast (INCOSE, 2004, p.21). Het programma van eisen evolueert hierbij gewoon mee gedurende de fasen. Voor alle fasen van iniatief tot sloop staan hieronder de taken weergegeven waar life-cycle integratie op toegepast kan worden.



Figuur 2.3: Overzicht fasen life-cycle (INCOSE, 2004)

2.3.3 Kenmerken Systems Engineering

De basis principes van System Engineering zijn:

- Begrijp een probleem voor een oplossing wordt gegenereerd.
- Onderzoek alternatieve oplossingen
- Verifieer of de gekozen oplossing correct is voordat deze verder wordt gedefinieerd

Om deze principes te waarborgen wordt het systems engineering proces (SEP) iteratief doorlopen tijdens iedere fase van de ontwerpcyclus. Hierbij vindt voortdurend controle plaats van de eisen, alvorens een volgende fase wordt ingegaan. De stappen die gedurende het SEP worden doorlopen zijn:

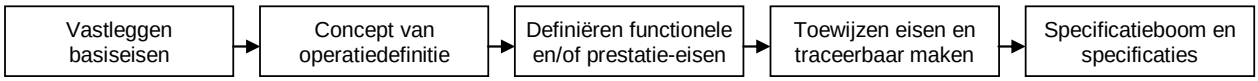
- Bepaal de prestatiebehoeften (Behoeften analyse).
- Definieer de systeemdoelen (Gebruikersbehoeften).
- Bepaal de functionaliteit (Functionele analyse).
- Evolueer ontwerp en werk concepten uit (Architectonische analyse).
- Selecteer een basisontwerp (Kosten-baten analyse).
- Verifieer of het basisontwerp voldoet aan de eisen (Gebruikerseisen).
- Verifieer of het basisontwerp de gebruiker tevreden stelt (Gebruikersbehoefte).
- Itereer het proces door lagere level decompositie.

Al deze stappen worden bij het SEP doorlopen, waarbij telkens een gedetailleerde beschrijving van het systeem in ontwikkeling wordt gegenereerd. De beschrijvingen, evenals de beslissingen en wijzigingen, worden vastgelegd in een database. Iedere fase start met de beslissingsdatabase van een hoger niveau van het systeem. Van hieruit worden de hogere orde functies gedecomposeerd in lagere onderliggende functies. De gedecomposeerde functies worden vervolgens omschreven als specificaties. Uiteindelijk wordt door middel van trade-off studies de beste kosten- batenverhouding gegenereerd en wordt de haalbaarheid getoetst door testen en analyses.

2.3.4 Systems Engineering Proces (SEP)

De eerste stap van het Systems engineering Proces (SEP) is het analyseren van de procesinput. De behoeften-analyse wordt gebruikt voor het ontwikkelen van functionele- en prestatie-eisen. Dit betekent dat de wensen van de klant worden vertaald in een set van eisen die beschrijven wat het systeem moet kunnen (functie) en hoe dit meetbaar gemaakt wordt (parameters). De eisen dienen begrijpbaar, eenduidig, veelomvattend, compleet en kort en bondig te zijn geformuleerd. De behoeftenanalyse moet de functionele eisen[2] en de randvoorwaarden definiëren en verhelderen. Daarnaast is het doel inzicht te krijgen in de interactie tussen de verschillende functies van het systeem en het verkrijgen van een gebalanceerd programma van eisen dat gebaseerd is op de doelen van de opdrachtgever.

Het definiëren van de eisen is een complex proces waarbij performance analyse , trade-studies randvoorwaarden evaluatie en kosten baten analyse worden uitgevoerd. De systeemeisen kunnen niet worden vastgesteld voordat er naar de impact op lager niveau is gekeken. Hierdoor is de eisendefinitie een iteratief en gebalanceerd proces dat zowel bottom-up als bottom-down werkt. Het is hierbij belangrijk dat de traceerbaarheid van eisen gehandhaafd blijft zodat de eisen op systeemniveau worden geïmplementeerd in het resulterende ontwerp. Het proces dat doorlopen wordt tijdens de behoeften-analayse is hieronder weergegeven:



Figuur 2.4: Stappen bij de behoeften-analyse

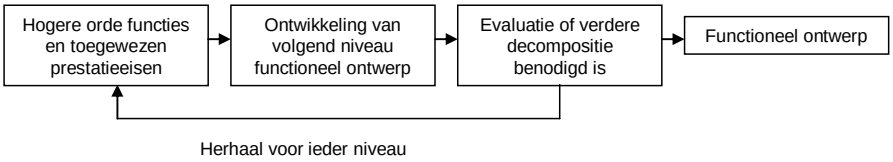
Nadat de behoeften, wensen en randvoorwaarden zijn omgeschreven in functionele en prestatie-eisen, wordt er gekeken naar de functies die het systeem dient uit te voeren. De functies worden geanalyseerd door het decomposeren van hogere orde functies, welke geïdentificeerd zijn in de behoeften analyse, in lagere orde functies. De performance eisen die gesteld zijn aan hogere orde eisen worden daarbij toegewezen aan lagere orde eisen. Het is daarbij belangrijk dat de functionele eisen zo gerangschikt zijn, dat lagere orde functies herkend worden als onderdeel van een hogere orde functie. Daarnaast geeft het de prioriteit van een eis weer indien er sprake is van een conflict van eisen.

Het resultaat is een beschrijving van het product of onderdeel in termen van wat het kan en de benodigde prestatie. Deze omschrijving wordt de functionele architectuur genoemd van het product of onderdeel. De functionele analyse en toewijzing dient uitgevoerd te worden tot het niveau waarop de synthese van het ontwerp kan plaats vinden. De functionele analyse en toewijzing is dus een iteratief proces dat net zolang herhaald wordt totdat de functionele architectuur compleet is. Alle aspecten van de systeemfunctionaliteit dienen hierbij meegenomen te worden, zoals productie, uitvoering en gebruik.

De functionele architectuur start op het hoogste niveau van eisen als een set van functies welke gedefinieerd zijn in specificaties met functionele, prestatiegerichte en beperkende voorwaarden. Vervolgens wordt het volgende niveau van de functionele architectuur ontwikkeld en geëvalueerd om vast te stellen of verdere decompositie benodigd is.

2 Functionele eisen omschrijven de functie die het ontwerp of object moeten kunnen uitvoeren en randvoorwaarden omschrijven de factoren die de ontwerpvrijheid beperken, zoals wet- en regelgeving.

Indien dit het geval is begint het proces weer van voor af aan. Wanneer het proces is afgerond, kan verder worden gegaan met de systeemsynthese. Het proces dat doorlopen wordt staat hieronder weergegeven:

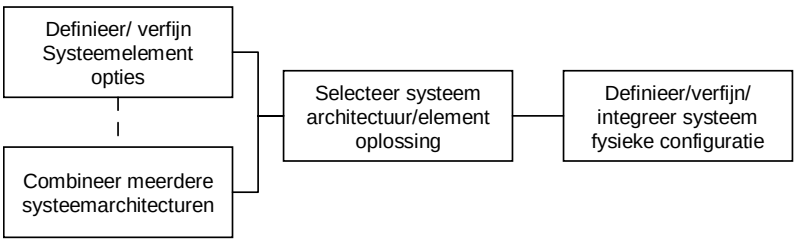


Figuur 2.5: Functionele analyse en toewijzingsproces

Na de functionele analyse is de functionele architectuur bepaald en dienen oplossingen gedefinieerd te worden in termen van fysieke componenten die tezamen het product en of de oplossing vormen. Deze fase wordt de synthesefase genoemd, met als resultaat de fysieke architectuur of systeem-architectuur. De fysieke architectuur is de basisstructuur voor het genereren van de specificaties en hieraan worden de volgende eisen gesteld:

- Voldoet aan de gestelde eisen en externe invloeden.
- Implementeert de functionele architectuur.
- Is acceptabel dicht bij het optimum binnen de gegeven randvoorwaarden van tijd, budget, beschikbare kennis en kunde en andere middelen.
- Voldoet aan de technische eisen en acceptabele risico's die gesteld worden aan de beschikbare elementen.
- Is uitbreidbaar.
- Zorgt voor een basis van informatie voor het beschrijven van een systeemdefinitie en de implementatie hiervan. De systeem architectuur, het operationele concept, de elementen beschrijving en de interne interfaces zijn allemaal adequaat gedefinieerd.
- Is robuust, wat wil zeggen dat gedetailleerdere beschrijvingen van de systeemdefinitie mogelijk zijn, met een minimum van naslagwerk, wanneer additionele informatie wordt ontdekt.

De systeem ontwerpsynthese is ook een iteratief proces. Het is een zoektocht naar oplossingen binnen een niet lineaire ruimte met vele dimensies. Er zijn enorm veel mogelijkheden, waardoor er veel kennis en kunde nodig is, om te kunnen beoordelen hoeveel iteratiestappen er nodig zijn.
Het proces van ontwerpsynthese is eigenlijk een trade-off op grote schaal, dat leidt tot de basis van een geselecteerde systeemarchitectuur als output. Het doel is de beste opties te kiezen van de systeemarchitecturen, welke zo dicht mogelijk het optimum benaderen. Het proces dat hierbij gevolgd wordt staat hieronder weergegeven:



Figuur 2.6: Systeem synthese proces

Er kan gekozen worden voor een bottom-up aanpak, waarbij begonnen wordt met een menu van opties voor ieder element van het systeem van waar uit een set van systeem architecturen wordt gecreëerd, of een top-down benadering. Bij een top-down benadering wordt een set van systeem architecturen gecreëerd, waarbij iedere systeemarchitectuur een framework levert waarin elementenopties kunnen worden toegepast. Door het combineren van elementen ontstaan meerdere systeemarchitecturen. Door middel van trade-off studies wordt dan het uiteindelijk systeem gedefinieerd. Deze wordt vervolgens verder uitgewerkt in voorbereiding op een meer gedetailleerde systeemdefinitie.

2.3.5 Systeem analyse en controle

Naast de behoeften analyse, functionele analyse en ontwerpsynthese bestaat het SEP ook nog uit technische managementactiviteiten, om de voortgang te bewaken, te evalueren, alternatieven te genereren en data en documenten vast te leggen. Deze activiteiten worden toegepast in ieder stap van het SEP. De systeem analyse bestaat uit trade-off studies, effectiviteitsanalyses en ontwerpanalyses. Het evalueert alternatieve aanpakken om de technische eisen en projectdoelstellingen te waarborgen. De controle activiteiten bestaan uit risicomanagement, configuratie management, datamanagement en prestatiegebaseerde programma's zoals planning en technische prestatie meting.

De doelstelling achter systeemanalyse en controle is om er voor te zorgen dat:

- De oplossingsgerichte alternatieve beslissingen alleen gemaakt worden na evaluatie van de impact op de systeemeffectiviteit, life-cycle mogelijkheden, risico's en eisen van de opdrachtgever.
- Technische beslissingen en specificatie-eisen gebaseerd zijn op systems engineering output.
- De traceerbaarheid van de input en output in het SEP gewaarborgd is.
- Schema's voor ontwikkeling en oplevering tweezijdig ondersteunend zijn.
- Benodigde technische disciplines worden geïntegreerd in het ontwerpproces.
- De impact van de eisen van de opdrachtgever op functionele eisen en prestatieeisen worden onderzocht op validiteit, consistentie, wensbaarheid en haalbaarheid.
- De product- en procesontwerpeisen direct traceerbaar zijn naar functionele eisen en prestatieeisen die ze dienen te vervullen en vice versa.

2.4 Value Management

Value Management (VM) is een systematische benadering, die uitgaat van het motiveren van mensen, ontwikkelen van competenties en het promoten van synergie en innovaties, met als doel het optimaliseren van de totale oplossing. De nadruk ligt hierbij sterk op de totale waarde van het product en het proces dat doorlopen wordt om de meeste waarde tegen de laagste kosten te genereren.

2.4.1 Ontstaansgeschiedenis

Value Management is ontstaan uit methodes, die gebaseerd zijn op waarde en een functionele aanpak en heeft zijn oorsprong in de productie-industrie van de Verenigde Staten. Tijdens de tweede wereldoorlog ontwikkelde Lawrence D. Miles de techniek van Value Analysis (VA) als een methode om de waarde van bestaande producten te behouden, met gebruik van alternatieve middelen. In die tijd draaide de productie–industrie in de VS op maximale capaciteit, waardoor er een tekort was aan een aantal grondstoffen en materialen (Kelly, Male en Drummond, 2004, p.11). Miles kreeg de opdracht om de productiecapaciteit van het bedrijf waar hij werkte te verhogen, maar werd vaak geconfronteerd met het feit dat een bepaald specifiek materiaal niet voorradig was. Hierdoor zag hij zich genoodzaakt alternatieven te genereren die aan dezelfde functie konden voldoen (Kelly, Male en Drummond, 2004, p.12). Miles concludeerde dat veel alternatieven een gelijkwaardig of zelfs betere prestatie leverden tegen lagere prijzen. Op basis van deze bevindingen stelde hij een systeem voor, dat hij definieerde als Value Analysis.

Miles definieerde daarbij de producten en onderdelen als functies van het betreffende product. Van daaruit konden dan "*nieuwe wegen om deze delen te vervangen, door het gebruik van specifiek andere en beschikbare materialen, of gelijksoortige delen die dezelfde functies konden uitoefenen*" worden bedacht (Veenvliet, 2004, p.3). Om dit op een gestructureerde manier te doen bedacht Miles de volgende stappen (Miles, 1973):

- Analyseer de componentonderdelen van een product in termen van functies
- Overweeg manieren om dezelfde functies tegen lagere kosten te realiseren
- Controleer de economische en technische haalbaarheid
- Verander productieprocedures

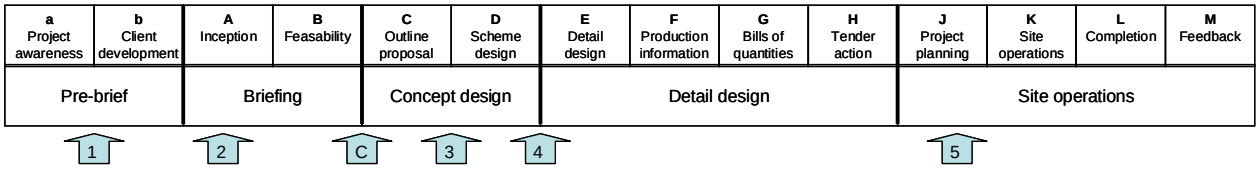
In eerste instantie werd VA alleen gebruikt om de onnodige kosten in het productieproces te identificeren en goedkopere alternatieven te genereren die dezelfde functie konden vervullen (Kelly, Male en Drummond, 2004, p.12). Dit veranderde echter toen in 1954 de constructie-afdeling van de Amerikaanse marine besloot Value Analysis te gaan gebruiken (Male et al., 1998, p22). Vanaf dat moment werd VA dus ook gebruikt binnen de constructiebranche. Aangezien het niet meer ging om een productieproces en de taken werden uitgevoerd door ingenieurs werd door de marine besloten de naam te veranderen in Value Engineering (VE). De wereldwijde verspreiding van VE/VA kwam door de opkomst van multinationale productiebedrijven en in de jaren zestig deed VA haar intrede in Europa (Male et al., 1998, p.22). Naarmate VE verder evolueerde verbreedde het proces van producten naar services, projecten en administratieve procedures. De term VE is dan ook niet meer geheel op zijn plaats aangezien het niet alleen meer gaat om het ontwerpen, maar ook andere aspecten een belangrijke rol hebben gekregen in dit proces. Er wordt binnen dit onderzoek dan ook gesproken over Value Management (VM).

2.4.2 Definitie

Value management wordt gedefinieerd als *"een professionele systematische teambenadering die gebruikt wordt voor het analyseren en verbeteren van de waarde van het product, productieproces of het gehele proces, door deze te omschrijven als de functies waaraan voldaan dient te worden*" (NAPDACE, 2006). Dit wordt bereikt door het gebruik van een aantal workshops op belangrijke momenten in het proces en wordt gecomplementeerd door het integreren van VE. VE wordt daarbij gedefinieerd als een *"systematische aanpak om de geëiste functies tegen de laagste kosten te waarborgen, zonder daarbij afbreuk te doen aan kwaliteit, prestaties, en betrouwbaarheid"* (Ciria, 1996, p.7).
Wanneer dit op een goede manier wordt toegepast, dan wordt er gezocht naar het meest kostenefficiënte alternatief, of de beste manier om alle prestaties tegen de optimale prijs te verkrijgen. Dit betekent echter niet automatisch kostenreductie (DOE, 1997, p.1)

2.4.3 Fasen Value Management

Value Management heeft als doel het verhogen van de waarde van een product, project of systeem door het optimaliseren van de life-cycle kosten. VM dient echter niet gezien te worden als een ontwerpreview, maar een proces om de kosten te reduceren. VM wordt *"te vaak gebruikt als laatste redmiddel, wanneer alles verkeerd is gegaan en de kosten boven alles gereduceerd dienen te worden"* (DOE, 1997, p.1). Value Management is meer dan alleen het houden van workshops en houdt rekening met life-cycle kosten, veiligheid, kwaliteit en andere aspecten die belangrijk zijn voor de opdrachtgever. Creativiteit is in dit proces erg belangrijk. In de praktijk blijkt dat het houden van een workshop een prima manier is om de creativiteit te bevorderen (Ciria, 1996, p.12). Hierbij dient echter wel gewaakt te worden dat er niet teveel workshops worden gehouden, maar dat VM als een proces wordt gezien, waarbij de workshops als hulpmiddel dienen. De timing van de workshops is erg belangrijk en de workshops dienen dichtbij belangrijke "milestones" in het project te liggen (Ciria, 1996, p12). Daarnaast geldt, dat de meeste winst valt te halen aan het begin van het project. Dan is het potentieel voor kostenreductie het hoogst, zijn de kosten voor implementatie van de veranderingen laag en is de weerstand tegen veranderingen laag (Male et al., 1998, p.32). Male et al. onderscheiden daarbij 6 fasen waarop VM gedurende de life-cycle van een project kunnen worden uitgevoerd.



Figuur 2.8: Mogelijkheden voor een workshop in het RIBA Plan of Work (Male et al., 1998)

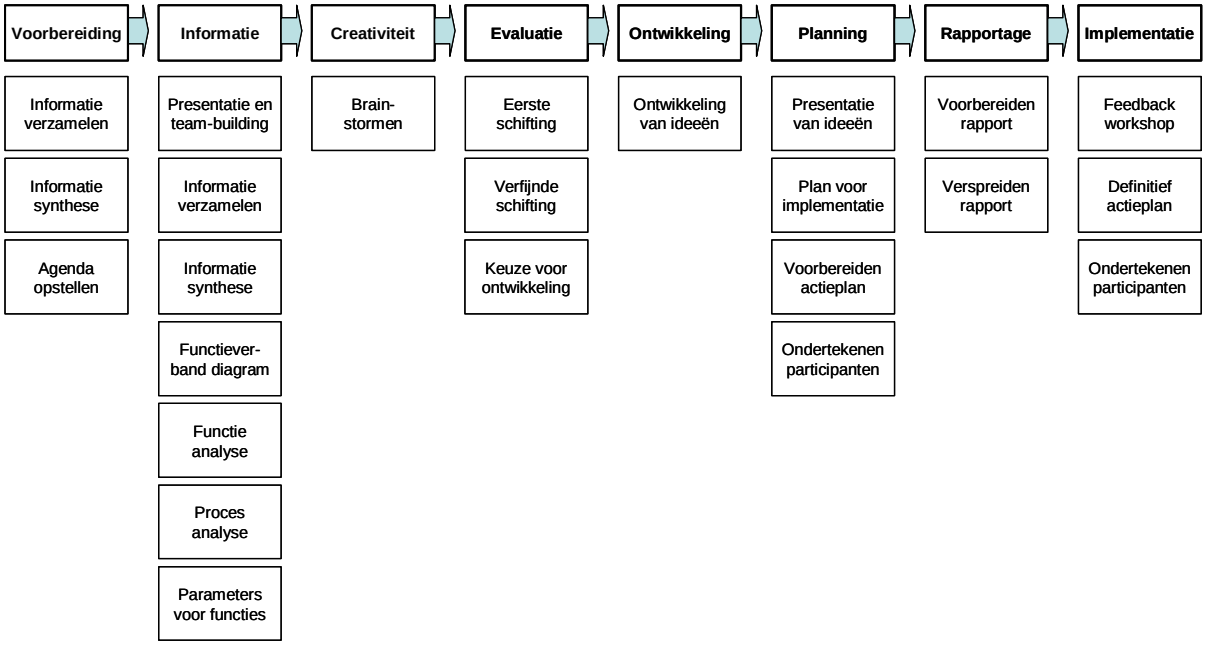
De nummers in figuur 2.8, waarbij de indeling van het Royal Institute of Britisch Architecture (RIBA) is gebruikt, geven de mogelijkheden aan waarop een VM-workshop gehouden zou kunnen worden.

De mogelijkheden die in het Plan of Work zijn aangegeven zijn:

- Pre-brief workshop (1)
- Briefing Workshop (2)
- Concept design Workshop (3)
- Detail design workshop (4)
- Operationele studie tijdens uitvoering (5)
- Charette, gecombineerde workshop waarbij de Pre-brief en Briefing workshop worden geïntegreerd (C)

In welke fase de workshops worden gehouden hangt af van het moment dat de partijen in het project worden betrokken. Bij geïntegreerde contractvormen binnen de wegenbouwsector worden aannemers pas in het project betrokken wanneer het programma van eisen is opgesteld. Daarnaast is er vaak al een conceptplan opgesteld voor de constructie waarin al keuzes zijn gemaakt voor een bepaalde deklaag. Dit betekent dat de aannemer alleen nog workshops kan houden gedurende de concept designfase en de detail designfase. In de praktijk komt dit neer op het houden van een workshop aan het begin van de tenderfase, waarbij het conceptontwerp van de opdrachtgever als input geldt. Om de workshops op een gestructureerde manier te doorlopen hebben Male et al. een stappenplan opgesteld welke gebaseerd is op het JOB-plan van Miles (Male et al., 1998, p38).

In dit stappenplan worden de volgende stappen doorlopen:



Figuur 2.9: Generiek stappenplan (Kelly, Male en Drummond, 2004)

2.4.4 Kenmerken Value Management

Het stappenplan van Kelly, Male en Drummond kan gebruikt worden als onderlegger voor het doorlopen van het VM-proces. De belangrijkste fasen gedurende dit proces zijn:

- Definieer het probleem.
- Identificeer verschillende oplossingen.
- Evalueer de opties.
- Selecteer de beste optie die de meeste waarde tegen de laagste kosten biedt.

Om het probleem te definiëren worden de eisen omgeschreven in functies waaraan de oplossing dient te voldoen. Door te analyseren welke "taak" het product geacht wordt te vervullen ten opzichte van haar omgeving en/of gebruiker ontstaat het fundament om tot een optimale keuze uit alternatieven te komen.

Een belangrijk voordeel hiervan is dat beperkingen als gevolg van te vroege ontwerpkeuzes worden ondervangen. Dit helpt de innovatie te bevorderen en praktische oplossingen te genereren. Vervolgens dienen oplossingen geïdentificeerd te worden in een brainstormsessie, waarbij het gehele team aanwezig is. Er dient hierbij niet alleen naar ontwerp of productie gekeken te worden, maar naar de gehele keten 'ontwerp-productie-gebruik' (life-cycle benadering). Alleen de oplossingen die voor de keten als geheel het beste resultaat geven komen in aanmerking. Hierbij dient niet alleen naar nieuwe oplossingen te worden gezocht, maar dienen goede oplossingen uit het verleden ook meegenomen te worden. Het wiel hoeft niet opnieuw te worden uitgevonden, wanneer bekend is dat de oplossing voldoet. Om de opties te evalueren worden trade-off studies gemaakt waarbij de oplossingen tegen elkaar worden afgewogen en de beste prijs/prestatieverhouding wordt verkregen die nog voldoet aan de eisen. Er dient dus ook getoetst te worden of de oplossing voldoet aan de gestelde eisen. Voor deze afweging zijn er binnen VM talloze hulpmiddelen opgesteld. Ten slotte dient de oplossing verder uitgewerkt te worden, waarbij er optimalisatie van het ontwerp plaatsvindt.

Om VM succesvol toe te passen zijn een aantal succesfactoren onderscheiden. Deze kunnen worden gezien als randvoorwaarden die geregeld moeten worden voordat de workshops worden gehouden (Male et al., 1998):

- Multidisciplinair team met een goede vertegenwoordiging van disciplines.
- Bekwame procesmanager.
- Gestructureerde aanpak van het VM-proces.
- Kennis bij participanten over VM.
- Aanwezigheid van beslissingnemers tijdens workshops.
- Gebruik van functionele analyse.

2.5 Constructability

Constructability is een systeembenadering waarbij de uitvoeringskennis en ervaring in de planning-, ontwerp-, werkvoorbereiding- en uitvoeringsfase worden ingezet om een betere afstemming te krijgen in het bouwproces en de efficiency te verhogen.

2.5.1 Ontstaansgeschiedenis

Volgens een legende waren het de Egyptenaren die bij de bouw van de piramides als eersten de benadering van Constructability (CS) toepasten. Een van de toezichthouders klaagde bij de farao dat de stenen te zwaar waren, zodat het plaatsen te moeilijk was, er teveel personeel benodigd was, het niet veilig was en te lang duurde (Wright, 1994, p1). Daarnaast hadden de blokken niet altijd de juiste maat, was het oppervlak te ruig en was er veel werk nodig om deze alsnog in orde te maken. De farao besloot daarop in te in te stemmen met een Constructability-programma, waarbij de toezichthouder met de ontwerper en de stenenleverancier om de tafel gingen zitten. Uiteindelijk werden de piramides 13,5% sneller gebouwd tegen een besparing van 23,8%. Helaas bleek deze kennis in de volgende eeuwen in de vergetelheid te raken en er kwam pas in de jaren zeventig weer aandacht voor Constructability.

Het concept van Constructability (CS) kwam in opkomst in Engeland en de Verenigde Staten in de jaren zeventig. Er kwam echter pas echt aandacht voor Constructability, na de *"publicatie van een rapport dat onderdeel was van een Construction Industry Cost Effectiveness Project in 1982"* (Arditi, Elhassan en Cengliz Toklu, 2002, p.117). Hierbij werd gekeken naar het promoten van kwaliteit, efficiency, productiviteit en kostenefficiency in de constructie-industrie, waarbij CS een van de onderzoeksgebieden was. Hierna volgden nog talloze publicaties waarin
werd aangetoond dat *"het integreren van uitvoeringskennis in de ontwerpprocessen de kansen verbeterde voor het bereiken van een kwalitatief eindresultaat, dat op een veilige manier tot stand was gekomen tegen lagere kosten"* (Arditi, Elhassan en Cengliz Toklu, 2002, p.117).

2.5.2 Definitie

Constructability wordt gedefinieerd als *"het optimaal gebruiken van de uitvoeringskennis en ervaring bij planning, ontwerp, werkvoorbereiding en uitvoering om de projectdoelstelling te halen"* (CII, 2006).

Het is een proces, waarbij niet alleen naar het optimaliseren van de werkvoorbereiding en de uitvoering dient te worden gekeken, maar juist naar het integreren van uitvoeringskennis in eerdere fasen van het bouwproces. De grootste potentiële besparingen vinden namelijk plaats in de conceptuele fase van het project (Tatum, 1987, p.97). Constructability gaat in zijn ruime definitie uit van een "*procesgedachte ingezet door opdrachtgevers en upfront gericht gedurende de planvorming van hun projecten"* (Veenvliet, 2003). De basisgedachte is dat uitvoeringskennis gedurende de eerste fasen van het ontwerpproces worden geïntegreerd, zodat planners en ontwerpers rekening houden met de maakbaarheid van het ontwerp. Dit zorgt voor minder revisies in het ontwerp en minder vertraging in de uitvoering door constructieproblemen.

2.5.3 Fasen Constructability

Constructability kan op verschillende aspecten worden toegepast en het "Construction Industry Institute" (CII) heeft 17 concepten opgesteld, waarop Constructability valt toe te passen is. Hierbij is een verdeling gemaakt tussen conceptuele planningsfase, ontwerp- en werkvoorbereidingfase en uitvoeringfase. Aangezien er binnen het onderzoek gekeken wordt naar de ontwerpprocessen, zijn alleen de acht concepten bekeken die van toepassing zijn op ontwerp- en werkvoorbereidingsfase.

I. Ontwerp- en werkvoorbereidingsplanningen zijn uitvoeringsgevoelig.
II. Ontwerpoutput is zodanig opgebouwd dat efficiënte uitvoering mogelijk is.
III. Ontwerp maakt gebruikt van standaardelementen (Components Of The Shelf(COTS)).
IV. Efficiency van de uitvoering wordt meegenomen in de beschrijving van eisen en specificaties.
V. Voorbereiding van modulaire prefab ontwerpoutput om faciliteiten van fabricage, transport en positioneren in beschouwing te nemen.
VI. Ontwerpoutput houdt rekening met bereikbaarheid van uitvoerend personeel, materiaal en materieel.
VII. Ontwerpoutput bevordert uitvoerbaarheid onder ongunstige weersomstandigheden.
VIII. Volgordelijkheid van ontwerpen en uitvoeren dienen de overdracht te bevorderen.

Binnen de wegenbouwsector zijn met name de concepten II, III, VI en VII van toepassing, waardoor Constructability goed toe te passen is op deze concepten. Voor de toepassing van Constructability heeft het CII een implementatie roadmap opgesteld, welke uitgaat van drie hoofdfuncties:

- Verkrijgen van deskundigheid op het gebied van Constructability.
- Plannen van de implementatie van Constructability.
- Toepassen van Constructability.

Het stappenplan dat daarbij doorlopen wordt is vergelijkbaar met Value Management, maar met meer nadruk op integratie van uitvoeringskennis in het ontwerpproces. Er wordt ook gewerkt met een interdisciplinair team en het is belangrijk dat het team open staat voor suggesties en er kennis van de uitvoering aanwezig is binnen het team. Daarnaast is het ook belangrijk dat gedurende het proces de wijzigingen en leerpunten worden vastgelegd.

2.5.4 Kenmerken Constructability

Wanneer Constructability succesvol wordt toegepast levert dit een efficiënt bouwproces op met mogelijke kostenbesparing. Tevens kan het bijdragen aan de volgende voordelen:

- Vergemakkelijken van vroege planning.
- Minimaliseren van veranderingen in de scope.
- Reduceren van ontwerpgerelateerde revisies.
- Verbeteren van de productiviteit in de uitvoering.
- Ontwikkelen van constructievriendelijke specificaties.
- Verbeteren van kwaliteit.
- Verminderen van vertragingen.
- Verbeteren publieke opinie ten aanzien project.
- Bevorderen van veiligheid.
- Reduceren van conflicten.
- Verlagen constructie- en onderhoudskosten.

2.6 Toepasbaarheid van de ontwerpbenaderingen

Door de komst van de geïntegreerde contractvormen dient de aannemer zich niet alleen bezig te houden met de uitvoering, maar wordt hij ook verantwoordelijk voor een aantal ontwerptaken. Het gevolg hiervan is dat de aannemer in de uitvoering wordt geconfronteerd met zijn eigen ontwerpkeuzes. Het afstemmen van de onderdelen en het systematisch doorlopen van het ontwerpproces kan daarbij veel problemen in de uitvoering voorkomen. De aannemer dient niet alleen de uitvoering te optimaliseren, maar ook het ontwerp te optimaliseren. Het gebruik van een van de drie ontwerpbenaderingen kan daarbij helpen, want het managen van projecten waarbij het ontwerp is geïntegreerd met de uitvoering blijkt lastig.
Oorzaken hiervoor liggen bij slechte inlichtingen en communicatie, tekortkomingen in technische kennis bij ontwerpers en een gebrek aan vertrouwen in het voorruitplannen van ontwerpwerkzaamheden (Coles, 1990). Daarnaast wordt gesteld dat de meest voorkomende oorzaken van verstoringen in het ontwerpproces een gebrek aan planning, het toewijzen van materiaal en materieel, tekortkomingen of onvoldoende informatie en veranderingen zijn. Het toepassen van een systematische ontwerpbenadering kan daarbij helpen en doordat de ontwerpbenaderingen niet alleen uitgaan van één aspect, maar gedurende alle fasen van het project kunnen worden gebruikt, zijn ze alledrie interessant voor de aannemer.

2.7 Conclusies ten aanzien van de ontwerpbenaderingen

De ontwerpbenaderingen van Systems Engineering, Value Management en Constructability zijn in de loop der jaren ontwikkeld en steeds veelzijdiger geworden. Waar Value Analysis uitging van het reduceren van kosten, is het uitgegroeid naar een volwaardige managementbenadering, die niet alleen gebruikt kan worden gedurende de uitvoering, maar inmiddels ingezet kan worden voor het gehele proces. Dit geldt ook voor Constructability dat niet langer meer uitgaat van het optimaliseren van de uitvoering, maar ook uitvoeringskennis implementeert in eerdere fasen van het project. Ook Systems Engineering is in de loop der tijd verder ontwikkeld en kan gebruikt worden voor alle fasen van het bouwproces.

Doordat de ontwerpbenaderingen in de loop der tijd zich ontwikkeld hebben en steeds veelzijdiger zijn geworden zijn het aantal overeenkomsten ook toegenomen. Zo gaan alledrie de benaderingen uit van een functionele benadering van eisen. De eisen aan de oplossing worden daarbij omschreven als functies waaraan voldaan dient te worden. Daarnaast wordt er bij alledrie de benaderingen uitgegaan van een interdisciplinair team, dat als doel heeft het proces zo efficiënt mogelijk te doorlopen. Daarbij wordt er bij alledrie de benaderingen van uit gegaan, dat de meeste winst valt te halen in de eerste fasen van een project en dat de benadering dus zo vroeg mogelijk in het proces dienen te worden toegepast.

Ondanks deze overeenkomsten zijn er ook wel verschillen waarneembaar. Zo stuurt Value Management meer op functie-analyse en life-cyclekosten, terwijl Constructability uitgaat van het gebruik van uitvoeringskennis in een tijdgebonden en gestructureerde manier (Wright, 1994, p.5). Bij Constructability ligt er een sterke focus op de integratie van uitvoeringskennis in het ontwerpproces en het naar voren halen van de uitvoering in het totale proces. Bij Value Management ligt de focus op de waarde van het product. Value Management gaat dan ook uit van hoge kostenbeïnvloeding en optimalisatie van de prijs/prestatieverhouding. Deze doelstelling heeft SE ook, maar hier ligt een sterkere focus op de bundeling van eisen, decomposeren in sub/systemen en de totale samenhang.

Door de kleine onderlinge verschillen is het lastig te bepalen welke ontwerpbenadering in het ontwerpproces van de aannemer wordt toegepast. Daarom is besloten geen onderzoek te doen naar het specifieke gebruik van de ontwerpbenaderingen, maar het ontwerpproces te definiëren als een systematisch proces indien er gebruik wordt gemaakt van één van de ontwerpbenaderingen of een mix hiervan. Om dit te bepalen is een overzicht gemaakt van een aantal aspecten waaraan een systematisch ontwerpproces te herkennen is en hoe de ontwerpbenaderingen hier invulling aan geven.

Onderwerp	Systems Engineering	Value Management	Constructability
Verantwoordelijk-heid/aansturing	I.P.P.D.: Integrated Product and proces Development-teams	Facilitator die multidisciplinair team aanstuurt.	Teamleider die uitvoeringskennis integreert.
Grootte ontwerpteam	Afhankelijk van hoeveelheid I.P.P.D.-teams en complexiteit.	Afhankelijk van teamgrootte en interne of externe review.	Standaard ontwerpteam aangevuld met uitvoeringskennis.
Overleg-momenten	Per milestone door middel van interdisciplinair overleg.	In workshop met voltallige ontwerpteam.	In workshop met voltallige ontwerpteam en uitvoeringsspecialisten.
Competenties in het ontwerpproces	Interdisciplinair ontwerpproces waarbij het systeem ontworpen wordt op basis van life-cycle denken.	Interdisciplinair ontwerpproces waarbij vooral gelet wordt op de waarde ten opzichte van de life-cycle kosten	Interdisciplinair ontwerpproces waarbij de uitvoering centraal staat.
Structuur	Top-down ontwerpproces, waarbij hogere orde functies worden opgedeeld in lagere orde functies.	Top-down en bottum-up ontwerpproces waarbij per functie de waarde en kosten worden bepaald.	Bottom-up uitvoeringsgericht ontwerpproces per functie de uitvoerbaarheid wordt gecontroleerd.
Sequentieel ontwerpproces	Het proces wordt sequentieel doorlopen met voortdurend verificatie van eisen door middel van ontwerploops.	Het proces wordt sequentieel doolopen met incidenteel trade-off studies.	Het proces wordt sequentieel doolopen met incidenteel controle op uitvoerbaarheid.
Parallel ontwerpproces	Verschillende onderdelen kunnen parralel worden uitgewerkt door continue controle en validatie van eisen.	Parallelle uitwerking van concepten na workshops die sequentieel worden doorlopen.	Parallelle uitwerking van concepten na workshops die sequentieel worden doorlopen.
Iteratief ontwerpproces	Optimalisatie van het totale systeem door alle sub-systemen als een geheel te beschouwen en continu de eisen te valideren en verifieren.	Optimalisatie van beste waarde/kosten verhouding door continue waardebeheersing door middel van schatten, controleren en monitoren van waarde.	Optimalsatie van de uitvoering door continue controle op haalbaarheid en opstellen van eenvoudige te realiseren oplossingen.
Opstellen en afwegen alternatieven	Continu proces op basis van controle op de eisen.	Discontinu proces wat plaastvindt in workshops op basis van beste prijs/kwaliteit verhouding.	Discontinu proces wat plaastvindt in workshops op basis van maakbaarheid en uitvoerbaarheid.
Vastleggen beslissingen	Wijziging- en configuratiemanagement gedurende het gehele proces.	Na iedere workshop opstellen actieplan en voorstellen en aanwijzen verantwoordelijke. Tevens verslaglegging bij	Na iedere workshop opstellen van actieplan en voorstellen en aanwijzen verantwoordelijke. Tevens terugkoppeling vastleggen.

Tabel 2.1: Overzicht ontwerpbenaderingen

3 Karakterisering van het ontwerpproces

3.1 Inleiding

Uit het voorgaande hoofdstuk bleek dat systematische benaderingswijzen zoals Systems Engineering, Value Management en Constructability, gebruikt kunnen worden voor de inrichting van het ontwerpproces. De benaderingswijzen beschrijven, elk vanuit een andere invalshoek, het ontwerpproces en geven een structuur hoe het proces doorlopen kan worden. De structuren beschrijven echter niet hoe het ontwerpproces wordt ingericht en welke factoren hiervoor belangrijk zijn. Het geeft eerder een leidraad van procedures die gevolgd kan worden om het proces te doorlopen. Om te kunnen toetsen in hoeverre er systematisch wordt gewerkt in het ontwerpproces dient er echter wel gekeken te worden naar de inrichting van het ontwerpproces en de factoren die hier op van invloed zijn.

In dit hoofdstuk wordt dan ook ingegaan op de karakterisering van het ontwerpproces bij de aannemer gedurende de tenderfase. Hiervoor worden een aantal parameters gedefinieerd die bepalend zijn voor het ontwerpproces. Deze parameters worden binnen dit onderzoek de interne parameters van het ontwerpproces genoemd. De interne parameters zijn uit de onderzochte ontwerpbenaderingen en literatuur afgeleid en beschrijven de keuzemogelijkheden voor het doorlopen van het ontwerpproces. Daarnaast wordt verondersteld dat de mate van systematisch werken niet alleen afhangt van de interne keuzes in het ontwerpteam, maar tevens afhankelijk is van externe factoren. Onder externe factoren worden factoren verstaan, waarop de aannemer niet direct invloed kan uitoefenen, maar die wel bepalend zijn voor het ontwerpproces.

De externe factoren worden eerst besproken, alvorens wordt ingegaan op de interne parameters die de mate van systematisch werken in het ontwerpproces beschrijven. Aan de hand van de externe factoren en de opgestelde parameters wordt een model opgesteld welke gebruikt kan worden om de mate van systematisch werken in het ontwerpproces te bepalen. Om dit model meetbaar te maken, wordt vervolgens een scoringsmethode opgesteld en worden voor de parameters wegingsfactoren toegekend (zie bijlage I: Saaty methode). Tot slot worden er conclusies getrokken ten aanzien van het model en de bruikbaarheid.

3.2 Externe factoren

Onder externe factoren worden binnen dit onderzoek die factoren verstaan, waarop de aannemer geen directe invloed kan uitoefenen, maar die wel bepalend zijn voor het ontwerpproces. Hierbij is een onderverdeling gemaakt tussen de volgende hoofdgroepen:

- Bedrijfsafhankelijke factoren
- Projectafhankelijke factoren

De reden voor deze tweedeling is het feit dat ieder project verschillend is met zijn eigen projectspecifieke kenmerken. Een kenmerk van de (wegen)bouw is dat bijna alle objecten uniek zijn, waardoor voor elk object een heel nieuw ontwikkelingsproces moet worden doorlopen (Dorée, 1997, p.27). Er wordt daarom verondersteld dat de werkwijze in het ontwerpproces afhankelijk is van het type project en de projecteigenschappen. Daarnaast wordt ook verondersteld dat de werkwijze in het ontwerpproces afhangt van de organisatiestructuur van de aannemer. Iedere aannemer heeft zijn eigen werkwijze en is bij het doorlopen van het ontwerpproces beperkt in de mogelijkheden binnen zijn bedrijf. Deze mogelijkheden bepalen de keuzes en de werkwijze in het ontwerpproces.

3.2.1 Bedrijfsafhankelijke factoren

De manier waarop het ontwerpproces wordt doorlopen zal per bedrijf verschillend zijn en is afhankelijk van vele factoren. Binnen dit onderzoek is verondersteld dat de organisatiestructuur van het bedrijf de meeste invloed heeft op de werkwijze gedurende het ontwerpproces.

De organisatiestructuur van een bedrijf kan op verschillende manieren worden vormgegeven en er is volgens Galbraith (1973) geen eenduidige manier van organiseren. De beste organisatie hangt af van de taken, hun onzekerheden en wederzijdse afhankelijkheid (Galbraith, 1973).
Toch kan op basis van enkele gegevens wel een onderscheidend vermogen worden aangebracht tussen de bedrijven onderling. Een van die gegevens is de bedrijfsgrootte (uitgedrukt in omzet) en het aantal werknemers. Door de mate van systematisch werken te koppelen aan de bedrijfsomzet en het aantal werknemers, kunnen er uitspraken worden gedaan over de relatie tussen bedrijfsorganisatie en systematiek.

3.2.2 Projectafhankelijke factoren

De projectspecifieke eigenschappen binnen de wegenbouw zijn vaak zeer divers, waarbij geen enkel project identiek is aan een ander. Om toch de invloed van projectkenmerken op de mate van systematisch werken te kunnen toetsen is besloten de volgende projectafhankelijke factoren in het onderzoek mee te nemen:

- Ontwerpvrijheid
- Complexiteit van het project

Ontwerpvrijheid
De ontwerpvrijheid in een project wordt bepaald door de verzameling ontwerpvariabelen van de ontwerper en wordt afgebakend door het programma van eisen. De ruimte die de ontwerper daarbij heeft wordt binnen dit onderzoek de ontwerpruimte of de ontwerpvrijheid[3] genoemd. De ontwerpruimte van een project wordt bepaald door de opdrachtgever en is afhankelijk van de ruimte die de opdrachtgever aan de marktpartijen wil geven. Deze ruimte is per project verschillend en afhankelijk van de aard van het project en de opdrachtgever. De opdrachtgever bepaalt namelijk in welke mate hij het ontwerp wenst uit te werken alvorens het op de markt wordt gezet (CROW, 2004b, p.13). De opdrachtgever kan daarbij kiezen tussen twee uitersten met, enerzijds een volledig gedetailleerd uitvoeringsontwerp, vergelijkbaar met een traditioneel bestek (RAW/STABU) en anderzijds een uitbesteding op basis van slechts een uitgewerkt programma van eisen. Tussen deze twee uitersten zijn verschillende tussenvormen mogelijk.

Complexiteit van het project
De complexiteit van het project wordt door van Dale omschreven als "*een ingewikkelde of samengestelde hoedanigheid*". Daarnaast kan complexiteit worden omschreven als "*de mate waarin verschillende systeemtoestanden (afhankelijk van het aantal elementen en potentiële relaties) mogelijk zijn*" (Prakken, 1997, p.16). Volgens Prakken zijn toekomstige toestanden minder voorspelbaar bij een toenemende complexiteit. Het is dus vooraf niet geheel duidelijk wat precies de uitkomst is van het ontwerpproces. Dit aspect speelt ook bij geïntegreerde contractvormen een rol, waarbij de opdrachtnemende partij ontwerpvrijheid krijgt en het daardoor niet geheel duidelijk is welke oplossing aangeboden zal worden.

Binnen de wegenbouw is er ook sprake van complexiteit en dit heeft deels te maken met de uniciteit van de projecten. Ieder project heeft weer zijn eigen projecteigen karakteristieken en bij ieder project is er een verschillend programma van eisen. Daarnaast is er veel invloed vanuit de maatschappij op wegenbouwkundige projecten. Er wordt steeds meer nadruk gelegd op het voorkomen van hinder voor zowel gebruikers als omwonenden. Doordat er binnen het project met meer factoren rekening wordt gehouden, nemen ook het aantal disciplines binnen het ontwerpproces toe. Dit wordt nog eens extra versterkt door de verschuiving van de verantwoordelijkheden, waardoor de opdrachtnemende partij steeds meer taken en verantwoordelijkheden krijgt toebedeeld en het project een multidisciplinair karakter krijgt.

Een andere versterkende factor is het feit dat de afgelopen jaren de omvang van de projecten is toegenomen. Projecten worden niet meer separaat op de markt worden gezet, maar worden gecombineerd. Hierbij wordt bijvoorbeeld niet alleen het onderhoud van een bepaald wegvak aanbesteed, maar wordt tevens in hetzelfde onderhoudscontract de verkeerssignalering aanbesteed.

3 De ontwerpvrijheid in een project is de ruimte die aan de marktpartij wordt gegeven om te voldoen aan de gestelde eisen.

Dit heeft niet alleen gevolgen voor de projectomvang, maar ook voor de benodigde disciplines om dergelijke projecten te kunnen uitvoeren. De complexiteit van het project wordt dus niet alleen bepaald door de mate waarin er verschillende disciplines bij het project betrokken zijn, maar ook door de projectomvang.

3.3 Parameters van het ontwerpproces

Binnen het ontwerpproces wordt er door verschillende partijen en competenties samengewerkt, waardoor goede informatie-uitwisseling en communicatie tussen deze partijen van groot belang is (Veenvliet, 2003) Hierbij is niet alleen de informatiedoorstroming van belang, maar ook de kwaliteit van de samenwerking. Deze twee aspecten beïnvloeden elkaar (Reijnders, 1997) en het is van belang deze op elkaar af te stemmen. De inrichting en structuur van het proces dienen zo afgestemd te zijn dat een goede informatiedoorstroming mogelijk is. Daarnaast dient alle informatie in het proces voor alle betrokken beschikbaar te zijn, waardoor open communicatie mogelijk is. Het ontwerpproces dient transparant te zijn.

Om het ontwerpproces inzichtelijk te maken, is besloten de parameters van het ontwerpproces te onderscheiden in de volgende hoofdgroepen:

- Inrichting van het ontwerpproces
- Structuur van het ontwerpproces
- Transparantie van het ontwerpproces

Er is daarbij verondersteld dat de wijze waarop het ontwerpproces doorlopen wordt, afhankelijk is van de gekozen inrichting, structuur en transparantie van het ontwerpproces.

3.3.1 Inrichting van het ontwerpproces (I)

Onder inrichting van het ontwerpproces wordt de organisatiestructuur van het proces bedoeld. De organisatiestructuur heeft betrekking op het samenwerkingsverband van de verschillende participanten in het ontwerpproces (SBR, 1985, p38). Om de inrichting van het ontwerpproces te beschrijven zijn de volgende parameters opgesteld:

- Uitvoeringsdeskundigheid in het ontwerpproces
- Mate van samenwerking tussen de verschillende disciplines
- Uitbesteding van taken gedurende het ontwerpproces
- Hoeveelheid overleg gedurende het ontwerpproces
- Overlegstructuur

Uitvoeringsdeskundigheid in het ontwerpproces I1
Volgens de gedachtegang van Constructability is van belang in een vroeg stadium de uitvoeringskennis in het ontwerpproces te integreren. Uitvoering heeft namelijk het grootste kostenaandeel in het project. De grootste potentiële besparing, bij de beschouwing van uitvoeringskennis en ervaring, geschiedt gedurende de conceptuele planvormingsfase van een project. Door de integratie van uitvoeringsdeskundigheid in het ontwerpproces vindt er betere afstemming plaats, waardoor het waardeverlies binnen het ontwerpproces wordt verminderd en de uitvoerbaarheid wordt vergroot.

Mate van samenwerking I2
Bij de mate van samenwerking in het ontwerpproces wordt de samenwerking tussen de verschillende disciplines in het proces bedoeld. Bij complexe projecten is er vaak sprake van een multidisciplinair team dat gezamenlijk een ontwerp dient te genereren. Goede samenwerking is daarbij van essentieel belang.

Uitbesteding I3
Naast de samenwerking van het team is het tevens van belang of de ontwerptaken door de participanten van het ontwerpteam worden uitgevoerd of dat er (enige) taken worden uitbesteed. Bij uitbesteding ligt er meer nadruk op de communicatie en informatiedoorstroming naar de ontwerpers buiten het ontwerpteam om het waardeverlies binnen het proces te voorkomen.

Hoeveelheid overleg I4
Onder de hoeveelheid overleg wordt het aantal multidisciplinaire vergaderingen bedoeld, die als doel hebben de informatiedoorstroming in het proces te garanderen. Bij Value Management en Systems Engineering wordt er veel nadruk gelegd op het interdisciplinair overleg om de samenhang tussen de verschillende onderdelen te waarborgen. Een systematisch proces kenmerkt zich door interdisciplinaire overlegmomenten.

Overlegstructuur I5
Overleg is bij multidisciplinaire projecten essentieel en naarmate er meer partijen betrokken zijn binnen het ontwerpproces, ligt er een sterkere nadruk op overleg. Om overleg efficiënt te laten plaats vinden, dient dit van te voren te worden gepland en dienen alle participanten op de hoogte te zijn van het overleg. Een systematische proces kenmerk zich door een vaste overlegstructuur.

3.3.2 Structuur van het ontwerpproces (S)

De structuur van het ontwerpproces is het stappenplan dat doorlopen wordt om van het programma van eisen naar een aanbieding te komen. Het gaat daarbij om de volgorde van de ontwerpstappen en de aspecten die binnen het ontwerpproces worden meegenomen. Om de structuur van het ontwerpproces te beschrijven zijn de volgende parameters opgesteld:

- Volgorde ontwerpstappen
- Mate van parallelliteit in de ontwerpstappen
- Tijdstip van optimalisatie van het ontwerp
- Aantal alternatieven dat wordt opgesteld
- Aspecten waarop alternatieven worden opgesteld
- Toetsing in het ontwerpproces

Om de structuur van het ontwerpproces te kunnen bepalen is een stroomschema opgesteld van een traditionele benadering en één van hoe een systematische ontwerpproces eruit zou kunnen zien (zie bijlage II: Theoretisch model ontwerpproces). De traditionele benadering gaat uit van een sequentieel proces, waarbij er alleen toetsing plaats vindt aan het einde van een ontwerpstap en er nauwelijks parallel wordt gewerkt. Hiertegenover staat de geïntegreerde systematische benadering die opgesteld is op basis van de gedachtegang van Systems Engineering. Hierbij worden de ontwerpstappen simultaan uitgevoerd en vindt er voortdurend terugkoppeling plaats en is er tevens ruimte voor het genereren van alternatieven. De stroomschema's zijn gebruikt om de scores voor de parameters te bepalen.

Volgorde ontwerpstappen S1
De structuur van het ontwerpproces wordt grotendeels bepaald door de volgorde van de ontwerpstappen. Onder RAW-bestekken werden de ontwerpstappen sequentieel doorlopen en werd er dus eerst een structuurontwerp gemaakt, alvorens een voorlopig ontwerp en een definitief (uitvoerings)ontwerp (Flapper, 1998, p.16). Onder geïntegreerde contracten is deze strikte scheiding niet meer aanwezig en kan er dus al met het uitvoeringsontwerp worden gestart, alvorens het verhardingsontwerp gereed is. Constructability gaat uit van dit principe en een systematisch proces wordt dus gekenmerkt door vroegtijdige inzet van uitvoeringskennis voor optimalisatie van het ontwerp.

Parallelle ontwerpstappen S2
Door het toepassen van geïntegreerde contractvormen kan er eerder met het uitvoeringsontwerp worden gestart en kunnen er ontwerpstappen parallel worden uitgevoerd. Hierdoor wordt de doorlooptijd van het proces verkort. Systems Engineering gaat ook uit van het toepassen van concurrent engineering[4] om de doorlooptijd te verkorten en daarnaast het proces beheersbaar te houden. Een systematisch proces kenmerkt zich door een hoge mate van parallelliteit in de uitvoering van de ontwerptaken.

4 Concurrent Engineering: Het gelijktijdig uitvoeren van (ontwerp)taken om de doorlooptijd van het proces te verkorten.

Tijdstip van optimalisatie S3
Onder optimalisatie wordt het doorontwikkelen van het ontwerp verstaan. Het ontwerpproces start op het moment dat de opdracht op de markt wordt gezet en vanuit een programma van eisen een oplossing wordt uitgewerkt. Gaandeweg het proces komt er echter meer informatie beschikbaar, waardoor de oplossing tijdens het ontwerpproces wordt bijgesteld en geoptimaliseerd. Daarnaast zorgt optimalisatie voor het verminderen van de risico's en wordt de toekomstige uitvoering vergemakkelijkt (Veenvliet, 1999, p.89). Vanuit de gedachtegang van Value Management kan er door het optimaliseren meer waarde tegen dezelfde kosten (of zelfs lager) worden gegenereerd en kan er dus een betere aanbieding worden gedaan aan de opdrachtgever, waardoor de kans op gunning toeneemt. Het optimalisatieproces dient daarbij een continu proces te zijn, waarbij voortdurend wordt geëvalueerd of dezelfde functionaliteit tegen een lagere prijs kan worden aangeboden. De optimalisatieslagen dienen niet alleen op het einde van het project te worden toegepast, maar ook gaandeweg het proces. Een systematisch proces kenmerkt zich dan ook door een continue optimalisatie van het ontwerp gedurende het ontwerpproces.

Hoeveelheid alternatieven S4
Door de ontwerpvrijheid kunnen er meerdere oplossingen zijn, die voldoen aan de gestelde eisen. Echter vanwege het korte tijdsbestek en de kosten die hieraan verbonden zijn, is het niet mogelijk alle alternatieven uitvoerig af te wegen. Er dient dus een keuze gemaakt te worden, welke alternatieven verder worden uitgewerkt en welke niet. Deze afweging dient bij voorkeur in het begin te worden gemaakt (Kelly, Male en Drummond, 2004, p104). Voor het aantal alternatieven dat wordt opgesteld, is de ruimte die geboden wordt in de vraagspecificatie erg bepalend. Indien hier veel ruimte is, kunnen meer alternatieven worden bedacht en worden afgewogen. Een systematisch proces kenmerkt zich door het afwegen van verschillende alternatieven, waarbij getracht wordt de optimale oplossing te genereren.

Aspecten waarop alternatieven worden opgesteld S5
Door het toepassen van geïntegreerde contractvormen nemen niet alleen de verantwoordelijkheden van de aannemer toe, maar ook de aspecten waarop alternatieven kunnen worden gegenereerd. In het verleden had de aannemer alleen te maken met het optimaliseren van het uitvoeringsontwerp, maar nu kunnen er ook alternatieven worden opgesteld voor het verhardingsontwerp en de verkeersmaatregelen. Door gebruik te maken van deze ruimte kan de oplossing nog beter worden toegesneden op de eisen van de opdrachtgever. Systems Engineering en Value Management gaan uit van de beste totaaloplossing, waarbij de onderdelen zijn gekozen die het beste systeem genereren. Om deze afweging te maken dienen op meerdere aspecten alternatieven te zijn uitgewerkt. Een systematisch proces kenmerkt zich door het afwegen van alternatieven op meerdere aspecten.

Toetsing in het ontwerpproces S6
Toetsing aan het programma van eisen in het ontwerpproces is essentieel. In hoofdstuk twee kwam al naar voren dat er voortdurend toetsing dient plaats te vinden bij complexe projecten. Doordat er vele disciplines werken aan de totstandkoming van het ontwerp, is het van belang dat deze onderdelen allemaal op elkaar aan sluiten. Om dit te garanderen dient voor ieder subsysteem getoetst te worden of is voldaan aan de gestelde eisen. De toetsing dient daarbij bottum-up te geschieden, wat inhoudt dat eerst op het laagste niveau wordt getoetst of voldaan is aan de eisen en dat vervolgens op een bovenliggende eis wordt gecontroleerd. Iedere component of onderdeel dient daarbij ten minste voor één eis een oplossing te bieden (Veenvliet, 1999, p.50). Daarnaast is het tevens van belang dat deze toetsing gaandeweg het proces wordt uitgevoerd en dat bij wijzigingen opnieuw toetsing plaatsvindt.

3.3.3 Transparantie van het ontwerpproces (T)

Onder transparantie van het ontwerpproces wordt binnen dit onderzoek de openheid van het ontwerpproces voor de betrokken participanten verstaan. Transparantie betekent in dit verband de communicatie binnen het ontwerpteam gedurende het ontwerpproces. Om de transparantie van het ontwerpproces te beschrijven zijn de volgende parameters opgesteld:

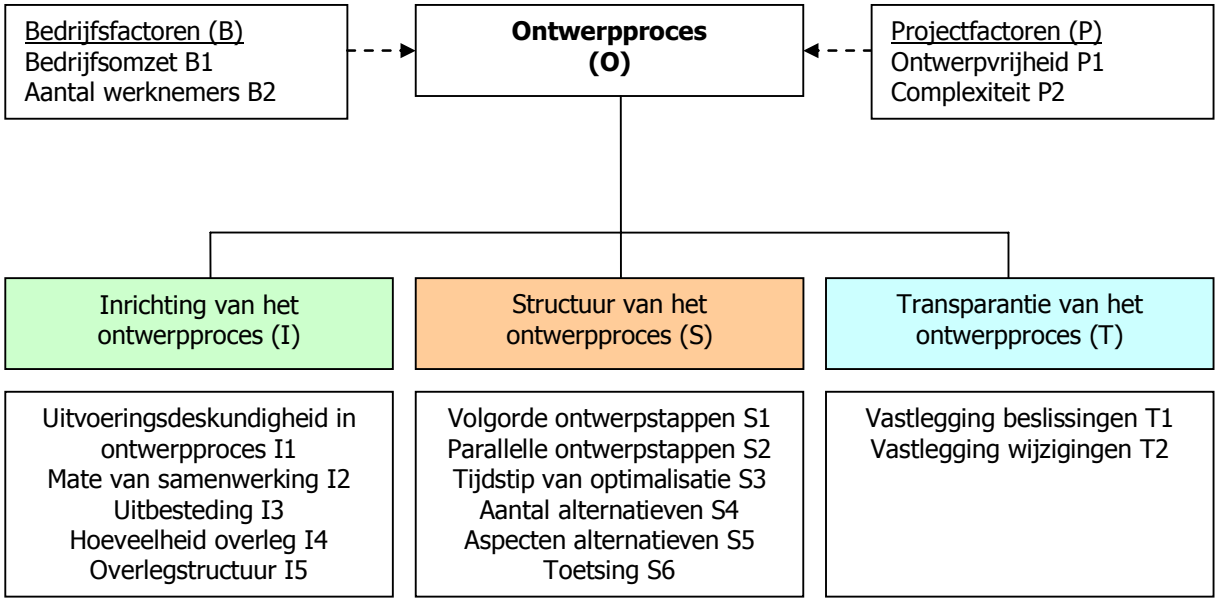
- Vastleggen beslissingen
- Vastleggen van wijzigingen

Vastleggen van beslissingen T1
Door de toepassing van geïntegreerde contractvormen en het steeds complexer worden van projecten komt er meer nadruk te liggen op multidisciplinaire ontwerpteams en de onderlinge communicatie. Alle participanten van het ontwerpteam dienen gedurende het proces op de hoogte te zijn van de (relevante) genomen beslissingen om efficiënt te kunnen samenwerken. Er dient dus een goede informatiedoorstroming te zijn, waarbij er gecommuniceerd wordt over de genomen beslissingen gedurende het project. Een systematisch proces kenmerkt zich door vastleggen van de beslissingen gedurende het gehele ontwerpproces.

Vastleggen van wijzigingen T2
Ook de wijzigingen in het proces dienen goed vastgelegd te worden, zodat duidelijk is met welke versie er gewerkt wordt en ontwerpfouten voorkomen worden. Er zijn echter wel grenzen aan het vastleggen van beslissingen en wijzigingen, want het communiceren van alle informatie gedurende het proces is erg kostbaar. In een dynamische en complexe omgeving is het tijdrovend en vaak zelfs onmogelijk om alle informatie, die mogelijk relevant is voor het proces, vast te leggen (PSIBouw, 2005, p.5). Desalniettemin is het wel van belang dat de wijzigingen worden vastgelegd, waardoor er niet alleen efficiënter wordt gewerkt, maar er ook leerpunten voor een volgend proces uit gedestilleerd kunnen worden.

3.4 Toetsingsmodel ontwerpproces

Aan de hand van de beschreven parameters is een toetsingsmodel opgesteld om de mate van systematisch werken in het ontwerpproces te bepalen. Er wordt daarbij verondersteld dat de mate van systematisch werken in het ontwerpproces (O) wordt bepaald door de interne parameters, welke onderverdeeld zijn in de hoofdgroepen inrichting (I), structuur (S) en transparantie (T). Daarnaast wordt verondersteld dat de externe factoren van invloed zijn op de mate van systematisch werken. De externe factoren zijn daarbij onderverdeeld in de hoofdgroepen bedrijfsafhankelijke (B) en projectafhankelijk factoren (P). Een schematisch overzicht van het model is hieronder weergegeven:



Figuur 3.1: Toetsingsmodel ontwerpproces

3.4.1 Wegingsfactoren

Aangezien niet alle parameters even veel invloed hebben op de mate van systematisch werken, is er besloten wegingsfactoren aan de parameters toe te kennen. Hiervoor is gebruik gemaakt van de Analytical Hiërarchie Proces-methode (AHP-methode) van Saaty (Saaty, 1980). Bij deze methode worden criteria ten opzichte van elkaar vergeleken en gewaardeerd en worden er op basis van deze vergelijking wegingsfactoren bepaald.

Er is gekozen voor de AHP-methode, omdat deze "*met name geschikt is voor complexe beslissingen bij een onderlinge vergelijking van elementen die moeilijk te kwantificeren zijn"* (University of Cambridge, 2006). De parameters in het model zijn ook moeilijk te kwantificeren, doordat er geen eenduidige literatuur is over een systematisch ontwerpproces. Door gebruik te maken van de Saaty-methode kunnen de veronderstelde parameters onderling worden vergeleken en kan er door middel van de wegingsfactoren een score worden bepaald die de mate van systematisch werken in het ontwerpproces beschrijft. Voor een gedetailleerde beschrijving van de AHP-methode en het bepalen van de wegingsfactoren wordt verwezen naar de bijlage I.

Berekenen wegingsfactoren parameters
Met behulp van de AHP-methode zijn eerst de wegingsfactoren voor de parameters I1 tot en met I5, S1 tot en met S6 en T1 en T2 bepaald. Hierbij zijn de parameters per hoofdgroep onderling tegen elkaar afgewogen en is bepaald welke parameter belangrijker is. Vervolgens zijn met behulp van deze onderlinge vergelijkingen de wegingsfactoren per hoofdgroep bepaald.

Parameters	Wegingsfactor
Inrichting van het ontwerpproces (I)	
Uitvoeringsdesk. in ontwerpproces I1	0,135
Mate van samenwerking I2	0,490
Uitbesteding I3	0,087
Hoeveelheid overleg I4	0,232
Overlegstructuur I5	0,056
Structuur van het ontwerpproces (S)	
Ontwerpstappen volgorde S1	0,043
Ontwerpstappen parallel S2	0,128
Optimalisatietijdstip S3	0,221
Alternatieven aantal S4	0,068
Alternatieven aspecten S5	0,128
Toetsing S6	0,412
Transparantie van het ontwerpproces (T)	
Vastleggen beslissingen T1	0,250
Vastleggen wijzigingen T2	0,750

Tabel 3.1: Wegingsfactoren voor inrichting, structuur en transparantie

Per hoofdgroep is het totaal van alle wegingsfactoren precies één, wat betekent dat bijvoorbeeld de overlegstructuur (I5) voor 5,6% de score voor de inrichting van het ontwerpproces bepaald. Opvallend hierbij zijn de hoge wegingsfactoren voor de parameters I2 (mate van samenwerking), S6 (toetsing) en T2 (vastleggen wijzigingen). Deze parameters hebben een grote invloed op respectievelijk de inrichting, structuur en transparantie van het ontwerpproces.

Invloed parameters op ontwerpproces (O)
De mate van systematisch werken (O) is afhankelijk van de inrichting (I), de structuur (S) en de transparantie (T). Er is daarbij aangenomen dat de hoofdgroepen niet allen even belangrijk zijn. Hierdoor is besloten ook de hoofdgroepen onderling te vergelijken door middel van de saaty-methode. Uit de vergelijking kwam de volgende verhouding naar voren:

- Inrichting van het ontwerpproces 0,58
- Structuur van het ontwerpproces 0,28
- Transparantie van het ontwerpproces 0,14

De inrichting van het ontwerpproces is dus de belangrijkste hoofdgroep, omdat deze voor 58% de mate van systematisch werken in het ontwerpproces (O) bepaalt. Door vervolgens de wegingsfactoren van de parameters te vermenigvuldigen met de invloed van de hoofdgroep, ontstaan de wegingsfactoren voor de parameters voor de mate van systematisch werken (O).

Parameters	Wegingsfactor
Inrichting van het ontwerpproces (I)	
Uitvoeringsdesk. in ontwerpproces I1	0,08
Mate van samenwerking I2	0,29
Uitbesteding I3	0,05
Hoeveelheid overleg I4	0,14
Overlegstructuur I5	0,03
Structuur van het ontwerpproces (S)	
Ontwerpstappen volgorde S1	0,01
Ontwerpstappen parallel S2	0,04
Optimalisatietijdstip S3	0,06
Alternatieven aantal S4	0,02
Alternatieven aspecten S5	0,04
Toetsing S6	0,12
Transparantie van het ontwerpproces (T)	
Vastleggen beslissingen T1	0,03
Vastleggen wijzigingen T2	0,10
Totaal	**1,00**

Tabel 3.2: Wegingsfactoren voor mate van systematisch werken

De wegingsfactoren kunnen worden gebruikt om de mate van systematisch werken (O) te bepalen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de parameters voor de mate van samenwerking (I2), het tijdstip van toetsing (S6) en de hoeveelheid overleg (I4) erg hoge wegingsfactoren hebben. Deze drie parameters bepalen voor 55% de score voor de mate van systematisch werken in het ontwerpproces. Een lage score op deze parameters heeft dus grote gevolgen voor de totaalscore voor de mate van systematisch werken in het ontwerpproces.

3.4.2 Mate van systematisch werken

Om de mate van systematisch werken per parameter te bepalen, worden aan de parameters scores toegekend. Deze scores worden berekend door de waarde van de parameter (X_i) te vermenigvuldigen met de wegingsfactor A_i. Door middel van het praktijkonderzoek worden de waarden voor de parameters bepaald. Deze waarden variëren van één (niet systematisch) tot en met vijf (systematisch).
Om de mate van systematisch werken in het ontwerpproces te bepalen, wordt een totaalscore (O) berekend. De totaalscore is de sommatie van de scores van alle parameters. Door de scores van alle parameters op te tellen en deze te delen door vijf, ontstaat de totaalscore die varieert van 0,2 tot 1. Bij een score van 1 is er sprake van een ontwerpproces dat voor 100% systematisch wordt doorlopen. De berekening voor de totaalscore (O) staat hieronder in wiskundige formulering weergegeven:

$$O = (\Sigma(X_i * A_i))/5$$

O = Score ontwerpproces
X_i = Score parameter
A_i = Wegingsfactor parameter
$_i$ = Parameter

$1 \leq X_i \leq 5$
$0,2 \leq O \leq 1$

Figuur 3.2: Berekening totaalscore systematisch werken

3.5 Conclusies ten aanzien van het model

Om de mate van systematisch werken in het ontwerpproces te bepalen zijn een aantal parameters opgesteld waarvan verondersteld wordt dat deze bepalend zijn. De parameters zijn vervolgens vertaald in het toetsingsmodel dat gebruikt wordt om een score voor de mate van systematisch werken te bepalen. Aan de hand van de score van het toetsingsmodel kunnen uitspraken worden gedaan over de mate van systematisch werken binnen het ontwerpproces.
Daarnaast is verondersteld dat de mate van systematisch werken afhankelijk is van de externe factoren. Om deze veronderstelling te toetsen dienen de externe factoren tegen de waarden voor het systematisch werken (O) te worden uitgezet. Tevens kan door middel van het praktijkonderzoek worden bepaald welke externe factor de meeste invloed heeft op de mate van systematisch werken.

4 Hypothesen

In het voorgaande hoofdstuk is een beschrijving van het model voor het toetsen van de mate van systematisch werken in het ontwerpproces weergegeven. Dit model is opgesteld aan de hand van de literatuur beschreven in hoofdstuk twee. Om het praktijkonderzoek efficiënter te kunnen uitvoeren zijn aan de hand van dit model en de literatuur een aantal veronderstellingen (hypothesen) opgesteld over hoe er binnen de asfaltwegenbouwsector wordt gewerkt en welke externe factoren daarbij belangrijk zijn. De hypothesen worden vervolgens door middel van een praktijkonderzoek getoetst.

4.1 Inrichting van het ontwerpproces

Zoals in hoofdstuk drie aan de orde is geweest, is het belangrijk uitvoeringskennis in het proces te integreren. Toch wordt het integreren van uitvoeringskennis vaak objectgericht opgevat in plaats van procesgericht (Veenvliet, 2003). Dit leidt meestal tot het reviewen van het ontwerp in de laatste fase van het proces. Idealiter zou vanuit de gedachtegang van Constructability de integratie van uitvoeringskennis gedurende het gehele proces moeten plaats vinden. Het nadeel is echter dat dit extra investeringen vergt in de tenderfase, terwijl de voordelen hiervan mogelijk pas in de uitvoeringsfase worden behaald. De voordelen dienen op te wegen tegen de verhoogde investering en aangezien deze "pay-off" niet altijd duidelijk is, is de verwachtingen dat weinig aannemers gebruik maken van de uitvoeringskennis binnen het bedrijf. Dit leidt tot de volgende hypothese:

1.1 Aannemers integreren geen uitvoeringskennis in het ontwerpproces.

De complexiteit van de projecten is de laatste jaren steeds meer toegenomen en de doorlooptijden worden steeds korter. Hierdoor is een goede informatie-uitwisseling belangrijker (SBR, 1989, p.15). Met name bij grote gecompliceerde projecten wordt bouwen steeds meer een multidisciplinair proces waarbij deskundigheid van vele disciplines benodigd is. De communicatie tussen de disciplines wordt dus belangrijker (Staadegaard, 1985, p.331). De systematische benadering gaat uit van de gedachte het ontwerp als een geheel te zien en niet te beschouwen in deelproblemen. Het maken van keuzes in het ontwerp is dus afhankelijk van de keuzes voor de onderlinge onderdelen. Hierdoor is een goede afstemming binnen het team nodig en dient er samengewerkt te worden. De meest vergaande vorm hierin is het fysiek bij elkaar brengen van het voltallige team in een ruimte. Het voordeel is dat de lijnen korter zijn en er betere afstemming mogelijk is, waardoor de efficiëntie wordt verbeterd en het waardeverlies in het proces wordt geminimaliseerd. De verwachting is dat dit gezien de organisatiestructuur in de meeste bedrijven niet mogelijk zal zijn en dit leidt tot de volgende hypothese:

1.2 De verschillende disciplines in het ontwerpteam werken separaat van elkaar.

Doordat de projecten steeds complexer worden en de aannemer meer verantwoordelijkheden krijgt van de opdrachtgever, zijn er steeds meer disciplines betrokken in het ontwerpproces. Hierdoor dienen de aannemers van meer onderdelen kennis in huis te hebben dan vroeger het geval was. Deze kennis kan ontwikkeld worden of worden aangetrokken, maar daarnaast is er ook de mogelijkheid om bepaalde taken uit te besteden. Hierdoor hoeft de specifieke kennis niet in huis te worden gehaald en kan de aannemer toch een volwaardige oplossing aanbieden. Het risico bij uitbesteding is echter dat er kennis van de aannemer bij derden terecht komt en dat de nadruk komt te liggen op goede afspraken en afstemming. De verwachting is dan ook dat aannemers weinig tot vrijwel geen taken uitbesteden aan derden en dat de benodigde kennis al in huis is gehaald of is ontwikkeld in de loop der jaren. De hypothese luidt dan ook:

1.3 Binnen het ontwerpproces vindt er geen uitbesteding plaats aan derden.

Gezien de toenemende complexiteit van de projecten is het belangrijk dat er overleg plaats vindt tussen de competenties. In hoofdstuk drie werd al gesteld dat bij een toenemend aantal disciplines de nadruk op een goede communicatie steeds belangrijker wordt.

Een van de middelen om deze communicatie te bevorderen is overleg tussen de disciplines. Door middel van overleg kunnen communicatieproblemen tussen de disciplines worden voorkomen en kunnen wijzigingen en beslissingen worden gemeld. Het is daarbij raadzaam van te voren een aantal milestones vast te leggen waarop overleg plaats vindt. De verwachting is dat aannemers de voordelen van veelvuldig en gestructureerd overleg erkennen en hier gebruik van maken in hun ontwerpprocessen. De hypothese luidt dan ook:

1.4 Aannemers maken gebruik van een vaste overlegstructuur in het ontwerpproces.

4.2 Structuur van het ontwerpproces

In hoofdstuk drie is al aangegeven dat de structuur van het ontwerpproces grotendeels wordt bepaald door de volgorde van de ontwerpstappen en de mate waarin de ontwerpstappen parallel worden uitgevoerd. Door het verschuiven van de nadruk van component gerichte productontwikkeling naar een meer geïntegreerde systeembenadering, komen ontwerpbenaderingen zoals concurrent engineering meer op de voorgrond te staan. Concurrent Engineering (CE) gaat uit van de gedachte meerdere stappen in proces simultaan uit te voeren om zo de doorlooptijd te verkorten. Gezien de korte doorlooptijd van de tenderfase, kan de toepassing van CE voor de aannemer een meerwaarde opleveren. De verwachting is dan ook dat de aannemers binnen het ontwerpproces simultaan meerdere ontwerpstappen doorlopen. De hypothese luidt dan ook:

2.1 De ontwerpstappen worden bij de aannemers simultaan doorlopen.

Naast het parallel uitvoeren van ontwerpstappen gaan de systematische ontwerpbenaderingen ook uit van optimalisatie in het proces. Bij het toepassen van SE wordt er continu gecontroleerd, gevalideerd en vindt er bijsturing plaats van het ontwerp gedurende het gehele ontwerpproces (zie paragraaf 2.3). De verwachting is dat aannemers het ontwerp optimaliseren en dat deze optimalisatieslagen gedurende het hele ontwerpproces worden doorlopen. De hypothese luidt dan ook:

2.2 Binnen het ontwerpproces vindt er voortdurend optimalisatie plaats.

In hoofdstuk twee kwam al naar voren dat het genereren van alternatieven een van de onderdelen is van SE. Door het generen van alternatieven kunnen innovatieve oplossingen worden aangedragen en kan er meer waarde tegen dezelfde kosten worden aangeboden. De verwachting is echter dat aannemers binnen het ontwerpproces weinig tot geen alternatieven uitwerken, omdat dit te veel investeringen vraagt en de doorlooptijd van het proces al erg kort is. Daarnaast zullen er alleen alternatieven worden uitgewerkt op aspecten waar de aannemer al kennis heeft opgedaan met innovatieve producten. Het toepassen van nieuwe innovatieve producten zal bij een groot project een te groot risico met zich meebrengen. De hypothese luidt dan ook:

2.3 Aannemers stellen weinig tot geen alternatieven op.

Het toetsen van eisen is erg belangrijk en volgens de gedachte van SE vindt na iedere ontwerpstap er controle en validatie plaats aan de hand van de gestelde eisen. Deze terugkoppeling zorgt er voor dat het ontwerp op alle aspecten voldoet aan de gestelde eisen en dat de onderdelen op elkaar aansluiten. Het is daarbij belangrijk dat de toetsing gedurende het gehele proces plaats vindt, zodat vroegtijdig ontwerpfouten kunnen worden voorkomen en/of ontdekt. De verwachting is dat aannemers tijdens het ontwerpproces wel toetsen, maar dat deze toetsing alleen op het einde plaats vindt, vanwege tijdnood. Het ontwerpproces is onderhevig aan veranderingen en het continu toetsen na iedere wijzigingen zou teveel tijd kosten. De hypothese luidt dan ook:

2.4 Toetsing aan de eisen vindt alleen plaats op het einde van het ontwerpproces.

4.3 Transparantie van het ontwerpproces

Door toenemende complexiteit komt er steeds meer nadruk te liggen op de informatiedoorstroming. Deze informatiedoorstroming wordt bepaald door de mate waarin de betrokkenen op de hoogte worden gehouden of gesteld van de genomen beslissingen en wijzigingen gedurende het ontwerpproces. Een van de principes van SE is dat er een helder en goed gedocumenteerd proces wordt gebruikt. Dit betekent dat er gebruik wordt gemaakt van eerder opgedane ervaringen en dat wijzigingen en beslissingen worden vastgelegd (Defoe, 1993, p.8). De verwachting is dat de aannemers gebruik maken van een transparant ontwerpproces en de voordelen van de systematische werkwijze erkennen. De hypothese luidt dan ook:

3.1 De beslissingen en wijzigingen in het ontwerpproces worden gestructureerd vastgelegd.

4.4 Externe factoren

4.4.1 Bedrijfsgrootte

De laatste jaren is er een trend gaande waarbij de overheid zich terugtrekt en er steeds meer verantwoordelijkheden bij de aannemers worden neergelegd. Daarnaast neemt ook de projectomvang toe. Om de hinder voor zowel omwonenden als gebruikers te minimaliseren, kiest de overheid er steeds vaker voor om meerdere wegvakken te combineren tot één bestek. Dit zorgt er niet alleen voor dat de verantwoordelijkheden en risico's toenemen, maar ook dat de selectiecriteria met betrekking tot omzet worden verhoogd. Hierdoor wordt het voor kleinere aannemers moeilijker om zich in te schrijven op complexe geïntegreerde contracten. De hypothese luidt dan ook

4.1 Complexe geïntegreerde contracten binnen de asfaltwegenbouwsector kunnen alleen door grote aannemers worden uitgevoerd.

4.4.2 Ontwerpvrijheid

Door het toepassen van geïntegreerde contractvormen is er verschuiving van verantwoordelijkheden, waardoor de opdrachtnemende eerder in het proces wordt betrokken en er gepretendeerd wordt dat er meer ontwerpvrijheid is. Echter door de onrust in de bouwmarkt als gevolg van de politieke en maatschappelijke discussie in het kader van de bouwenquête, bestaat bij (overheids)opdrachtgevers grote aarzeling omtrent het aanbesteden van geïntegreerde contracten (CROW, 2004b, p.11). De aanbesteding van geïntegreerde contracten wordt in de praktijk vaak als lastig of zelfs als onuitvoerbaar ervaren. De opdrachtgever heeft vaak wel de intentie om in een relatief vroege fase van het bouwproces te komen tot contractering, maar in de praktijk blijkt echter dat opdrachtgevers het moment van contracteren vaak zodanig uitstellen dat het ontwerp al is uitgewerkt tot het niveau van het definitief ontwerp (CROW, 2004b, p.19). Hierdoor is er dus bijna geen ontwerpvrijheid voor de aannemers bij geïntegreerde contractvormen en wordt het voordeel ten aanzien van ontwerpvrijheid teniet gedaan. De hypothese luidt dan ook:

4.2 Er wordt onvoldoende ontwerpvrijheid gegeven bij geïntegreerde contractvormen.

Door een grotere ontwerpvrijheid bij geïntegreerde contractvormen ontstaat de mogelijkheid om product- en procesinnovaties door te voeren. Uit onderzoek blijkt dat innovaties optreden indien er ruimte wordt geboden. Innovaties blijken daar op te treden, waar de aanbesteder ruimte schept voor creativiteit. Naast het bieden van ruimte kan de opdrachtgever ook sturen op innovatie door middel van bonussen. Het blijkt echter dat de prikkel tot innovatieve oplossingen nog wordt gemist door de opdrachtnemers. De ruimte voor innovatie beperkt zich veelal tot de invulling van de uitvoeringsmethode en de toe te passen technieken. De behoefte om tot een concurrerende vaste prijs te komen, wordt hierbij als belangrijkste drijfveer genoemd. Verder blijkt dat vaak efficiency verloren gaat doordat er onvoldoende basisgegevens beschikbaar worden gesteld en (te) veel inschrijvers een (gedetailleerde) aanbieding moeten uitwerken. De aanwezige ruimte voor innovatie wordt daardoor slechts beperkt benut (CROW, 2004b, p. 27).

De hypothese luidt dan ook:

4.3 Aannemers worden door de opdrachtgever niet gemotiveerd om innovatieve oplossingen aan te dragen.

4.4.3 Complexiteit van project

De omslag van traditionele contracten naar geïntegreerde contracten is een proces dat de laatste jaren in een stroomversnelling is geraakt. Waar vijf jaar geleden de markt alleen nog maar bestond uit traditionele RAW-bestekken heeft het merendeel van de contracten die RWS nu op de markt zet een geïntegreerd karakter. Dit betekent niet alleen een omschakeling voor RWS, maar ook voor de marktpartijen die hier mee geconfronteerd worden. Dit zorgt ervoor dat marktpartijen moeten investeren om in te kunnen spelen op deze veranderende vraag. De hypothese luidt dan ook:

4.4 Marktpartijen moeten investeren in innovatieve contracten omdat de markt dit vraagt.

Door de toenemende complexiteit van projecten neemt het aantal taken van de opdrachtnemende partij toe. De aannemer dient niet alleen uit te voeren maar moet ook een volwaardig ontwerp maken en wordt vaak belast met de vergunningaanvraag. Dit vereist een andere denk- en werkwijze en dit verloopt niet altijd even soepel. Dit wordt veroorzaakt door bestaande (traditionele), ingesleten processen, met een zeker automatisme in de rollen van zowel de aannemer als de opdrachtgever (CROW, 2004, p.29). De verwachting is dan ook dat aannemers met name in het begin moeite hebben gehad met het werken met functionele vraagspecificaties. De hypothese luidt dan ook:

4.5 Aannemers hebben moeite met het werken met functionele vraagspecificaties.

4.5 Invloed externe factoren op het ontwerpproces

In hoofdstuk drie werd al aangegeven dat verwacht wordt dat de mate van systematisch werken in het ontwerpproces afhangt van het soort project en het type bedrijf. Om dit door middel van praktijkonderzoek te kunnen toetsen zijn hypothesen opgesteld welke de verwachte relatie tussen de externe factoren en de mate van systematisch werken beschrijven.

De manier waarop het ontwerpproces wordt doorlopen zal bij iedere aannemer anders zijn. De werkwijze is in de loop der jaren gegroeid en wordt mede bepaald door ervaringen in het verleden. Ondanks dat het proces bij ieder bedrijf weer anders wordt ingericht, wordt toch verwacht dat er onderscheid valt te maken in de mate van systematisch werken. De verwachting is dat een groot bedrijf systematischer zal werken dan een klein bedrijf, omdat er bij een groot bedrijf niet alleen bij het project maar ook binnen de organisatie sprake is van een complexe cultuur. Hierdoor komt er nog meer nadruk op de communicatie te liggen en de verwachting is dat de grotere bedrijven systematischer zullen werken. De hypothese luidt dan ook:

5.1 Grotere organisaties werken systematischer dan kleine organisaties.

Naast de bedrijfskundige aspecten wordt ook verondersteld dat het type project van invloed is op de systematiek in het ontwerpproces. Bij traditionele bestekken was er weinig invloed van de aannemer op het ontwerpproces en werd er gewerkt zoals er in het bestek stond aangegeven. Iedere partij had een duidelijke taak en deze werd sterk begrensd door de fasen in het bouwproces. Door de opkomst van de geïntegreerde contractvormen en de voorwaartse verschuiving die hiermee gepaard ging namen echter de verantwoordelijkheden toe en kwam er steeds meer nadruk te liggen op het samenwerken van de partijen. De aannemer kreeg meer vrijheid en werd voor meer taken verantwoordelijk gemaakt. Het gevolg van de toegenomen ontwerpvrijheid is, dat de aannemer meer taken heeft gekregen en meer zaken zelf mag bepalen. Hierdoor worden er meer competenties in het ontwerpproces betrokken en wordt de onderlinge communicatie tussen de teamleden steeds belangrijker.

De verwachting is dan ook dat bij een toenemende ontwerpvrijheid binnen het project het aantal competenties toeneemt en dat de aannemers systematischer zullen werken om een goede afstemming in het ontwerpproces te garanderen. De hypothese luidt dan ook:

5.2 Bij een toenemende ontwerpvrijheid wordt er systematischer gewerkt.

In hoofdstuk drie werd gesteld dat niet alleen de ontwerpvrijheid, maar ook de complexiteit van het project bepalend zijn voor de mate van systematisch werken. Indien een project complexer wordt neemt het aantal competenties vaak toe evenals de teamgrootte. Door deze toename wordt een goede communicatie essentieel en komt er meer nadruk op systematisch werken te liggen. De verwachting is dat bij een toenemende complexiteit er systematischer gewerkt zal worden en de laatste hypothese luidt dan ook:

5.3 Bij een toenemende complexiteit van het project zal er systematischer worden gewerkt.

5 Onderzoeksopzet interview en vragenlijst

Om de hypothesen uit hoofdstuk vier te kunnen toetsen en inzicht te krijgen in de ontwerpprocessen van aannemers, zijn interviews afgenomen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de selectie van de projecten, de onderzoeksstrategie en de totstandkoming van de vragenlijst. De selectiecriteria voor de projecten worden als eerste besproken alvorens een korte beschrijving wordt gegeven van de verschillende projecten. Vervolgens wordt ingegaan op de onderzoekstrategie en de geïnterviewde partijen. Tot slot worden de onderwerpen en de totstandkoming van de vragenlijst besproken.

5.1 Projecten

Om geschikte projecten te vinden voor de interviews zijn eerst een aantal selectiecriteria opgesteld. Aan de hand van deze selectiecriteria is op de aanbestedingskalender van het CROW gezocht naar projecten die aan deze eisen voldeden. Voor het selecteren van de projecten zijn de volgende selectiecriteria gebruikt:

- De projecten dienen recent uitgevoerd, of nog in de uitvoering te zijn.
- De projecten dienen een D&C-contractvorm of een gelijkwaardige contractvorm te hebben.
- De projecten dienen niet al te complex te zijn.
- Op de projecten dienen meer dan drie inschrijvingen te zijn geweest.
- De projecten dienen op basis van een UAVgc[5] contractvorm te zijn aanbesteed.

Het bleek echter dat er maar een beperkt aantal projecten waren die voldeden aan de selectiecriteria. Om een onderscheid te kunnen maken in de inrichting, de structuur en de transparantie van het ontwerpproces is er voor gekozen om projecten te onderzoeken, die oplopend zijn ten aanzien van de aangeboden ontwerpvrijheid en verschillend zijn qua omvang. Er zijn uiteindelijk drie projecten geselecteerd, waarbij de ontwerptaken variëren van het uitdetailleren van het voorontwerp tot en met het ontwerpen van de complete asfaltverharding en het bepalen van de fasering. De projecten betreffen het overlagen van een bestaande betonnen autosnelweg, de aanleg van een deelvak van een nieuwe autosnelweg en de aanleg van spitsstroken. Er dient echter wel te worden opgemerkt, dat de onderzochte projecten alledrie door RWS op de markt zijn gezet en dat er geen projecten zijn beschouwd van lagere overheden. Om verwarring met de naamgeving van de projecten te voorkomen zijn de projecten gecodeerd als project C, D en E.

5.1.1 Project C: A2 "Slingertracé"

Dit project omvat *"het voorbereiden en uitvoeren van de reconstructie van een (ongewapende) betonweg A2 welke is overlaagd met ZOAB in het beheersgebied van wegendistrict St. Joost, inclusief het uitvoeren van bijkomende werkzaamheden"* (Rijkswaterstaat Limburg, 2005).

Figuur 5.1: Traject A2 "Slingertracé"

5 UAVgc staat voor Uniforme Administratieve Voorschriften geïntegreerde contractvormen. Dit is het juridische raamwerk voor het implementeren van UAV voor geïntegreerde contractvormen.

Vanaf de openstelling in 1991 vertoont het weggedeelte tussen Weert-Noord (km. 187,6) en de Nederweert (km. 194,00) ernstige scheurvorming bestaande uit langs- dwarsscheuren in de ZOAB-deklaag en langsvoegen. Uit onderzoek bleek dat dit schadebeeld veroorzaakt werd *"door het niet volledig doorgescheurd zijn van langs-en dwarsvoegen, overbelasting van de verharding doordat de de ongewapende betonverharding is ondergedimensioneerd, onvoldoende lastoverdracht in langs- en dwarsvoegen en erosie van de fundering"*. (Rijkswaterstaat dienstkring St. Joost, 2005, p.1).

Om deze problemen aan te pakken zijn in 1997 onder leiding van de DWW proefvakken aangelegd om een viertal onderhoudsmaatregelen te testen. Deze onderhoudsmaatregelen betroffen:

- Dichtslemmen bestaande ZOAB en overlagen met ZOAB
- Verwijderen van ZOAB, afvlakken oneffenheden in beton en aanbrengen epoxylaag
- Verwijderen ZOAB, inzagen voeg en aanbrengen nieuw ZOAB.
- Remix ZOAB toepassen op betonverharding

Uit de evaluatie bleek echter dat *"geen van de uitgevoerde proefvakken tot een deugdelijk eindresultaat hebben geleid"* (Rijkswaterstaat dienstkring St. Joost, 2005, p.2). Vervolgens zijn een viertal onderhoudsmaatregelen opgesteld en is besloten de oplossing aan de markt over te laten door het bestek als Design & Constructcontract (D&C) op de markt te zetten.

Echter vanwege het vele voorwerk dat de opdrachtgever in deze al had gedaan, werden de rekenmethoden voor de vier varianten meegestuurd en werd er geëist dat er voldaan werd aan deze rekenmethoden. Hierdoor was er geen sprake meer van een zuivere D&C-contractvorm. De vier alternatieven die voorgelegd werden waren (Ministerie verkeer en waterstaat, 2005a, p. 18-22):

- Verwijderen huidige deklaag; licht beuken beton; aanbrengen versterkingsla(a)g(en); aanbrengen ZOAB
- Verwijderen huidige deklaag; zwaar beuken beton; aanbrengen versterkingsla(a)g(en); aanbrengen ZOAB
- Uitbreken ongewapende betonverharding en vervangen door gewapend beton
- Uitbreken ongewapende betonverharding en vervangen door asfaltconstructie.

Het bestek is als openbare aanbesteding op 26 oktober 2005 op de markt gezet. Het gunningcriterium was laagste prijs, maar de aannemers dienden wel een plan van aanpak mee te sturen welke goedgekeurd diende te worden door de opdrachtgever. Er zijn vier marktpartijen geweest die een inschrijving hebben gedaan, te weten:

- Dura Vermeer Infrastructuur B.V.
- KWS B.V.
- BAM wegen B.V.
- Heijmans Infrastructuur B.V.

Bij dit project is geen ontwerpvergoeding uitgekeerd, aangezien veel ontwerpwerk al door de OG was uitgevoerd. Het project is uiteindelijk op 05 januari 2005 gegund aan Dura Vermeer voor een inschrijfprijs van € 6.796.000,- (CROW, 2006).

5.1.2 Project D: A73 "Wegvak F en G"

Dit project " *betreft de technische uitwerking van het ontwerp en de uitvoering van de wegvakken F en G van de Rijksweg 73-Zuid, waaronder begrepen de bijbehorende viaducten en overige objecten, alsmede de uitwerking en realisatie van de provinciale wegen N280 – Oost en de N293 – Noord (Oosttangent Roermond) en alle bijkomende werkzaamheden"* (Rijkswaterstaat directie Limburg, 2005).

Het werk is opgedeeld in twee onderdelen, namelijk het op enkele onderdelen uitdetailleren van het ontwerp en de realisatie van Rijksweg 73-Zuid (met de bijbehorende kunstwerken) en het op enkele onderdelen uitdetailleren van het ontwerp en de realisatie van de provinciale wegen N280-Oost en N293-Noord. In eerste instantie zouden deze twee onderdelen separaat worden aanbesteed, maar er is toch gekozen om deze twee onderdelen als één bestek aan te besteden.

Er was echter wel een clausule in de gunningscriteria opgenomen, dat indien de laagste inschrijving voor beide onderdelen niet door dezelfde aannemer waren ingediend, de beide onderdelen separaat konden worden aanbesteed aan de aanbieder met de laagste prijs. Daarnaast waren er enige voorwaarden verbonden aan de fasering omdat het bestek een onderdeel betrof van een groter geheel, namelijk de volledige aanleg van de A73-Zuid die de verbinding vormt tussen de A73 bij Venlo (knooppunt Zaarderheiken) en de A2 bij Echt.

In verband met de late besluitvorming en de openstelling eind 2007, is er voor gekozen de werkzaamheden parallel uit te voeren en aan te besteden. Het gehele tracé van de Rijksweg 73-Zuid is opgedeeld in acht wegvakken (A t/m H), welke qua uitvoering ongeveer parallel lopen. De wegvakken F en G zijn echter als één bestek aanbesteed.

Wegvak F en G

Wegvak F en G ligt tussen de kruising van de Rijksweg 73-Zuid met de N271 Broekhin (km. 21,3) en de kruising met de Leropperweg (km. 13,8). Hieronder vallen alle aansluitingen op de A73 en kunstwerken exclusief de tunnelconstructie bij Roermond. Daarnaast betreft het twee provinciale wegen namelijk de N280-Oost vanaf de aansluiting op Rijksweg 73-Zuid (gemeentegrens Swalmen-Roermond) en de aansluiting op de BAB 52 (grens Nederland-Duitsland); en de N293-noord met bijbehorende kunstwerken vanaf de aansluiting op de Koninginnelaan en de Keulsebaan.

Figuur 5.2: Wegvak F

Het bestek betreft alleen het uitdetailleren van de verhardingen. Er is dus niet echt sprake van een D&C-contractvorm, waarbij veel ontwerpvrijheid is. Door de opdeling van de A73 in acht wegvakken, maar met de wens deze gelijkwaardig te houden, is er voor alle wegvakken gebruik gemaakt van een standaardbestek. De aanbesteding is geschied op basis van een niet-openbare aanbesteding met voorselectie. Na voorselectie hebben vijf partijen een plan van aanpak en verhardingsontwerp ingeleverd.

De partijen die een ontwerp hebben ingeleverd zijn:

- Combinatie Strukton Betonbouw B.V./Mourik Groot Ammers B.V.
- Combinatie KWS B.V./van Hattum en Blankevoort B.V./Martens en van oord B.V.
- BAM infrastructuur B.V.
- Heijmans Infrastructuur B.V.
- Combinatie Ballast Nedam B.V./Dura Vermeer groep N.V./Janssen de Jong Infra B.V.

Figuur 5.3: Wegvak G

Bij dit project is een ontwerpvergoeding uitgekeerd van € 5.000 excl. BTW, voor het maken van een wegverhardingsontwerp. De gunning heeft plaatsgevonden op 31 mei 2005, waarbij als gunningscriterium de laagste prijs is gehanteerd. Het project is uiteindelijk gegund aan BAM Infrastructuur B.V. voor de inschrijfprijs van € 34.146.000,- (Ministerie van Verkeer en waterstaat, 2005b, p.2).

5.1.3 Project E: aanleg spits- en plustroken A1/A50

Dit project omvat " *het ontwerpen en inrichten van de vluchtstroken tot spitsstroken rijksweg 50, gedeelte aansluiting Arnhem-Centrum - knooppunt Beekbergen (km. 183.300 – km. 203.000), en het ontwerpen en realiseren van plusstroken op rijksweg 1, gedeelte knooppunt Beekbergen - aansluiting Deventer-Oost (km. 88.100 – km. 108.600)"* (Rijkswaterstaat Oost-Nederland, 2005).

De A1 tussen de knooppunten Beekbergen en de afrit Deventer-Oost en de A50 tussen de knooppunten Waterberg en Beekbergen zijn de afgelopen jaren door het groeiend verkeersaanbod een steeds groter knelpunt geworden. Om deze problemen te verminderen wordt de A50 zodanig aangepast dat de vluchtstrook bij een groot verkeersaanbod als extra rijstrook kan dienen. Op de A1 wordt aan de binnenzijde van de weg in beide rijrichtingen een extra rijstrook aangelegd, die opengesteld kan worden bij een groot verkeersaanbod (Rijkswaterstaat, 2005). Daarnaast zal, door de extra rijstrook op de A1, de IJsselbrug moeten worden versterkt ten gevolgen van de extra belasting.

Figuur 5.4: Overzicht werkgebied A1/A50

Het project is begin 2005 door RWS op de markt gezet en betrof een niet-openbare aanbesteding met voorselectie. Na loting hebben vijf partijen een aanbieding ingediend. De contractvorm betrof een D&C-contract waarbij het project op basis van de Economisch Meest Voordelige Inschrijving (EMVI) is gegund. Hierbij telde het plan van aanpak voor 10%, de maatregelen betreffende de kunstwerken voor 20% en de prijs voor 70% mee. Daarnaast konden er bonussen verdiend worden indien het project eerder opgeleverd werd. Vanwege de hoogte van deze bonussen was de planning erg bepalend voor de inschrijfprijs. Na loting hebben vijf partijen een plan van aanpak, een verhardingsontwerp en een pakket maatregelen voor de kunstwerken ingeleverd.

De partijen die zijn ingeloot en een aanbieding hebben gedaan zijn:

- Heijmans Infrastructuur B.V.
- Combinatie v. Gelder/TBI haverkort B.V.
- Dura Vermeer Groep B.V.
- Combinatie Bruil B.V./ Hegeman B.V./Essent
- Koop Tjuchem B.V.

Er is bij dit project een ontwerpvergoeding toegekend van € 30.000 excl. BTW, indien aan alle voorwaarden werd voldaan. Opmerkelijk detail hierbij is dat "slechts" twee van de vijf partijen voldeden aan de eisen. Hierdoor zijn er uiteindelijk maar twee inschrijvingen meegenomen in de gunning en is er maar voor twee aanbiedingen een ontwerpvergoeding uitgekeerd. Het project is op 6 april 2005 gegund aan Heijmans Infrastructuur B.V., die van de twee overgebleven aanbiedingen de hoogste EMVI-score had bij een inschrijfprijs van € 34.750.000,-.

5.2 Onderzoekstrategie

Om de mate van systematisch werken in het ontwerpproces van de aannemers in kaart te brengen, worden face-to face interviews afgenomen. Er is voor deze vorm gekozen omdat het onderwerp nogal breed geïnterpreteerd kan worden en een enquête te veel spreiding in de antwoorden zou geven. Daarnaast kan er op deze manier beter worden doorgevraagd, waardoor de kans op sociaal-wenselijke antwoorden kleiner is. Tevens kan de ondervraagde beter worden gestuurd indien *"de ondervraagde extra informatie nodig heeft of moet worden gestimuleerd"* (Verschuren en Doorewaard, 2004, p.130).
Een andere reden voor het toepassen van face-to-face interviews is de omvang van de vragenlijst. Deze is door de diverse onderdelen en de brede opzet te omvangrijk voor telefonische ondervraging. Daarnaast kan er bij een interview een korte pauze worden ingelast, waardoor de ondervraagden beter hun aandacht bij het onderwerp houden en doorgevraagd kan worden indien er onduidelijkheden zijn.

5.2.1 Respondenten

Om de aannemers van de drie projecten te kunnen interviewen, zijn deze eerst telefonisch benaderd. Hierbij is uitgelegd wat het doel van het onderzoek is en waarom het bedrijf wordt benaderd. Daarnaast is toegezegd dat de verkregen gegevens alleen gebruikt worden voor dit afstudeeronderzoek en dat alle gegevens vertrouwelijk zullen worden behandeld. Aan de hand van het telefonisch contact zijn afspraken gemaakt voor het afnemen van de interviews.

Vanwege het aantal inschrijvingen bij de projecten, is er voor gekozen om niet alle aannemers te interviewen. Dit zou teveel tijd in beslag nemen en daarnaast minder nuttig zijn aangezien enkele partijen bij meerdere projecten een inschrijving hebben gedaan. Verwacht werd dat de werkwijze daarbij hetzelfde zou zijn. Om de projecten onderling te kunnen vergelijken is besloten per project minimaal drie partijen te interviewen.

Bij de projecten zijn er een aantal bedrijven geweest, die zich hebben ingeschreven onder een combinatie. De reden hiervoor is dat de bedrijven niet alle benodigde competenties in huis hadden, of niet alleen konden voldoen aan de gestelde selectiecriteria. Bij combinaties zijn niet alle partijen binnen de combinatie geïnterviewd, maar alleen het bedrijf dat de tendermanager voor het project heeft geleverd. De tendermanager is geïnterviewd, omdat deze binnen het ontwerpproces de sturende persoon is tussen de verschillende competenties.

Uiteindelijk zijn voor de volgende projecten de volgende bedrijven geïnterviewd:

Project C: A2 "Slingertracé"
- Dura Vermeer Infrastructuur B.V.
- KWS B.V.
- BAM wegen B.V.

Project D: A73 Wegvak F en G
- Mourik Groot Ammers B.V.
- BAM infrastructuur B.V.
- Dura Vermeer groep N.V.

Project E: aan leg spits- en plusstroken A1/A50
- Heijmans Infrastructuur B.V.
- Combinatie v. Gelder/TBI haverkort B.V.
- Dura Vermeer Groep B.V.
- Combinatie Bruil B.V./ Hegeman B.V./Essent
- Koop Tjuchem B.V.

In totaal zijn er veertien interviews afgenomen, waarvan elf interviews voor de projecten en drie voor een algemeen beeld van het ontwerpproces. Voor een overzicht van de geïnterviewde personen wordt verwezen naar bijlage III: Respondentenlijst.

5.2.2 Onderwerpen en vragen

Om een beeld te krijgen van de ontwerpprocessen van de aannemers zijn face-to-face interviews afgenomen, waarbij gebruik is gemaakt van een vragenlijst. Deze vragenlijst is opgesteld aan de hand van de onderzochte ontwerpbenaderingen. De vragenlijst is opgedeeld in de verschillende onderwerpen en de vragen zijn afgeleid van de gestelde hypothesen.

De vragenlijst is daarbij in de volgende onderwerpen onderverdeeld:

- Ervaringen met het werken met een functionele vraagspecificatie
- Ervaringen betreffende het project
- Inrichting van het ontwerpproces
- Structuur van het ontwerpproces
- Transparantie van het ontwerpproces
- Ontwerpvrijheid

Daarnaast zijn er ook nog algemene vragen opgesteld over de resultaten en het aantal werknemers van de te interviewen bedrijven in 2005. De algemene vragen zijn vooraf naar de respondenten gestuurd om zodoende de gelegenheid te bieden informatie over de onderwerpen op te zoeken.

Er is voor de vragenlijst gebruik gemaakt van zowel open als gesloten vragen. De doelstelling was om zoveel mogelijk gebruik te maken van open vragen. Door het gebruik van open vragen hebben de respondenten de vrijheid om hun eigen mening te verwoorden en worden hen geen antwoorden in de mond gelegd. Het bleek niet mogelijk te zijn alle vragen van een open karakter te voorzien, waardoor er dus ook enkele gesloten vragen zijn opgenomen in de vragenlijst. De vragen zijn opgesteld op basis van de onderzochte onderwerpbenaderingen en de opgestelde hypothesen. Deze zijn vervolgens besproken met de afstudeercommissie en toegepast bij een interview. Aan de hand van de opgedane ervaring, is de vragenlijst verder aangescherpt. Hierbij zijn een aantal vragen geschrapt en zijn sommige vragen opnieuw geformuleerd. Tenslotte is er een definitieve versie opgesteld (zie bijlage IV: vragenlijst), welke gebruikt is voor het afnemen van de overige interviews. Er zijn echter geen controlevragen aan de vragenlijst toegevoegd, waardoor er in de interviews veel verschillende antwoorden zijn gegeven. Vanwege deze spreiding bleken sommige resultaten niet bruikbaar , waardoor besloten is deze vragen in de verwerking van de onderzoeksresultaten buiten beschouwing te laten.

6 Resultaten en analyse

In dit hoofdstuk zal in worden gegaan op de verkregen resultaten aan de hand van de interviews. Om de resultaten te genereren is gebruik gemaakt van de vragenlijst en is per aannemer voor iedere parameter een score bepaald. Hiervoor zijn de onderzoeksresultaten geanalyseerd en is per parameter een score toegekend variërend tussen de één (traditioneel) en vijf (systematisch). De verkregen scores zijn gebruikt om uitspraken te kunnen doen over de mate van systematisch werken met betrekking tot de inrichting, de structuur en de transparantie van het ontwerpproces. Daarnaast zijn de scores gebruikt om de mate van systematisch werken in het algemeen te bepalen en de mate van invloed die de externe factoren hierop hebben.
Voor de beschrijving van de resultaten wordt gebruik gemaakt van de in hoofdstuk vier opgestelde hypothesen met betrekking tot de parameters van het ontwerpproces. De hypothesen worden getoetst aan de hand van de verkregen onderzoeksresultaten, welke beschreven zijn in bijlage V: onderzoeksresultaten.

6.1 Inrichting van het ontwerpproces

Uitvoering in het ontwerpproces

1.1 Aannemers integreren geen uitvoeringskennis in het ontwerpproces.

Uit de interviews komt naar voren dat bij zes van de elf aannemers er uitvoeringskennis in het ontwerpproces wordt gebruikt. Het integreren van de uitvoeringskennis in het ontwerpproces kan, met name bij de uitvoering, voordeel opleveren. Om te onderzoeken of er uitvoeringskennis in het ontwerpproces is geïntegreerd, is er gevraagd naar de disciplines in het ontwerpteam. Hierbij is expliciet doorgevraagd naar de uitvoeringskennis. Van de zes aannemers, die wel uitvoeringskennis in het ontwerpproces integreerden, gaven er drie aan dat zij gebruik maken van uitvoeringsspecialisten. De overige drie aannemers implementeerden de uitvoeringskennis door middel van werkvoorbereiders die een voorgeschiedenis hebben in de uitvoering. Daarnaast kwam uit de interviews naar voren dat er weinig optimalisatie ten aanzien van de uitvoering plaats vindt en als dit al gebeurd dat dit dan pas op het einde van het proces plaats vindt. Verwacht wordt dat de kosten hiervoor als te hoog worden ervaren, aangezien er (nog) geen zekerheid is of de opdracht aan het bedrijf wordt gegund. Het is aannemelijk dat deze optimalisaties plaats vinden nadat het project is gegund, maar dit is binnen het onderzoek niet verder onderzocht. Aangezien zes van de elf aannemers uitvoeringskennis in het ontwerpproces integreren, kunnen er geen harde uitspraken worden gedaan over de hypothese. De hypothese kan op basis van de resultaten niet worden verworpen of worden bevestigd.

Samenwerking in het ontwerpteam

1.2 De verschillende disciplines in het ontwerpteam werken separaat van elkaar.

Om de samenwerking tussen de verschillende disciplines te toetsen is er gevraagd naar de aansturing van het team en de manier waarop de verschillende disciplines in het ontwerpproces hebben samengewerkt. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen het geheel, gedeeltelijk en totaal niet samenwerken van de disciplines gedurende het ontwerpproces. Bij vier van de elf aannemers hebben de disciplines tijdens het ontwerpproces afzonderlijk van elkaar hun taken uitgevoerd. Bij zes aannemers werden bepaalde onderdelen gezamenlijk uitgevoerd, zoals werkvoorbereiding en planning en er was slechts één aannemer waar de disciplines gedurende de tenderfase in één kamer gezamenlijk aan de inschrijving hebben gewerkt.

Uit de gegevens valt op te maken dat de verschillende disciplines bij zeven van de elf aannemers geheel of gedeeltelijk aan de inschrijving hebben samengewerkt. De hypothese dat de verschillende disciplines separaat van elkaar werken lijkt dus verworpen te kunnen worden.

Uitbesteding in het ontwerpproces

1.3 Binnen het ontwerpproces vindt er geen uitbesteding plaats aan derden.

Om de uitbesteding in het ontwerpproces te meten is er gevraagd naar de taken die zijn uitbesteed en de partijen die deze taken hebben uitgevoerd. Kleine ontwerptaken, zoals het doorrekenen van de voorspanning in een brugdeel, zijn hierbij buiten beschouwing gelaten. Om de uitbesteding in het ontwerpproces te kwantificeren is er onderscheid gemaakt tussen externe uitbesteding (aan derden), interne uitbesteding en het helemaal niet uitbesteden. Onder interne uitbesteding wordt het uitbesteden van ontwerptaken aan andere onderdelen binnen het bedrijf verstaan. Hierbij wordt dus niet het volledige ontwerp binnen de regio uitgevoerd, maar worden bepaalde ontwerptaken centraal uitgewerkt en teruggestuurd naar de regio.

Aangezien het middelgrote, tot grote projecten betrof en de inschrijvers ook middelgrote tot grote aannemers waren, werd er verwacht dat er weinig tot geen uitbesteding zou plaats vinden aan externe partijen (derden). Er werd verwacht dat de benodigde competenties voor dit soort werken intern aanwezig zou zijn bij de aannemers, waardoor er geen noodzaak tot uitbesteding is.
Uit de interviews blijkt echter dat bijna alle aannemers taken hebben uitbesteed. Er was slechts één aannemer die geen ontwerptaken binnen het ontwerpproces uitbesteedde. Van de tien aannemers die wel taken uitbesteedden, bleek het in vijf gevallen te gaan om interne uitbesteding. Het betrof hier grote bedrijven die eigen ontwerpafdelingen hebben die centraal opereren. Bij vijf van de elf aannemers vond uitbesteding plaats aan externe partijen. De hypothese dat er geen uitbesteding plaats vindt aan derden dient dus te worden verworpen.

Afstemming in het ontwerpproces

1.4 Aannemers maken gebruik van een vaste overlegstructuur in het ontwerpproces.

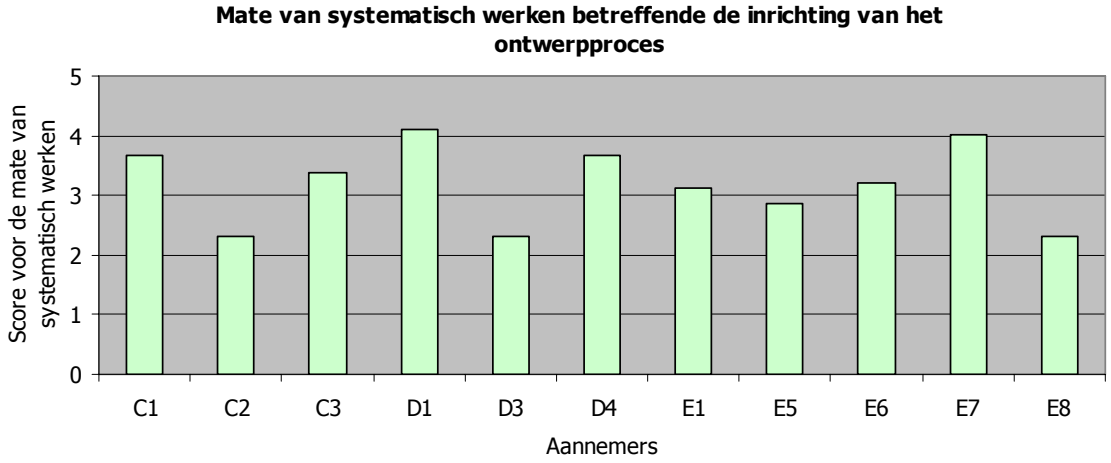
Om de afstemming binnen het ontwerpproces in beeld te brengen is er gevraagd naar de structuur en de hoeveelheid overleggen gedurende het ontwerpproces. Uit de interviews komt naar voren dat er bij tien aannemers wekelijks overleg heeft plaatsgevonden tussen de verschillende disciplines van het ontwerpteam. Slechts bij één aannemer vond er overleg om de twee weken plaats. Daarnaast gaven enkele ondervraagden aan, dat er tevens overleg had plaats gevonden tussen de verschillende bedrijven die zich als combinant hadden ingeschreven. Aangezien er maar in drie van de elf gevallen sprake was van een combinatie is dit binnen dit onderzoek niet nader onderzocht.

Verder is er nog gevraagd naar het karakter van de overleggen. Alle aannemers gaven aan dat de overleggen bedoeld waren om de status van het project te controleren en deze vergaderingen waren altijd van te voren gepland. Daarnaast zaten bij deze vergaderingen altijd dezelfde disciplines aan tafel en hebben er gaandeweg het proces hebben er geen wisseling van disciplines plaatsgevonden. Wel hebben enkele aannemers op het einde van het ontwerpproces een aantal uitvoeringsexperts bij het overleg betrokken maar dit is binnen het onderzoek niet verder onderzocht.

Uit de gegevens valt te concluderen dat bijna alle aannemers wekelijks overleg hadden en dat dit op een vaste dag plaats vond. De overlegdagen waren van te voren gepland en er vonden geen wisselingen plaats in de disciplines die bij het overleg aanwezig waren. De hypothese dat de aannemers een vaste overlegstructuur in het ontwerpproces gebruiken is dus juist.

6.1.1 Score voor de inrichting van het ontwerpproces

Aan de hand van de interviews zijn de hypothesen getoetst voor de inrichting van het ontwerpproces. Daarnaast is voor iedere parameter een score bepaald voor de mate van systematisch werken (zie bijlage V). Hiervoor zijn waarden aan de parameters toegekend die variëren van één (traditioneel) tot en met vijf (systematisch). De waarden zijn vervolgens vermenigvuldigd met de wegingsfactoren voor de structuur van het ontwerpproces. De scores hieruit voorkomen geven de mate van het systematisch werken weer voor de inrichting van het ontwerpproces. De scores zijn hieronder weergegeven:



Figuur 6.1: Score voor de inrichting van het ontwerpproces

De scores voor de mate van systematisch werken betreffende de inrichting van het ontwerpproces laten veel spreiding zien. Er zijn drie aannemers (C2, D3 en E5) die een score behalen van 2,3, maar ook twee aannemers die een score halen die hoger is dan vier (D3 en D4). De spreiding wordt met name veroorzaakt door de parameter mate van samenwerking (I2), die een hoge wegingsfactor heeft en dus veel invloed heeft op de score. Ook op de parameter uitvoeringsdeskundigheid in het ontwerpproces (I1) wordt door de twee aannemers slecht gescoord.

Opvallend is verder dat de dat de aannemers op project D gemiddeld hoger scoren dan de aannemers op de andere twee projecten, ondanks de lage score van aannemer D2. Vanwege de spreiding in de onderzoeksresultaten kunnen echter geen conclusies worden getrokken of dit afhankelijk is van de aannemers of van het project.

De inrichting bij de aannemers is over het algemeen niet systematisch, maar ook niet traditioneel te noemen met een gemiddelde score van 3,2. Er zijn twee aannemers met een score boven de vier, maar echter ook drie aannemers met een score van 2,3 waardoor geconcludeerd kan worden dat er op het gebied van de inrichting van het ontwerpproces nog veel verbeterd kan worden. De manier waarop er door de verschillende disciplines wordt samengewerkt, de integratie van uitvoeringskennis en het beperken van de uitbesteding in het ontwerpproces zijn daarbij aandachtspunten die voor bijna alle aannemers gelden.

6.2 Structuur van het ontwerpproces

Ontwerpstappen

2.1 De ontwerpstappen worden bij de aannemers simultaan doorlopen.

Uit de interviews komt naar voren dat de aannemers op verschillende manieren het ontwerpproces doorlopen. Er is in de interviews gevraagd naar de ontwerpstappen en de volgorde waarin deze worden doorlopen. Hierbij is het opvallend dat de volgorde van de ontwerpstappen afhangt van het soort project en de gegeven ontwerpvrijheid. Zo diende er bij de projecten op de A1/A50 en op de A2 wel rekening te worden gehouden met bestaand verkeer, terwijl deze component bij het project op de A73 nauwelijks aanwezig was. Dit vertaalde zich in de ontwerpstappen waarbij er wel of juist helemaal geen verkeersmaatregelen werden opgesteld.

Om de volgorde van de ontwerpstappen te kunnen vergelijken is uitgegaan van het geïntegreerde procesmodel welke beschreven is in de bijlage theoretisch model ontwerpproces. Op basis van dit model zijn drie typen onderscheiden voor de volgorde van de ontwerpstappen. Er is onderscheid gemaakt tussen een systematisch, gedeeltelijk systematisch en een onsystematisch proces.

Bij een systematisch proces wordt grotendeels het geïntegreerde procesmodel gevolgd, terwijl bij het onsystematische proces grotendeels het traditionele procesmodel wordt gevolgd.
Indien het proces hier tussen in ligt is er sprake van een gedeeltelijk systematisch proces. Uit de interviews kwam naar voren dat zes van de elf aannemers een systematische volgorde volgden en dat er bij vier aannemers sprake was van een gedeeltelijk systematische proces. Bij slechts één aannemer was er sprake van een onsystematische volgorde en dit werd volgens de respondent met name veroorzaakt doordat het ontwerp voor de verharding te laat klaar was.

Naast de volgorde van de ontwerpstappen is er ook gevraagd naar de stappen die parallel zijn uitgevoerd in het ontwerpproces. Het parallel doorlopen van stappen levert niet alleen tijdwinst op, maar zorgt ook voor een betere afstemming van de verschillende onderdelen. Om de parallelliteit in het ontwerpproces te meten is er onderscheid gemaakt in een volledig parallel, gedeeltelijk parallel en een sequentieel proces. Hierbij is wederom gebruik gemaakt van de procesmodellen, welke beschreven zijn in de bijlage II. Uit de interviews komt naar voren dat vier aannemers gebruik maken van een volledig parallel proces en dat er bij zeven aannemers sprake is van een gedeeltelijk parallel proces. Er vindt dus geen sequentieel ontwerpproces bij de aannemers plaats. De reden hiervoor ligt waarschijnlijk niet in een betere afstemming tussen de verschillende onderdelen en de mogelijkheid om verschillende alternatieven te gebruiken, maar in de beperkte tijd tussen opening en sluiting van de inschrijftermijn. Veel aannemers geven aan dat er geen tijd is om de stappen sequentieel te doorlopen.

Op basis van de resultaten kan gesteld worden dat aannemers een gedeeltelijk tot systematisch proces doorlopen, waarbij meerdere onderdelen gelijktijdig in het ontwerpproces worden uitgewerkt. Er is sprake van parallelliteit in het ontwerpproces en de hypothese, dat de ontwerpstappen simultaan worden doorlopen, is dus juist. De reden die hier echter aan ten grondslag ligt is anders dan werd verondersteld.

Optimalisaties in het ontwerpproces

2.2 Binnen het ontwerpproces vindt er voortdurend optimalisatie plaats.

De krappe doorlooptijd van de tenderfase is geen beperking voor de aannemers om het ontwerpproces te optimaliseren, want alle ondervraagde aannemers gaven aan dat het ontwerp gedurende deze fase is geoptimaliseerd. Om de optimalisatieslagen in het ontwerpproces vast te leggen is er gevraagd naar het aantal optimalisatieslagen en het tijdstip waarop deze hebben plaatsgevonden. Het bleek echter erg lastig om het aantal optimalisatieslagen onderling te vergelijken, omdat er veel spreiding in de gegeven aantallen zat. Deze spreiding werd grotendeels veroorzaakt door het verschil in definitie die de ondervraagden hebben over het begrip "optimaliseren ". Hierdoor ontstond een vertekend beeld, waardoor besloten is het aantal optimalisaties buiten beschouwing te laten.

Het tijdstip waarop de optimalisaties binnen het proces hebben plaatsgevonden zijn wel verwerkt. Om dit te kwantificeren zijn twee tijdstippen gedefinieerd namelijk, gaande weg het proces en op het einde van het ontwerpproces. Uit de interviews komt naar voren dat acht van de elf aannemers gedurende het ontwerpproces optimaliseren. Bij drie aannemers gebeurde het optimaliseren pas op het einde van het proces. Als reden voor de late optimalisatie werd in alle gevallen tijdnood gegeven. Verder blijkt dat de nota van inlichting heel sturend is voor het tijdstip van optimaliseren. Alle aannemers die gedurende het proces optimaliseerden gaven aan dat dit gebeurde na de nota van inlichtingen. De aannemers gaven aan dat de reden hiervoor was, dat er na de nota van inlichtingen nieuwe informatie vanuit de opdrachtgever kwam over de mogelijkheden en afbakening van de oplossingen.

Er kan geconcludeerd worden dat de aannemers hun ontwerpproces optimaliseren en dat de nota van inlichtingen sturend is voor het tijdstip waarop dit gebeurd. Daarnaast is het waarschijnlijk dat aannemers meer optimalisatieslagen uitvoeren indien er meer tijd is. Dit aspect is echter vanwege de grote spreiding in de data niet nader onderzocht.

Het tijdstip waarop geoptimaliseerd wordt is bij de meeste aannemers gedurende het ontwerpproces en de hypothese dat aannemers gedurende het ontwerpproces voortdurend optimaliseren is dus juist.

Alternatieven

2.3 Aannemers stellen weinig tot geen alternatieven op.

In de interviews is er gevraagd naar het aantal alternatieven dat is opgesteld en de aspecten waarop deze zijn uitgewerkt. Uit de gegevens blijkt dat het aantal alternatieven dat is uitgewerkt varieert van drie tot en met zes. Om een score te bepalen voor de parameter alternatieven is besloten het aantal alternatieven te verdelen in drie groepen: nul tot twee, drie tot vier en vijf of meer alternatieven.

Uit de interviews komt naar voren dat bijna alle aannemers gedurende het ontwerpproces alternatieven hebben opgesteld. Slechts één aannemer gaf aan geen alternatieven te hebben gegenereerd, dit vanwege tijdnood. Van de tien aannemers die wel alternatieven hebben opgesteld waren er vier die vijf of meer alternatieven hebben opgesteld. De overige aannemers hebben drie tot vier alternatieven opgesteld. Er dient echter wel opgemerkt te worden dat het aantal alternatieven mogelijk afhangt van de ontwerpvrijheid. Het gemiddelde aantal alternatieven dat is opgesteld bedroeg bij het project op de A1/A50 vijf terwijl dit bij het project op de A73 drie was.

Naast het aantal alternatieven die zijn opgesteld is er tevens gevraagd naar de aspecten waarop de alternatieven zijn uitgewerkt. Opmerkelijk hierbij is dat slechts twee aannemers op drie of meer aspecten alternatieven hebben gegenereerd en dat er bij alle aannemers alternatieven zijn opgesteld voor het wegverhardingsontwerp. Bij zeven aannemers zijn alternatieven ten aanzien van de planning en het aspect verkeersmaatregelen is bij slechts twee aannemers meegenomen. Ook hier dient opgemerkt te worden dat de resultaten waarschijnlijk een verband hebben met de ontwerpvrijheid.

Er kan op basis van de gegevens worden geconcludeerd dat er binnen het ontwerpproces alternatieven worden opgesteld en dat deze op verschillende aspecten worden uitgewerkt. De hypothese dat aannemers in het ontwerpproces geen alternatieven opstellen dient dus te worden verworpen. Toch dient opgemerkt dat het aspect waarop er alternatieven worden opgesteld vaak alleen het verhardingsontwerp betreft, terwijl op andere aspecten ook winst valt te halen.

Toetsing in het ontwerpproces

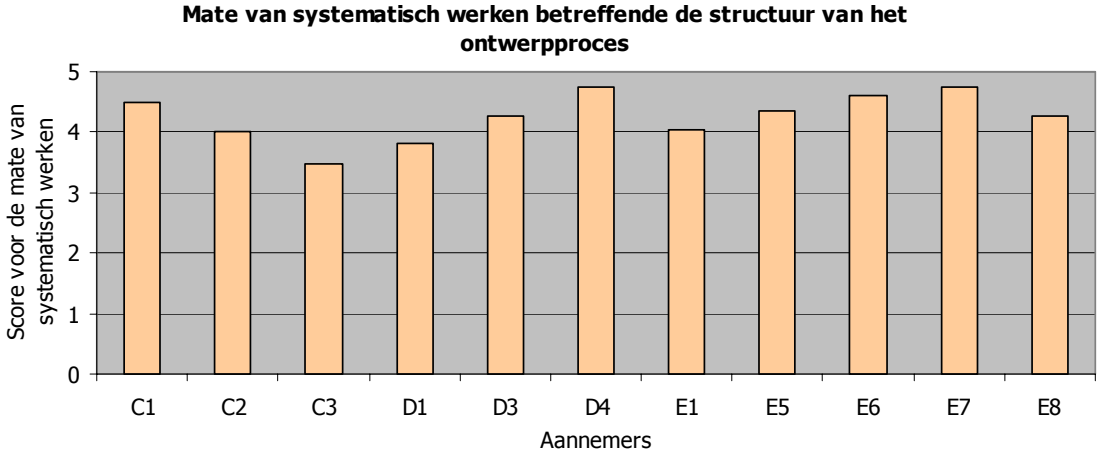
2.4 Toetsing aan de eisen vindt alleen plaats op het einde van het ontwerpproces.

In de interviews is er gevraagd of er toetsing binnen het ontwerpproces heeft plaatsgevonden en wanneer dit is gebeurd. Het blijkt dat alle aannemers in het ontwerpproces toetsen aan het programma van eisen en dat deze toetsing gaandeweg het proces plaats vindt. De toetsing wordt echter bij tien van de elf aannemers alleen uitgevoerd door de ontwerper van het desbetreffende onderdeel. Het tijdstip waarop de controle plaats vindt, is na de nota van inlichtingen. Het controleren van de gehele aanbieding door het team of teamleider vindt slechts bij één aannemer plaats.

Op basis van de gegevens kan geconcludeerd worden dat er binnen het ontwerpproces wel toetsing plaats vindt, maar dat dit alleen de verantwoordelijkheid is van de ontwerper. Het multidisciplinair controleren van de eisen gebeurt slechts bij één aannemer. De toetsing gebeurt bij alle elf aannemers gaandeweg het proces en de hypothese dat de toetsing alleen op het einde van het ontwerpproces plaats vindt dient dus te worden verworpen.

6.2.1 Score voor de structuur van het ontwerpproces

Aan de hand van de interviews zijn de hypothesen getoetst voor de structuur van het ontwerpproces. Daarnaast is voor iedere parameter een score bepaald voor de mate van systematisch werken (zie bijlage V). De scores hieruit voorkomen geven de mate van het systematisch werken weer voor de structuur van het ontwerpproces. De scores zijn hieronder weergegeven:



Figuur 6.2: Score voor de structuur van het ontwerpproces

De scores voor het systematisch werken betreffende de structuur van het ontwerpproces liggen dicht bij elkaar. De aannemers werken vrij systematisch en gemiddeld scoren de aannemers dan ook een 4,2. Uit de grafiek valt af te leiden dat er twee aannemers zijn, die een lagere score hebben dan vier. De laagste score bedraagt 3,5 en deze lage score wordt met name veroorzaakt doordat er geen optimalisatieslagen in het ontwerpproces worden toegepast.

Verder is het opvallend dat de structuur van het ontwerpproces veel systematischer is bij het meest complexe project (project E), dan bij de andere twee projecten. Mogelijk is er een verband tussen de structuur van het ontwerpproces en de complexiteit van het project, maar dit is binnen dit onderzoek niet nader onderzocht.

Er kan geconcludeerd worden dat de structuur van het ontwerpproces bij de aannemers systematisch is. Er wordt bijna overal parallel gewerkt en de toetsing vindt gedurende het ontwerpproces plaats. Daarnaast worden de ontwerpstappen bij bijna alle aannemers op een systematische wijze doorlopen en worden er gemiddeld drie tot vijf alternatieven per project opgesteld. Desondanks zijn er nog wel verbeterpunten, zoals de aspecten waarop de alternatieven worden opgesteld en de optimalisaties in het ontwerpproces.

6.3 Transparantie van het ontwerpproces

Beslissingen en wijzigingen in het ontwerpproces

3.1 De beslissingen en wijzigingen in het ontwerpproces worden gestructureerd vastgelegd.

In de interviews is er gevraagd of de beslissingen en wijzigingen in het ontwerpproces zijn vastgelegd en op welke wijze dit is gebeurd. Het vastleggen van de beslissingen en wijzigingen zorgt er voor dat alle participanten op de hoogte zijn, waardoor waardeverlies in het ontwerpproces als gevolg van slechte communicatie kan worden voorkomen. Uit de interviews blijkt dat de beslissingen en wijzigingen in het ontwerpproces niet altijd worden vastgelegd. Bij zes van de elf aannemers worden de beslissingen in het ontwerpproces gedeeltelijk vastgelegd. Slechts één aannemer legt alle beslissingen vast en er zijn vier aannemers die de beslissingen helemaal niet vastleggen. Dit geldt ook voor de wijzigingen in het ontwerpproces, die slechts door twee aannemers volledig worden vastgelegd en die door vijf aannemers helemaal niet worden vastgelegd. Het vastleggen van de beslissingen en wijzigingen in het ontwerpproces lijkt af te hangen van het type project en de ontwerpvrijheid. Bij het project op de A1/A50 hebben alle aannemers de beslissingen geheel of gedeeltelijk vastgelegd, terwijl dit bij het project op de A2 door geen enkele aannemer is gedaan. Waarschijnlijk worden bij complexe projecten de beslissingen en wijzigingen beter bijgehouden, maar dit is binnen het onderzoek niet verder onderzocht.

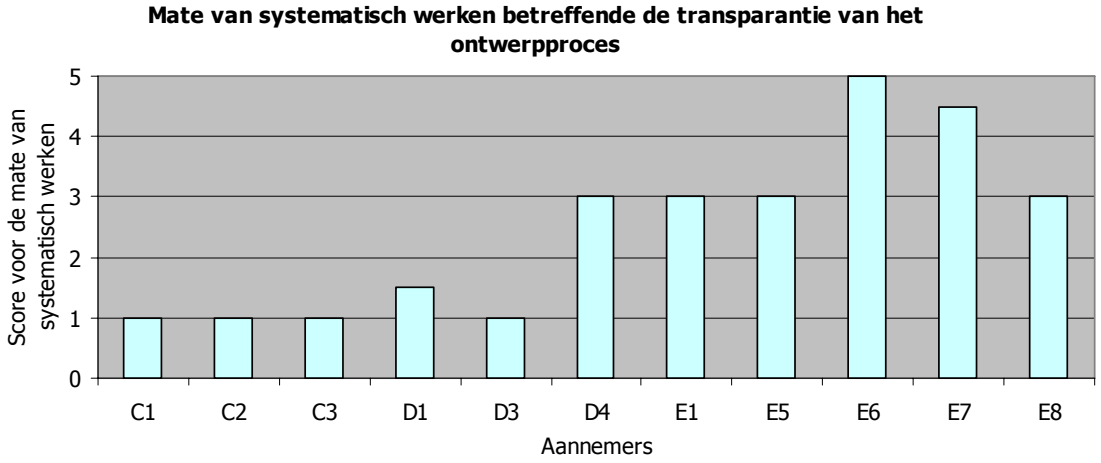
Naast de vraag of de beslissingen en wijzigingen zijn vastgelegd is er ook gevraagd naar de manier waarop dit is gedaan. Opvallend was dat slechts één aannemer aangaf de beslissingen in een beslissingsondersteunend document vast te leggen. De overige aannemers legden de beslissingen alleen vast door middel van notulen van de vergaderingen. Van de vier aannemers, die aangaven de beslissingen niet vast te leggen, bleken er twee niet eens notulen te maken van de wekelijkse overleggen. Het op de hoogte zijn van de genomen beslissingen was de verantwoordelijkheid van de betrokken disciplines. De wijzigingen werden in de meeste gevallen vastgelegd door middel van notulen. Er waren slechts twee aannemers die de wijzigingen door middel van een database vastlegden.

Ondanks de slechte vastlegging gaven de aannemers aan, dat er geen problemen zijn ontstaan, doordat een of meerdere leden van het ontwerpteam niet op de hoogte waren van de genomen beslissing en/of wijziging. Dit is mogelijk te verklaren door de ervaring die reeds is opgedaan met het werken met multidisciplinaire teams en het feit dat waardeverlies lastig te meten is. Het is achteraf lastig te bepalen welke problemen zich hebben voorgedaan als gevolg van slechte communicatie. De meeste aannemers erkennen echter wel dat het niet vastleggen van beslissingen en wijzigingen tot problemen kan leiden.

Op basis van de gegevens kan geconcludeerd worden dat het vastleggen van de beslissingen en wijzigingen in het ontwerpproces over het algemeen slecht gebeurt. Er is een enkele aannemer waarbij dit wel zorgvuldig gebeurd en de hypothese dat de beslissingen en wijzigingen in het ontwerpproces gestructureerd worden vastgelegd dient dus verworpen te worden.

6.3.1 Score voor de transparantie van het ontwerpproces

Aan de hand van de interviews zijn de hypothesen getoetst voor de transparantie van het ontwerpproces. Daarnaast is er voor iedere parameter een score bepaald voor de mate van systematisch werken (zie bijlage V). De scores hieruit voorkomen geven de mate van het systematisch werken weer voor de transparantie van het ontwerpproces. De scores zijn hieronder weergegeven:



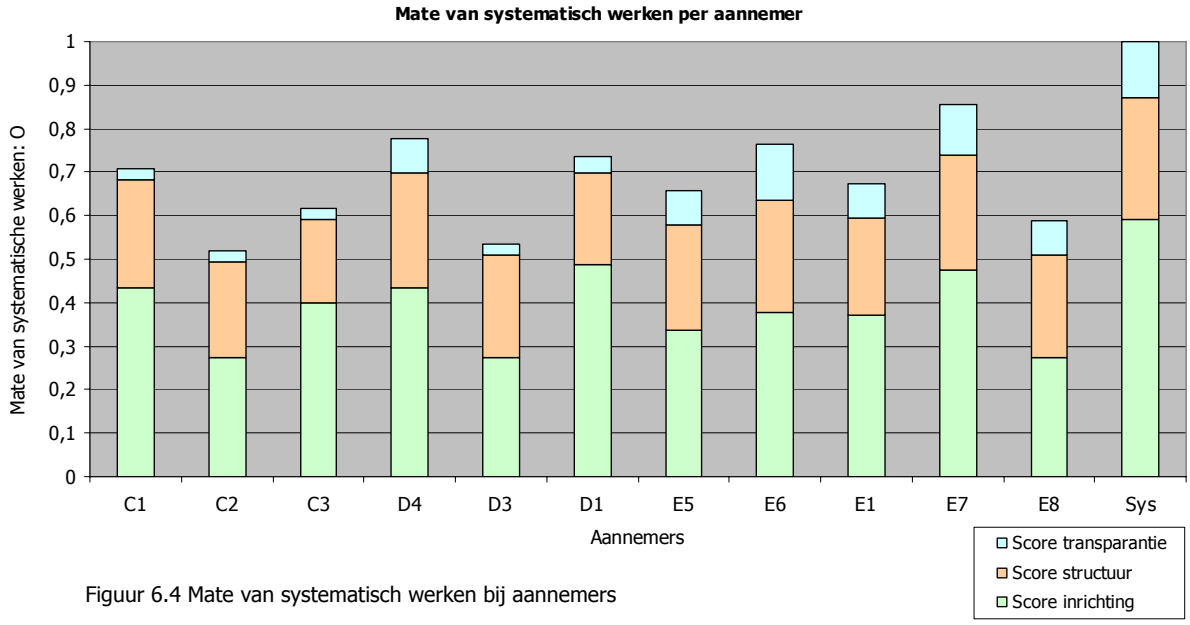
Figuur 6.3: Score voor de transparantie van het ontwerpproces

De scores voor de mate van systematisch werken betreffende de transparantie van het ontwerpproces laten veel spreiding zien. Er zijn maar twee aannemers die een score behalen die hoger ligt dan vier en er zijn vier aannemers die een score behalen van één. Deze spreiding kan deels verklaard worden door het feit dat er getoetst wordt op twee parameters, maar hangt ook af van de grote verschillen tussen de aannemers onderling. Er is slechts één aannemer die zowel de beslissingen als de wijzigingen op een systematische manier vastlegt, terwijl er vier aannemers zijn die zowel de beslissingen als de wijzigingen niet vastleggen. Het ontwerpproces bij de aannemers is op het gebied van transparantie nauwelijks systematisch te noemen. Het ontwerpproces is niet transparant en de beslissingen en wijzigingen in het proces worden slecht vastgelegd. Op het gebied van het vastleggen van beslissingen en wijzigingen valt door de aannemers dan ook nog veel te verbeteren.

6.4 Mate van systematisch werken

Nadat er voor de parameters van de inrichting, de structuur en de transparantie van het ontwerpproces een score is bepaald voor de mate van systematisch werken, kan er onderzocht worden hoe systematisch het ontwerpproces van de aannemers in het algemeen is. Hiervoor worden de wegingsfactoren en de formule uit hoofdstuk drie gebruikt.

De mate van systematisch werken binnen het ontwerpproces (O) wordt bepaald door de score van iedere parameter X_i te vermenigvuldigen met de wegingsfactor A_i en deze waarden te sommeren.
Om de mate van systematisch werken uit te kunnen drukken in een percentage, wordt de sommatie van alle parameters gedeeld door vijf (maximale waarde voor X_i). Dit levert een waarde op tussen de 0,2 en 1, die een indicatie geeft hoe systematisch het ontwerpproces is. Een score van 1 betekent dat het proces 100% systematisch is en een score van 0,2 wil zeggen dat het proces dat het proces traditioneel wordt doorlopen. Op basis van de formule: $O = (\Sigma(X_i * A_i))/5$ zijn de waarden voor O gegenereerd en uitgezet in onderstaande grafiek. Voor de berekening van de waarden wordt verwezen naar bijlage V.



Figuur 6.4 Mate van systematisch werken bij aannemers

In figuur 6.4 is de mate van systematisch werken per aannemer uitgezet, waarbij de waarde O is opgebouwd uit de scores voor Inrichting (I), Structuur (S) en de transparantie (T) van het ontwerpproces. Daarnaast is ook de maximale score (Sys) uitgezet voor de inrichting, structuur en transparantie, zodat het aandeel op de mate van systematisch werken van deze hoofdgroepen per aannemer kan worden vergeleken.

In de grafiek valt af te lezen dat er veel spreiding is tussen de aannemers onderling. Er zijn drie aannemers die een score hebben die lager ligt dan 0,6, terwijl er ook drie aannemers zijn met een score die hoger ligt dan 0,75. De lage scores bij de aannemers (C2 en D3) van respectievelijk 0,52 en 0,54, worden met name veroorzaakt doordat de inrichting van het ontwerpproces bij deze aannemers niet systematisch gebeurd. De inrichting bepaalt voor 59% de totale score, dus een lage score op de inrichting heeft een lage score voor het totaal tot gevolg.
Daarnaast is het opvallend dat de aannemers met de hoogste scores ook goed scoren op de transparantie van het ontwerpproces. De transparantie van het ontwerpproces is maar voor 14% bepalend voor de waarde van O, dus de hoge waarden voor O worden grotendeels veroorzaakt door een systematische inrichting en structuur van het ontwerpproces. De transparantie van het ontwerpproces lijkt dus afhankelijk te zijn van de inrichting en structuur, maar dit is binnen het onderzoek niet nader onderzocht.

Over het algemeen werken de aannemers systematisch. De gemiddelde waarde voor O bedraagt 0,68 wat betekent dat het ontwerpproces voor 68% op een systematische wijze wordt doorlopen. Er zit echter wel veel spreiding in de onderzoeksresultaten, waardoor de gemiddelde score een vertekend beeld geeft. Er zijn namelijk drie aannemers die een score halen die lager ligt dan 0,6, terwijl er ook één aannemer is die het ontwerpproces voor 85% systematisch doorloopt. Vanwege de spreiding is het niet mogelijk conclusies te trekken of de mate van systematisch werken afhangt van het project of van de aannemer. Er kan echter wel worden geconcludeerd dat er bij de aannemers nog veel verbetering mogelijk is, zeker ten aanzien van de inrichting en transparantie van het ontwerpproces.

6.5 Externe factoren

Bedrijfsgrootte

4.1 Complexe geïntegreerde contracten binnen de asfaltwegenbouwsector kunnen alleen door grote aannemers worden uitgevoerd.

De projecten die zijn onderzocht variëren van € 7 miljoen tot € 35 miljoen en kunnen getypeerd worden als middelgrote tot grote projecten. Bij projecten met deze omvang worden er eisen gesteld aan de omzet van de inschrijvende partijen die verwoord worden in de selectieleidraad. Zo diende de inschrijver bij het project op de A73 *"in de laatste 3 boekjaren voorafgaande aan de datum van aanmelding, een gemiddelde omzet aan werken in de GWW-sector hebben bereikt gelijk aan of groter dan € 52.000.000,-* "(Rijkswaterstaat directie Limburg, 2005). Vanwege deze eisen is het voor kleine aannemers onmogelijk om zich in te schrijven voor dit type werk. De enige mogelijkheid is een combinatie aan te gaan, zodat alsnog aan de omzeteisen wordt voldaan.

Daarnaast speelt ook de complexiteit van het project een rol mee. De projecten op de A73 en de A1/A50 betroffen niet alleen de wegverharding maar hadden ook enkele kunstwerken in zich. Dit vereist andere disciplines en is een reden voor een aantal partijen om zich bij projecten als combinatie in te schrijven. Ondanks deze mogelijkheid zijn bij de onderzochte projecten alleen middelgrote tot grote aannemers betrokken. De omzeteisen en de complexiteit van het project zorgen ervoor dat kleine aannemers niet de middelen hebben om zich in te schrijven voor dit soort projecten. Tevens geldt dat door de toepassing van geïntegreerde contractvormen de projectrisico's dermate hoog zijn dat zelfs een aantal middelgrote aannemers het niet aandurven om zich in te schrijven op dit soort werken. Dit wordt bevestigd door een aantal geïnterviewden, die aangeven dat door de toepassing van geïntegreerde contractvormen er minder concurrentie is omdat de risico's zijn toegenomen. De hypothese dat complexe geïntegreerde contractvormen alleen door grote aannemers kunnen worden uitgevoerd, lijkt dus te kloppen.

Ontwerpvrijheid

4.2 Er wordt onvoldoende ontwerpvrijheid gegeven bij geïntegreerde contractvormen.

Door de toepassing van geïntegreerde contractvormen zou er meer ontwerpvrijheid voor de aannemende partijen moeten zijn. Om dit te toetsen is er gevraagd naar de ervaren ontwerpvrijheid bij de gegeven vraagspecificaties. Van de ondervraagde aannemers gaven er acht aan, dat er weinig tot geen ruimte was. Slechts drie aannemers antwoordden dat er wel degelijk ontwerpruimte was, maar dat deze alsnog als zeer beperkt werd ervaren. Opmerkelijk was dat de respondenten bij het project op de A1/A50 daarbij duidelijk positiever gestemd waren over de geboden ontwerpvrijheid, dan de respondenten bij de andere twee projecten. Desondanks waren er slechts twee aannemers bij dit project die aangaven dat zij ontwerpvrijheid hadden ervaren, zij het beperkt.
Daarnaast is er gevraagd naar de behoefte van de aannemers om meer ontwerpvrijheid te krijgen. Bijna alle respondenten gaven aan dat er behoefte was aan meer vrijheid. Er was één respondent die aangaf dat er geen behoefte was aan extra vrijheid. Als reden voor dit afwijkende antwoord werd gegeven dat zijn bedrijf de gunning had gewonnen, doordat zij de beste oplossing konden aanbieden bij de gegeven ruimte. Ondanks deze uitzondering is er vanuit de aannemerij behoefte aan meer ontwerpvrijheid.

In het algemeen kan gesteld worden dat de ontwerpvrijheid als zeer beperkt en daardoor soms zelfs als belemmerend word ervaren. Er is duidelijk behoefte aan meer vrijheid en de aangeboden ontwerpvrijheid is op dit moment volgens de aannemers ontoereikend. De hypothese dat er bij geïntegreerde contractvormen onvoldoende ontwerpvrijheid wordt gegeven lijkt dus te kloppen.

4.3 Aannemers worden door de opdrachtgever niet gemotiveerd om innovatieve oplossingen aan te dragen.

In de interviews is er gevraagd naar de motivatie van de aannemers om innovatieve oplossingen aan te dragen. Er waren slechts twee aannemers die aangaven gemotiveerd te zijn door de opdrachtgever om bij de gegeven vraagspecificatie innovatieve oplossingen aan te bieden. De overige negen aannemers gaven aan dat zij op geen enkele manier gemotiveerd werden.

De reden dat aannemers niet gemotiveerd waren blijkt tweeledig. Allereerst gaven de aannemers aan dat ze onvoldoende geprikkeld werden door de opdrachtgever om innovatieve oplossingen aan te dragen. Zo kon er per project maar één oplossing worden ingediend en was er geen ruimte om alternatieve oplossingen aan te dragen. Daarnaast werd aangegeven dat productinnovaties vaak niet door de opdrachtgever worden goedgekeurd. Door het verhoogde risico, dat de innovatieve oplossing wordt afgekeurd, besluiten aannemers terug te vallen op traditionele oplossingen.

Ondanks dat de aannemers aangaven niet gemotiveerd te worden door de opdrachtgever, waren er bij de projecten wel stimulansen vanuit de opdrachtgever om een innovatieve oplossingen te verkrijgen. Zo werd bij het project op de A2 de lengte van de uitfreesvlakken vrij gelaten, waardoor de mogelijkheid geboden werd voor het toepassen van dunne (dek)lagen. Bij het project op de A1/A50 werden de aannemers door middel van bonussen actief aan het nadenken gezet over de te volgen fasering. Ondanks dat deze voorwaarden niet door de aannemers worden ervaren kunnen ze wel als stimulans worden gezien. De aannemers worden dus wel gestimuleerd door de opdrachtgever om innovatieve oplossingen aan te dragen, maar ervaren deze stimulans niet. Ze vinden het risico om innovatieve producten toe te passen te groot. De hypothese dat aannemers niet gemotiveerd worden door de opdrachtgever dient dus verworpen te worden.

Complexiteit

4.4 Aannemers moeten investeren in geïntegreerde contractvormen omdat de markt dit vraagt.

Alle geïnterviewde partijen geven aan dat door de komst van geïntegreerde contractvormen er investeringen zijn gedaan om hier op in te kunnen spelen. De aard van de investeringen liggen vooral in het aantrekken van nieuw personeel, maar ook in het reorganiseren van het proces. Daarnaast komt door de invoering van geïntegreerde contractvormen meer nadruk te liggen op het onderscheidende vermogen van de bedrijven onderling. Er dienen "slimme" geïntegreerde oplossingen bedacht te worden en met name de grote aannemers hebben hiervoor speciale afdelingen opgezet. Deze afdelingen zijn belast met de ontwikkeling van "nieuwe" asfaltsoorten en het uitwerken van innovatieve ideeën. Door de opkomst van geïntegreerde contractvormen moeten aannemers dus wel investeren "omdat anders de boot gemist" wordt, aldus een van de ondervraagden. De hypothese dat aannemers moeten investeren omdat de markt dit vraagt lijkt dus te kloppen.

4.5 Aannemers hebben moeite met het werken met geïntegreerde contractvormen.

Er is in de interviews gevraagd naar de problemen die aannemers hebben ondervonden naar aanleiding van de invoering van geïntegreerde contractvormen. De problemen die hierbij genoemd werden waren zeer verschillend van aard, waardoor besloten is hieronder alleen de meest opmerkelijke problemen te bespreken. Voor een overzicht van alle genoemde problemen wordt verwezen naar bijlage V.

Een probleem wat door zes van de elf aannemers werd genoemd, was dat zij (in het begin) moeite hadden met de andere denkwijze, die benodigd is bij het werken met een geïntegreerd contractvorm.

Daarnaast gaven vijf van de elf aannemers aan dat er met name in het begin onvoldoende ervaring was voor het werken met geïntegreerde contractvormen. Tevens is het opmerkelijk dat twee respondenten aangaven, dat de aard van de problemen, die ervaren worden, van juridisch karakter zijn. Door de verschuiving van de verantwoordelijkheden is het contract ten opzichte van de traditionele contractvorm veel juridischer geworden en wordt het contract juridisch helemaal "dichtgespijkerd".

Ondanks dat de ene aannemer meer problemen heeft (ondervonden) dan de ander, was er geen enkele aannemer die geen problemen heeft ondervonden. Er kan dus worden gesteld dat alle aannemers (met name in het begin) moeite hadden met het werken met geïntegreerde contractvormen en dat de hypothese dus lijkt te kloppen.

6.6 Invloed externe factoren op het ontwerpproces

$O = f_1$ (B1,B2,P1,P2)

In paragraaf 3.2 werd verondersteld dat de mate van systematisch werken (O) afhangt van de externe factoren bedrijfsomzet (B1), aantal werknemers (B2), complexiteit van het project (P1) en de ontwerpvrijheid van het project (P2). Daarnaast is veronderstelt dat de externe factoren in het model even zwaar meetellen.

Om de invloed van de externe factoren te bepalen zijn voor de externe factoren de onderzoeksresultaten omgezet in een score die varieert tussen de één en de vijf. Hierbij heeft de laagst gevonden waarde een score gekregen van één en is aan de hoogste waarde een score van vijf toegekend. Bij de factoren B1 en B2 zijn de tussenliggende waarden met behulp van interpolatie omgezet in een score (zie bijlage V).

Door de scores van de externe factoren te vergelijken met de O-waarde, kan onderzocht worden in hoeverre de factoren bepalend zijn voor de mate van systematisch werken. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van statistische berekeningen waarbij is aangenomen dat de factoren onafhankelijk van elkaar zijn en dat de scores nominaal zijn verdeeld. Aangezien er vier verklarende variabelen zijn, is er besloten gebruik te maken van meervoudige regressie. Bij meervoudige regressie wordt er onderzocht in hoeverre er op basis van de parameters $X_1,\ldots,X_n$ uitspraken gedaan kunnen worden over de uitkomst van Y. Hiervoor wordt de waarde van Y geschreven als formule, die afhankelijk is van de parameters $X_1,\ldots,X_n$. De waarde voor O kan dus worden geschreven in de volgenden formule:

$O_i = \beta_0 + \beta_1 B_{1i} + \beta_2 B_{2i} + \beta_3 P_{1i} + \beta_4 P_{2i} + U_i$, i= c1,...,c3, d1,...,d3 en e1,...,e5 (Aannemers). Met $U_1,\ldots,U_{11}$ 0.0. s.v.-en, $U_i \sim N(0,\sigma^2)$, B1, B2, P1, P2 bekende getallen en $ß_0$, $\beta_1,\ldots,ß_4$, σ^2 onbekende parameters.

Met behulp van Excel zijn vervolgens de parameters voor β_0 tot en met β_5 bepaald. De mate van systematisch werken bij aannemer i wordt bepaald door:
$O = 3{,}0 - 0{,}357B_1 + 0{,}14B_2 + 0{,}21P_1 - 0{,}02P_2$.

Waneer er echter gekeken wordt naar de standaardafwijkingen en de meervoudige correlatiecoëfficiënt, dan valt op de standaardafwijking erg groot is en de correlatie zeer klein.

Gegevens voor de regressie	
Meervoudige correlatiecoëfficiënt R	0.61
R-kwadraat	0.37
Aangepaste kleinste kwadraat	-0.04
Standaardfout	0.54
Waarnemingen	11

Figuur 6.5: Meervoudige correlatiecoëfficiënt

De standaardfout bedraagt 0,54, wat betekent dat de standaardafwijking van het gemiddelde 0,54 bedraagt. Deze grote afwijking kan worden verklaard door het geringe aantal waarnemingen, maar ook doordat de gevonden uitkomsten te veel spreiding vertonen. Daarnaast is de gekwadrateerde meervoudige correlatiecoëfficiënt R^2 0,37, wat duidt op mogelijke kleine invloed van de parameters B1, B2, P1 en P2.

Er dus mogelijk geen verband tussen de externe factoren en de gevonden waarde voor O. Om dit te toetsen is een F-toets uitgevoerd[6]. Indien een van de parameters verklarend is, dan wordt de hypothese H_0: $ß_1=ß_2=ß_3=ß_4=0$ verworpen. De waarde voor F moet dan groter zijn dan 4.53 (Kallenberg, 2000, p.VI.8). Voor de toets is een onbetrouwbaarheidsdrempel van $\alpha=0.05$ gehanteerd en is uitgegaan van een F-verdeling met 4 vrijheidsgraden in de teller en 6 vrijheidsgraden in de noemer. De waarde van F is bepaald door de gemiddelde kwadratensom van de regressie te delen door de gemiddelde kwadratensom van de residuen. De gevonden waarde bedraagt 0.89, waardoor de hypothese H_0 : $ß_1=ß_2=ß_3=ß_4=0$ dus niet wordt verworpen. Dit betekent dat geen van de parameters een significante invloed heeft op de waarde voor O. Dit is mogelijk een gevolg van multicollineariteit. Multicollineariteit is het effect dat onafhankelijke variabelen onderling sterk correleren.

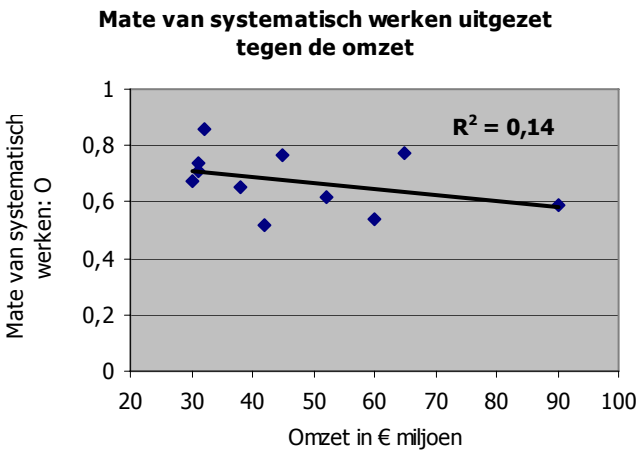
De parameters bedrijfsomzet, aantal werknemers, complexiteit van het project en ontwerpvrijheid van een project zijn mogelijk dus geen onafhankelijke parameters, maar hebben invloed op elkaar. Om toch het effect van deze parameters op de mate van systematisch werken te kunnen toetsen is er besloten de externe parameters afzonderlijk van elkaar te beschouwen door middel van enkelvoudige regressie.

6.6.1 Bedrijfsafhankelijke factoren

De bedrijfsafhankelijke variabelen worden bepaald door de omzet van het bedrijf (B1) en het aantal werknemers (B2). Omdat de meervoudige regressie van de bedrijfsparameters een R^2 opleverde van 0,16 is besloten de invloed van de parameters afzonderlijk te bepalen door enkelvoudige regressie.

Bedrijfsomzet B1

Onder bedrijfsomzet wordt de omzet van het betreffende regiokantoor of bedrijf bedoeld, dat de inschrijving voor het project heeft gerealiseerd. Hierbij zijn de gegevens van het boekjaar 2005 genomen en is de omzet uitgezet in miljoenen euro's. De R^2 bedraagt 0,14 wat betekent dat er geen duidelijk lineair verband is tussen de omzet van een bedrijf en de mate waarin er systematisch wordt gewerkt. Figuur 6.6 laat echter wel zien dat er veel spreiding in de onderzoeksresultaten is.

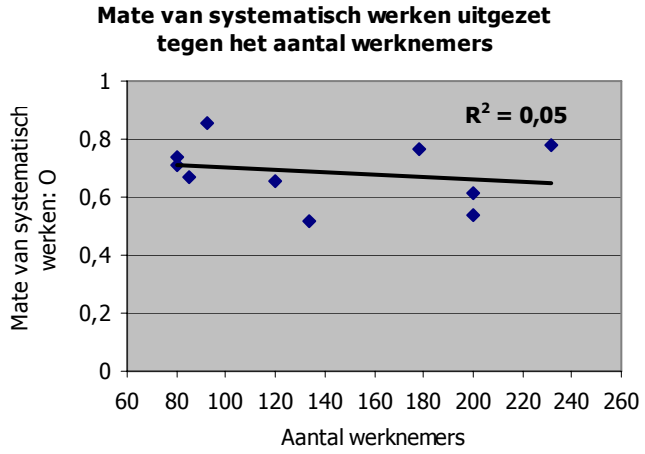


Figuur 6.6: Correlatie bedrijfsomzet met mate van systematisch werken

Aantal werknemers B2

Bij het aantal werknemers wordt er wederom gekeken naar de regiokantoren en bedrijven die de inschrijving hebben gemaakt. Er wordt niet gekeken naar het totale aantal werknemers binnen een organisatie, indien de inschrijving door een regiokantoor is verzorgd, maar alleen naar het aantal werknemers in het desbetreffende regiokantoor. Daarnaast is er alleen gekeken naar het aantal werknemers binnen de wegenbouwsector en zijn overige sectoren binnen het bedrijf buiten beschouwing gelaten.

6 Een F-toets is een statische toets om na te gaan of van normale verdelingen de varianties verschillen.



Figuur 6.7: Correlatie aantal werknemers met mate van systematisch werken

De correlatiecoëfficiënt bedraagt 0,05, waardoor er geen eenduidig verband kan worden bepaald voor het aantal werknemers en de mate waarin er systematisch wordt gewerkt. Er dient echter wel opgemerkt te worden dat de onderzoeksresultaten veel ruis bevatten, doordat niet alle aannemers de staf en administratie hebben meegenomen bij het aantal werknemers beantwoording van de vragen. Dit geeft een vertekend beeld in de aantallen, waardoor mogelijk de correlatie lager uitvalt. Omdat er een verband werd verwacht tussen de omzet van een bedrijf en het aantal werknemers, is er besloten ook naar de invloed van de grootte van de projectorganisatie te kijken.

De grootte van de projectorganisatie is daarbij gedefinieerd als de bedrijfsomzet gedeeld door het aantal werknemers. De correlatie bedroeg in dit geval 0,09, waardoor er geen eenduidig verband is gevonden. De mate van systematisch werken lijkt dus niet tot nauwelijks af te hangen van het aantal werknemers en de omzet van het bedrijf.

5.1 Grotere organisaties werken systematischer dan kleine organisaties.

Op basis van de analyse kan worden geconcludeerd dat er geen verband is gevonden tussen het aantal werknemers, de bedrijfsomzet en de mate van systematisch werken. De hypothese dat grote organisaties systematischer werken kan dus niet worden verworpen of worden bevestigd.

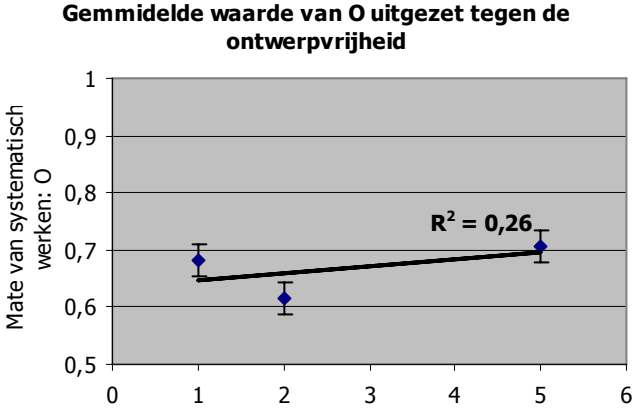
6.6.2 Projectafhankelijke parameters

De projectafhankelijke parameters worden bepaald door de ontwerpvrijheid (P1) en de complexiteit van het project (P2). Beide variabelen zijn door middel van lineaire regressie onderzocht op de invloed die zij hebben op de mate van systematisch werken.

Ontwerpvrijheid P1

5.2 Bij een toenemende ontwerpvrijheid wordt er systematischer gewerkt.

Om de invloed van de ontwerpvrijheid op het systematisch werken te meten is wederom een R^2 bepaald. De R^2 bedroeg hierbij 0,05, wat indiceert dat er nauwelijks verband is tussen de ontwerpvrijheid en de mate van systematisch werken. Aangezien de waarden voor de ontwerpvrijheid bij ieder project gelijk zijn, is gekeken naar de spreiding in de resultaten. Doordat er bij sommige projecten maar drie aannemers zijn geïnterviewd, hebben de uitschieters een grote invloed op de waarde van R^2. Om het effect van de uitschieters te reduceren, is besloten de gemiddelde waarde voor het systematisch werken per project te bepalen. Deze gemiddelde waarden zijn vervolgens tegen de mate van systematisch werken uitgezet.



Figuur 6.8: Correlatie ontwerpvrijheid met mate van

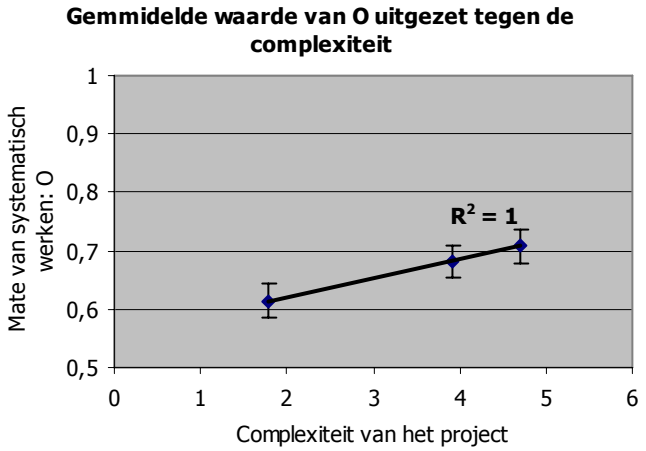
De R^2 verbetert licht, maar met een R^2 van 0,26 is er nog steeds geen sprake van een duidelijk verband. Er kan dus niet worden vastgesteld of er een verband is tussen de mate van systematisch werken en de ontwerpvrijheid. De hypothese dat er bij een toenemende ontwerpvrijheid systematischer wordt gewerkt kan daardoor niet worden bevestigd of worden verworpen.

Complexiteit P2

5.3 Bij een toenemende complexiteit van het project zal er systematischer worden gewerkt.

Ten slotte is het verband onderzocht tussen de complexiteit van het project en de mate van systematisch werken. Aangezien de correlatiecoëfficiënt 0,15 blijkt te bedragen en de complexiteit per project dezelfde waarde heeft, is wederom besloten met gemiddelde waarden te werken voor de mate van systematisch werken. De complexiteit is dus tegen de gemiddelde waarden uitgezet.

Bij het rekenen met de gemiddelde waarde per project wordt de R^2 één. Er is dus een significant verband tussen de complexiteit van een project en de mate waarin er systematisch wordt gewerkt. De mate van systematisch werken hangt af van de complexiteit van het project en de trendlijn geeft een stijgende lijn aan. Hieruit kan geconcludeerd worden dat bij een toenemende complexiteit de mate van systematisch werken verbetert. De hypothese dat er bij een toenemende complexiteit systematischer zal worden gewerkt blijkt dus te kloppen.



Figuur 6.9: Correlatie complexiteit met mate van systematisch werken

7 Conclusies en aanbevelingen

Uit de beschrijving van de geselecteerde projecten (hoofdstuk vijf) en de analyse van de onderzoeksresultaten (hoofdstuk zes) zijn een aantal inhoudelijke conclusies te trekken. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de belangrijkste conclusies. Vanwege de grote spreiding in de onderzoeksresultaten was het echter alleen mogelijk een aantal specifieke conclusies op te stellen en zijn de aannemers niet onderling vergeleken. Daarnaast kunnen de conclusies niet worden gegeneraliseerd voor de gehele asfaltwegenbouwsector en gelden ze alleen voor de aannemers op de onderzochte projecten. Dit hoofdstuk zal worden afgesloten met aanbevelingen voor de praktijk en aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

7.1 Conclusies

7.1.1 Inrichting van het ontwerpproces

Bij de inrichting van het ontwerpproces is er veel spreiding in de scores van de onderzochte aannemers. Er zijn drie aannemers die een score behalen van 2,3, maar ook twee aannemers met een score boven de vier. De spreiding in de onderzoeksresultaten wordt met name veroorzaakt door de parameter mate van samenwerken die een grote invloed heeft op de score. Op deze parameter wordt zeer wisselend en over het algemeen slecht gescoord door de onderzochte aannemers. Ook op de parameter integreren van uitvoeringsdeskundigheid in het ontwerpproces wordt slecht gescoord. Verder bleek dat er veel uitbesteding in het ontwerpproces plaats vindt; bijna alle aannemers hebben één of meerdere taken uitbesteed. Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat met een gemiddelde score van 3,2 op een schaal van één tot vijf de inrichting van het ontwerpproces bij de aannemers niet systematisch, maar ook niet traditioneel is Met name op het gebied van de samenwerking in het ontwerpproces, de integratie van uitvoeringsdeskundigheid en het uitbesteden van taken kan er bij de onderzochte aannemers nog veel worden verbeterd.

7.1.2 Structuur van het ontwerpproces

De aannemers scoren op de structuur van het ontwerpproces beter dan op de inrichting van het ontwerpproces. De spreiding in de onderzoeksresultaten is bij de structuur van het ontwerpproces kleiner dan bij de inrichting van het ontwerpproces. Gemiddeld scoren de aannemers een 4,2 en er zijn maar twee aannemers die een lagere score halen dan vier. Deze lagere score wordt met name veroorzaakt, doordat er niet in het ontwerpproces wordt geoptimaliseerd en/of dit pas op het einde van het proces plaatsvindt. Daarnaast worden er bij deze aannemers maar op een beperkt aantal aspecten alternatieven afgewogen.

Op de parameters ontwerpstappen en toetsing in het ontwerpproces wordt door alle aannemers hoog gescoord, omdat overal parallel wordt gewerkt en de toetsing altijd gedurende het ontwerpproces plaats vindt. Daarnaast is het opvallend dat de structuur van het ontwerpproces het meest systematisch is bij het meest complexe project. Mogelijk is er een verband tussen de structuur van het ontwerpproces en de complexiteit van het project. Tot slot kan geconcludeerd worden dat de structuur van het ontwerpproces bij de onderzochte aannemers systematisch is, maar dat er bij de optimalisatie van het ontwerp en het aantal aspecten waarvoor er alternatieven worden opgesteld nog wel verbeterpunten liggen.

7.1.3 Transparantie van het ontwerpproces

De transparantie van het ontwerpproces is bij de meeste aannemers niet systematisch en er is veel spreiding in de onderzoeksresultaten. Gemiddeld behalen de aannemers een score van 2,5 en er zijn maar vier aannemers die een score halen van drie of hoger. Hier tegenover staan vier aannemers die een score halen van één. Deze lage score wordt veroorzaakt doordat het vastleggen van de beslissingen en wijzigingen in het ontwerpproces slecht gebeurt en dit proces niet gestructureerd is. Er zijn maar twee aannemers die wel op beide parameters goed scoren. Op het gebied van het vastleggen van beslissingen en wijzigingen kan er door de meeste aannemers nog veel verbeterd worden.

Daarnaast is het opvallend dat er bij de complexe projecten met meer ontwerpvrijheid een hogere score wordt gehaald voor de transparantie dan bij projecten die minder complex zijn en minder vrijheid bieden. Er is mogelijk een verband tussen de complexiteit van het project en de transparantie in het ontwerpproces.

7.1.4 Mate van systematisch werken

De aannemers werken bij het doorlopen van het ontwerpproces over het algemeen systematisch. De mate van systematisch werken is bij de aannemers gemiddeld 68%, maar vertoont wel veel spreiding. Er zijn namelijk twee aannemers die een score halen die lager ligt dan 55%, maar ook één met een score van 85%. De lage scores worden met name veroorzaakt door een lage score voor de inrichting van het ontwerpproces. De inrichting van het ontwerpproces telt in het gebruikte model voor 59% mee voor de mate van systematisch werken en heeft dus een grote invloed hierop. Verder is het opvallend dat er op de inrichting en transparantie van het ontwerpproces beduidend minder wordt gescoord dan op de structuur van het ontwerpproces. Dit geldt voor alle aannemers en een hoge score voor de inrichting en transparantie gaat dan ook gepaard met een hoge score voor de structuur van het ontwerpproces. Vanwege de spreiding kunnen er echter geen conclusies worden getrokken of dit afhankelijk is van het project of van de aannemer. Tevens is het opmerkelijk dat de aannemers met de hoogste scores ook goed scoren op de transparantie van het ontwerpproces. De transparantie van het ontwerpproces lijkt afhankelijk te zijn van de scores voor de inrichting en de structuur van het ontwerpproces. Over het algemeen werken de aannemers systematisch, maar ten aanzien van de inrichting en met name de transparantie van het ontwerpproces valt er bij de onderzochte aannemers nog veel te verbeteren.

7.1.5 Invloed van externe factoren

Uit de statistische analyse komt naar voren dat de externe parameters nauwelijks invloed hebben op de mate van systematisch werken. Van de onderzochte parameters bedrijfsomzet, aantal werknemers, complexiteit van het project en ontwerpvrijheid blijkt alleen de complexiteit van een project invloed te hebben op de mate van systematisch werken. De overige externe factoren lijken nauwelijks tot geen invloed te hebben op de mate van systematisch werken. Toch kan dit niet worden uitgesloten, omdat verwacht wordt dat de factoren onderling niet geheel onafhankelijk zijn (en elkaar dus beïnvloeden). Dit wordt veroorzaakt doordat er weinig waarnemingen zijn en de mate van systematisch werken niet alleen project-, maar ook aannemersafhankelijk is. Daarnaast geeft de statistische toets om de invloed te bepalen te grote afwijkingen, waardoor er alleen voor de externe factor: complexiteit van het project is aangetoond dat er een verband is. Bij een toenemende complexiteit van het project neemt de mate van systematisch werken toe.

7.1.6 Toetsingsmodel

Het toetsingsmodel uit hoofdstuk drie is gebruikt om inzicht te krijgen in de mate van systematisch werken bij de onderzochte aannemers bij het doorlopen van het ontwerpproces. Het model geeft echter een algemeen beeld en kan niet worden gebruikt om de aannemers onderling te vergelijken. Daarnaast is het model gebaseerd op een aantal parameters, waarvan verondersteld is dat deze van invloed zijn op de mate van systematisch werken. De parameters zijn door middel van een literatuurstudie bepaald en de wegingsfactoren zijn slechts door één persoon bepaald. Hierdoor zijn de wegingsfactoren niet objectief en zou het toekennen van andere wegingsfactoren andere conclusies tot gevolg kunnen hebben. Daarnaast wordt de mate van systematisch werken slechts door een beperkt aantal parameters bepaald, die een zeer hoge wegingsfactor hebben.
Tevens blijkt na onderzoek dat alleen van de externe factor complexiteit, de invloed op de mate van systematisch werken in het ontwerpproces te bepalen is. De overige factoren vertonen te veel spreiding om hier harde uitspraken over te kunnen doen. Desondanks is het model wel bruikbaar om inzicht te krijgen in de mate van systematisch werken en kunnen de wegingsfactoren eenvoudig aangepast worden. Hierdoor kan het model gebruikt worden om de sterke en zwakke punten op het gebied van systematisch werken binnen het ontwerpproces bij een aannemer te evalueren.

7.2 Aanbevelingen

Op basis van het model is een beeld gevormd over de mate van systematisch werken in het ontwerpproces bij aannemers en de invloed die de externe factoren hierop hebben. De onderzoeksresultaten kunnen echter niet gegeneraliseerd worden voor de gehele asfaltwegensector en gelden slechts voor de onderzochte aannemers op de onderzochte projecten. Voor een algemeen beeld dient er op verschillende onderdelen nader onderzoek te worden gedaan. Er kunnen op basis van de resultaten echter wel enkele aanbevelingen worden gedaan aan de aannemers voor het verbeteren van de mate van systematisch werken in het ontwerpproces. In dit hoofdstuk zal in worden gegaan op de aanbevelingen voor de praktijk en worden tot slot aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.

7.2.1 Aanbevelingen voor de praktijk

Voor de onderzochte aannemers

- De disciplines in het ontwerpproces bij de aannemers werken over het algemeen slecht samen. De ontwerptaken worden separaat uitgevoerd en er was maar één aannemer waarbij er sprake was van een samenwerkend ontwerpteam. Toch erkennen de meeste aannemers het voordeel van het samenwerken. Dat dit niet gebeurt bij de onderzochte aannemers heeft waarschijnlijk te maken met de grootte van de bedrijven, de verschillende divisies en uitbesteding. De grote aannemers zijn allemaal verdeeld in regiokantoren en divisies en hebben vaak een centrale locatie of ontwerpbureau waar het verhardingsontwerp of andere aspecten worden uitgewerkt. Hierdoor worden onderdelen buiten de regiokantoren ontworpen die vervolgens worden samengevoegd met de overige onderdelen. Dit hoeft niet te leiden tot problemen, maar vereist wel veelvuldig (multidisciplinair) overleg.

- Het optimaliseren van het ontwerp gedurende de tenderfase, gebeurt nog te weinig en vaak te laat in het proces. Daarnaast wordt de uitvoeringskennis vaak te laat of zelfs helemaal niet in het ontwerpproces betrokken. Als reden geven de ondervraagden aan dat dit te veel tijd kost en dat de tenderfase vaak te kort is. Daarnaast twijfelen enkele geïnterviewden aan de voordelen die deze extra inspanningen opleveren, te meer er nog geen garantie is dat de tender wordt gewonnen. Toch heeft het vroegtijdig betrekken van de uitvoeringskennis en het optimaliseren van het ontwerp gedurende de tenderfase voordelen. Door optimalisatie van het ontwerp en het inbrengen van uitvoeringskennis wordt er kritisch naar het ontwerp en de uitvoerbaarheid gekeken. Onvoorziene kosten kunnen daardoor in de uitvoeringsfase lager uitvallen en er kunnen minder risico's worden doorberekend.

- De beslissingen en wijzigingen in het ontwerpproces worden door de onderzochte aannemers in het algemeen slecht of zelfs helemaal niet vastgelegd. De reden hiervoor is volgens de aannemers, dat het vastleggen van beslissingen en wijzigingen veel tijd vergt en dat deze tijd er in de tenderfase vaak niet is. Toch zou er door de aannemers eens kritisch gekeken moeten worden of de voordelen niet opwegen tegen deze nadelen. Door het zorgvuldig vastleggen van de beslissingen en wijzigingen kunnen beslissingen sneller worden genomen, omdat er al voorkennis is uit andere projecten. Daarnaast hoeft het vastleggen van beslissingen en wijzigingen niet veel tijd te kosten als er een goed informatiesysteem is opgesteld.

In het algemeen

- Het huidige aanbestedingsbeleid van Rijkswaterstaat sluit niet aan bij de doelstelling om meer aan de markt over te laten. Er worden door RWS maar relatief weinig D&C-contracten op de markt gezet. Veelal zijn dit tussenvormen waarbij maar een beperkte ontwerpvrijheid wordt geboden. Daarnaast kwam uit het onderzoek naar voren dat de aannemers binnen de onderzochte projecten nauwelijks tot geen ontwerpvrijheid ervoeren, terwijl dit juist één van de kenmerken van geïntegreerde contractvormen is. De aannemers gaven aan dat zij nog amper keuzemogelijkheden hadden en dat het ontwerp feitelijk al vast lag. Innovatie wordt volgens de aannemers daarnaast ook nog eens belemmerd door de krampachtige houding van RWS die weinig vertrouwen lijkt te hebben in de marktpartijen. Dit is echter niet de doelstelling van D&C-contracten, waarbij juist grotere vrijheid wordt nagestreefd.

Nader onderzoek zou kunnen uitwijzen hoe deze problemen opgelost kunnen worden en hoe de partijen meer vertrouwen in elkaar kunnen krijgen.

- De aannemers en RWS moeten meer begrip voor elkaar krijgen. Volgens de aannemers durft RWS het ontwerpen niet aan de markt over te laten en valt men nog teveel terug in zijn traditionele rol. Daarnaast wordt de ontwerpvrijheid volgens de aannemers door RWS vaak ingeperkt uit angst voor ongewenste oplossingen. Hierdoor wordt niet het volledige potentieel van geïntegreerde contractvormen benut. Toch wordt de kloof tussen aannemer en opdrachtgever kleiner en is er de afgelopen jaren, door het uitvoeren van geïntegreerde contracten, steeds meer kennis en kunde bij de aannemers ontwikkeld. Hierdoor zijn er minder problemen en wordt er beter ingespeeld op de vraag vanuit RWS. Dit is echter een lerend proces, dat nog steeds gaande is en waarbij niet alleen de aannemers maar ook RWS lerende is. Het opbouwen van vertrouwen is daarbij een eerste stap, waarbij beide partijen geen angst moeten hebben maar begrip moeten tonen voor elkaars standpunt.

7.2.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

- Het toetsingsmodel is opgesteld aan de hand van een aantal parameters waarvan verondersteld is dat deze maatgevend zijn voor de mate van systematisch werken. Uit onderzoek bleek echter dat de resultaten een grote spreiding vertonen die mogelijk het gevolg is van slecht gekozen parameters. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of de gekozen parameters goede indicatoren zijn voor de mate van systematisch werken.

- De onderzoeksresultaten vertonen een grote spreiding, waardoor er geen harde uitspraken gedaan kunnen worden over de onderlinge vergelijking van aannemers. Om dit te verhelpen zou het model gekalibreerd moeten worden en zou nader onderzoek moeten uitwijzen op welke manier het bepalen van de mate van systematisch werken minder afhankelijk gemaakt kan worden van een beperkt aantal parameters. Daarnaast zijn de wegingsfactoren in dit onderzoek door slechts één persoon vastgesteld. De wegingsfactoren zijn daardoor niet objectief en voor vervolgonderzoek wordt dan ook aanbevolen om de wegingsfactoren door meerdere personen te laten vaststellen.

- Door de spreiding in de resultaten kunnen de conclusies van dit onderzoek niet zonder meer worden gegeneraliseerd voor de asfaltwegenbouwsector. De spreiding wordt deels veroorzaakt door het beperkt aantal respondenten. Indien de steekproef groter was geweest dan hadden de uitschieters een minder grote invloed gehad of hadden deze buiten beschouwing gelaten kunnen worden. Dit was echter vanwege het beperkte aantal inschrijvers per project niet mogelijk, waardoor er gewerkt is met een hoge spreiding in de onderzoeksresultaten. Voor vervolgonderzoek is het aan te bevelen het aantal projecten te verhogen, door per aannemer meer gelijksoortige projecten te onderzoeken. Dit zal echter gezien de projecteigenschappen en de hoeveelheid projecten met een geïntegreerde contract lastig zijn.

- Binnen het onderzoek zijn alleen projecten onderzocht die een geïntegreerde contractvorm hadden en waarbij het programma van eisen door RWS is opgesteld. Daarnaast betrof het alleen maar projecten waarbij het object een autosnelweg was. Om het onderzoek in een breder kader te plaatsen is het aan te bevelen bij vervolgonderzoek niet alleen rijkswegen te onderzoeken, maar ook kleinschalige projecten. Hierbij zouden dan tevens kleine aannemers onderzocht kunnen worden. Er kan dan vergeleken worden hoe de mate van systematische werken afhangt van de grootte van de aannemer en de grootte van het project.

- Daarnaast is het aan te bevelen om bij nader onderzoek de regiokantoren van de grote aannemers als apart bedrijf te zien. De regiokantoren werken vaak zelfstandig en hebben alle benodigde disciplines en kennis in huis. Daarnaast geldt dat ieder regiokantoor zijn eigen werkwijze zal hebben, waardoor per aannemer een vergelijking kan worden gemaakt tussen de verschillende regiokantoren. Op deze manier kan er binnen een specifiek bedrijf onderzoek worden gedaan naar de werkwijze van de regiokantoren. Om een objectieve vergelijking te maken is het aan te bevelen projecten te selecteren die vergelijkbaar zijn qua omvang, complexiteit en ontwerpvrijheid.

Referentielijst

Arditi, D., Elhassan, A. en Cengliz Toklu, Y. (2002). Constructability analysis in the design firm. *Journal of construction engineering and management Volume 128, Issue 2,* pp. 117-126.

Bouwweb (2004). *Grote ingenieursbureaus op zoek naar perspectief.* http://www.bouwweb.nl/persmap2004/040622boosdoener.html (22-6-2004)

Churchman, C.W. (1975). *De systeem-benadering*. Alphen aan den Rijn: Samson

Construction Industry Institute (2006). *Constructability implementation guide.* http://www.construction-institute.org/scriptcontent/Index.cfm (12-2-2006)

CIRIA (1996). *Quality Management in Construction – Survey of Experiences with BS 5750: Report of Key Findings*, London: CIRIA. Special Publication 132.

Coles, E.J. (1990). *Design Management: A study of practice in the building industry*. The Chartered Institute of Building, Occasional Paper No.40, 32 pp.

CROW (2000). *Model Basisovereenkomst &UAV-GC 2000 voorzien van toelichting.* Ede: CROW

CROW (2004a). *Van Functie tot bouwstof. Leidraad specificeren*. Ede

CROW (2004b). *UAVgc: ruim baan voor innovatieve contracten. vier jaar ervaring bij honderd projecten*. Ede.

CROW (2006). Aanbestedingskalender www.crow.nl/aanbestedingskalender (15-03-2006)

Defoe (1993). An identification of pragmatic principles – final report. Seattle: INCOSE

Department Of Energy (1997). *Improving project management in the Department of Energy*. Washington, D.C.: National Academy Press. http://www.er.doe.gov/opa/PDF/99nrc.pdf (1997).

Dorée, A.G. (1997). *Voortbrengingsprocessen in de civiele techniek.* Enschede: Universiteit Twente.

DWW (1991). *Structuur in eisen.* Delft: Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Finnigan, A. (2001) Design Methods fact sheet, Value Engineering (VE). The University of Queensland. http://www.catalyst.uq.edu.au/designsurfer/value_engineering.pdf (2001).

Flapper, H.A.J. (1998). *Jellema Hogere Bouwkunde. 12b uitvoeren – de organisatie.* Utrecht: ThiemeMeulenhoff. Eerste druk, vierde oplage.

Galbraith, J.R. (1973). *Designing complex organisations*. Reading: Addison-Wesley.

INCOSE (2004). *INCOSE SE Handbook Version 2a*. INCOSE

Kallenberg, W.C.M. (2000). *Statistiek II*. Enschede: Universiteit Twente.

Kelly, J., Male, S., Drummond, G. (2004). *Value Management of Construction Projects*. Oxford: Blackwell Science Ltd.

KOAC-NPC (2005). *Cursus: Verhardingen als systeem.* Apeldoorn

Male et al. (1998). *Value Management. The Value management benchmark: A good practice framework for clients and practitioners.* Edinburgh: Heriot Watt University.

Miles, L.D. (1973). *Techniques of Value analysis and engineering.* New-York: McGraw-Hill.

Ministerie van Verkeer en waterstaat (2005a). *Bestek LB-7269, Bestek en voorwaarden voor het voorbereiden en uitvoeren van de reconstructie van een gedeelte van de A-2 in het beheersgebied van wegendistrict St. Joost, inclusief het uitvoeren van bijkomende werkzaamheden.* Maastricht, Rijkswaterstaat Limburg.

Ministerie van Verkeer en waterstaat (2005b). *Proces-verbaal van aanbesteding* .

NRC (2001). *Meedenken aan de weg.*
http://www.nrc.nl/W2/Lab/Profiel/Snelweg/bedrijfstak.html (01-02-2001)

Prakken, B. (1997). *Informatie en besturing van organisaties: een bedrijfskundige aanpak van informatievraagstukken*. Assen: van Gorcum

PSIBouw (2005). *Visie op transparantie in de bouw*. Gouda

Regieraad Bouw (2004). *Van raad naar daad. Actieplan op hoofdlijnen.* Gouda: Regieraad Bouw

Reijnders, E. (1997). *Interne communicatie: aanpak en achtergronden*. Assen: van Gorcum

Rijkswaterstaat (2005). *Persbericht, Start aanleg spitstroken A1/A50 15 augustus*
http://www.08008002-rijkswaterstaat.nl/lil/Images/PERSBERICHT_tcm96-30058.doc (08-08-2005)

Rijkswaterstaat dienstkring St. Joost (2005). *Afwegingen ten behoeve van contractkeuze "reconstructie Slingertracé"*.

Rijkswaterstaat directie Limburg (2005). *Overeenkomst LB-7676, AanlegRijksweg 73-Zuid, wegvakken F en G en de provinciale wegen N280 – Oost en de N293 – Noord*. Maastricht: Rijkswaterstaat Limburg

Rijkswaterstaat Limburg (2005). *Bestek LB-7269 voor het voorbereiden en uitvoeren van de reconstructie van een gedeelte van de A-2 in het beheersgebied van wegendistrict St. Joost, inclusief het uitvoeren van bijkomende werkzaamheden.* Maastricht: Rijkswaterstaat Limburg.

Rijkswaterstaat Oost-Nederland (2005). *Aankondiging ON-1978.*

Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill.

SBR (1985). *Van initiatief tot bouw; een systeembenadering model en toepassing*. Rotterdam.

Staadegaard, J.M. (1985). *Het weloverwogen bouwproces.* Leiden: Spruyt, Van Mantgem & de Does

Universiteit Leiden (2006). *Voortgezette statistiek voor historici. Multiple regressieanalyse*.
http://www.let.leidenuniv.nl/history/res/vstat/html/les6.html (18-7-2006)

University of Cambridge (2006). *Analytical hierarchy process*.
http://www.ifm.eng.cam.ac.uk/dstools/choosing/ahp.html (23-02-2006)

Veenvliet K.Th. (1999). *Systems Engineering Fundamentals*. Enschede: Universiteit Twente.

Veenvliet K.Th. (2003) *Ontwerpprocessen*. Enschede: Universiteit Twente

Verschuren, P. & Doorewaard, H. (2004). *Het ontwerpen van een onderzoek*. Derde druk. Utrecht: LEMMA.

Internet:

http://www.civ.utoronto.ca/sect/coneng/tamer/Courses/CIV1278/REF/Constra%20in%20design.pdf
http://www.dot.state.az.us/highways/constgrp/PDF/ConstructabilityGuide.pdf
http://www.ghc-international.nl/index_5_7.html
http://www.ivm.org.uk
http://www.mindtools.com/pages/article/newTED_01.html
www.napdace.nl
www.vialimburg.nl

Bijlagen

Bijlage I: Saaty Methode 70

Bijlage II: Theoretisch model ontwerpproces 74

Bijlage III: Respondentenlijst 81

Bijlage IV: Vragenlijst 83

Bijlage V: Onderzoeksresultaten 88

Bijlage I: Saaty Methode

In hoofdstuk drie is een beschrijving gegeven van het model waarmee de mate van systematisch werken door middel van een aantal parameters kan worden vergeleken. Aangezien niet iedere parameter even belangrijk is, worden er wegingsfactoren aan de parameters toegekend. Om deze wegingsfactoren te bepalen is gebruik gemaakt van de Analytical Hierarchy process- methode (AHP) van Saaty (Saaty, 1980).

Analytical Hierarchy Process

De AHP-methode kan gebruikt worden om criteria onderling af te wegen, door deze ten opzichte van elkaar te waarderen. Hierdoor ontstaat een hiërarchie in de criteria, waarbij het meest belangrijke criterium de hoogste wegingsfactor krijgt. Om de wegingsfactoren te bepalen onderscheid Saaty drie stappen:

- Paarsgewijze vergelijking tussen de af te wegen criteria
- Berekenen van de wegingsfactoren
- Consistentieanalyse

Paarsgewijze vergelijking

Bij de paarsgewijze vergelijking worden de criteria ten opzichte van elkaar vergeleken en gewaardeerd. De relatieve waardering varieert daarbij van één (wanneer beide criteria even belangrijk zijn) tot en met negen (wanneer het ene criterium extreem belangrijker is dan de ander). De vergelijkingen worden in een vierkante matrix (getallentabel) gezet, waarbij er evenveel rijen en kolommen als beoordelingscriteria zijn. In de matrix valt het relatieve belang te lezen, waarbij het element (i,j) op de i-de rij en de j-de kolom aangeeft, hoeveel maal het i-de element belangrijker is, dan het j-de element. Op de plaatsen waar geldt dat i=j, wordt een één ingevuld, aangezien een criterium natuurlijk niet belangrijker dan zichzelf kan zijn. Voor het invullen van de matrix wordt de " *standaard preference tabel"* van Saaty gebruikt (Saaty, 1980).

Comparative Importance	Definition	Explanation
1	Equally important	Two decisions elements equally influence the parent decission element.
3	Moderately more important	One decision element is moderately more influential than the other.
5	Strongly more important	One decision element has stronger influence than the other.
7	Very strongly more important	One decision element has significantly more influence over the other.
9	Extremely more important	The difference between influences of the tow decission elements is extremely significant.
2,4,6,8	Intermediate judgement values	Judgement values between equally, moderately, strongly, very strongly and extremely.

Tabel I.1: Standard preference tabel

De gedachte is zoveel mogelijk oneven waarden te gebruiken, aangezien even-waarden worden gezien als compromis. Conform deze werkwijze zijn de matrices voor de inrichting, structuur en transparantie van het ontwerpproces ingevuld.

Inrichting van het ontwerpproces (I)	I1	I2	I3	I4	I5
Uitvoeringsdesk. in ontwerpproces I1	1	1/5	3	1/3	3
Mate van samenwerking I2	5	1	5	3	5
Uitbesteding I3	1/3	1/5	1	1/3	3
Hoeveelheid overleg I4	3	1/3	3	1	3
Overlegstructuur I5	1/3	1/5	1/3	1/3	1

Tabel I.2: Paarsgewijze vergelijking inrichting van het ontwerpproces

Structuur van het ontwerpproces (S)	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Ontwerpstappen volgorde S1	1	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5
Ontwerpstappen parallel S2	3	1	1/3	3	1	1/3
Optimalisatietijdstip S3	5	3	1	3	3	1/5
Alternatieven aantal S4	3	1/3	1/3	1	1/3	1/5
Alternatieven aspecten S5	3	1	1/3	3	1	1/3
Toetsing S6	5	3	5	5	3	1

Tabel I.3: Paarsgewijze vergelijking structuur van het ontwerpproces

Transparantie van het ontwerpproces	T1	T2
Beslissingen T1	1	1/3
Wijzigingen T2	3	1

Tabel I.4: Paarsgewijze vergelijking transparantie van het ontwerpproces

Daarnaast zijn ook de hoofdgroepen Inrichting (I), Structuur (S) en Transparantie (T) onderling vergeleken, om in een later stadium de wegingsfactoren voor de mate van systematiek in het ontwerpproces te kunnen bepalen.

Afweging IST	I	S	T
Inrichting (I)	1	3	3
Structuur (S)	1/3	1	3
Transparantie (T)	1/3	1/3	1

Tabel I.5: Paarsgewijze vergelijking tussen inrichting, structuur en transparantie

Berekenen van de wegingsfactoren

De volgende stap is om per beoordelingscriterium de wegingsfactor te bepalen. Dit wordt gedaan door van iedere matrix het product per rij te bepalen en hier vervolgens de n^{de} machtswortel van te nemen en deze te sommeren. Daarna worden de n^{de} machtswortels gedeeld door de gesommeerde waarde . Als controlemiddel geldt dat de som van de gewichten één dient te zijn.

Inrichting van het ontwerpproces (I)	I1	I2	I3	I4	I5		Rijproduct	n machtswortel	Wegingsfactor
Uitvoeringsdesk. in ontwerpproces I1	1	1/5	3	1/3	3		3/5	0,903	0,135
Mate van samenwerking I2	5	1	5	3	5		375	3,272	0,490
Uitbesteding I3	1/3	1/5	1	1/3	3		1/15	0,582	0,087
Hoeveelheid overleg I4	3	1/3	3	1	3		9	1,552	0,232
Overlegstructuur I5	1/3	1/5	1/3	1/3	1		1/135	0,375	0,056
Totaal								6,683	1,000

Tabel I.6: Wegingsfactoren inrichting

Structuur van het ontwerpproces (S)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Rijproduct	n machtswortel	Wegingsfactor
Ontwerpstappen volgorde S1	1	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	1/675	0,338	0,043
Ontwerpstappen parallel S2	3	1	1/3	3	1	1/3	1	1,000	0,128
Optimalisatietijdstip S3	5	3	1	3	3	1/5	27	1,732	0,221
Alternatieven aantal S4	3	1/3	1/3	1	1/3	1/5	1/45	0,530	0,068
Alternatieven aspecten S5	3	1	1/3	3	1	1/3	1	1,000	0,128
Toetsing S6	5	3	5	5	3	1	1125	3,225	0,412
Totaal								7,825	1,000

Tabel I.7: Wegingsfactoren structuur

Transparantie van het ontwerpproces (T)	T1	T2	Rijproduct	n machtswortel	Wegingsfactor
Vastleggen beslissingen T1	1	1/3	1/3	0,577	0,250
Vastleggen wijzigingen T2	3	1	3	1,732	0,750
Totaal				2,309	1,000

Tabel I.8: Wegingsfactoren transparantie

Consistentie

Tot slot dient vastgesteld te worden of de ontstane hiërarchie in de parameters consistent is. Hiervoor wordt de consistentie ratio berekend volgens de methode van Coyle (Coyle, 2004). De consistentie ratio kan berekend worden volgens de vergelijking:

$A\omega=\lambda\omega$

Hierin is:
A = matrix
ω = eigenvector van matrix A
λ = een eigenwaarde van matrix A

Indien alle paarsgewijze schattingen perfect overeenkomen met de verhoudingen van de wegingsfactoren, dan zou moeten gelden λ=n. Aangezien het hier gaat om een menselijke beoordeling en subjectiviteit dus vrijwel niet uit te sluiten is, zal het nagenoeg onmogelijk zijn om volledige consistentie te bereiken. Om hier rekening mee te houden dient de vergelijking dan ook omgeschreven te worden in:

$A\omega=\lambda_{max}\omega$ met $\lambda_{max} \geq n$

Het verschil tussen λ_{max} en n geeft een indicatie van de inconsistentie.

Om λ_{max} te bepalen worden de waarden van de paarsgewijze vergelijking uit de matrices vermenigvuldigt met de eigenvectoren (gewichten) en vervolgens gedeeld door de eigenvector van die parameter. Zo geldt bijvoorbeeld voor I1 (Uitvoeringdeskundigheid in het ontwerpproces) dat λ_{max} is: (1*0.135+1/5*0.490+3*0.087+1/3*0.232+3*0.056)/0.135 = 5.447
De consistentie index (C_i) wordt bepaald door gebruikt gemaakt van de gemiddelde waarde van λ_{max}. en berekend door de volgende formule:

$C_i= (\lambda_{max}-n)/n-1)$

De consistentie index C_i is dus afhankelijk van de grootte van de matrix. In geval van de parameter I1 (Uitvoeringdeskundigheid in het ontwerpproces)van het ontwerpproces geldt dus n=5. De C_i waarde wordt daardoor (5.447-5)/(5-1)=0.097. Om vervolgens de Consistentie Ratio (C_r) te bepalen dient dient de berekende C_i gedeeld te worden door de C_i-waarden uit tabel 9.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ci	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Tabel I.9: Consistentie-indices bij verschillende grootte n

Deze theoretische C_i-waarden zijn bepaald aan de hand van een grootschalig onderzoek waarbij de onderlinge vergelijkingen tussen de parameters bekend was. Aan de hand van het onderlinge verband zijn C_i-waarden bepaald en deze gelden dus als een referentiewaarde. Met behulp van de C_i-waarden kan de C_r-waarde worden bepaald. Hierbij geldt dat de waarde voor C_r niet groter mag zijn dan 0,1. Indien de waarde kleiner is dan 0,1, dan is de matrix consistent.

Met behulp van de formules en tabel 9 zijn vervolgens voor de inrichting-, structuur- en de IST-matrix de CR-waarden bepaald. Voor de matrix transparantie is geen Cr-waarde bepaald, omdat dit gezien de C_i-waarde niet mogelijk is.

Inrichting van het ontwerpproces (I)	**I1**	**I2**	**I3**	**I4**	**I5**	**Wegingsfactor**	**Nieuwe vector**	**λmax**
Uitvoeringsdesk. in ontwerpproces I1	1	0,2	3	1/3	3	0,135	0,740	5,477
Mate van samenwerking I2	5	1	5	3	5	0,490	2,577	5,265
Uitbesteding I3	1/3	0,2	1	1/3	3	0,087	0,476	5,464
Hoeveelheid overleg I4	3	1/3	3	1	3	0,232	1,230	5,298
Overlegstructuur I5	1/3	1/5	1/3	1/3	1	0,056	0,305	5,445
Gemiddelde								5,390
							CI	0,097
							CR	0,087

Tabel I.10: Consistentie-ratio voor de inrichting van het ontwerpproces

Structuur van het ontwerpproces (S)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Wegingsfactor	Nieuwe vector	λmax
Ontwerpstappen volgorde S1	1	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	0,043	0,278	6,434
Ontwerpstappen parallel S2	3	1	0,33	3	1	1/3	0,128	0,799	6,256
Optimalisatietijdstip S3	5	3	1	3	3	1/5	0,221	1,490	6,730
Alternatieven aantal S4	3	1/3	1/3	1	1/3	1/5	0,068	0,439	6,473
Alternatieven aspecten S5	3	1	1/3	3	1	1/3	0,128	0,799	6,256
Toetsing S6	5	3	5	5	3	1	0,412	2,840	6,891
Gemiddelde									6,507
								CI	0,101
								CR	0,082

Tabel I.11: Consistentie-ratio voor de structuur van het ontwerpproces

Afweging IST	I	S	T	Wegingsfactor	Nieuwe vector	λmax
Inrichting (I)	1	3	3	0,58	1,832	3,136
Structuur (S)	1/3	1	3	0,28	0,881	3,136
Transparantie (T)	1/3	1/3	1	0,14	0,423	3,136
Gemiddelde						3,136
					CI	0,068
					CR	0,061

Tabel I.12: Consistentie-ratio voor de afweging IST

Voor alle drie de tabellen geldt dat de CR-waarden binnen de gestelde marge van 0,1 blijven, waardoor de matrices dus consistent genoeg zijn.

Wegingsfactoren voor het toetsingsmodel

Aan de hand van de AHP-methode zijn de wegingsfactoren voor de inrichting, de structuur en de transparantie van het ontwerpproces vastgesteld. Tevens zijn er wegingsfactoren voor deze hoofdgroepen opgesteld door middel van onderlinge vergelijking. De wegingsfactoren zijn vervolgens gecontroleerd op hun consistentie en bleken te voldoen.
Doordat de consistentieratio's voldoen, kan aan de hand van de wegingsfactoren voor de onderlinge vergelijking tussen de hoofdgroepen I, S en T, per parameter de wegingsfactor voor de mate van systematisch werken worden bepaald. Hiervoor worden de wegingsfactoren van de parameters vermenigvuldigd met de wegingsfactor van de desbetreffende hoofdgroep. Zo worden de wegingsfactoren van de parameters I1 tot en met I5 vermenigvuldigd met de wegingsfactor 0,58 en worden de wegingsfactoren van de parameters van S1 tot en met S6 vermenigvuldigd met de wegingsfactor 0,28. De wegingsfactoren van de parameters T1 en T2 worden vermenigvuldigd met 0,14. Uiteindelijk ontstaan hieruit de wegingsfactoren voor het toetsingsmodel, dat gebruikt kan worden om de mate van systematisch werken in het ontwerpproces te bepalen. Als controle hierbij geldt dat het totaal van de wegingsfactoren precies één is. De uiteindelijke wegingsfactoren voor het toetsingsmodel zijn hieronder weergegeven.

Parameters	Wegingsfactor per groep	Wegingsfactor voor het toetsingsmodel
Inrichting van het ontwerpproces (I)	**(0,58)**	
Uitvoeringsdesk. in ontwerpproces I1	0,14	0,08
Mate van samenwerking I2	0,49	0,29
Uitbesteding I3	0,09	0,05
Hoeveelheid overleg I4	0,23	0,14
Overlegstructuur I5	0,06	0,03
Structuur van het ontwerpproces (S)	**(0,28)**	
Ontwerpstappen volgorde S1	0,04	0,01
Ontwerpstappen parallel S2	0,13	0,04
Optimalisatietijdstip S3	0,22	0,06
Alternatieven aantal S4	0,07	0,02
Alternatieven aspecten S5	0,13	0,04
Toetsing S6	0,41	0,12
Transparantie van het ontwerpproces (T)	**(0,14)**	
Vastleggen beslissingen T1	0,25	0,03
Vastleggen wijzigingen T2	0,75	0,10
Totaal		**1,000**

Tabel I.13: Wegingsfactoren (a_i) voor het toetsingsmodel

Bijlage II: Theoretisch model ontwerpproces

Inleiding

In deze bijlage wordt ingegaan op de structuur van het ontwerpproces. Om een algemeen beeld te krijgen van de structuur zijn stroomschema's opgesteld, die beschrijven hoe het ontwerpproces er uit zou kunnen zien. Er is een traditioneel procesmodel opgesteld, dat uitgaat van gescheiden ontwerpstappen en een geïntegreerd procesmodel, waarbij de ontwerpstappen parallel worden doorlopen. De stroomschema's worden gebruikt om de structuur van het ontwerpproces van de aannemers te evalueren. De structuur van het ontwerpproces is binnen dit onderzoek gedefinieerd als het stappenplan dat doorlopen wordt om van een programma van eisen naar een aanbieding te komen. Het gaat daarbij om de volgorde van de ontwerpstappen en de aspecten die binnen het ontwerpproces worden meegenomen. Er wordt verondersteld dat de structuur van het ontwerpproces afhankelijk is van de:

- Ontwerpstappen
- Optimalisatie van het ontwerp in het proces
- Alternatievengeneratie
- Toetsing in het ontwerpproces

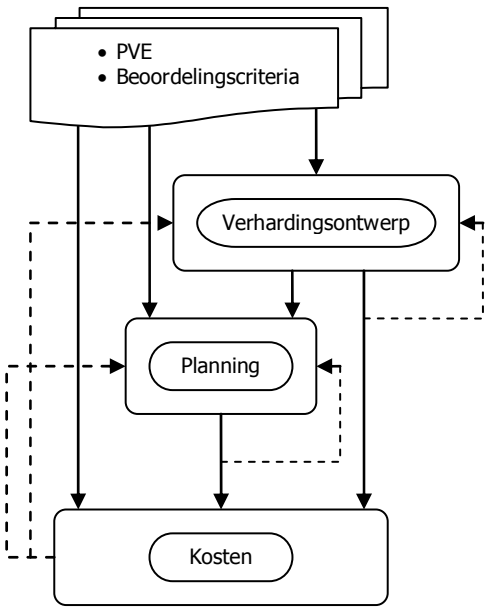
Er zal in deze bijlage eerst worden ingegaan op het traditionele procesmodel en de bijbehorende stroomschema's. Hierna volgt een beschrijving van het geïntegreerde procesmodel. Het geïntegreerde procesmodel is afgeleid van de structuur Systems Engineering en geeft een beschrijving hoe het ontwerpproces er idealiter uit zou kunnen zien. In de praktijk blijkt het ontwerpproces vaak een mix te zijn van het traditionele en het geïntegreerde procesmodel. De theoretische modellen zijn dan ook alleen gebruikt als referentiekader, om de verschillen in de ontwerpprocessen inzichtelijk te maken.

Traditioneel procesmodel

De traditionele benadering gaat uit van een sequentieel proces, waarbij de fasen in het bouwproces na elkaar worden doorlopen. Er wordt dus eerst een verhardingsontwerp gemaakt alvorens een planning wordt opgesteld en uiteindelijk calculatie plaats vindt. Optimalisatie vindt alleen plaats wanneer de kosten zijn berekend. Alleen de onderdelen die (te) hoge kosten hebben of (te) veel tijd vragen worden geoptimaliseerd. Toetsing vindt hierbij alleen plaats aan het einde van een ontwerpstap en indien het ontwerp wordt goedgekeurd vindt de volgende stap plaats De alternatieven worden voor het begin van de ontwerpstap bepaald en afgewogen op haalbaarheid. Het kansrijkste alternatief wordt verder uitgewerkt.

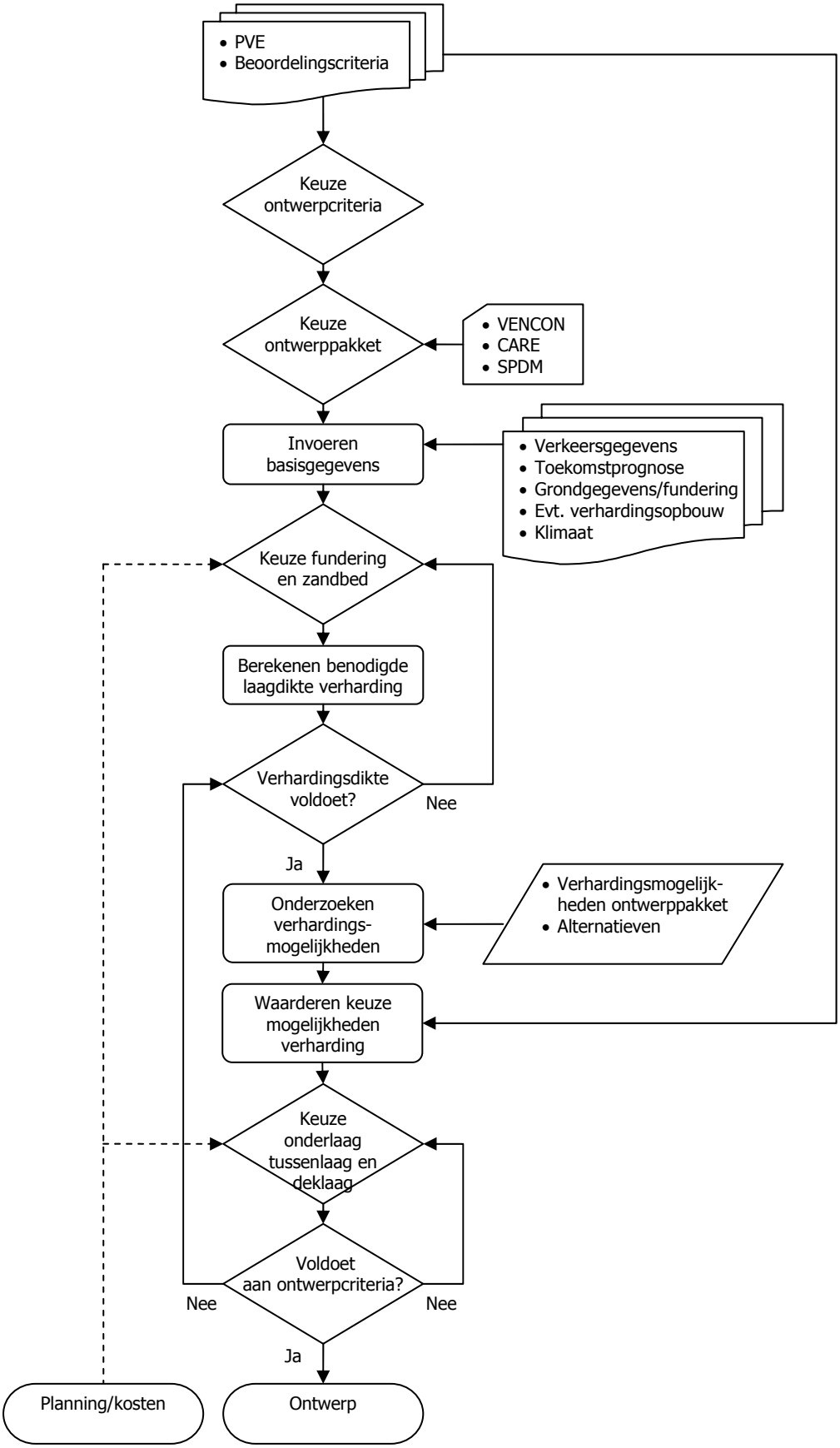
Aangezien het procesmodel te omvangrijk is om in één figuur weer te geven, zijn de stappen verhardingsontwerp, planning en kosten separaat weergegeven. De stroomschema's echter dienen als één geheel te worden gezien. In het figuur hiernaast is een overzicht weergegeven van het traditionele procesmodel.

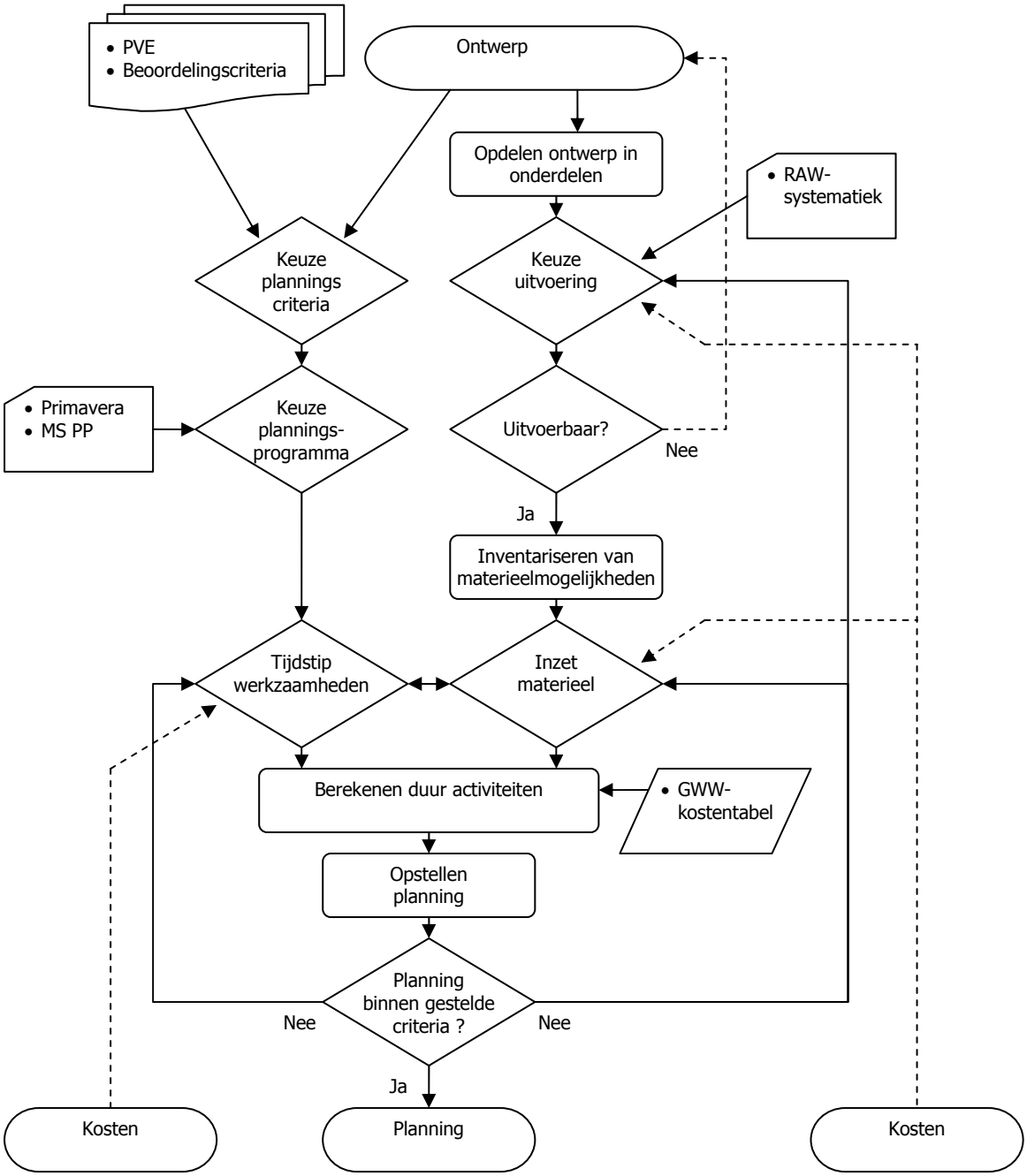
In de volgende stroomschema's worden de stappen van het verhardingsontwerp, de planning en calculatie verder uitgewerkt.

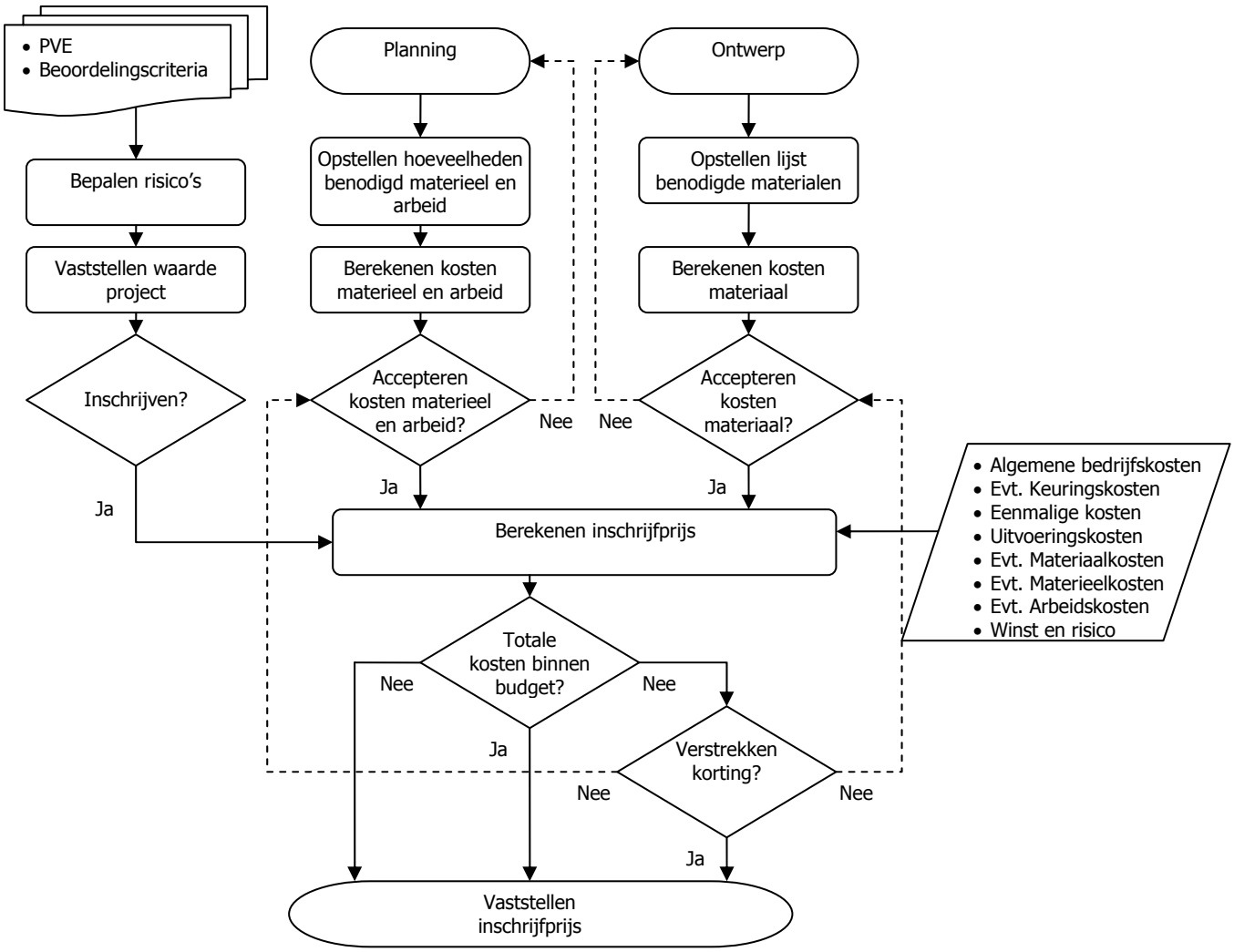


Figuur II.1: Overzicht traditioneel procesmodel

Stroomschema's traditioneel proces

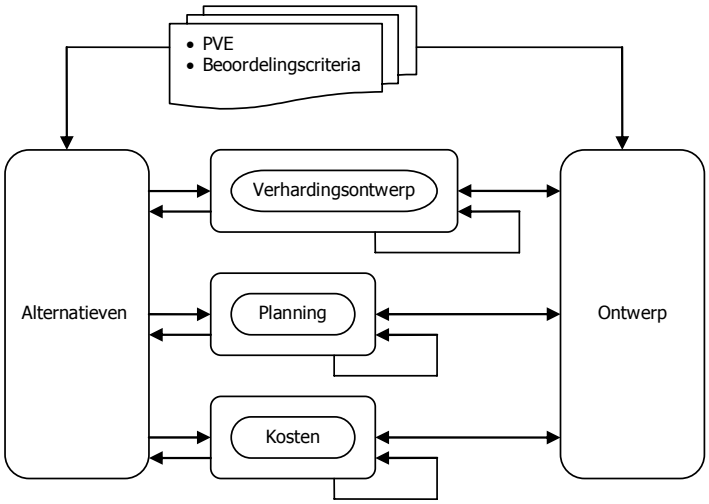



• PVE
• Beoordelingscriteria
Ontwerp
Opdelen ontwerp in onderdelen
• RAW-systematiek
Keuze plannings criteria
Keuze uitvoering
• Primavera
• MS PP
Keuze plannings-programma
Uitvoerbaar?
Nee
Ja
Inventariseren van materieelmogelijkheden
Tijdstip werkzaamheden
Inzet materieel
Berekenen duur activiteiten
• GWW-kostentabel
Opstellen planning
Planning binnen gestelde criteria ?
Nee
Nee
Ja
Kosten
Planning
Kosten


• PVE
• Beoordelingscriteria
Planning
Ontwerp
Bepalen risico's
Opstellen hoeveelheden benodigd materieel en arbeid
Opstellen lijst benodigde materialen
Vaststellen waarde project
Berekenen kosten materieel en arbeid
Berekenen kosten materiaal
Inschrijven?
Accepteren kosten materieel en arbeid?
Accepteren kosten materiaal?
Nee
Nee
Ja
Ja
Ja
• Algemene bedrijfskosten
• Evt. Keuringskosten
• Eenmalige kosten
• Uitvoeringskosten
• Evt. Materiaalkosten
• Evt. Materieelkosten
• Evt. Arbeidskosten
• Winst en risico
Berekenen inschrijfprijs
Totale kosten binnen budget?
Nee
Nee
Ja
Verstrekken korting?
Nee
Nee
Ja
Vaststellen inschrijfprijs

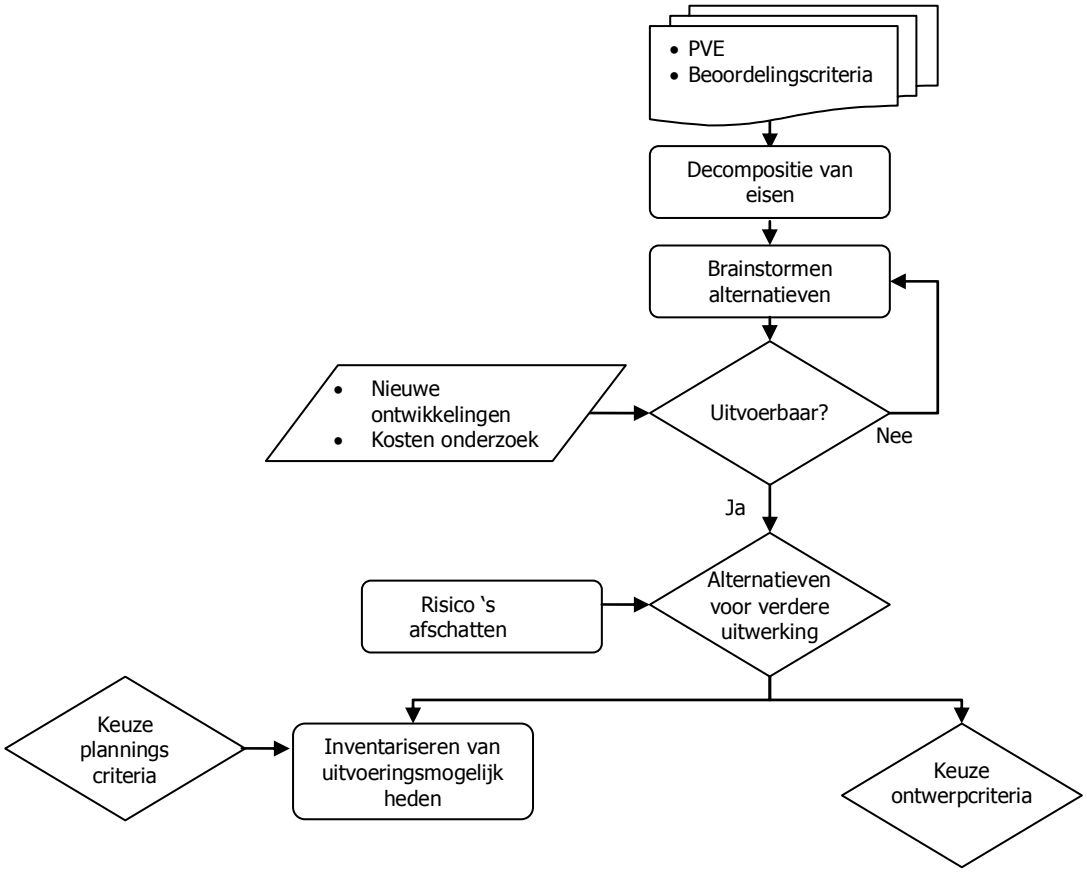
Geïntegreerd procesmodel

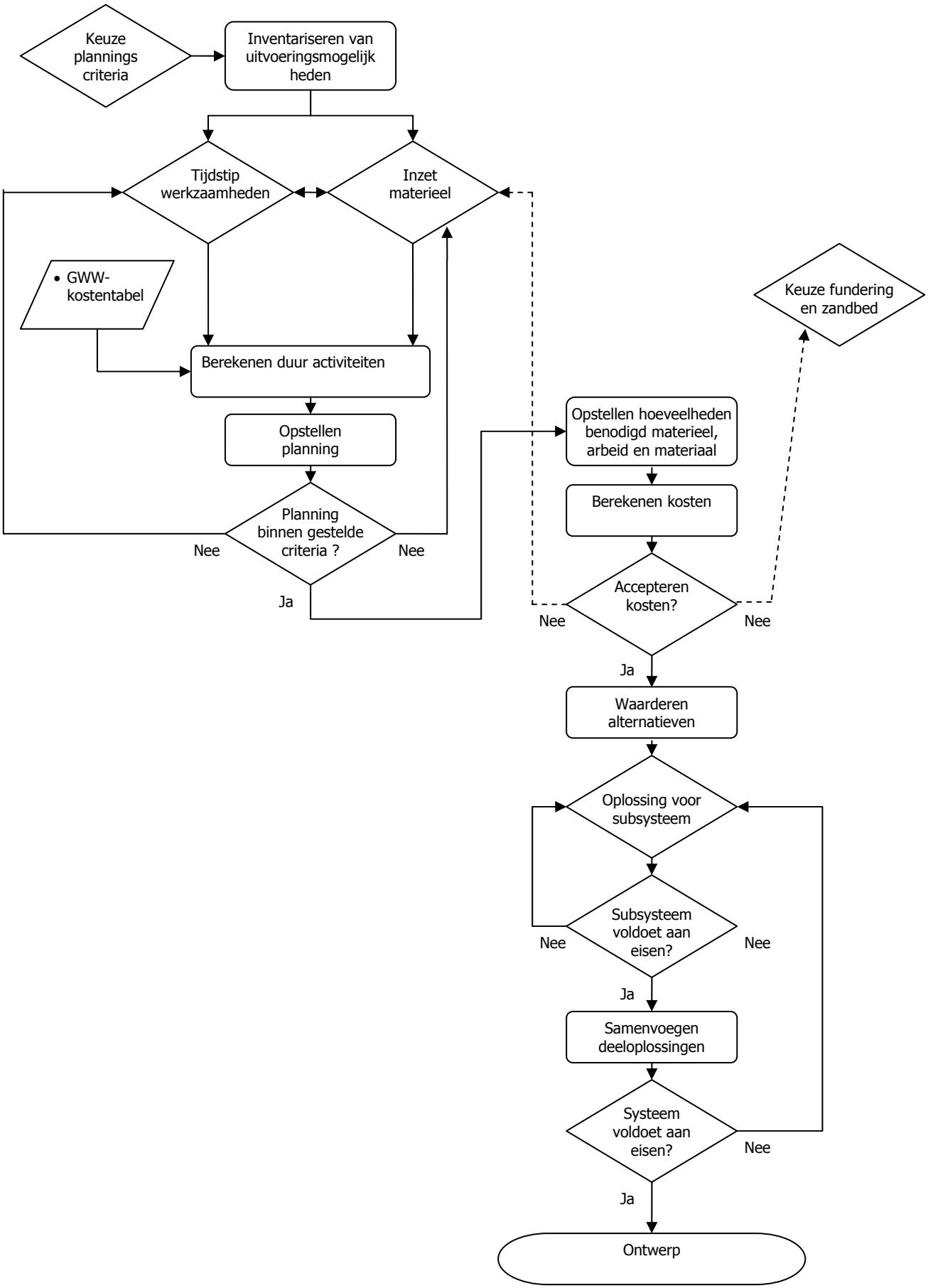
Het geïntegreerde procesmodel gaat uit van een parallel proces, waarbij de fasen in het bouwproces simultaan worden doorlopen. Daarbij vindt voortdurend toetsing en optimalisatie plaats. Er wordt eerst een algemeen systeem opgesteld welke bestaat uit verschillende onderdelen en deze onderdelen worden dan parallel ontwikkeld. Vervolgens worden de subsystemen bij elkaar gevoegd en vindt er controle plaats of het totale systeem voldoet aan de gestelde eisen. Er is dus een continue controleloop aanwezig in het ontwerpproces. Aangezien het procesmodel te omvangrijk is om in één figuur weer te geven, zijn de stappen alternatieven, verhardingsontwerp, planning en kosten separaat weergegeven. De stroomschema's echter dienen als één geheel te worden gezien. In het figuur hieronder is een overzicht weergegeven van het geïntegreerde procesmodel.

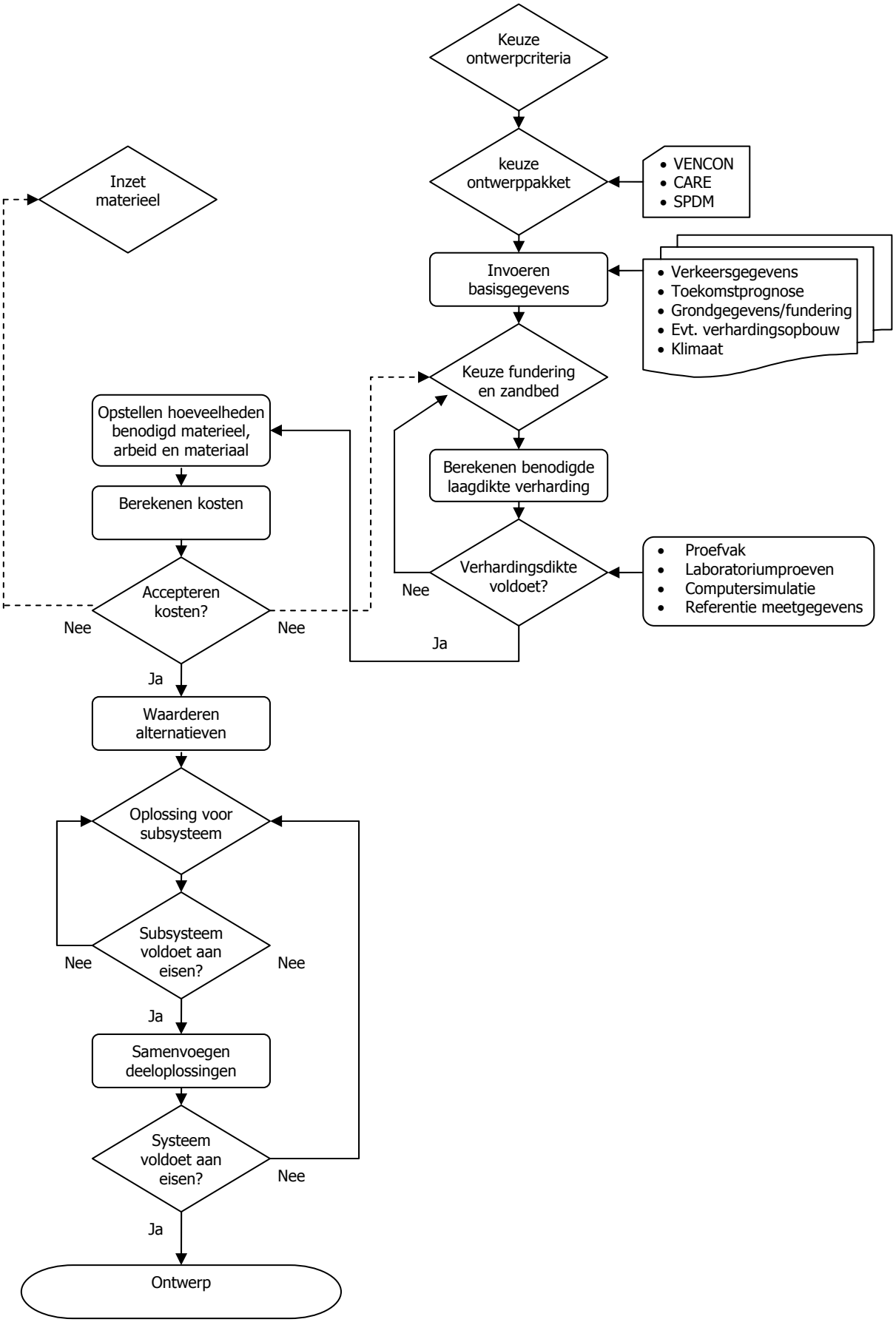


Figuur II.2: Overzicht geïntegreerd procesmodel

Stroomschema's geïntegreerd procesmodel




Keuze plannings criteria
Inventariseren van uitvoeringsmogelijk heden
Tijdstip werkzaamheden
Inzet materieel
• GWW-kostentabel
Berekenen duur activiteiten
Opstellen planning
Planning binnen gestelde criteria ?
Nee
Nee
Ja
Keuze fundering en zandbed
Opstellen hoeveelheden benodigd materieel, arbeid en materiaal
Berekenen kosten
Accepteren kosten?
Nee
Nee
Ja
Waarderen alternatieven
Oplossing voor subsysteem
Subsysteem voldoet aan eisen?
Nee
Nee
Ja
Samenvoegen deeloplossingen
Systeem voldoet aan eisen?
Nee
Ja
Ontwerp


Keuze ontwerpcriteria
keuze ontwerppakket
• VENCON
• CARE
• SPDM
Inzet materieel
Invoeren basisgegevens
• Verkeersgegevens
• Toekomstprognose
• Grondgegevens/fundering
• Evt. verhardingsopbouw
• Klimaat
Keuze fundering en zandbed
Opstellen hoeveelheden benodigd materieel, arbeid en materiaal
Berekenen benodigde laagdikte verharding
Berekenen kosten
Verhardingsdikte voldoet?
• Proefvak
• Laboratoriumproeven
• Computersimulatie
• Referentie meetgegevens
Nee
Accepteren kosten?
Nee
Nee
Ja
Ja
Waarderen alternatieven
Oplossing voor subsysteem
Subsysteem voldoet aan eisen?
Nee
Nee
Ja
Samenvoegen deeloplossingen
Systeem voldoet aan eisen?
Nee
Ja
Ontwerp

Bijlage III: Respondentenlijst

Voor het praktijkonderzoek zijn interviews afgenomen bij de bedrijven die een aanbieding hebben ingediend voor de projecten op de A2, A73 en de A1/A50. Er zijn daarbij niet alleen tendermanagers geïnterviewd, maar ook enkele verhardingsspecialisten om een goed beeld te krijgen van het algemene ontwerpproces van verhardingen. De respondenten zijn eerst telefonisch benaderd, alvorens een afspraak is gemaakt voor het afnemen van het interview. De respondenten zijn hieronder weergegeven per project.

Project A2

Organisatie:	BAM Wegen B.V. regio Zuid-Oost
Geïnterviewde(n):	Ir. B. Debets
Functie:	Hoofd bedrijfsbureau speciale projecten
Plaats:	Helmond
Datum:	3 mei 2006

Organisatie:	Dura Vermeer Infra B.V. regio Zuid-Oost
Geïnterviewde(n):	Ing. W. Kemper en dhr. Ir. R. van der Pol
Functie:	Calculator en projectleider
Plaats:	Beuningen
Datum:	9 mei 2006

Organisatie:	KWS Infra B.V. regio Zuid-Oost
Geïnterviewde(n):	Ing. R. van Wijk
Functie:	Districtsdirecteur
Plaats:	Beuningen
Datum:	9 mei 2006

Project A73

Organisatie:	Mourik B.V.
Geïnterviewde(n):	Ir. A. Meerkerk
Functie:	Hoofd ontwerpen
Plaats:	Groot-Ammers
Datum:	10 mei 2006

Organisatie:	Dura Vermeer Infra regio Zuid-oost
Geïnterviewde(n):	Ir. C. Scheer
Functie:	Tendermanager
Plaats:	Groot-Ammers (i.v.m. wisseling werkgever)
Datum:	1 juni 2006

Organisatie:	BAM Wegen B.V. regio Zuid Oost
Geïnterviewde(n):	Ir. D. Verschoor
Functie:	Tendermanager
Plaats:	Drünen
Datum:	1 juni 2006

Project A1/A50

Organisatie:	van Gelder B.V.
Geïnterviewde(n):	Ing. L. Waterreus
Functie:	Hoofd bedrijfsbureau speciale projecten
Plaats:	Amersfoort
Datum:	2 mei 2006

Organisatie:	Dura Vermeer regio Noord-oost
Geïnterviewde(n):	Ir. W.J. Kamp
Functie:	Hoofd afdeling integraal design
Plaats:	Rijssen
Datum:	12 mei 2006

Organisatie:	Heijmans Infra B.V. regio Oost
Geïnterviewde(n):	Ir. R. Valkenburg
Functie:	Tendermanager
Plaats:	Deventer
Datum:	29 mei 2006

Organisatie:	Bruil Ede B.V.
Geïnterviewde(n):	Ing. J.L.J. Thomassen
Functie:	Projectleider Betonverhardingen
Plaats:	Ede
Datum:	21 juni 2006

Organisatie:	Koop Tjuchem[7]
Geïnterviewde(n):	Ir. Y. Korver
Functie:	Tendermanager
Plaats:	Groningen
Datum:	28-juni-2006

Overige geïnterviewden

Organisatie:	BAM Wegen B.V. Technologie &Ontwikkeling
Geïnterviewde(n):	Ir. B.W. Sluer
Functie:	Afdelingshoofd
Project:	A2 en A73
Plaats:	Utrecht
Datum:	26 april 2006

Organisatie:	Ingenieursbureau Van Kleef B.V. (Heijmans)
Geïnterviewde(n):	Ir. S. Mangnus
Functie:	Verhardingsspecialist
Project:	A1/A50 en A73
Plaats:	Vught
Datum:	3 mei 2006

Organisatie:	BAM Wegen B.V. regio Noordwest
Geïnterviewde(n):	Ir. R.L.M. van Hulst
Functie:	Directeur Noordwest
Project:	A2 en A73
Plaats:	Zaandam
Datum:	11 mei 2006

7 Niet volledig interview omwille van tijdnood. Vragen zijn per mail beantwoord en telefonisch toegelicht.

Bijlage IV: Vragenlijst

Hieronder is de vragenlijst weergegeven welke gebruikt is voor het afnemen van de interviews. Om de interviews overzichtelijk en gestructureerd te houden, zijn de vragen onderverdeeld in de volgende categorieën:

- Algemene vragen betreffende het bedrijf en uitgevoerde projecten
- Ervaringen met het werken met een functionele vraagspecificatie
- Ervaringen betreffende het project
- Inrichting van het ontwerpproces
- Structuur van het ontwerpproces
- Transparantie van het ontwerpproces
- Ontwerpvrijheid

1. Algemene vragen

1.1. Hoeveel werknemers werken er binnen het bedrijf in de wegenbouwsector?

a) Hoeveel werken hiervan in de acquisitie?
b) Hoeveel werken hiervan in de planning/werkvoorbereiding?
c) Hoeveel werken hiervan in de projectontwikkeling/ontwerp?
d) Hoeveel werken hiervan in de uitvoering?
e) Hoeveel werken hiervan in de kostenraming?
f) Overige onderdelen?

1.2. Hoeveel omzet is er het afgelopen jaar door het bedrijf in de wegenbouwsector gegenereerd?

a) Hoeveel omzet is er gegenereerd door traditionele samenwerkingsconcepten?
   - Onder regie
   - UAV/RAW-contracten
   - Bouwteam-contracten
b) Hoeveel omzet is er gegenereerd door raamcontracten?
c) Hoeveel omzet is er gegenereerd door geïntegreerde samenwerkingsconcepten?
   - Design & Construct-contracten
   - Turn-key-contracten
d) Zijn er nog andere vormen van contracten toegepast?
   - Welke contractvormen zijn dit?
   - Hoeveel omzet is hiermee gegenereerd?

1.3. Hoeveel projecten zijn er het afgelopen jaar binnen de wegenbouw uitgevoerd?

a) Hoeveel projecten zijn hiervan op basis van een technisch bestek aanbesteed?
   - Hoeveel op basis van onder regie
   - Hoeveel op basis van UAV/RAW-contracten
   - Hoeveel op basis van bouwteam-contracten
b) Hoeveel projecten zijn hiervan op basis van een raamcontract aanbesteed?
c) Hoeveel projecten zijn hiervan op basis van een functionele vraagspecificatie aanbesteed?
   - Hoeveel op basis van Design & Construct-contract
   - Hoeveel op basis van Turn-key-contract

2. Ervaring met het werken met functionele vraagspecificaties

2.1. Zijn er problemen ondervonden bij de omschakeling van traditionele bestekken naar functionele vraagspecificaties?

a) Welke problemen heeft het bedrijf ondervonden bij de omschakeling van traditionele contracten naar functionele prestatiecontracten?
b) Hoe zijn deze problemen opgelost?

2.2. Heeft het bedrijf aanpassingen moeten doen door de introductie van functionele vraagspecificaties?

a) Welke investeringen heeft het bedrijf moeten doen om in te kunnen spelen op functionele vraagspecificaties?
b) Welke redenen lagen er aan te grondslag om deze investeringen te maken?

2.3. Welke verschillen bestaan er tussen het werken met een functionele vraagspecificatie en het werken volgens traditioneel bestek?

a) Welke verschillen, tussen het werken met een functionele vraagspecificatie en volgens traditioneel bestek, zijn volgens u het belangrijkst?
b) Op welke manier heeft dit invloed op de werkwijze?

2.4. Welke voordelen en nadelen zijn er bij het werken met een functionele vraagspecificatie?

a) Welke voordelen heeft het werken met een functionele vraagspecificatie voor uw bedrijf?
b) Welke voordelen zou het werken met functionele specificaties moeten hebben, maar worden niet zo ervaren?
c) Welke nadelen zijn er bij het werken met een functionele vraagspecificatie?

2.5. Met welke kostenposten wordt anders omgegaan door de toepassing van functionele prestatiecontracten?

a) Hoeveel kostenreductie wordt er hierdoor gemiddeld behaald?
b) Wat is de reden dat er wel/geen kostenbesparing plaats vindt?

2.6. Worden risico's bij het werken met een functionele vraagspecificatie anders ingeschat?

a) Welke risico's worden anders ingeschat?
b) Waarom worden deze risico's anders ingeschat?

3. Algemene vragen betreffende het project

3.1. Waren er, voordat er begonnen is met het ontwerpproces, onduidelijkheden in de gegeven vraagspecificatie, gunningscriteria of selectieleidraad?

a) Welke onduidelijkheden waren er?
b) Hoe is er met deze onduidelijkheden omgegaan?

3.2. Zijn de kosten voor het maken van de verschillende onderdelen van het project vooraf begroot?

a) Hoeveel bedroeg de begroting voor de totale kosten van het project?
b) Hoeveel bedroeg de begroting voor de kosten voor het maken v/h ontwerp?
c) Hoeveel bedroeg de begroting voor de kosten van de uitvoering?
d) Hoeveel bedroeg de begroting voor de kosten voor de kwaliteitszorg?
e) Welke overige kostenposten zijn verder nog begroot?

3.3. Was de ontwerpvergoeding toereikend voor de gemaakte kosten?

a) Hoeveel bedroeg de afwijking?
b) Wat was de reden van deze afwijking?

4. Inrichting van het ontwerppproces

4.1. Wie was verantwoordelijk voor het ontwerpwerk van dit project?

a) Zijn er onderdelen van het ontwerpwerk uitbesteed?
b) Welke onderdelen zijn uitbesteed?
c) Wat was de reden voor de uitbesteding?

4.2. Hoeveel ontwerpers zijn er ingezet voor het project

a) Hoeveel ontwerpers zijn er ingezet van het eigen bedrijf?
b) Hoeveel ontwerpers zijn er van buitenaf benaderd?
c) Wat was de reden voor het aantrekken van expertise van buitenaf?

4.3. Hoe is het ontwerpteam tot stand gekomen?

a) Uit welke competenties bestond het ontwerpteam?
b) Op basis van welke criteria zijn de leden voor het ontwerpteam gekozen?
c) Wordt voor ieder gelijksoortig project hetzelfde ontwerpteam gebruikt?

4.4. Op welke manier heeft het team samengewerkt?

a) Welke activiteiten zijn gezamenlijk uitgevoerd?
b) Wat was de reden voor deze gezamenlijke uitvoering
c) Hoe vaak heeft er overleg plaatsgevonden tussen de teamleden?
d) Wat was het karakter van deze overleggen?

5. Structuur van het ontwerpproces

A: Stappen in het ontwerpproces

5.1. Is het ontwerpproces opgedeeld in onderdelen?

a) Uit welke stappen bestaat het ontwerpproces?
b) In welke volgorde zijn deze ontwerpstappen doorlopen?
c) Waarom is er gekozen voor deze volgorde?

5.2. Zijn er stappen parallel uitgevoerd in het ontwerpproces?

a) Welke stappen zijn er parallel uitgevoerd?
b) Wat was de reden voor deze parallelle uitvoering?

5.3. Hebben er optimalisatieslagen plaatsgevonden in het ontwerpproces?

a) Hoeveel optimalisatieslagen hebben er in totaal plaatsgevonden in het proces?
b) Wanneer (in het proces) hebben deze optimalisatieslagen plaats gevonden?
c) Welke belangrijke wijzigingen/aanpassingen zijn hieruit naar voren gekomen?

B: Alternatieven

5.4. Is er gebruik gemaakt van referentieprojecten voor het opstellen van het ontwerp?

a) Welke onderdelen van het referentieproject zijn overgenomen?
b) Waarom zijn deze onderdelen overgenomen?

5.5. Zijn er alternatieven opgesteld voor het ontwerp?

a) Hoeveel alternatieven zijn er opgesteld en afgewogen?
b) Waarin verschilden deze met het ingediende ontwerp?
c) Waarom zijn er geen alternatieven afgewogen (op andere aspecten)?
d) Welke criteria zijn gebruikt voor het afwegen van de alternatieven?
e) Waar in het ontwerpproces zijn alternatieven opgesteld en afgewogen?

5.6. Waar in het proces heeft er toetsing plaatsgevonden?

C: Hulpprogramma's

5.7. Zijn er ontwerptools gebruikt voor het opstellen van het technisch ontwerp?

a) Welke ontwerptools zijn gebruikt voor het genereren van een technisch ontwerp?
b) Waarom zijn juist deze ontwerptools toegepast?

5.8. Zijn er ontwerptools gebruikt voor het opstellen van de planning?

a) Welke ontwerptools zijn gebruikt voor het opstellen van de planning
b) Waarom zijn juist deze ontwerptools gebruikt?

5.9. Hoe zijn de kosten van het ontwerp bepaald?

a) Welke ontwerptools zijn gebruikt voor het berekenen van de kosten?
b) Waarom zijn juist deze ontwerptools gebruikt?
c) Welke onzekerheden waren er in het ontwerpproces betreffende de kosten?
d) Hoe is met deze onzekerheden omgegaan?

6. Transparantie van het ontwerpproces

6.1. Zijn de beslissingen in het ontwerpproces vastgelegd?

a) Op welke manier zijn de beslissingen vastgelegd?
b) Hoe is gewaarborgd dat alle participanten op de hoogte waren van de genomen beslissingen?
c) Zijn er desondanks nog problemen geweest omtrent genomen beslissingen?

6.2. Zijn de wijzigingen binnen het project bijgehouden?

a) Op welke manier zijn de wijzigingen bijgehouden?
b) Op welke manier zijn de wijzigingen gecommuniceerd met het ontwerpteam?
c) Hoe is gewaarborgd dat alle teamleden op de hoogte waren van de wijzigingen?
d) Zijn er problemen ontstaan door wijzigingen?

7. Ontwerpvrijheid

7.1. Was er door gegeven vraagspecificatie ruimte voor het genereren van meerdere oplossingen?

a) Hoeveel oplossingen zijn er uitgewerkt?
b) Waarom zijn er niet meer(dere) oplossingen uitgewerkt?
c) Indien het team meer ruimte had gekregen had het dan andere oplossingen aangedragen?
d) Welke verschillen zou dit alternatieve ontwerp hebben ten opzichte van het ingediende ontwerp?

7.2. Werd de aangeboden ruimte gezien als een vrijheid of was het eerder een beperking?

a) Waarom werd het gezien als een beperking/vrijheid?
b) Welke invloed heeft dit gehad op de uiteindelijk gekozen oplossing?
c) Is er behoefte aan meer ontwerpvrijheid?

7.3. Werd het ontwerpteam gemotiveerd om innovatieve oplossingen aan te dragen?

a) Op welke manier motiveerde de OG het ontwerpteam om innovatieve oplossingen aan te dragen?
b) Heeft dit geleid tot innovatieve oplossingen?

7.4. Welke aanpassingen zijn nodig om nog meer gebruik te kunnen maken van ontwerpvrijheid ?

a) Welke aanpassingen zijn vanuit de OG nodig?
b) Welke aanpassingen zou het bedrijf moeten doen?
c) Zou het opstellen van een instituut, die een uitspraak doet over de kwaliteit van de aangeboden oplossing door aannemers een meerwaarde hebben?

Bijlage V: Onderzoeksresultaten

In deze bijlage wordt ingegaan op de verkregen resultaten van de interviews. Deze data zijn gebruikt bij de analyse van de onderzoekresultaten welke is weergegeven in hoofdstuk zes. De data zijn gerangschikt op de onderdelen van de vragenlijst. Aangezien niet alle interviewvragen voldoende data genereerden om hier conclusies aan te verbinden zijn hieronder enkel de data weergegeven die gebruikt zijn voor de analyse in hoofdstuk zes. De verkregen data zijn gebruikt om uitspraken te kunnen doen over de mate van systematisch werken met betrekking tot de inrichting, de structuur en de transparantie van het ontwerpproces en de mate van systematisch werken in het algemeen. Daarnaast zijn de gegevens ook gebruikt om de invloed van de externe factoren op de mate van systematisch werken te toetsen.

Algemene gegevens

Om de mate van systematisch werken in het ontwerpproces inzichtelijk te maken wordt gebruikt gemaakt van het in hoofdstuk drie opgezette toetsingsmodel. Dit model gaat er vanuit dat de mate van systematisch werken bepaald wordt door drie interne parameters: de inrichting van het ontwerpproces, de structuur van het ontwerpproces en de transparantie van het ontwerpproces. Daarnaast wordt verondersteld dat de mate van systematisch werken afhangt van een viertal externe factoren welke verdeeld zijn in projectafhankelijke en bedrijfsafhankelijke factoren. Om de invloed van de externe factoren te meten en de mate van systematisch werken vast te stellen is een totaalscore bepaald. Deze score is opgebouwd uit de score van alle interne parameters. De score per interne parameter varieert daarbij van één tot en met vijf. Een score van vijf betekent dat de invulling van de parameter door het ondervraagde bedrijf op een systematische manier wordt doorlopen en een score van één dat dit op een traditionele manier geschiet. Om de score per parameter vast te stellen is voor iedere parameter een ideaalproces bepaald en is vergeleken in hoeverre de bedrijven hieraan voldoen.

Codering onderzoeksdata

Bij het afnemen van de interviews is afgesproken de onderzoeksdata niet direct te koppelen aan de bedrijfsnaam, waardoor de respondenten vrijuit konden spreken. Om toch een beeld te kunnen schetsen van de mate van systematisch werken in de asfaltwegenbouwsector is besloten de bedrijven te coderen met een cijfer. Er zijn in totaal acht verschillende bedrijven geïnterviewd en de aannemers zijn dus genummerd van één tot en met acht. Er zijn een aantal aannemers die op meerdere projecten hebben ingeschreven, waardoor dit cijfer vaker voorkomt. Er dient hierbij wel opgemerkt te worden dat het hier om verschillende regiokantoren ging en dat de onderzoeksdata daardoor niet onderling vergeleken kunnen worden. Daarnaast zijn ook de projecten gecodeerd om de resultaten overzichtelijk te houden. Het cijfer in de code beschrijft het onderzochte bedrijf en de letter in de code het project. In totaal zijn er drie projecten onderzocht en zijn er elf personen geïnterviewd bij acht verschillende aannemers.

Algemene vragen

Vraag 1.1: Hoeveel werknemers werken er binnen het bedrijf in de wegenbouwsector?

Afdelingen/Aannemers	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Acquisitie	2	0	4	2	4	0	2	3	5	2	5
Planning/werkvoorber.	6	8	8	6	8	7	6	8	5	5	40
Projectontw./ontwerp	2	2	0	2	0	3	2	3	10	2	20
Uitvoering	50	100	50	50	50	31	50	80	20	60	350
CAO			120		120	167			110		
Kostenraming	4	4	6	4	6		4	6	8	3	40
Overig	16	20	12	16	12	24	16	20	20	20	
Totaal	**80**	**134**	**200**	**80**	**200**	**232**	**85**	**120**	**178**	**92**	**455**

Vraag 1.2: Hoeveel omzet is er het afgelopen jaar door het bedrijf in de wegenbouwsector gegenereerd?

Contractvormen	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Onder regie	1	1		1				2	0,5	2	2
UAV/RAW	18	32	35	18	35	32,5	22	24	33	21	45
Bouwteam	5		5	5		16				2	2
Raamcontracten	1	1	2	1	5			2	1,5	3	5
Design&Construct	6	8	10	6	5	6,5	8	10	7	4	25
Turn-key						10			1		11
Overige					15				2		
Totaal	**31**	**42**	**52**	**31**	**60**	**65**	**30**	**38**	**45**	**32**	**90**

Er dient opgemerkt te worden dat zowel het aantal werknemers als de omzet bij benadering zijn bepaald. Daarnaast hadden de respondenten verschillende opvattingen over de definities van de contractvormen, waardoor uiteindelijk alleen de totalen zijn gebruikt.

Ervaring met het werken met functionele vraagspecificaties

Bij de ervaring met het werken met functionele vraagspecificaties is gevraagd naar de ervaring van het bedrijf waar de respondent werkzaam was. Hierbij zijn een aantal vragen gesteld over de problemen, de verschillen, de voor- en de nadelen die volgens de respondent van toepassing waren voor het bedrijf waar hij/zij werkzaam is. Om deze ervaring te verwoorden in onderzoeksdata is er voor gekozen om een één in te vullen indien het onderwerp door de respondent werd genoemd en geen waarde indien dit niet het geval was.

Vraag 2.1a: Welke problemen heeft het bedrijf ondervonden bij de omschakeling van traditionele contracten naar functionele prestatiecontracten?

Aard problemen	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Contractuele problemen		1							1	1	1
Kostenoverschrijding	1	1			1				1		
Onvoldoende capaciteit		1		1		1				1	
Over/onderschatting van ontwerpvrijheid	1				1	1	1	1			1
Onvoldoende ervaring	1			1	1	1		1	1	1	1
Traditionele denkwijze			1	1	1	1	1	1			1

Vraag 2.3a: Welke verschillen tussen het werken met een functionele vraagspecificatie en volgens traditioneel bestek, zijn volgens u het belangrijkst?

Verschillen	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Risicoverdeling ligt anders	1	1	1	1				1		1	
Voorbereidingsfase duurt langer			1			1					1
Hoeveelheidsbepaling wordt zelf opgesteld	1		1	1	1	1		1			1
Meer ontwerpvrijheid		1								1	
Geconfronteerd met kwaliteit eigen werk	1				1				1	1	
Juridischer	1	1							1		
Nadruk op meer raakvlakken				1				1			

Vraag 2.3b: Op welke manier hebben de verschillen invloed op de werkwijze?

Invloed op werkwijze	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Meer nadruk leggen op inlichtingen		1	1			1		1	1		
Betere juridische controle		1	1				1		1		
Extra controle op kwaliteit	1				1			1	1	1	
Ontwikkelen van meer alternatieven				1		1	1				1
Betere afweging om in te schrijven	1								1		1

Vraag 2.4a: Welke voordelen heeft het werken met een functionele vraagspecificatie voor uw bedrijf?

Voordelen voor bedrijf	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Minder concurrentie/onderscheiden t.o.v.		1	1	1	1		1	1			
Ontwerpvrijheid	1	1				1				1	
Toepassing eigen producten	1			1				1		1	
Innovatiemogelijkheden	1				1						1
Beter afstemming ontw./uitv.		1		1		1		1			1
Efficiencyvoordeel						1		1			1
Geen voordeel									1		

Vraag 2.4b: Welke voordelen zou het werken met functionele specificaties moeten hebben, maar worden niet zo ervaren?

Voordelen die niet ervaren worden	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Ontwerpvrijheid	1	1	1	1		1	1	1	1	1	
Innovatiemogelijkheden			1		1						1
Voordeel halen in concurrentie							1			1	
Verlichting van administratieve taken				1				1			1

Vraag 2.4c: Welke nadelen zijn er bij het werken met een functionele vraagspecificatie?

Nadelen van functionele vraagsp.	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Benodigde tijd	1			1						1	
Gebrekkige PVE's/informatie	1				1			1			1
Toename risico's			1			1		1			
Juridische interpretatie	1		1			1			1	1	
Garantie op keuze OG	1								1		
Gebrekkige beoordeling door OG			1								
Schijnontwerpvrijheid		1			1			1			1

Inrichting van het ontwerpproces (I)

De inrichting van het ontwerpproces wordt bepaald door de parameters welke in hoofdstuk drie zijn opgesteld. Om de inrichting te kunnen kwantificeren wordt voor iedere parameter een score bepaald. De score varieert hierbij tussen de één (traditioneel) en vijf (systematisch).

Uitvoering in het ontwerpproces (I1)

Vraag 4.3a: Uit welke competenties bestond het ontwerpteam?

Uitvoering in het ontwerpproces I1	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Ja	1		1			1		1	1	1	
Nee		1		1	1		1				1
Score	**5**	**1**	**5**	**1**	**1**	**5**	**1**	**5**	**5**	**5**	**1**

Bij de uitvoering in het ontwerpproces is gekeken of de uitvoeringskennis van de aannemer in het ontwerpproces is geïntegreerd. Dit is getoetst door te vragen naar de betrokken competenties en navraag te doen of er uitvoeringsexperts aanwezig waren in het ontwerpproces. Indien er uitvoeringskennis is geïntegreerd wordt er een score van vijf toegekend. Bij het ontbreken hiervan is een score van één toegekend.

Mate van samenwerking (I2)

Vraag 4.4: Op welke manier heeft het team samengewerkt?

Mate van samenwerking I2	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Volwaardige samenwerking				1							
Gedeeltelijke samenwerking	1		1			1	1		1	1	
Separate uitwerking van taken		1			1			1			1
Score	**3**	**1**	**3**	**5**	**1**	**3**	**3**	**1**	**3**	**3**	**1**

Bij de mate van samenwerking is een onderverdeling gemaakt tussen volwaardige samenwerking en gedeeltelijke samenwerking. Onder volwaardige samenwerking wordt verstaan dat het team in één ruimte met alle competenties gelijktijdig aan het project werkt. Indien er niet door alle competenties of slechts gedurende een bepaalde periode van het ontwerpproces door het team wordt samengewerkt, is er sprake van een gedeeltelijke samenwerking. Bij volwaardige samenwerking is er sprake van een systematische werkwijze en wordt een score van vijf toegekend. Bij een gedeeltelijke samenwerking wordt een score van drie toegekend. Indien alle ontwerptaken separaat van elkaar worden uitgevoerd wordt een score van één toegekend.

Uitbesteding in het ontwerpproces (I3)

Vraag 4.1: Wie was verantwoordelijk voor het ontwerpwerk van dit project?

Uitbesteding in het ontwerpproces I3	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Ja, intern onderdeel		1	1		1			1			1
Ja, extern bedrijf	1			1		1	1		1		
Nee										1	
Score	**1**	**3**	**3**	**1**	**3**	**1**	**1**	**3**	**1**	**5**	**3**

Bij uitbesteding in het ontwerpproces is gekeken naar de ontwerptaken die gedurende het ontwerpproces worden uitbesteed. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen uitbesteding aan derden (externe bedrijven) en interne uitbesteding. Er zijn een aantal aannemers die gebruik maken van een vast ingenieursbureau, dat onderdeel is van het moederbedrijf. In dat geval is er sprake van interne uitbesteding. Bij externe uitbesteding vindt er uitbesteding plaats aan bedrijven die geen onderdeel zijn van het moederbedrijf. Aangezien uitbestedingen gepaard gaan met het separaat uitwerken van onderdelen en daardoor een verhoogde kans op waardeverlies in het ontwerpproces hebben, dienen deze te worden voorkomen. Indien er geen uitbesteding plaats vindt in het ontwerpproces wordt er een score van vijf toegekend. Bij interne uitbesteding wordt een score van drie toegekend en bij extern uitbestedingen een score van één.

Hoeveelheid overleg in het ontwerpproces (I4)

Vraag 4.4c: Hoe vaak heeft er overleg plaatsgevonden tussen de teamleden?

Hoeveelheid overleg I4											
Wekelijks	1	1		1	1	1	1	1		1	1
Tweewekelijks			1						1		
Score	**5**	**5**	**3**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**3**	**5**	**5**

Bij het overleg in het ontwerpproces is gekeken naar het aantal vergaderingen en de tijd die tussen de vergaderingen heeft gezeten. Wekelijks overleg is daarbij als een systematische werkwijze omschreven en levert een score van vijf op. Indien er wel vergaderingen worden gepland maar het interval groter is dan een week, is er sprake van een suboptimaal proces en wordt een score van drie toegekend. Indien er geen overleg plaats vindt wordt een score van één gegenereerd. Aangezien de onderzochte bedrijven allemaal overleg hadden binnen een intervalratio van één of twee weken is dit laatste niet van toepassing.

Overlegstructuur (I5)

Vraag 4.4d: Wat was het karakter van deze overleggen?

Overlegstructuur I5	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Vaste structuur	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Variabele structuur											
Score	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**

Bij de structuur van de vergadering is een onderverdeling gemaakt tussen een vaste structuur, waarbij er vooraf bepaald is wanneer er vergaderd wordt, en een variabele structuur. Bij een vaste structuur worden vergaderingen vroegtijdig bekend gemaakt en is er sprake van een systematische werkwijze. Een vaste structuur levert dan ook een score op van vijf. Indien vergaderingen worden gehouden als er problemen zijn geconstateerd is er sprake van een variabele structuur en levert dit een score van één op.

Score voor de inrichting van het ontwerpproces

Door de score voor de parameters I1 tot en met I5 te vermenigvuldigen met de wegingsfactoren kan per aannemer een score worden bepaald voor de inrichting van het ontwerpproces (I). Deze score geeft een beeld hoe systematisch de inrichting van het ontwerpproces bij de aannemers is.

Parameter	**Wegingsfactor**	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
I1	0,14	5	1	5	1	1	5	1	5	5	5	1
I2	0,49	3	1	3	5	1	3	3	1	3	3	1
I3	0,09	1	3	3	1	3	1	1	3	1	5	3
I4	0,23	5	5	3	5	5	5	5	5	3	5	5
I5	0,06	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Score voor de inrichting (I)		**3,7**	**2,3**	**3,4**	**4,1**	**2,3**	**3,7**	**3,1**	**2,9**	**3,2**	**4,0**	**2,3**

Structuur van het ontwerpproces (S)

De structuur van het ontwerpproces wordt bepaald door de parameters: volgorde ontwerpstappen, parallelle ontwerpstappen, tijdstip van optimalisatie, aantal alternatieven, aspecten van alternatieven en toetsing in het ontwerpproces. Om de structuur te kwantificeren wordt voor iedere parameter een score bepaald. De score varieert hierbij tussen de één (traditioneel) en vijf (systematisch). Uitzondering hierop is de parameter aspecten van alternatieven, waar ook een nul-score gehaald kan worden.

Volgorde ontwerpstappen (S1)

Vraag 5.1: Is het ontwerpproces opgedeeld in onderdelen?

Volgorde ontwerpstappen S1	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Geïntegreerd proces	1					1	1	1	1	1	
Gedeeltelijk geïntegreerd proces		1		1	1						1
Traditioneel proces			1								
Score	**5**	**3**	**1**	**3**	**3**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**3**

Bij de volgorde van de ontwerpstappen ontwerpproces is gekeken naar het aantal stappen en de volgorde waarin deze zijn doorlopen. Hierbij is gebruikt gemaakt van de modellen voor een geïntegreerd proces en die van een traditioneel ontwerpproces, welke beschreven zijn in de bijlage theoretisch procesmodel. Indien het ontwerpproces vergelijkbaar was met het geïntegreerde procesmodel dan is er een score van vijf toegekend. Indien er sprake was van een traditioneel proces, dan is een score van één toegekend. Ontwerpprocessen die hier een mix van waren zijn beoordeeld met een score van drie.

Parallelle ontwerpstappen (S2)

Vraag 5.2: Zijn er stappen parallel uitgevoerd in het ontwerpproces?

Parallelle ontwerpstappen S2	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Volwaardige parallelliteit		1		1	1				1		
Gedeeltelijke parallelliteit	1		1			1	1	1		1	1
Sequentiele uitwerking											
Score	**3**	**5**	**3**	**5**	**5**	**3**	**3**	**3**	**5**	**3**	**3**

Bij de parallelle ontwerpstappen is gekeken naar het aantal processen dat parallel is doorlopen en de fase waarin dit is gebeurd. Indien alle processen parallel zijn doorlopen is er een score van vijf toegekend. Bij een ontwerpproces waar de ontwerpstappen na elkaar zijn uitgevoerd is een score van één toegekend. Bij gedeeltelijke parallelliteit in het ontwerpproces is een score van drie toegekend.

Tijdstip van optimalisatie (S3)

Vraag 5.3: Hebben er optimalisatieslagen plaatsgevonden in het ontwerpproces?

Tijdstip van optimalisatie S3	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Geen optimalisatie											
Op het einde			1	1			1				
Gaandeweg het proces	1	1			1	1		1	1	1	1
Score	**5**	**5**	**3**	**3**	**5**	**5**	**3**	**5**	**5**	**5**	**5**

Bij het tijdstip van optimalisatie is gekeken naar de momenten waar in het ontwerpproces iteratieslagen zijn toegepast. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen gaandeweg, alleen op het einde en helemaal geen optimalisatie. Vanuit de ontwerpbenaderingen wordt een systematische werkwijze omschreven als een proces waarbij voortdurend optimalisatie plaats vindt. In dit geval wordt er dan ook een score van vijf toegekend. Indien er wel optimalisatie wordt toegepast, maar dit pas op het einde van het proces plaats vindt, dan wordt er een score van drie toegekend.

Aantal alternatieven (S4)

Vraag 5.5a: Hoeveel alternatieven zijn er opgesteld en afgewogen?

Aantal alternatieven S4	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
0-2		1									
3 tot 4			1	1	1			1	1		1
5 tot 6	1					1	1			1	
Score	**5**	**1**	**3**	**3**	**3**	**5**	**5**	**3**	**3**	**5**	**3**

Bij het aantal alternatieven is een onderverdeling gemaakt tussen nul tot twee, drie tot vier en vijf of meer alternatieven. Aangezien het opstellen van alternatieven past bij een systematische werkwijze, is een score van vijf toegekend indien er vijf of meer alternatieven zijn uitgewerkt. Bij drie tot vier alternatieven wordt een score van drie toegekend en bij nul tot twee een score van één. Deze parameter bleek alleen wel lastig te meten omdat de aannemers een zeer diverse definitie hadden over wat een alternatief genoemd mocht worden.

Aspecten van alternatieven (S5)

Vraag 5.5b: Waarin verschillen de alternatieven met het ingediende ontwerp?

Aspecten alternatieven S5	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Verharding	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Verkeersmaatregelen						1				1	
Planning	1					1	1	1	1	1	1
Score	**3**	**0**	**1**	**1**	**1**	**5**	**3**	**3**	**3**	**5**	**3**

Bij de aspecten waarop alternatieven zijn uitgewerkt is er gekeken naar het aantal aspecten waarvoor alternatieven zijn opgesteld. Indien er op drie of meer aspecten alternatieven zijn opgesteld, is er een score van vijf toegekend.

Indien er maar op één aspect alternatieven zijn opgesteld is er een score van één toegekend. Er is geen onderscheid gemaakt op welke aspecten er alternatieven zijn opgesteld omdat dit te divers bleek. Wanneer er op geen enkel aspect alternatieven zijn gegenereerd, dan wordt er geen score toegekend. Hiervoor is gekozen omdat zelfs binnen een traditioneel proces er alternatieven worden opgesteld.

Toetsing in het ontwerpproces (S6)

Vraag 5.6: Waar in het proces heeft er toetsing plaatsgevonden?

Toetsing S6	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Op het einde											
Gaandeweg het proces	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Score	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**

Bij de toetsing in het ontwerpproces is er onderscheid gemaakt tussen tussentijdse toetsing die gaandeweg het proces wordt uitgevoerd en toetsing op het einde van het proces. De ontwerpbenaderingen gaan er vanuit dat bij een systematische werkwijze er voortdurende controle is of er voldaan wordt aan de gestelde eisen. Er wordt een score van vijf toegekend indien er gaandeweg het proces wordt getoetst. Indien er alleen toetsing plaats vindt op het einde dan wordt er een score van één toegekend.

Score voor de structuur van het ontwerpproces

Door de score voor de parameters S1 tot en met S6 te vermenigvuldigen met de wegingsfactoren kan per aannemer een score worden bepaald voor de structuur van het ontwerpproces (I). Deze score geeft een beeld hoe systematisch de structuur van het ontwerpproces bij de aannemers is.

Parameter	**Wegingsfactor**	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
S1	0,04	5	3	1	3	3	5	5	5	5	5	3
S2	0,13	3	5	3	5	5	3	3	3	5	3	3
S3	0,22	5	5	3	3	5	5	3	5	5	5	5
S4	0,07	5	1	3	3	3	5	5	3	3	5	3
S5	0,13	3	0	1	1	1	5	3	3	3	5	3
S6	0,41	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Score voor de structuur (S)		**4,5**	**4,0**	**3,5**	**3,8**	**4,3**	**4,7**	**4,0**	**4,4**	**4,6**	**4,7**	**4,3**

Transparantie van het ontwerpproces (T)

De transparantie van het ontwerpproces wordt bepaald door de parameters: vastleggen beslissingen en vastleggen wijzigingen. Om de transparantie van het ontwerpproces te kwantificeren wordt voor iedere parameter een score bepaald die ligt tussen de één (traditioneel) en vijf (systematisch).

Vastleggen beslissingen (T1)

Vraag 6.1: Zijn de beslissingen in het ontwerpproces vastgelegd?

Vastleggen beslissingen T1	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Compleet									1		
Gedeeltelijk				1		1	1	1		1	1
Niet	1	1	1		1						
Score	**1**	**1**	**1**	**3**	**1**	**3**	**3**	**3**	**5**	**3**	**3**

Bij het vastleggen van de beslissingen is een onderscheid gemaakt tussen het compleet, gedeeltelijk en helemaal niet vastleggen van de beslissingen. Bij een systematische werkwijze worden alle beslissingen vastgelegd in een beslissingsdocument dat voor alle betrokkenen inzichtelijk is. Indien dit het geval is wordt er een score van vijf toegekend. Indien dit maar deels geschiet wordt een score van drie toegekend en wanneer de beslissingen helemaal niet worden vastgelegd dan wordt een score van één toegekend. Notulen van vergaderingen zijn hier buiten beschouwing gelaten.

Vastleggen wijzigingen (T2)

Vraag 6.2: Zijn de wijzigingen binnen het project bijgehouden?

Vastleggen wijzigingen T2	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Compleet									1	1	
Gedeeltelijk						1	1	1			1
Niet	1	1	1	1	1						
Score	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**3**	**3**	**3**	**5**	**5**	**3**

Bij het vastleggen van de wijzigingen is een onderscheid gemaakt tussen het compleet, gedeeltelijk en helemaal niet vastleggen van de wijzigingen. Bij een systematische werkwijze worden alle wijzigingen vastgelegd door middel van wijzigingsformulieren en versiebeheer, die voor alle betrokkenen inzichtelijk zijn.

Wanneer de wijzigingen goed worden vastgelegd door middel van een database of wijzigingsbeheer dan wordt er een score van vijf toegekend. Indien dit maar deels geschiet wordt een score van drie toegekend en wanneer de wijzigingen helemaal niet worden vastgelegd dan wordt een score van één toegekend. Notulen van vergaderingen zijn hier wederom buiten beschouwing gelaten.

Score voor de transparantie van het ontwerpproces

Door de score voor de parameters T1 en T2 te vermenigvuldigen met de wegingsfactoren kan per aannemer een score worden bepaald voor de transparantie van het ontwerpproces (T). Deze score geeft een beeld hoe systematisch de transparantie van het ontwerpproces bij de aannemers is.

Parameter	**Wegingsfactor**	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
T1	0,25	1	1	1	3	1	3	3	3	5	3	3
T2	0,75	1	1	1	1	1	3	3	3	5	5	3
Score voor transparantie (T)		**1**	**1**	**1**	**1,5**	**1**	**3**	**3**	**3**	**5**	**4,5**	**3**

Ontwerpvrijheid

Vraag 7.1c: Indien het team meer ruimte had gekregen had het dan andere oplossingen aangedragen?

Andere oplossing aangedragen?	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Ja	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nee											

Vraag 7.2: Werd de aangeboden ruimte gezien als een vrijheid of was het eerder een beperking?

Aangeboden ruimte	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Beperking	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vrijheid											

Vraag 7.2c: Is er behoefte aan meer ontwerpvrijheid?

Behoefte aan meer vrijheid?	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Ja		1	1	1	1	1				1	1
Nee	1						1	1	1		

Vraag 7.4b: Welke aanpassingen dient het bedrijf te doen om beter gebruik te maken van de ontwerpvrijhe

Aanpassing voor het bedrijf	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Actievere houding tijdens inlichtingen		1	1				1				
Meer nadruk op kwaliteit						1		1		1	
Meer monitoren tijdens ontwerpproces	1		1			1	1		1		
Investeren in kwantiteit en kwaliteit		1			1				1	1	
Uitvoering beter in het proces betrekken	1		1		1		1				
Uitwisselen ervaring tussen regio's			1	1				1			
Beter inschatten kansen	1				1			1		1	
Verschillende onderdelen bedrijf beter op elkaar afstemmen				1	1		1	1			1

Totaalscore voor de mate van systematisch werken (O)

Om de totaalscore voor de mate van systematisch werken te bepalen is gebruik gemaakt van de wegingsfactoren en de veronderstelling dat de waarde van O geschreven kan worden als de volgende formule: $O_i = \Sigma(A_i * X_i)$,

waarbij: O = Score ontwerpproces
X_i = Score parameter
A_i = Wegingsfactor parameter
$_i$= Parameter
$1 \leq X_i \leq 5$

De scores voor de parameters I1,.., I5 ,S1,.., S6 en T1,T2 zijn hierboven reeds per aannemer bepaald. Om de totaalscore te bepalen worden deze scores vermenigvuldigd met de wegingsfactoren voor de totaalscore.

Parameter	**Wegingsfactor**	**C1**	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
I1	0,08	5	1	5	1	1	5	1	5	5	5	1
I2	0,29	3	1	3	5	1	3	3	1	3	3	1
I3	0,05	1	3	3	1	3	1	1	3	1	5	3
I4	0,14	5	5	3	5	5	5	5	5	3	5	5
I5	0,03	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
S1	0,01	5	3	1	3	3	5	5	5	5	5	3
S2	0,04	3	5	3	5	5	3	3	3	5	3	3
S3	0,06	5	5	3	3	5	5	3	5	5	5	5
S4	0,02	5	1	3	3	3	5	5	3	3	5	3
S5	0,04	3	0	1	1	1	5	3	3	3	5	3
S6	0,11	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
T1	0,03	1	1	1	3	1	3	3	3	5	3	3
T2	0,1	1	1	1	1	1	3	3	3	5	5	3
Totaalscore (O)		**3,5**	**2,6**	**3,1**	**3,7**	**2,7**	**3,9**	**3,4**	**3,3**	**3,8**	**4,3**	**2,9**

Om de mate van systematisch werken binnen het ontwerpproces (O) als percentage uit te drukken worden de verkregen totaalscores gedeeld door vijf. Hierdoor ontstaan scores tussen de 0,2 en 1. De maximale score van 1, betekent dat het proces 100% systematisch is. Een score rond de 0,2 betekent dat het proces voor 20% systematisch en dus erg traditioneel is.

	C1	**C2**	**C3**	**D1**	**D3**	**D4**	**E1**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**
Totaalscore (O)	0,71	0,52	0,62	0,74	0,54	0,78	0,67	0,66	0,76	0,86	0,59

Invloed externe factoren

Om de invloed van de externe factoren te toetsen, zijn de verkregen onderzoeksresultaten voor de factoren: aantal werknemers (B1), omzet (B2), complexiteit van het project (P1) en ontwerpvrijheid (P2) vertaald naar een score tussen de één en de vijf. De laagst gevonden waarde krijgt daarbij een score van één en de hoogste waarde een score van vijf. Bij de factoren B1 en B2 zijn tussenliggende waarden met behulp van interpolatie omgezet in een score .

Omzet (B1)

Hierbij is gebruik gemaakt van de onderzoeksresultaten die verkregen zijn uit de algemene vragen. De hoogste omzet bedroeg € 90 miljoen, wat leidde tot een score van vijf. De laagste omzet € 30 miljoen, waardoor dit een score van één kreeg. Door middel van interpolatie zijn de tussenliggende waarden berekend.

Score B1	C1	C2	C3	D1	D3	D4	E1	E5	E6	E7	E8
Omzet	31	42	52	31	60	65	30	38	45	32	90
Score	1	1,9	2,5	1,1	3	3,3	1	1,5	2	1,2	5

Aantal werknemers (B2)

Er is gebruik gemaakt van de onderzoeksresultaten die verkregen zijn uit de algemene vragen. Het hoogste aantal werknemers bedroeg 455, wat leidde tot een score van vijf. Het laagste aantal werknemers bedroeg 80, waardoor dit een score kreeg van één. Door middel van interpolatie zijn de tussenliggende waarden berekend.

Score B2	C1	C2	C3	D1	D3	D4	E1	E5	E6	E7	E8
Werknemers	80	134	200	80	200	232	85	120	178	92	455
Score	1	2,4	4	1	4	4,8	1,1	2	3,5	1,3	5

Complexiteit van het project (P1)

Om de complexiteit van het project vast te stellen is er gekeken naar de gemiddelde grootte van het ontwerpteam, de gemiddelde hoeveelheid disciplines per project en de projectomvang uitgedrukt in € miljoen.

Project	Gr. Ontwerpteam	Hoeveelheid disc.	Projectomv.
C	6	7	7
D	10	6	35
E	12	8,6	35

Om de invloed van deze drie factoren voor de complexiteit van het project (P1) te bepalen is gebruik gemaakt van de Saaty methode, waarbij:
T= teamgrootte
D= aantal disciplines
P= Projectomvang

Complexiteit	T	D	P	Rijproduct	n machtswortel	Wegingsfactor	Nieuwe vector	λmax
Teamgrootte (T)	1	5	3	15	2,466	0,637	2	3
Aantal disciplines (D)	1/5	1	1/3	0,07	0,405	0,105	1/3	3
Projectomvang (P)	1/3	3	1	1	1,000	0,258	7/9	3
Totaal					3,872	1,000	Gemiddelde	3
							CI	0,02
							CR	0,02

De consistentieratio (CR)is kleiner dan 0,1 waardoor de wegingsfactoren onderling consistent zijn. Aangezien er wegingsfactoren zijn opgesteld is het van belang dat de parameters T, D en P in hetzelfde bereik te liggen. Hiervoor worden de waarden voor deze parameters vertaald naar scores tussen de één en vijf. Bij de parameters teamgrootte en het aantal disciplines is als maximum twaalf genomen, wat betekent dat bij twaalf of meer disciplines of teamleden een score van vijf wordt gegenereerd.

Bij de projectomvang is € 40 miljoen als maximum genomen en als minimum is een projectomvang van € 7 miljoen genomen. Een projectomvang van € 35 miljoen genereert daardoor een score van 4,5. Met behulp van de scores en de wegingsfactoren is de complexiteit van het project vastgesteld:

Project	C	D	E	Weegfactor
Teamgrootte	2	4	5	0,64
Disciplines	2,5	2	3,3	0,11
Projectomvang	1	4,5	4,5	0,26
Score P1	**1,8**	**3,9**	**4,7**	

Ontwerpvrijheid P2

Bij het bepalen van de ontwerpvrijheid is gekeken naar de onderdelen waaruit de aanbieding diende te bestaan en de keuzemogelijkheden die de aannemers kregen van de opdrachtgever. Bij het project op de A73 (Project D) was er geen keuzevrijheid meer en waren alle verhardingslagen al voorgeschreven, waardoor hiervoor een score van één is toegekend. Bij het project op de A2 (Project C) waren er wel keuzemogelijkheden, maar diende de aannemer te kiezen uit drie oplossingen die door de opdrachtgever waren aangedragen. Voor dit project was dus beperkte ontwerpvrijheid waardoor dit een score heeft gekregen van twee. Op het project op de A1/A50 (Project E) was veruit de meeste vrijheid en waren zelfs bonussen ingesteld indien het werk eerder klaar was. Dit zorgde ervoor dat er veel geoptimaliseerd is ten aanzien van de planning en dat de aannemers veel keuzemogelijkheden hadden met betrekking tot de verkeersmaatregelen. Vanwege deze vrijheid heeft de factor P2 voor project E een score gekregen van vijf. Voor het berekenen van de invloed zijn de volgende waarden voor P2 gebruikt:

Project	Ontwerpvrijheid (P2)
C	2
D	1
E	5