I0134787

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Bouwdienst Rijkswaterstaat

Van kaal naar integraal

Het opstellen van een integraal kostenafwegingsmodel voor varianten van kunstwerken in de studiefase

Auteur
Frits Creemer

7 maart 1997

Droge Infrastructuur

C8232

BIBLIOTHEEK
Bouwdienst Rijkswaterstaat
Postbus 20.000
3502 LA Utrecht

BIBLIOTHEEK BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT
NR. C 232 BDU

Van kaal naar integraal

Het opstellen van een integraal kostenafwegingsmodel voor varianten van kunstwerken in de studiefase

Auteur
Frits Creemer
Stud.nr. 9102566
Universiteit Twente
Faculteit der Technische Bedrijfskunde
Vakgroep Civiele Techniek

Begeleiders
Prof. dr. ir. H.G. Wind
drs. R.J.H.A. Crijns
ir. A.W.F. Reij
ir. L.P. Schouwstra

7 maart 1997

Samenvatting

Aanleiding tot dit onderzoek vormt de binnen de Bouwdienst vigerende vraag of het maken van een keuze tussen verschillende varianten van een gekozen kunstwerkalternatief in de (voor)studiefase niet op basis van meer kosten(elementen) dan alleen de stichtingskosten dient te geschieden. In dit onderzoek staat de beantwoording van de volgende probleemstelling centraal:

Welke kosten(elementen) dienen in een kostenafwegingsmodel van varianten voor kunstwerken in de studiefase door Rijkswaterstaat te worden meegenomen en hoe zijn deze kosten(elementen), rekening houdend met onzekerheden, om te zetten in een integraal kostenafwegingsmodel om tot een meer gefundeerde keuze te komen ten aanzien van de voorkeursvariant?

In eerste instantie zijn door middel van een literatuurstudie (kosten)indelingen bekeken en vergeleken met een referentie-kostenindeling gebaseerd op levensduurkosten. Dit leverde geen betere (kosten)indeling op als de referentie-kostenindeling, maar wel aanvullende 'discriminerende' kostenelementen. Met deze resultaten is in tweede instantie een 'nieuw' integraal kostenindelingsmodel gebouwd. Vervolgens is gekeken naar het belang van de kostenelementen in dit nieuwe integrale kostenindelingsmodel. Hieruit bleek dat het belang van de 'discriminerende' kostenelementen *bouwkosten, ontwerpkosten, onderhoudskosten* en *maatschappelijke kosten* bij de afweging van varianten het grootste is, respectievelijk 67%, 11%, 5% en 13% (als het totaal aan 'discriminerende' kostenelementen samen 100% is). Van de *bouwkosten, ontwerpkosten* en *onderhoudskosten* zijn vervolgens de specifieke onzekerheden bekeken, waarvan de kengetal-onzekerheden de belangrijkste zijn. Door deze kengetallen meer betrouwbaar te maken, neemt ook de betrouwbaarheid van de ramingen toe. Vervolgens is op grond van bovenstaande resultaten een integraal kostenafwegingsmodel opgesteld. Dit model komt er op neer dat van de 'discriminerende' fysieke kunstwerkelementen van een variant de 'discriminerende' kostenelementen worden bepaald. Vervolgens vindt daarop afweging plaats tussen de varianten, rekening houdend met hun onzekerheden.

Om het opgestelde kostenafwegingsmodel in de praktijk te toetsen zijn drie casestudies verricht. De resultaten daarvan laten zien dat ook andere, nog niet beschreven (bv. politieke), overwegingen ten grondslag kunnen liggen aan de keuze voor een voorkeursvariant. Daarnaast blijkt het integrale kostenafwegingsmodel het beste bij afwegingen voor de grotere kunstwerken te kunnen worden gebruikt waarbij meerdere, min of meer zelfstandige varianten aan de orde zijn. De onderhoudskosten zijn niet 'discriminerend' gebleken, omdat enerzijds de verdisconteerde onderhoudskosten relatief gering zijn t.o.v. bouwkosten en anderzijds een duurdere brug qua bouwkosten dat ook qua onderhoudskosten bleek te zijn en vice versa. Het totale percentage aan 'discriminerende' onderhoudskosten is bij een totale nauwkeurigheid van de kosten van ± 20% verwaarloosbaar bij de afweging.

Voorwoord

Dit onderzoek is verricht in het kader van mijn afstuderen aan de Universiteit Twente bij de faculteit der Technische Bedrijfskunde, vakgroep civiele techniek. De afstudeeropdracht is uitgevoerd bij de afdeling Beleids- en Projectanalyse van de hoofdafdeling Droge Infrastructuur bij de Bouwdienst Rijkswaterstaat te Utrecht.

Bij het ontwikkelen van het integrale kostenafwegingsmodel voelde ik me soms net schoolmeester Bartjens, die in 1618 in Zwolle een voor die tijd volledig nieuwe rekenmethode ontwikkelde. Wellicht dat de afweging van kunstwerkvarianten in de toekomst 'volgens Creemer' gaat.

De informatie in dit onderzoek is onder andere verkregen uit een literatuurstudie en (telefonische) interviews met verschillende personen binnen de Bouwdienst Rijkswater staat. Langs deze weg wil ik al deze personen bedanken, die mij hebben voorzien van de benodigde informatie en tijd voor mij hebben vrijgemaakt. Speciale dank gaat uit naar de afstudeercommissie bestaande uit prof. dr. ir. H.G. Wind,, drs. R.J.H.A. Crijns, ir. A.W.F. Reij en ir. L.P. Schouwstra.

Utrecht, 6 maart 1997

F. B. Creemer

Inhoudsopgave

Samenvatting

Voorwoord

Inhoudsopgave

1 Aanleiding en onderzoeksopzet 1
1.1 Inleiding 1
1.2 Opdrachtformulering 1
1.3 Doel- en probleemstelling 3
1.4 Onderzoeksvragen 5
1.5 Uitgangspunten en randvoorwaarden 5
1.6 Aanpak en leeswijzer 6
2 Inventarisatie van kostenindelingen 7
2.1 Inleiding 7
2.2 Fase-afbakening 7
2.3 Kostenbegrip 9
2.4 Kostenindeling Bouwdienst 10
2.5 De categorische en functionele kostenindeling 11
2.6 Indeling aan de hand van het maatschappelijk nut 14
2.7 Indeling op basis van criteriumgroepen 18
2.8 Indeling op basis van Life-cycle costing 20
2.8.1 Stichtingskosten 21
2.8.2 Exploitatiekosten 21
2.8.3 Sloopkosten 23
2.9 Resultaten van de vergelijkingen 24
2.10 Slotconclusie 26
3 Belang van de kostenelementen 27
3.1 Inleiding 27
3.2 Het 'nieuwe' integrale kostenindelingsmodel 27
3.3 Schatting stichtingskosten 30
3.3.1 Schatting ontwerpkosten 30
3.3.2 Schatting bouwkosten 31
3.3.3 Schatting maatschappelijke kosten 31
3.4 Schatting exploitatiekosten 32
3.4.1 Schatting beheerkosten 32
3.4.2 Schatting onderhoudskosten 32
3.4.3 Schatting aanpassingskosten 33
3.4.4 Schatting sloopkosten 33
3.4.5 Schatting maatschappelijke kosten 33
3.5 Resultaten en conclusies 34
3.6 Eindconclusies 35
4 Het ramen van de belangrijkste kostenelementen 36
4.1 Inleiding 36
4.2 Recapitulatie 36
4.3 Raming stichtingskosten 37
4.4 Raming onderhoudskosten 39

4.4.1 Raming onderhoudskosten vaste stalen bruggen 40
4.4.2 Raming onderhoudskosten betonnen overbrugging 41
4.4.3 Raming onderhoudskosten op basis van onderhoudscenario's 43
4.5 Ramen volgens 'Werk in Uitvoering' 44
4.6 Discontering 47
4.7 Conclusies 49
5 Onzekerheden bij kostenramingen van varianten 50
5.1 Inleiding 50
5.2 Hardheid van ramingen 50
5.3 Onzekerheden en onderlinge afhankelijkheid 51
5.4 Methoden om onzekerheden in kaart te brengen 54
5.5 Conclusies 56
6 Operationeel integraal kostenafwegingsmodel 57
6.1 Inleiding 57
6.2 Integraal afwegingsmodel 57
7 Het integrale kostenafwegingsmodel in de praktijk 58
7.1 Inleiding 58
7.2 Case-opzet 58
7.3 Zoektocht naar en selectie van geschikte cases 59
7.4 Kwalitatieve vergelijking voorontwerpnota's/variantenstudies 62
7.5 VARI-case 65
7.5.1 Algemeen 65
7.5.2 Raming onderhoudskosten 66
7.5.3 Afweging onderhouds- en stichtingskosten 68
7.6 Zaltbommel-case 69
7.6.1 Algemeen 69
7.6.2 Beoordeling varianten Zaltbommel 69
7.7 Dintelhavenbrug-case 71
7.7.1 Algemeen 71
7.7.2 Stichtings- en onderhoudskosten 71
7.8 Conclusies 73
8 Conclusies en aanbevelingen 74
8.1 Conclusies 74
8.2 Aanbevelingen 75

Literatuurlijst

Bijlage I
Bijlage II
Bijlage III
Bijlage IV
Bijlage V
Bijlage VI
Bijlage VII

1 Aanleiding en onderzoeksopzet

1.1 Inleiding

Rijkswaterstaat is het rijksorgaan dat zich continu bezighoudt met de 'natte' en 'droge' infrastructuur van Nederland. Zij heeft daarin zowel een taak in de uitvoering (bouwen en onderhouden) als in de beleidsvoorbereiding (meten, analyseren, maatschappelijk draagvlak creëren). In het laatste decennium van deze eeuw zal de voornaamste opdracht van Rijkswaterstaat zijn de infrastructuur duurzaam te ontwikkelen. Dat betekent veiligheid, economische belangen en leefmilieu voor de komende generaties veilig stellen èn een optimale verhouding tussen natuur, milieu en sociaal-economische ontwikkeling bereiken [5].

De Bouwdienst Rijkswaterstaat is het steunpunt voor de vertaling van beleid in realisatie. Als civieltechnisch ingenieursbureau verricht de Bouwdienst beleids- en uitvoerende taken in opdracht van de regionale directies en de hoofddirectie van Rijkswaterstaat en andere overheidsdiensten. Drie van de vier technische hoofdafdelingen (Droge Infrastructuur, Natte Infrastructuur en Waterbouw) van de Bouwdienst hebben een afdeling die speciaal is belast met het uitvoeren van beleids-analytische studies en het opstellen van milieu-effectrapportages en projectnota's. Voor de hoofdafdeling Droge Infrastructuur is dat de afdeling Beleids- en projectanalyse (afgekort DIA). Zij houdt zich bezig met het analyseren van problemen, het zoeken naar alternatieve oplossingsmogelijkheden, het bepalen van de voor- en nadelen van alternatieven en het inbedden van projecten in de samenleving en het overheidsbeleid op het gebied van de droge infrastructuur [1]. Ook het optimaliseren van beslissingsprocessen met betrekking tot het maken van keuzen tussen verschillende (voor)ontwerpen van kunstwerken in de (voor)studiefase behoort hiertoe.

De nadruk van dit onderzoek heeft gelegen op het optimaliseren van dit beslissingsproces op basis van een integrale kostenafweging. Hiervoor is in eerste instantie een literatuurstudie verricht naar de verschillende soorten kosten(indelings)modellen. Deze literatuurstudie heeft een integraal kostenafwegingsmodel voor kunstwerken opgeleverd, welke in tweede instantie via een casestudie (toegepast op bruggen en viaducten) is onderzocht op bruikbaarheid en discriminerend vermogen.

1.2 Opdrachtformulering

Aanleiding tot dit onderzoek vormt de binnen de Bouwdienst/DIA vigerende vraag of het maken van een keuze tussen verschillende varianten van een gekozen kunstwerkalternatief in de (voor)studiefase niet op basis van meer kosten(elementen) dan alleen de stichtingskosten dient te geschieden. Hierbij gaat het zowel om door de Bouwdienst gemaakte (voor)ontwerpen van kunstwerken als om (voor)ontwerpen voortvloeiende uit zogenaamde 'Design and Build'-contracten. Onder 'Design and Build'-contracten wordt verstaan dat samen met de bouw ook het ontwerp aan een aannemer wordt opgedragen [1].

In de huidige beslissingsmethodiek wordt de keuze voor de voorkeursvariant voornamelijk gebaseerd op alleen de stichtingskosten. De stichtingskosten zijn de

kosten die gepaard gaan met de daadwerkelijke realisatie van het ontwerp. In een enkel geval worden ook de onderhoudskosten meegenomen, maar dat is eerder uitzondering dan regel. In de praktijk komt het er dan ook vaak op neer dat de variant met de laagste stichtingskosten (d.w.z. de laagste aanneemsom) wordt gekozen. Een nadeel van deze methode is dat een gekozen variant op basis van een enkel kostenelement (bv. de stichtingskosten) de beste optie kan zijn, maar dat dit veelal niet meer het geval is zodra ook andere kostenelementen (zoals beheer- en onderhoudskosten) worden meegenomen.

Rijkswaterstaat wil zich daarom in de toekomst bij de beoordeling van varianten in de (voor)studiefase meer gaan baseren op een beeld van de integrale kosten, zoals daar zijn:

- *stichtingskosten*: kosten die gepaard gaan met de daadwerkelijk bouw van het kunstwerk;
- *kosten van beheer en onderhoud*: kosten van inspectie, reparatie, herstel en het op peil houden van de conditie van de kunstwerken;
- *aanpassingskosten*: kosten die gemoeid zijn met de flexibiliteit (het 'upgraden') van het oorspronkelijke ontwerp ten behoeve van toekomstige functievervullingen (bv. verbreding kunstwerk t.b.v. extra rijstroken);
- *sloopkosten*: kosten die gepaard gaan met het verwijderen van (delen van) het kunstwerk;
- *financieringskosten*: kosten van het geïnvesteerde vermogen gedurende het bouwproces van het kunstwerk, zoals bouwrente;
- *maatschappelijke kosten*: kosten van (negatieve) externe effecten, zoals milieu- en veiligheidskosten.

Een eerste aanzet in die richting is door RWS gegeven bij de aanleg van de (tui)-brug over de Waal bij Zaltbommel, het zgn. project Zaltbommel. Bij dit project is namelijk al geëxperimenteerd door ook andere aspecten dan alleen de stichtingskosten een rol te laten spelen bij de keuze van de voorkeursvariant. Daarbovenop moest bij dit project nog van tevoren kunnen worden aangegeven bij welk verschil in aanneemsom de voorkeur voor de éne variant zou omslaan in een voorkeur voor de andere. Voor dit keuzeprobleem werd DIA verzocht een oplossing te vinden.

Om tot een oplossing te komen is toen in eerste instantie getracht via een multicriteria-analyse (MCA) tot een voorkeursvolgorde van de beschouwde varianten te komen. Aan de hand van een aantal criteria zijn de varianten beoordeeld door per criterium aan iedere variant een score toe te kennen. Daarbij was niet ieder criterium even belangrijk ('*zachte*' en '*harde*'), wat tot uitdrukking kwam door verschillende gewichten aan de criteria te geven. Deze aanpak bleek echter weinig bevredigend, omdat enerzijds de vraag bleef: "Wat heb ik nu impliciet over voor dat zachte criterium?" en anderzijds kon voor enkele zachte criteria op dat moment onmogelijk een zinnige score worden gegeven [2].

De toegepaste Evamix-techniek (EVAluation MIXed data) was nog wel in staat *zachte* en *harde* (in geld gewaardeerde) criteria in één en hetzelfde evaluatieproces mee te wegen. Maar juist door die koppeling was het niet mogelijk dat met behulp van deze evaluatietechniek de onderlinge 'afstand' tussen de varianten in geld kon worden uitgedrukt. De kwalitatieve vaststelling dat variant A mooier is dan variant B

zegt niets over hoeveel mooier A nu eigenlijk is. Door het meewegen van *zachte* criteria kon de uitkomst van de MCA-aanpak dus niet voldoen aan de eis een getalsmatig omslagpunt te bepalen [14].

In tweede instantie is besloten de diverse criteria zoveel mogelijk op geld te waarderen. De gedachte daarachter was, dat als de totaalkosten per variant bekend zijn, door middel van vergelijken valt vast te stellen welke aanneemsom bij de meest economische variant hoort. Op die manier is ook het verschil in aanneemsom vast te stellen, waarbij een omslagpunt in de voorkeur voor een bepaalde variant ontstaat [14]. Hierop zijn de varianten weer getoetst en uiteindelijk is er een voorkeursvariant uitgerold.

Nu, ruim vier jaar later, is de Bouwdienst van mening dat met het rapport *(Eindrapportage keuzeproblematiek Zaltbommel* [2]) over dit keuzeprobleem niet voldoende is gedaan. Het rapport gaat niet expliciet genoeg in op de vraag welke kosten(elementen) zouden moeten worden meegenomen in de besluitvorming en hoe deze kosten(elementen) zich ten opzichte van elkaar verhouden. Daarnaast verdient het ramen van die kosten(elementen) nadere aandacht in verband met de vele onzekerheden en variaties die daarmee gepaard gaan. Gedacht moet worden aan het disconteringsprobleem (onzekerheden qua geldswaarde), 'kostenolifanten'-probleem (onzekerheden in de tijd) en hoe met deze onzekerheden dient te worden omgegaan. Onder 'kostenolifanten' wordt hier de kosten van het relatief dure groot onderhoud verstaan [16]. Ook het probleem van de overlappende bandbreedtes (door de onzekerheden in tijd en kosten) waardoor twee of meerdere varianten min of meer 'gelijk' kunnen eindigen, is in het rapport nog niet naar volle tevredenheid opgelost. Als laatste (but-not-least) dient nog eens in z'n totaliteit naar de relevantie c.q. significantie van de door het kostenafwegingsmodel genereerde getallen te worden gekeken (d.m.v. een casestudie).

De Bouwdienst ziet deze wensen graag zodanig gematerialiseerd, dat een operationele aanpak ter beschikking komt om een dergelijke integrale kostenafweging uit te voeren. Bij voorkeur sluit een en ander dan ook nog aan bij de gangbare ramingsmethodiek en de wijze waarop daarin met onzekerheden wordt omgegaan.

1.3 Doel- en probleemstelling

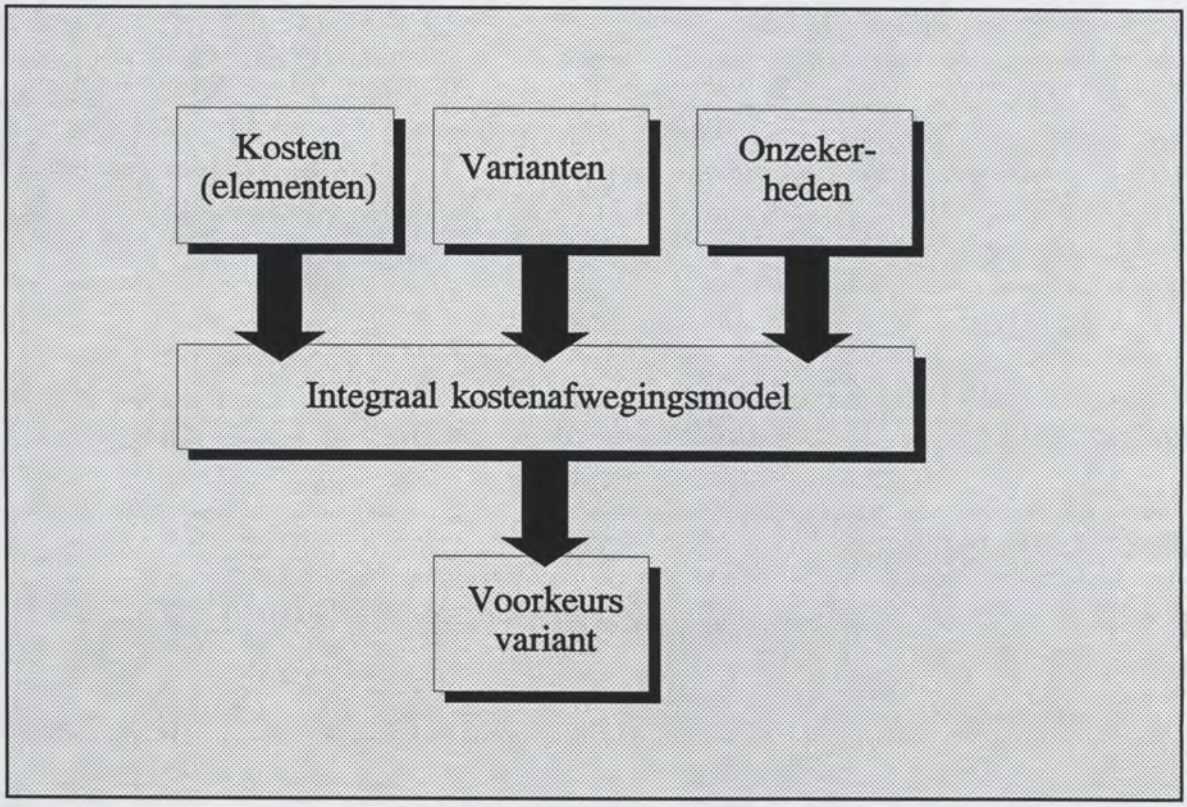
Uit de bovenstaande opdrachtformulering is de volgende doelstelling gedestilleerd:

Het ontwikkelen van een integraal kostenafwegingsmodel voor Rijkswaterstaat, waarmee een (beter) beeld van de integrale kosten van varianten voor kunstwerken in de (voor)studiefase kan worden gevormd en die het mogelijk maakt op een meer gefundeerde manier (rekening houdend met onzekerheden) keuzen te maken met betrekking tot deze varianten.

De daarbij behorende probleemstelling luidt dan als volgt:

*Welke **kosten(elementen)** dienen in een kostenafwegingsmodel van varianten voor **kunstwerken** in de studiefase door Rijkswaterstaat te worden meegenomen en hoe zijn deze kosten(elementen), rekening houdend met onzekerheden, om te zetten in een **integraal kostenafwegingsmodel** om tot een meer gefundeerde keuze te komen ten aanzien van de voorkeursvariant?*

Kernbegrippen in de probleemstelling zijn *kosten(elementen)*, *kunstwerken* en *integraal kostenafwegingsmodel*. Kosten(elementen) zijn hier de verschillende categorieën 'offers', die gedurende de (diverse stadia tijdens de) levensduur van de overbrugging worden gemaakt. Onder kunstwerken worden civieltechnische constructies verstaan zoals bruggen, tunnels en sluizen. Met integraal kostenafwegingsmodel wordt een 'tool' bedoeld, waarmee verschillende varianten op basis van hun totale kostenplaatje, rekening houdend met hun (door onzekerheden veroorzaakte) variaties, tegen elkaar kunnen worden afgewogen.



Figuur 1.1 *Visualisering probleemstelling.*

De probleemstelling kan als volgt worden gevisualiseerd (zie figuur 1.1). Hierin vormen de kosten(elementen), varianten en onzekerheden de input voor het op te

stellen integrale kostenafwegingsmodel. Dit integrale kostenafwegingsmodel moet uiteindelijke de gewenste output leveren, namelijk de voorkeursvariant van het (nieuw) te realiseren kunstwerk.

De geformuleerde probleemstelling is tweeledig. Enerzijds is er een descriptief deel, namelijk het komen tot een beschrijving van de relevante kosten(elementen). Anderzijds is er een exploratief deel, namelijk het komen tot een afwegingsmodel van relevante variabelen (hier de kosten(elementen)) en de relaties daartussen.

1.4 Onderzoeksvragen

Op grond van de gestelde doelstelling zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

1. *Welke kosten(elementen) zijn van belang bij het beoordelen van (voor)ontwerpen voor kunstwerken in de (voor)studiefase?*
2. *Hoe zijn deze kosten(elementen) van (voor)ontwerpen voor kunstwerken te ramen en welke rol speelt discontering daar eventueel bij?*
3. *Hoe 'hard' is zo'n kostenraming, welke onzekerheden (zowel conceptueel als operationeel) spelen daarbij een rol en hoe kan daar het beste mee worden omgegaan?*
4. *Hoe zijn de met onderzoeksvragen 1, 2 en 3 gevonden resultaten om te zetten in een operationeel kostenafwegingsmodel ter beoordeling van (voor)ontwerpen voor kunstwerken in de (voor)studiefase?*

1.5 Uitgangspunten en randvoorwaarden

Uitgaande van de in paragraaf 1.2 beschreven opdrachtformulering zijn voor dit onderzoek de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden geformuleerd:

- Met *alternatieven* worden de verschillende kunstwerkmogelijkheden ter oplossing van een civieltechnisch probleem bedoeld, bijvoorbeeld een brug of een tunnel. Binnen een (gekozen) alternatief bestaan echter ook weer keuzemogelijkheden, de zogenaamde *varianten*. Zo kan binnen het gekozen alternatief brug bijvoorbeeld nog weer worden gekozen tussen het type brug (bv. een tuibrug of een boogbrug), het type materiaal (bv. staal of beton), etc.
- De 'nut en noodzaak'-discussie is reeds achter de rug, d.w.z. dat de (politieke) beslissing is genomen dat er überhaupt een nieuw kunstwerk moet komen en ook dat er voor één bepaald alternatief is gekozen;
- Dat alle varianten (min of meer) dezelfde functionaliteit bezitten. Dat wil zeggen dat alle varianten voldoen aan de gestelde eisen met betrekking tot de functie(s) die zij dienen te vervullen;
- De standaard-kostprijs wordt gebruikt en niet de werkelijke kosten, dit om het 'markt-effect' uit te sluiten. Door 'werkhonger' (door concurrentie tussen de aannemers in bepaalde perioden) van aannemers kunnen de kosten voor de beheerder namelijk lager uitvallen dan eigenlijk verwacht zou mogen worden [13];

- Het op te stellen integrale kostenafwegingsmodel dient aan te sluiten bij de, binnen de Bouwdienst RWS, gangbare ramingsmethodiek en de wijze waarop daarin met onzekerheden wordt omgegaan.

1.6 Aanpak en leeswijzer

De doelstelling, probleemstelling, onderzoeksvragen en uitgangspunten zijn reeds behandeld in hoofdstuk 1.

In hoofdstuk 2 wordt de fase waar dit onderzoek zicht tot beperkt, namelijk de studiefase, afgebakend t.o.v. de overige fasen. Daarnaast wordt het kostenbegrip uitgelegd. Hierna wordt een literatuurstudie verricht naar (kosten)indelingsmodellen. Deze modellen worden vervolgens vergeleken met een referentie-kostenindeling om enerzijds te bekijken of de gevonden (kosten)indelingen in vergelijking met de referentie-kostenindeling beter bruikbaar zijn als 'kapstok' voor de kostenelementen en anderzijds of deze indelingen aanvullende 'discriminerende' (kosten)elementen bezitten. Met behulp van de 'scorecard'-methode worden de gevonden resultaten nog eens op een rij gezet.

Op basis van de referentie-kostenindeling aangevuld met 'discriminerende' kostenelementen uit andere indelingen wordt in hoofdstuk 3 een 'nieuw' integraal kostenindelingsmodel gebouwd. Vervolgens wordt bekeken wat het belang van de kostenelementen in dit model is bij een afweging van varianten. Hiertoe wordt de grootte van de kostenelementen geschat in een percentage ten opzichte van een referentie-kostenelement.

Ramingsmethoden om de belangrijkste kostenelementen uit hoofdstuk 3 te ramen worden besproken in hoofdstuk 4. Tevens wordt in dit hoofdstuk ingegaan op de effecten van het disconteren van kosten.

In hoofdstuk 5 wordt de hardheid van ramingen besproken. Verder komen in dit hoofdstuk de specifieke onzekerheden van de belangrijkste kostenelementen aan bod. Tevens worden methoden besproken om onzekerheden in kaart te brengen.

Het integrale kostenafwegingsmodel wordt gepresenteerd in hoofdstuk 6. Op grond van dit model zijn in hoofdstuk 7 case-studies verricht om te kijken welk effect het meenemen van de onderhoudskosten heeft naast de bouwkosten bij de afweging van varianten in de (voor)studiefase.

Dit onderzoek wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 8.

2 Inventarisatie van kostenindelingen

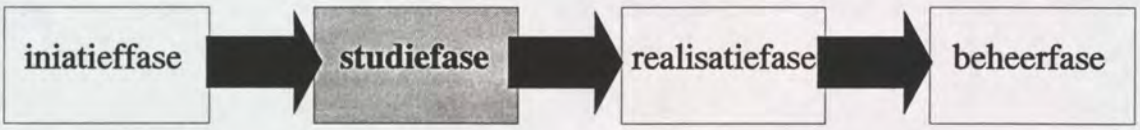
2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk staat de beantwoording van de eerste onderzoeksvraag centraal, namelijk welke kosten(elementen) van belang zijn bij het beoordelen van (voor)ontwerpen van kunstwerken in de (voor)studiefase. Hiertoe wordt eerst de studiefase, de fase waar dit onderzoek vanuit gaat, ten opzichte van de overige fasen afgebakend (paragraaf 2.2). In paragraaf 2.3 wordt vervolgens uitgelegd wat er in de literatuur zoal onder het begrip kosten wordt verstaan. Nadat deze twee zaken zijn afgebakend, worden in paragraaf 2.4 de huidige 'kostenindeling' van de Bouwdienst en de (gewenste) 'Zaltbommel-indeling' besproken. Vervolgens is door middel van een literatuurstudie gekeken welke andere (kosten)indelingen er zijn en of deze indelingen in vergelijking met de 'Zaltbommel-indeling' beter bruikbaar zijn c.q. aanvullende (kosten)elementen bezitten. Als eerste van de andere kostenindelingen komen in paragraaf 2.5 de twee klassieke kostenindelingen aan bod, namelijk de categorische kostenindeling en de functionele kostenindeling.

Vervolgens wordt een uitstapje gemaakt naar andersoortige integrale indelingen, waarbij wordt getracht de elementen zoveel mogelijke in geld uit te drukken. Deze indelingen zijn in volgorde van bespreking: aan de hand van het maatschappelijke nut (paragraaf 2.6) en op basis van criteriumgroepen (paragraaf 2.7). Ook deze indelingen worden vergeleken met de 'Zaltbommel-indeling'. Ten slotte wordt in paragraaf 2.8 ingegaan op de 'Lifecycle-costing'-methode, die de basis vormt van de 'Zaltbommel-indeling'. In paragraaf 2.9 worden de resultaten van de vergelijkingen van de (kosten)indelingen met de 'Zaltbommel-indeling' nog eens op een rij gezet met behulp van de 'scorecard'-methode. Het hoofdstuk wordt afgesloten met conclusies (paragraaf 2.10).

2.2 Fase-afbakening

Zoals beschreven in de doelstelling (zie paragraaf 1.3) richt dit onderzoek zich op het ontwikkelen van een integraal kostenafwegingsmodel van varianten van kunstwerken in de *studie*fase en dan met name op de *voor*studiefase daarbinnen. Om deze fase af te bakenen ten opzichte van de overige fasen wordt gebruik gemaakt van de, in 'Werk in uitvoering' [9] beschreven, fasering zoals die bij projecten van Rijkswaterstaat wordt gehanteerd (zie figuur 2.1). In deze fasering doorloopt een (kunstwerk)project de volgende fasen:



Figuur 2.1 *Door RWS gehanteerde fasering voor projecten.*

De *studiefase* vormt hierin de tweede fase, nà de *initiatieffase* en vóór de *realisatie-* en *beheerfase*. De projectfasen laten zich als volgt omschrijven [9]:

- *Initiatieffase*
  Deze fase, ook wel verkenningsfase genoemd, begint bij een idee voor een op te lossen (mogelijk toekomstig) civieltechnisch probleem, hetgeen kenbaar wordt gemaakt. De fase eindigt met een goedgekeurd projectvoorstel en opname in het Meerjarenprogramma Infrastructuur en Transport (MIT) als studieproject.

- ***Studiefase***
  De studiefase, de fase waar dit onderzoek zich op richt, wordt onderverdeeld in een voorstudiefase en een trajectstudiefase. De voorstudiefase start na de Initiatieffase en behelst het verkennen welke reële varianten onderzocht moeten worden en het definiëren van een functioneel Programma van eisen. De voorstudiefase eindigt met een goedgekeurd (studie)projectplan en een goedgekeurde startnotitie waarin de resultaten van deze verkenning worden beschreven. In de daaropvolgende trajectstudiefase wordt de MER/ trajectstudie uitgevoerd, vervolgens wordt een Traject Nota gemaakt en daarna wordt, op basis van inspraak op de Traject Nota, een Ontwerp Tracé Besluit en uiteindelijk een Tracé Besluit genomen.

- *Realisatiefase*
  De realisatiefase bestaat uit een planuitwerkingsfase, een besteksfase en een uitvoeringsfase. De planuitwerkingsfase start met de formele opdracht aan een projectleider het Tracé Besluit uit te werken tot een definitief ontwerp, uitgewerkte gefaseerde uitvoering en deelplannen. Bestemmingsplannen worden aangepast door gemeenten. De planuitwerkingsfase eindigt met een goedgekeurd ontwerp. Dit is de start van de besteksfase. De besteksfase eindigt met een goedgekeurd bestek, een 'vertaling' van het ontwerp in bestekken en uitvoeringstekeningen, op basis waarvan prijzen in de markt kunnen worden aangevraagd voor het uitvoeren van het project. De daarop volgende uitvoeringsfase bestaat uit het houden van de aanbesteding, de gunning en de fysieke realisatie. De fase eindigt met de oplevering, proces verbaal van overdracht en overname.

- *Beheerfase*
  Het gerealiseerde project wordt in gebruik genomen. De nazorg, het beheer en onderhoud vormen hier de belangrijkste activiteiten.

Opgemerkt wordt dat in deze (voor)studiefase ook de kosten voor de overige fasen van de verschillende varianten dienen te worden geraamd. Immers het object van studie bevindt zich in de studiefase, terwijl de raming voor dit object zich als het ware over alle fasen heen strekt om een integraal beeld te kunnen krijgen. De MER/-trajectstudiefase wordt hier verder buiten beschouwing gelaten.

2.3 Kostenbegrip

Nu de studiefase eenduidig is gedefinieerd, dient ook het begrip kosten te worden afgebakend. In de literatuur worden kosten onderscheiden in [4,6]:

1. kosten en offers;
2. directe en indirecte kosten;
3. vaste en variabele kosten;
4. 'tangible' en 'intangible' kosten.

Ad 1.
Klein Nagelvoort [4] maakt onderscheid tussen kosten en offers. Bij de *voor*calculatie spreekt hij over kosten. Deze kosten worden gevormd door de *gepermitteerde offers* (ook wel standaard kostprijs genoemd). Bij de *na*calculatie spreekt hij over offers. Deze offers bestaan uit de werkelijk *gemaakte kosten*.

In dit onderzoek worden varianten van nieuw te bouwen kunstwerken onderzocht, die zich in de (voor)studiefase bevinden. In deze fase wordt een globale *voor*calculatie van de kosten voor de verschillende varianten gemaakt. Zodoende zal in dit onderzoek over kosten worden gesproken. Opgemerkt wordt dat **schattingen** van de kosten gebaseerd zijn op *offers* (marktprijzen) uit het verleden. De voor de case-studie gebruikte kengetallen zijn namelijk grotendeels gebaseerd op nacalculatorische gegevens.

Ad 2.
Directe kosten zijn kosten verdeeld over één type product. Ze worden gekenmerkt door hun rechtstreekse relatie met het product, bv. materiaalkosten. De indirecte kosten daarentegen worden gekenmerkt door het ontbreken van een directe relatie met het product, bv. 'overhead'-kosten. In de (voor)studiefase worden beide typen in de door Rijkswaterstaat gehanteerde kostenraming meegenomen (zie verder paragraaf 4.5).

Ad 3.
Kenmerkend voor variabele kosten zijn de schommelingen in het totaal per periode ten gevolge van de fluctuaties in o.a. de productiegrootte, bv. materiaalkosten. Voor vaste kosten daarentegen is het typerend dat zij binnen een bepaalde periode niet reageren op fluctuaties in de productiegrootte, bv. materieelkosten.

Deze uitsplitsing is voor de doelstelling van dit onderzoek niet relevant, gezien het globale karakter van de kostenschattingen in de (voor)studiefase. Het gaat in deze fase om een beeld van de totale kosten. Of een kostenpost daarbij vast of variabel is, is in dat stadium van geen belang.

Ad 4.
De 'tangible costs' zijn gewoonlijk redelijk kwantificeerbare kosten, bv. materiaalkosten. Voor de 'intangible costs' is wat meer verbeeldingskracht nodig en ook het uitdrukken in geld geeft meer problemen. De 'intangible costs' komen vaker voor bij projecten in de publieke sector dan die in de private sector. Een voorbeeld van een

'intangible cost' vormt de waardering van schade aan het landschap door de aanleg van een nieuw kunstwerk.

Ook deze uitsplitsing is voor de doelstelling van dit onderzoek niet relevant, omdat het in de (voor)studiefase gaat om een globaal beeld van de totale kosten. Of een kostenpost daarbij 'tangible' of 'intangible' is, doet verder niet ter zake.

Kortom in dit onderzoek wordt uitgegaan van *kosten*, waarbij het onderscheid tussen *direct/indirect, variabel/vast* en *tangible/intangible* voor de doelstelling van dit onderzoek niet relevant is.

In de volgende paragraaf komen kostenelementen aan de orde zoals die tot nu toe door de Bouwdienst worden meegenomen en die waarvan het wenselijk wordt geacht ze in de toekomst mee te nemen.

2.4 Kostenindeling Bouwdienst

Tot op heden worden door de Bouwdienst alleen de stichtingskosten meegenomen in de (voor)studiefase bij het afwegingsproces tussen de verschillende varianten (zie ook paragraaf 6.4). In een heel enkel geval worden ook de onderhoudskosten meegenomen (zij het op een kwalitatieve manier), maar dat is eerder uitzondering dan regel. Toch wordt in de klapper 'Werk in uitvoering' [9] aanbevolen bij een raming de onderhoudskosten mee te nemen. In de praktijk is het echter nog te lastig daar een goede inschatting van te geven in de voorstudiefase.

De Bouwdienst wil echter af van een keuze-afweging louter op basis van de stichtingskosten, omdat dat geen volledig beeld van de werkelijk totale kosten geeft. De Bouwdienst acht het dan ook wenselijk naast de stichtingskosten andere, 'discriminerende' kosten mee te nemen. Met 'discriminerende' kosten worden hier kosten bedoeld die qua grootte niet voor elke variant hetzelfde zijn. Doordat de varianten op deze kosten verschillend 'scoren' is een voorkeursvolgorde aan te geven.

Een eerste poging andere kosten mee te nemen is ondernomen bij het project voor de brug bij Zaltbommel. Bij dit project zijn per variant de totale kosten tijdens de levensduur geanalyseerd. Daarbij zijn in beschouwing genomen [14]:

- de aanneemsom;
- de geprognotiseerde onderhoudskosten voor een levensduur van 75 jaar;
- de geprognotiseerde beheerskosten voor dezelfde periode;
- de engineerings- en toezichtkosten post-aanbesteding;
- de aanpassingskosten i.v.m. de tweede fase van het project;
- de sloopkosten en restwaarde van de brug aan het einde van de levensduur;
- de maatschappelijke kosten t.g.v. files, veroorzaakt door reparatie- en onderhoudswerkzaamheden.

Deze 'Zaltbommel-indeling', aan de hand van de LCC-methode (zie paragraaf 2.8), geeft een goed integraal beeld van de kosten. Positief is dat ook de maatschappelijke kosten worden meegenomen, zij het in eerste instantie slechts beperkt tot die ten gevolge van files. Een bredere invulling van dit kostenelement zou de integrale afweging wellicht nog meer ten goede komen.

Met deze 'Zaltbommel-indeling' als referentie-indeling is vervolgens een literatuurstudie verricht om een antwoord te geven op de eerste onderzoeksvraag, namelijk welke kostenelementen dienen te worden meegenomen bij een integrale kostenafweging van varianten. Het doel van deze literatuurstudie was enerzijds te kijken of de gevonden (kosten)indelingen in vergelijking met de 'Zaltbommel-indeling' beter bruikbaar zijn als 'kapstok' voor de kostenelementen en anderzijds of deze indelingen aanvullende 'discriminerende' (kosten)elementen bezitten.

Het literatuuronderzoek leverde twee klassieke *basis*indelingen voor kosten op, namelijk: de *categorische* en de *functionele* kostenindeling. Deze indelingen worden in de volgende paragraaf behandeld.

2.5 De categorische en functionele kostenindeling

Bij de *categorische indeling* worden kostensoorten ingedeeld op basis van vijf categorieën, namelijk [4]:

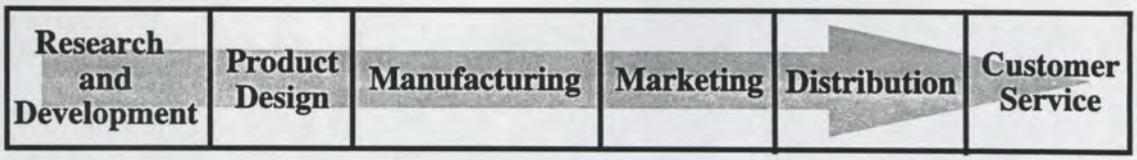
- materialen, b.v. staal, beton;
- lonen, salarissen en hiermee verbonden kosten, zoals sociale premies;
- de kosten van machines, gebouwen en overige outillage;
- belastingen en assurantiekosten, b.v. BTW;
- de diensten van derden, b.v. een ingenieursbureau.

Een zesde kostensoort vormt de rente. Deze komt echter niet afzonderlijk voor en is in zekere mate afhankelijk van de vijf eerder genoemde kostensoorten.

In vergelijking met de 'Zaltbommel-indeling' levert deze categorische indeling geen nieuwe bruikbare kostenelementen op. De onderkende kostencategorieën zitten daarvoor op een te algemeen niveau. Aan de kostencategorieën valt niet af te lezen op welke handeling, plaats of fase ze betrekking hebben, waardoor niet inzichtelijk is of het om kosten voor bv. de aanleg, exploitatie of sloop van kunstwerken gaat. Daarnaast komen maatschappelijke kosten niet expliciet tot uitdrukking in deze indeling, terwijl RWS deze kosten graag wil meenemen.

De categorische indeling is door haar algemene karakter meer geschikt als onderbouwing van de kostenelementen in de 'Zaltbommel-indeling' en meer algemeen van de kostenelementen zoals RWS die graag wenst mee te nemen in haar integrale kostenafwegingsmodel.

Naast deze categorische indeling van kosten bestaat er in de literatuur nog een andere klassieke kostenindeling, namelijk de *functionele indeling*. In 'Cost Accounting' [17] worden de volgende functionele kostencategorieën onderscheiden (zie figuur 2.2):



Figuur 2.2 *Functionele kostenindeling.*

Bij deze indeling worden de kosten ingedeeld op grond van de functionele afdeling waar ze worden gemaakt, zodoende ligt de plaats van de kosten vast. Het voordeel ten opzichte van de categorische indeling is, dat de kosten 'gelabeld' zijn waar ze vandaan komen. Hierdoor is voor een organisatie beter te lokaliseren waar de (meeste) kosten zitten. Een nadeel van deze functionele kostenindeling is dat ook hier de maatschappelijke kosten niet expliciet tot uitdrukking komen. Dit is echter geen onoverkomelijk probleem, omdat ze per 'afdeling' eventueel inpasbaar zijn. Een ander nadeel is dat een directe link van de kosten met de fase waarin het kunstwerkproject zich bevindt ontbreekt. Indirect bezit de indeling wel een zekere chronologische volgorde: van het ontstaan (R&D) tot het vergaan (customer service), tenminste als deze laatste ruim wordt gezien.

In eerste instantie is deze indeling toegepast op RWS als organisatie. Dit leverde echter een incompleet beeld van de kosten op, omdat RWS in principe drie van de zes afdelingen mist. De 'manufacturing' wordt immers veelal uitbesteed aan derden evenals een deel van 'product design'. Daarnaast kent RWS geen 'marketing'- c.q. 'distribution'-afdeling pur sang. In tweede instantie is de indeling toegepast op het 'product' kunstwerken, omdat deze - organisatie-onafhankelijk - wel alle functionele afdelingen doorloopt. Dit leverde het volgende beeld op:

- *Research and Development*
  Het zoeken naar en het ontwikkelen van modellen, methoden en hulpmiddelen ten behoeve van civieltechnische vraagstukken. Dit zoeken en ontwikkelen wordt vooral door de Bouwdienst gedaan en voor het overige deel door een dienstkring, regionale directie of aannemer. Dit brengt kosten met zich mee: de ontwikkelingskosten. Gedacht kan worden aan bijvoorbeeld experimenten met hoogsterktebeton, etc.

- *Product Design*
  Het genereren van alternatieven c.q. varianten voor het kunstwerk en het vervolgens nader uitwerken en detailleren van (voor)ontwerpen tot bestekken. Dit wordt meestal door de regionale directie in samenwerking met de Bouwdienst gedaan. Dit uitwerken en detailleren brengt kosten met zich mee: de zgn. voorbereidingskosten en 'engineering costs'.

- *Manufacturing*
  De realisatie van het kunstwerk gebeurt veelal door een aannemer onder het toe

ziend oog van de projectleider van RWS. De aanleg brengt kosten met zich mee, de zgn. stichtingskosten.

- *Marketing*
  Hoewel deze afdeling pur sang niet bestaat binnen RWS, kan toch aan de volgende kosten worden gedacht. Kosten verband houdend met een 'marktstudie' naar knelpunten en/of het bepalen waar een civieltechnische oplossing het meest noodzakelijk c.q. gewenst is. Daarnaast kunnen kosten voor het creëren van een zo breed mogelijk maatschappelijk draagvlak (o.a. door 'inspraakavonden' en PKB-ronden) voor de voorkeursvariant hieronder worden geschaard. Deze kosten komen overigens veelal voor rekening van de regionale directie.

- *Distribution*
  De distributiefunctie van kunstwerken als zodanig is (bij RWS) onbekend, omdat de civieltechnische constructies vrijwel allemaal in situ worden gebouwd. Eventuele kosten van distributie zullen daarom marginaal zijn en kunnen hier verder buiten beschouwing worden gelaten.

- *Customer Service*
  Hierbij gaat het om de nazorg, in brede zin, van het geleverde product. Een dienstkring zal het opgeleverde kunstwerk beheren en onderhouden, hetgeen exploitatiekosten met zich meebrengt. Daarnaast kan het gebeuren dat het kunstwerk na een aantal jaren dient te worden aangepast (om te kunnen voldoen aan de dan geldende eisen en doelstellingen met betrekking tot zijn functie) of te worden gesloopt (als de aanpassingskosten niet (meer) opwegen tegen het geheel vervangen van het kunstwerk). Het aanpassen c.q. slopen zal veelal door een aannemer worden gedaan en aanpassings- c.q. sloopkosten met zich meebrengen.

In vergelijking met de 'Zaltbommel-indeling' levert de functionele kostenindeling (op bovenstaande manier toegepast) drie 'nieuwe' kostenelementen op, te weten: research & development-kosten, marketingkosten en distributiekosten. Dit laatste kostenelement kan echter gelijk al weer worden geschrapt, omdat distributie van kunstwerken als zodanig niet bestaat. Voor de twee overgebleven kostenelementen is vervolgens naar het 'discriminerend vermogen' gekeken.

De R&D-kosten zijn meestal niet specifiek aan één (kunstwerk)project toe te wijzen, maar worden gelijkmatig verdeeld over alle projecten. Zodoende zullen deze kosten niet verschillen per variant. Iets dergelijks geldt voor de marketingkosten. Hoewel deze kosten per project kunnen verschillen, zullen de kosten binnen een project voor al de varianten hetzelfde zijn. De R&D-kosten en marketingkosten zijn dus niet 'discriminerend' en vormen dan ook geen relevante aanvulling op de 'Zaltbommel-indeling'.

Conclusie
Samenvattend kan worden geconcludeerd dat de twee 'klassieke' kostenindelingen geen aanvullende meerwaarde bezitten t.o.v. de 'Zaltbommel-indeling'. Enerzijds komt dit doordat de indelingen praktisch gezien minder geschikt zijn als 'kapstok'

voor de kostenelementen dan de huidige 'Zaltbommel-indeling' en anderzijds omdat de indelingen geen aanvullende 'discriminerende' kostenelementen bezitten.

Op grond van deze conclusie is besloten verder te zoeken in de literatuur naar andersoortige indelingen die niet per sé de kosten als uitgangspunt hoefden te heb ben. Dit resulteerde in een indeling aan de hand van het maatschappelijk nut, een

indeling op basis van criteriumgroepen en een indeling op basis van levensduurkosten.

2.6 Indeling aan de hand van het maatschappelijk nut

De eerste van de andersoortige indelingen is die aan de hand van het maatschappelijke nut. Bij de evaluatie van - voorgenomen - infrastructurele projecten wordt op basis van een aantal effecten een oordeel uitgesproken over het 'maatschappelijke nut' van een project. Tot de effecten die tezamen dit maatschappelijk nut bepalen, behoren onder meer [18]:

economische effecten
- plankosten
- aanlegkosten;
- kosten van onderhoud, bediening, beheer en exploitatie;
- reistijdwinsten en -verliezen;
- veranderingen in afstandsgebonden kosten;
- betrouwbaarheid;
- efficiency;
- werkgelegenheid;

macro-economische effecten
- verkeersveiligheid;
- geluidshinder;
- emissies van lucht verontreinigende stoffen;
- doorsnijding landschap;
- sociaal-maatschappelijke aspecten.

Nadeel van deze indeling is dat verschillende effecten, zoals de macro-economische, moeilijk in geld zijn uit te drukken en daardoor moeilijk tegen elkaar af te wegen.

Een omissie m.i. vormt het ontbreken van het economische effect *financieringskosten*. Dat deze kosten hier niet worden meegenomen is te 'wijten' aan de kasstelselsystematiek die de Nederlandse overheid (hier RWS) hanteert. Dit kasstelsel houdt in dat [38]:
- investeringen in één keer worden betaald uit de (jaar)budgetten;
- van de objecten (kunstwerken) geen boekwaarde wordt bepaald;
- niet op de objecten wordt afgeschreven.

Door deze systematiek worden de kapitaallasten (financieringskosten) optisch geëlimineerd. De beslissers worden niet geconfronteerd met de hoogte van de kapitaallasten. Ook wordt het moeilijk de relatie tussen afschrijving en onderhoudskosten te leggen.

In vergelijking met de 'Zaltbommel-indeling' vormen de *financieringskosten* een 'nieuw' element. De financieringskosten kunnen worden onderverdeeld in bouwrentekosten en inflatiekosten.

- *bouwrentekosten* zijn de kosten van interest op het (vreemde) vermogen, waarmee de bouw van het kunstwerk wordt gefinancierd. Deze kosten zijn voor al de varianten min of meer hetzelfde, omdat de kosten ongeacht de variant moeten worden gemaakt. De bouwrentekosten zijn daarom niet 'discriminerend' en vormen geen aanvulling op de 'Zaltbommel-indeling';
- *inflatiekosten* zijn de kosten, die gepaard gaan met geldontwaarding en prijsstijgingen. Deze kosten zijn wederom voor al de varianten vrijwel gelijk, omdat de prijsstijgingen en geldontwaarding onafhankelijk van de varianten plaats vinden. De inflatiekosten zijn daarom niet 'discriminerend' en vormen geen aanvulling op de 'Zaltbommel-indeling'.

Een punt dat momenteel in het middelpunt van de belangstelling staat is: het (laten) versnellen dan wel uitlopen van (kunst werk)projecten. Analoog hieraan is het gegeven dat de éne kunstwerkvariant een kortere of langere bouwtijd kan hebben dan de andere kunstwerkvarianten. Hieronder worden de effecten van een kortere dan wel langere bouwtijd besproken.

In geval van een kortere bouwtijd (c.q. versnelling) bij een kunstwerkvariant treden de volgende effecten op:

- het kunstwerk komt eerder beschikbaar voor de maatschappij. Dit kan worden vertaald in een maatschappelijke bate, die uit de hierboven genoemde *economische effecten* kan bestaan, zoals: reistijdwinsten, veranderingen in afstandsgebonden kosten, efficiency en werkgelegenheid. Daarnaast kan gedacht worden aan verminderde kosten t.g.v. files. De grootte van deze bate is echter moeilijk te bepalen. Wellicht dat hier in een vervolgstudie meer aandacht aan kan worden geschonken;
- voor RWS betekent dit extra inzet van capaciteit om het kunstwerkproject eerder gereed te krijgen. Deze extra inzet betekent alleen extra kosten als extra personeel, etc. moet worden aangetrokken. Ook de aannemer zal extra capaciteit moeten inzetten om het kunstwerkproject versneld af te krijgen. Dit brengt extra kosten voor personeel en materieel met zich mee, die boven op de aanneemsom komen (die RWS uiteindelijk moet betalen). Daarnaast zal RWS de aannemer een bonus uitkeren, als het project daadwerkelijk versneld klaar komt;
- voor de bouwrentekosten maakt de versnelling geen verschil uit, omdat de te betalen bouwsom per saldo dezelfde blijft.

Uiteindelijk zal de politiek moeten beslissen of de maatschappelijke baten opwegen tegen de extra kosten voor RWS (en de aannemer).

In geval van een langere bouwtijd (c.q. vertraging) bij een kunstwerkvariant treden de volgende effecten op:

- het kunstwerk komt later beschikbaar voor de maatschappij. Dit kan worden vertaald in maatschappelijke kosten, die uit de hierboven genoemde *economische effecten* kunnen bestaan, zoals: reistijdverliezen, veranderingen in afstandsgebonden kosten, efficiency en werkgelegenheid. Daarnaast kan gedacht worden aan kosten t.g.v. files. De grootte van deze maatschappelijke kosten is echter moeilijk te bepalen. Wellicht dat hier in een vervolgstudie meer aandacht aan kan worden geschonken;
- voor RWS betekent dit het 'uitsmeren' van capaciteit over een langere periode. Dit kan betekenen dat andere projecten hierdoor later van start kunnen gaan of in de knel komen. In principe betekent het geen extra kosten, om dat geen extra personeel, etc. hoeft te worden aangetrokken. Voor de aannemer betekent dit dat hij later van start kan gaan met andere projecten, hetgeen kosten met zich meebrengt. Daarnaast zal RWS de aannemer een malus in rekening brengen, als het project daadwerkelijk te laat gereed komt.
- voor de bouwrentekosten maakt de versnelling geen verschil uit, omdat de te betalen bouwsom dezelfde blijft.

Zoals gezegd zijn de effecten (met de huidige inzichten) moeilijk kwantificeerbaar, daarom wordt er in dit onderzoek vooralsnog vanuit gegaan dat de eventuele verschillen tussen varianten op deze effecten een dusdanige grootte hebben dat ze niet 'discri minerend' zijn.

Aan het einde van de Initiatieffase is op basis van de 'nut en noodzaak'-discussie de voorkeur uitgesproken voor een bepaald alternatief. Op grond hiervan kunnen de volgende *economische* en *macro-economische* effecten bij voorbaat worden geschrapt: reistijdwinsten en -verliezen, veranderingen in afstandsgebonden kosten, efficiency, werkgelegenheid effecten: geluidshinder, emissies van lucht verontreinigende stoffen en sociaal-maatschappelijke effecten. De genoemde effecten kunnen weliswaar per alternatief verschillen, maar voor de varianten binnen een alternatief zijn ze vrijwel hetzelfde. Hierdoor bezitten deze effecten geen 'discriminerend vermogen'.

Van de overgebleven 'effecten' zijn er in vergelijking met de 'Zaltbommelindeling' tot nu toe vier 'nieuw', namelijk: *plankosten, betrouwbaarheid, verkeersveiligheid* en *doorsnijding landschap*. Voor deze effecten is vervolgens naar het 'discriminerend vermogen' gekeken.

De *plankosten* zijn de kosten verbonden aan het verder uit detailleren van het (voor)ontwerp, de werkmethode, het maken van een planning, etc. Deze kosten worden voor de varianten als totaal gemaakt en kunnen niet specifiek aan één variant worden toegewezen. Per variant bedragen de plankosten dan ook vrijwel hetzelfde, oftewel de plankosten zijn niet 'discriminerend'.

Het effect *betrouwbaarheid* kan voor een kunstwerk worden vertaald in de kosten die benodigd zijn om het kunstwerk beschikbaar te houden voor zijn functie(s) en de

kans op falen te minimaliseren. Deze kosten kunnen worden vertaald naar:

- *ontwerpkosten*: hoe beter het kunstwerkontwerp is, hoe kleiner de kans op falen en hoe minder hinder bij falen (bv. bij aanrijding van een viaduct kunnen betonnen prefab-elementen makkelijker vervangen worden dan gestort beton);
- *bouwkosten*: des te beter de uitvoering van het kunstwerk, des te kleiner de kans op falen;
- *exploitatiekosten*: hoe beter het kunstwerk wordt onderhouden en beheerd, hoe kleiner de kans op falen;
- *maatschappelijke kosten*: indien het kunstwerk faalt, kunnen de gebruikers (tijdelijk) niet meer van de functie(s) van het kunstwerk gebruik maken. De gebruikers moeten uitwijken naar alternatieven hetgeen kosten met zich meebrengt (bv. omrijden).

Op grond van bovenstaande kosten kan worden gesteld dat de éne kunstwerkvariant betrouwbaarder zal zijn dan de andere. Het effect *betrouwbaarheid* is dus 'discriminerend' tussen varianten. Echter de kosten verbonden aan *betrouwbaarheid* vallen uiteen in kostenelementen die reeds worden meegenomen en vormen daarom geen 'nieuwe' aanvulling op de 'Zaltbommel-indeling'. Het wel meenemen van de kosten van dit effect zou dubbeltellingen veroorzaken met als gevolg een verkeerde voorstelling van zaken.

Het effect *veiligheid* kan voor een kunstwerk worden vertaald in enerzijds *betrouwbaarheid* en *overzichtelijkheid* èn anderzijds de kans op *letsel* voor haar gebruiker(s). Hierboven is reeds het effect *betrouwbaarheid* behandeld. Kosten verbonden aan *overzichtelijkheid* bestaan vooral uit ontwerpkosten. Immers hoe duidelijker en beter het ontwerp, hoe beter de overzichtelijkheid en daarmee de veiligheid. De kans op *letsel* kan worden vertaald in maatschappelijke kosten, namelijk de kosten van ziekenhuisopname of overlijden.

Op grond van bovenstaande kosten kan worden gesteld dat de éne variant veiliger zal zijn dan de andere. Het effect *veiligheid* is dus 'discriminerend', maar vormt om dezelfde reden als bij het effect *betrouwbaarheid* geen aanvulling op de 'Zaltbommel-indeling'.

Het effect *doorsnijding landschap* kan voor een kunstwerk worden vertaald in aanpassingen aan het kunstwerk waardoor het landschap minder versnipperd raakt en maatschappelijke kosten. De *maatschappelijke kosten* zijn de kosten voor het verdwij nen van bestaande flora en fauna. Deze kosten zullen voor al de varianten min of meer hetzelfde zijn en daardoor niet 'discriminerend'. De aanpassingen kunnen worden vertaald naar:

- *bouwkosten*: de extra kosten voor het bouwen van de - in het ontwerp al meegenomen - aanpassingen (zoals wildonderdoorgangen);
- *aanpassingskosten*: de kosten voor het aanbrengen van aanpassingen aan het reeds bestaande kunstwerk;

Op grond van bovenstaande kosten kan worden gesteld dat de éne kunstwerkvariant op het effect *doorsnijding landschap* beter zal scoren dan de andere. Het effect *door*

snijding landschap is dus 'discriminerend', maar vormt om dezelfde reden als bij het effect *betrouwbaarheid* en *veiligheid* geen aanvulling op de 'Zaltbommel-indeling'.

Conclusie
Samenvattend kan worden geconcludeerd dat de indeling aan de hand van het maatschappelijke nut weliswaar vier aanvullende 'discriminerende' effecten bezit t.o.v. de 'Zaltbommel-indeling', maar dat deze effecten kunnen worden gereduceerd tot kostenelementen die al door de 'Zaltbommel-indeling' worden meegenomen. Daarnaast is deze indeling - door de moeilijker uitdrukbaarheid in geld - praktisch gezien minder geschikt als 'kapstok' voor de kostenelementen dan de huidige 'Zaltbommel-indeling'

In de volgende paragraaf wordt een indeling behandeld op basis van criteriumgroepen. Daarin wordt wat dieper ingegaan op effecten die ook in de nu behandelde indeling zijn genoemd.

2.7 Indeling op basis van criteriumgroepen

In de 'Handleiding Besluitvorming Hoofdwegen' wordt een indeling besproken, waarbij verschillende soorten effecten per variant worden samengevoegd tot criteriumgroepen. Een voorbeeld van een geaggregeerde indeling van criteriumgroepen is [10]:

- natuurlijk milieu (bodem/water, natuur en landschap);
- woon- en leefmilieu (lucht, geluid, risico en sociale aspecten);
- ruimtegebruik;
- bereikbaarheid (congestie, verkeersveiligheid, afwikkeling);
- economie;
- kosten (aanleg- en onderhoudskosten).

Een nadeel van deze indeling is dat de criteriumgroepen moeilijk monetair te maken zijn, waardoor de criteriumgroepen onderling èn voor de verschillende varianten moeilijk tegen elkaar af te wegen zijn.

Omdat de 'nut en noodzaak'-discussie reeds achter de rug is (zie paragraaf 2.6), wordt er vanuit gegaan dat de verschillende kunstwerkvarianten op de criteriumgroep *bereikbaarheid* even goed scoren. De criteriumgroep *bereikbaarheid* is dus niet 'discri minerend' en vormt daarom geen aanvulling op de 'Zaltbommel-indeling'.

Daarnaast heeft deze indeling op basis van criteriumgroepen veel weg van de vorige indeling aan de hand van het maatschappelijke nut. Zo bestaat de criteriumgroep *woon- en leefmilieu* voor het grootste gedeelte uit macro-economische effecten die in de vorige indeling (zie paragraaf 2.6) niet 'discriminerend' werden geacht. Op grond hiervan mag verwacht worden dat de 'gehele' criteriumgroep *woon- en leefmilieu* niet 'discriminerend' is.

Ditzelfde geldt voor de criteriumgroep *economie*, omdat al de economische effecten uit de vorige indeling danwel niet 'discriminerend' zijn bevonden danwel 'redu-

ceerbaar' tot kostenelementen die reeds door de 'Zaltbommel-indeling' worden meegenomen. De criteriumgroep *economie* wordt dan ook niet 'discriminerend' geacht.

Van de overgebleven drie criteriumgroepen zijn er in vergelijking met de 'Zaltbommel-indeling' tot nu toe twee min of meer 'nieuw', namelijk: *natuurlijk milieu* en *ruimtegebruik*. Voor deze twee criteriumgroepen is vervolgens naar het 'discriminerend vermogen' gekeken.

De criteriumgroep *natuurlijk milieu* kan voor een kunstwerk worden vertaald in termen van kosten verbonden aan:

* bodemverontreiniging ter plaatse van het geplande kunstwerk;
* 'vernietiging' van bepaalde flora en fauna ten gevolge van de bouw van het kunstwerk, b.v. door grondwaterstandverlaging of door het bouwrijp maken;
* (het teniet doen van) verstoring van het landschap in zowel visueel (de zgn. horizonvervuiling) als fysiek opzicht. De éne brugvariant kan bv. meer peilers hebben dan de andere, waardoor de waterstroming meer wordt verstoord met alle neveneffecten voor de natuur van dien.

De kosten voor het opruimen van de bodemverontreiniging zijn onafhankelijk van de varianten, omdat het voor het opruimen van de bodemverontreiniging niet belangrijk is welke variant er uiteindelijk op de inmiddels schone grond zal worden gebouwd. De kosten voor het opruimen van de bodemverontreiniging zijn voor al de varianten dan ook gelijk en dus niet 'discriminerend'. Ditzelfde geldt voor de (maatschappelijke) kosten ten gevolge van vernietiging van bepaalde flora en fauna door de bouw van het kunstwerk. Immers welke variant uiteindelijk wordt gebouwd, maakt weinig uit voor de vernietiging van de flora en fauna op die plek. De kosten t.g.v. 'vernietiging' zijn niet 'discriminerend'.

Het teniet doen van verstoring van het landschap komt vrijwel overeen met het effect *doorsnijding landschap* uit de indeling aan de hand van het maatschappelijke nut in paragraaf 2.6. De kosten voor het teniet doen van de verstoring van het landschap zijn dus wel 'discriminerend', maar vormen door de reduceerbaarheid tot reeds 'bekende' kostenelementen geen aanvulling op de 'Zaltbommel-indeling'.

De criteriumgroep *ruimtegebruik* kan voor een kunstwerk worden vertaald in kosten voor het verwerven van de grond en maatschappelijke kosten:

- *grondverwervingskosten*: de ruimte in Nederland wordt hoe langer hoe meer een schaars goed. De meeste kosten zullen dan ook in het verwerven van de grond gaan zitten;
- *maatschappelijke kosten*: de kosten van een zgn. 'opportunity loss' gaat uiteindelijk ten koste van de maatschappij, immers de ruimte gepland voor een kunstwerk kan niet meer voor andere doeleinden worden gebruikt.

Het verwerven van de grond gebeurt in principe onafhankelijk van de kunstwerkvarianten, omdat het voor de verwerving van de grond niet belangrijk is welke variant er uiteindelijk op zal worden gebouwd. De grondverwervingskosten zijn voor al de

varianten dan ook gelijk en dus niet 'discriminerend'. Het zelfde geldt voor de maatschappelijke kosten gepaard gaande met het *ruimtegebruik*, omdat deze kosten gekoppeld zijn aan de grondverwervingskosten. Immers als de grond verworven is voor de bouw van een kunstwerk, kan zij niet meer voor andere doeleinden worden gebruikt (een 'opportunity loss'). De 'opportunity loss' is voor alle varianten even groot, dus niet 'discriminerend'.

Conclusie
Samenvattend kan worden geconcludeerd dat de indeling op basis van criteriumgroepen weliswaar twee aanvullende 'discriminerende' criteriumgroepen bezit (namelijk *natuurlijk milieu* en *ruimtegebruik*) t.o.v. de 'Zaltbommel-indeling', maar dat deze criteriumgroepen kunnen worden gereduceerd tot kostenelementen die al door de 'Zaltbommel-indeling' worden meegenomen. Daarnaast is ook deze indeling - door de moeilijker uitdrukbaarheid in geld - praktisch gezien minder geschikt als 'kapstok' voor de kostenelementen dan de huidige 'Zaltbommel-indeling'

Naast deze indeling van kosten op basis van criteriumgroepen bestaat er in de literatuur een indeling op basis van levensduurkosten, de zogenaamde Life-cycle costing-methode (LCC). Deze methode wordt in de volgende paragraaf besproken.

2.8 Indeling op basis van Life-cycle costing

De levensduurkosten, ook wel aangeduid met life-cycle costs, van een kunstwerk omvatten alle kosten die worden gemaakt vanaf de Initiatieffase tot en met de sloop in de beheerfase (zie ook paragraaf 2.2). De totale omvang van de levensduurkosten van een kunstwerk is vaak onduidelijk en moeilijk in te schatten. Voor de meeste kunstwerken zijn de totale kosten dan ook niet bekend. De levensduurkosten van kunstwerken kunnen grofweg in drie stukken worden opgedeeld [7]:

1. de stichtingskosten;
2. de exploitatiekosten en
3. de sloopkosten.

Als vierde element van 'life-cycle costing' worden in de literatuur de opbrengsten genoemd. De opbrengsten worden in dit onderzoek niet meegenomen, omdat zij voor de verschillende varianten min of meer gelijk worden verondersteld (zie paragraaf 1.5). Hierdoor vormen de opbrengsten geen 'discriminerend' afwegingscriterium tussen de varianten.

De voor de overige indelingen als referentie genomen 'Zaltbommel-indeling' (zie paragraaf 2.4) is in wezen gebaseerd op de LCC-methode. Deze indeling zal nu vergeleken worden met een andere LCC-indeling uit het afstudeerverslag 'Onderhoud: kunst- en vliegwerk' [7].

De drie onderscheiden 'stukken' worden hieronder nader toegelicht en onderverdeeld in voor dit onderzoek (meer) relevante kostenelementen.

2.8.1 Stichtingskosten

Onder de stichtingskosten van een kunstwerk worden de kosten verstaan die worden gemaakt vanaf de Initiatieffase tot het moment van in gebruikname van het kunstwerk. De gemaakte kosten zijn vaak uit diverse fondsen (b.v. het infrastructuurfonds) afkomstig, waardoor veelal niet één instantie is aan te wijzen die verantwoordelijk is voor alle gemaakte kosten. Voor veel kostenelementen is het dan ook vaak bijna ondoenlijk om de kosten qua hoogte en oorsprong te bepalen. Voor een kunstwerk zien de stichtingskosten er als volgt uit:

- *Voorbereidingskosten*
  Dit zijn alle kosten die worden gemaakt voordat daadwerkelijk met het echte ontwerpen van het kunstwerk kan worden begonnen. Hieronder vallen kosten voor het maken van: de algemene planning, in de toekomst wellicht een Duurzaamheids Effect Rapportage van een kunstwerk, etc.

- *Ontwerpkosten*
  De kosten die worden gemaakt voor het, al dan niet in eigen beheer, ontwerpen van (varianten van) het kunstwerk. Deze kosten worden binnen RWS ook wel aangeduid met 'engineering costs'.

- *Bouwkosten*
  Onder de bouwkosten worden alle kosten verstaan die worden gemaakt -vanaf de eerste schep in de grond tot en met de laatste bout- op het bouwterrein. Het betreft hier zowel de kosten voor materiaal, materieel en personeel als voor de diverse overige benodigdheden op het bouwterrein.

- *Milieukosten*
  Deze (compensatie)kosten worden gemaakt om negatieve externe effecten tijdens de aanleg (zoals aantasting van het milieu) te voorkomen c.q. teniet te doen, maar zijn in de praktijk (nog) weinig aan de orde.

In vergelijking met de 'Zaltbommel-indeling' tot nu toe levert het stuk 'stichtingskosten' van de levensduurkostenindeling twee 'nieuwe' kostenelementen op, te weten: *voorbereidingskosten* en *milieukosten*. De *voorbereidingskosten* worden onafhankelijk van de varianten gemaakt. Het maakt voor de voorbereidingskosten namelijk niet uit welke variant uiteindelijk de voorkeur krijgt, omdat de kosten hoe dan ook worden gemaakt. De *voorbereidingskosten* zijn voor al de varianten min of meer gelijk en daarom niet 'discriminerend'.

De *milieukosten* komen vrijwel overeen met de kosten van het effect *doorsnijding landschap* van de indeling aan de hand van het maatschappelijk nut (zie paragraaf 2.6). De *milieukosten* als onderdeel van de stichtingskosten zijn overeenkomstig het effect wel 'discriminerend', maar vormen door de reduceerbaarheid tot reeds 'bekende' kostenelementen geen aanvulling op de 'Zaltbommel-indeling'.

2.8.2 Exploitatiekosten

Tot de exploitatiekosten van een kunstwerk behoren alle kosten die worden gemaakt vanaf de oplevering tot de sloop van het kunstwerk. De exploitatiekosten van een

kunstwerk zijn verder opgebouwd uit de volgende kostenposten:

- *Beheerkosten*
  Onder beheerkosten vallen de kosten die worden veroorzaakt door het 'dagelijkse' gebruik van het kunstwerk (bv. de sluiswachter) en de indirecte kosten die worden gemaakt voor het onderhouden van de kunstwerken (bv. gebouwen, ondersteunend personeel, kantoormiddelen, etc.).

- *Inspectiekosten*
  Alle kosten die voortvloeien uit het nauwgezet schouwen, controleren en keuren van de kunstwerken. Dit omvat zowel de daadwerkelijke inspectiekosten -personeel en materieel- als wel de eventuele verwerking van de inspectieresultaten.

- *Onderhoudskosten*
  De onderhoudskosten omvatten alle kosten die moeten worden gemaakt om een kunstwerk in goede staat te houden c.q. terug te brengen. Ook alle kosten (van zowel materiaal, materieel als personeel) die moeten worden gemaakt voor het daadwerkelijk repareren c.q. renoveren van de kunstwerken vallen hieronder.

- *Aanpassingskosten*
  De kosten die gepaard gaan met het 'upgraden' van het kunstwerk, dat wil zeggen het kunstwerk aanpassen aan de veranderde eisen uit de maatschappij en/of geschikt maken voor toekomstige functievervullingen.

- *Afzettings- en omleidingskosten*
  Tijdens onderhoudswerkzaamheden wordt getracht het doorgaande verkeer zo min mogelijk te hinderen c.q. te stremmen. Het zorgdragen voor zo min mogelijk overlast voor zowel het verkeer als het onderhoudspersoneel brengt kosten met zich mee. Onder dit punt vallen onder andere: het plaatsen van tijdelijke bewegwijzering en verkeerregelinstallaties, het omleiden van verkeersstromen, etc.

- *Milieukosten*
  Dit zijn kosten die moeten worden gemaakt om te voorkomen dat tijdens de onderhoudswerkzaamheden schade wordt toegebracht aan het milieu of de omgeving. B.v. opvang van verfresten en grit bij het 'stralen' van stalen bruggen.

In vergelijking met de 'Zaltbommel-indeling' tot nu toe levert het stuk 'exploitatiekosten' van de levensduurkostenindeling drie 'nieuwe' kostenelementen op, te weten: *inspectiekosten, afzettings- en omleidingskosten* en wederom *milieukosten*.

De *inspectiekosten* zijn voor al de kunstwerkvarianten min of meer gelijk, omdat de inspectiefrequentie en de inspectiekosten (per kunstwerk per dag) volgens de onderbouwing van inspectiekosten in het rapport *Meerjaren Instandhoudingsplannen Kunstwerken gelegen in RW 27* hetzelfde zijn [26]. Althans voor de varianten binnen een bepaalde categorie kunstwerken (bv. bruggen of viaducten). De inspectiekosten zijn dan ook niet 'discriminerend'.

De *afzettings- en omleidingskosten* komen vrijwel overeen met de *maatschappelijke kosten t.g.v. files, veroorzaakt door reparatie- en onderhoudswerkzaamheden* in de 'Zaltbommel-indeling'. De *afzettings- en omleidingskosten* zijn dus weliswaar 'discrimineren', maar worden al meegenomen in de 'Zaltbommel-indeling'.

De *milieukosten* zijn 'discriminerend, omdat de onderhoudswerkzaamheden en de frequentie daarvan per variant kunnen verschillen. Hierdoor verschillen ook de daarmee samenhangende kosten die moeten worden gemaakt om schade aan het milieu te voorkomen. De *milieukosten* als onderdeel van de exploitatiekosten vormen dus een aanvulling op de 'Zaltbommel-indeling'.

2.8.3 Sloopkosten

Aan het einde van de levensduur zal het betreffende kunstwerk weer moeten worden verwijderd om plaats te maken voor een nieuw kunstwerk of voor een geheel ander doel. Voorkomen dient te worden dat er op korte termijn voor de sloop van een kunstwerk nog, niet strikt noodzakelijke, onderhoudswerkzaamheden plaatsvinden. De sloopkosten van een kunstwerk kunnen zijn opgebouwd uit de volgende kostenposten:

- *Demontagekosten*
  De kosten (van zowel materiaal, materieel als personeel) die gepaard gaan met het daadwerkelijk demonteren c.q. slopen van (constructiedelen van) het kunstwerk, zowel personeel als materieel.

- *Afzettings- en omleidingskosten*
  Tijdens de sloopwerkzaamheden wordt getracht het doorgaande verkeer zo min mogelijk te hinderen c.q. te stremmen. Het zorgdragen voor zo min mogelijk overlast voor zowel het verkeer als het slooppersoneel brengt kosten met zich mee. Onder dit punt vallen onder andere: het plaatsen van tijdelijke bewegwijzering en verkeerregelinstallaties, het omleiden van verkeersstromen, etc.

- *Milieukosten*
  Dit zijn kosten die moeten worden gemaakt om te voorkomen dat tijdens de sloopwerkzaamheden schade wordt toegebracht aan het milieu of de omgeving. B.v. opvang van vrijkomende schadelijke sloopresten.

In vergelijking met de 'Zaltbommel-indeling' tot nu toe levert het stuk 'sloopkosten' van de levensduurkostenindeling slechts één 'nieuwe' kostenelement op, te weten: *milieukosten*.

De *milieukosten* zijn 'discriminerend, omdat de sloopwerkzaamheden per variant kunnen verschillen. Hierdoor verschillen ook de daarmee samenhangende kosten die moeten worden gemaakt om schade aan het milieu te voorkomen. De *milieukosten* als onderdeel van de sloopkosten vormen dus een aanvulling op de 'Zaltbommel-indeling'.

Conclusie

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat de levensduurkostenindeling twee of eigenlijk één aanvullende 'discriminerende' criteriumgroep bezit t.o.v. de 'Zaltbom-

mel-indeling' (namelijk de *milieukosten* als onderdeel van zowel de exploitatie- als sloopkosten). Voor het overige geldt dat deze indeling niet zo gek veel verschilt van de 'Zaltbommel-indeling'.

In de volgende paragraaf worden alle resultaten uit de vorige paragrafen van de vergelijking tussen de verschillende (kosten)indelingen en de 'Zaltbommel-indeling' nog eens op een rij gezet.

2.9 Resultaten van de vergelijkingen

In de vorige paragrafen is steeds een (kosten)indeling vergeleken met de 'Zaltbommel-indeling'. Deze vergelijking had tot doel enerzijds te kijken of deze indelingen in vergelijking met de 'Zaltbommel-indeling' beter bruikbaar zijn en anderzijds of deze indelingen aanvullende 'discriminerende' (kosten)elementen bezitten.

Kort samengevat zijn de (kosten)indelingen t.o.v. de 'Zaltbommel-indeling' vergeleken op de volgende door RWS gestelde criteria:

* *integraal beeld*
  de (kosten)indeling moet een integraal beeld (in de tijd) geven van de voor het kunstwerk relevante (kosten)elementen. De mate van integraliteit wordt bepaald door de compleetheid van het beeld van de kosten gedurende de verschillende fasen (zie paragraaf 2.2) in het leven van een kunstwerk;

* *monetair uitdrukbaar*
  de mate waarin een kostenindeling in staat is de (kosten)elementen op een monetaire manier weer te geven. Dit wordt bepaald door het aantal in geld uitdrukbare (kosten)elementen binnen de indeling;

* *'discriminerend' vermogen*
  met 'discriminerende' vermogen wordt hier het vermogen bedoeld van kostenelementen zich te onderscheiden door per variant qua grootte te verschillen. Doordat de varianten op deze 'discriminerende' kostenelementen verschillend 'scoren' is een voorkeursvolgorde aan te geven.

De (kosten)indelingen zijn beoordeeld op alle drie de criteria, de (kosten)elementen alleen op de laatste twee criteria. Eerst is de 'Zaltbommel-indeling' met haar kostenelementen beoordeeld en vervolgens de andere (kosten)indelingen op 'nieuwe', eventueel aanvullende (kosten)elementen. Met behulp van de scorekaart-methode[1] zijn deze resultaten nog eens op een rij gezet (zie tabel 2.1).

---

1 De scorekaart-methode is te beschouwen als een presentatiemiddel, waarmee op overzichtelijke wijze een indruk kan worden gegeven van de voor- en nadelen van de in het geding zijnde alternatieven. Per aspect of voor alle aspecten tezamen wordt een effectenoverzicht opgesteld. In dit overzicht worden voor de onderzochte alternatieven de scores per criterium opgenomen. Na het totstandkomen van het effectenoverzicht wordt per criterium de rangorde van de alternatieven aangegeven met behulp van verschillende kleuren, arceringen, enz [24].

Criterium Indeling o.b.v./ element	Inte-graal beeld	Monetaire uitdruk-baarheid	'Discri-minerend' vermogen	Opmerkingen
'Zaltbommel-indeling'	+	+	+	Referentie-indeling
aanneemsom		+	+	
onderhoudskosten		+	+	
beheerkosten		+	+	
engineerings- en toezichtkosten		+	+	
aanpassingskosten		+	+	
sloopkosten en restwaarde		+	+	
rijksleveringen		+	+	
maatschappelijke kosten		+	+	
Categorieën	-	+	-	geen 'nieuwe' elementen
Functionele gebieden	0	+	0	
research & development-kosten		+	-	
marketingkosten		+	-	
distributiekosten		n.v.t.	n.v.t.	distributie van k.w. komt niet voor als zodanig
Maatschappelijk nut	+	0	+	
plankosten		+	-	
betrouwbaarheid		-	+	reduceerbaar tot 'bestaan de' kostenelementen
verkeersveiligheid		-	+	idem
doorsnijding landschap		-	+	idem
Criteriumgroepen	+	-	+	
natuurlijk milieu		-	+/-	reduceerbaar tot 'bestaan de' kostenelementen
ruimtegebruik		-	-	
Lifecycle costing	+	+	+	
voorbereidingskosten		+	-	
milieukosten (stichtingsk.-deel)		+	+	zie doorsnijding landschap
inspectiekosten		+	-	
afzettings- en omleidingskosten		+	+	zie maatschappelijke kost.

Criterium Indeling o.b.v./ element	Inte-graal beeld	Monetaire uitdruk-baarheid	'Discri-minerend' vermogen	Opmerkingen
milieukosten (exploitatiek.-deel)		+	+	aanvullend
milieukosten (sloopk.-deel)		+	+	aanvullend

Tabel 2.1 *Scorecardresultaten van de kostenindelingen*

Hierin betekent:
+ : positieve score 0 : neutrale score - : negatieve score
+/- : sommige kostenelementen van het 'gereduceerde' element scoren positief en andere negatief

Conclusies
Uit de resultaten in de tabel kunnen de volgende conclusies worden getrokken:
- De 'Zaltbommel-indeling', zijnde een levensduurkostenindeling, voldoet van de behandelde (kosten)indelingen het beste als 'kapstok' om de 'discriminerende' kostenelementen aan op te hangen;
- Aan de 'Zaltbommel-indeling' kan nog één aanvullend, 'discriminerend' kostenelement worden toegevoegd, namelijk milieukosten. Deze milieukosten zijn verschillend voor de onderscheiden 'stukken' waaruit de levensduurkosten bestaan;
- De overige 'discriminerende' (kosten)elementen kunnen worden gereduceerd tot kostenelementen die reeds door de 'Zaltbommel-indeling' worden meegenomen en bezitten daardoor geen aanvullende meerwaarde.

2.10 Slotconclusie

Aan het einde gekomen van dit hoofdstuk kunnen de volgende slotconclusies worden getrokken:

- het onderscheid in kosten tussen *direct/indirect, variabel/vast* en *tangible/ intangible* is voor de doelstelling van dit onderzoek niet relevant;
- de 'Zaltbommel-indeling', aangevuld met *milieukosten*, voldoet van de behandelde (kosten)indelingen het beste als 'kapstok' om de 'discriminerende' kostenelementen aan op te hangen;
- de meeste elementen uit andersoortige indelingen kunnen worden vertaald naar 'bestaande' kostenelementen, die reeds door de 'Zaltbommel-indeling' worden meegenomen.

In het volgende hoofdstuk wordt op basis van de 'Zaltbommel-indeling' aangevuld met 'milieukosten' een 'nieuwe' integrale indeling opgesteld. Ook de fase-indeling uit paragraaf 2.2 wordt daarbij betrokken.

3 Belang van de kostenelementen

3.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk is gedeeltelijk een antwoord gegeven op de eerste onderzoeksvraag, namelijk welke kosten(elementen) van belang zijn bij het beoordelen van (voor)ontwerpen van kunstwerken in de (voor)studiefase. In dit hoofdstuk wordt de eerste onderzoeksvraag verder beantwoord door per 'discriminerend' kostenelement het belang van dit kostenelement t.o.v. de overige kostenelementen aan te geven. Hiertoe wordt eerst met behulp van de resultaten uit het vorige hoofdstuk een 'nieuw' integraal kostenindelingsmodel gebouwd. In paragraaf 3.2 wordt dit 'nieuwe' integrale kostenindelingsmodel besproken. Om een indruk van het belang van de kostenelementen in dit 'nieuwe' integrale kostenindelingsmodel te krijgen, worden de kostenelementen vervolgens één voor één qua grootte geschat (paragraaf 3.3 en 3.4). De resultaten hiervan worden in paragraaf 3.5 op een rij gezet en geverifieerd met de percentages van kostprijsafdelingen binnen de Bouwdienst. Het hoofdstuk wordt afgesloten met conclusies (paragraaf 3.6).

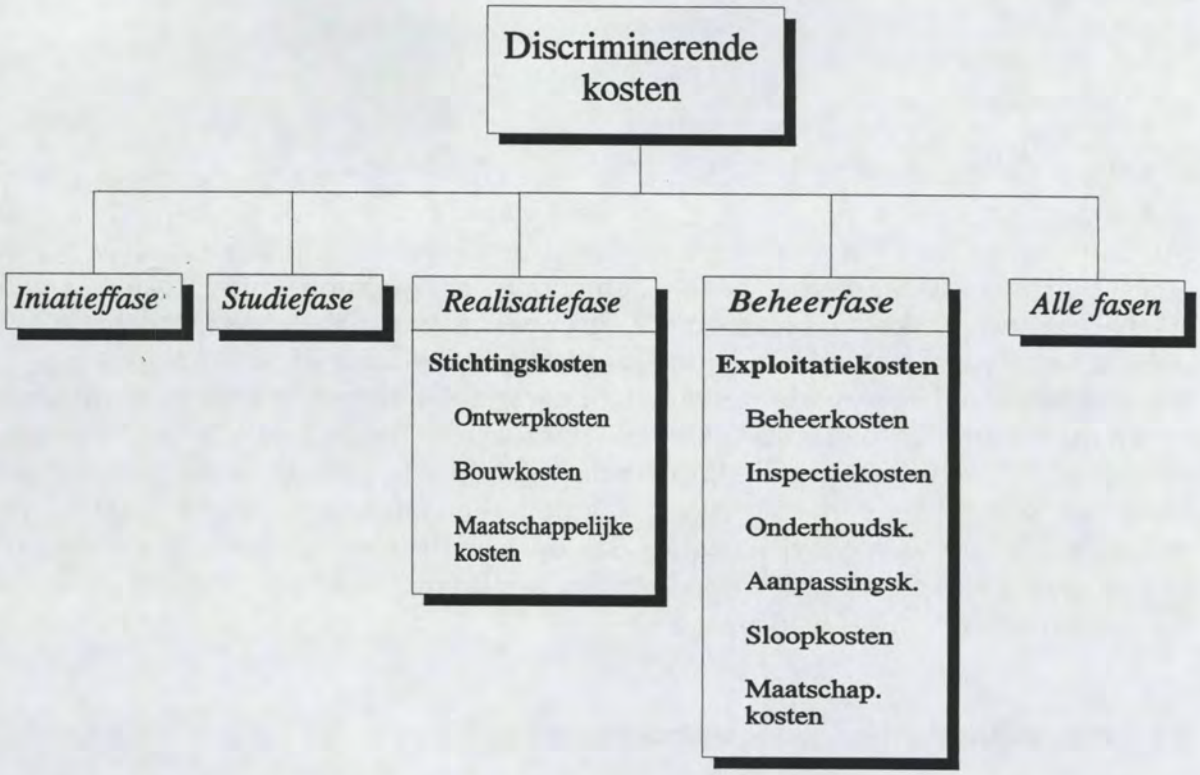
3.2 Het 'nieuwe' integrale kostenindelingsmodel

Als uitgangspunt voor de 'nieuwe' integrale kostenindeling is de 'Zaltbommel-indeling' genomen aangevuld met milieukosten. Deze milieukosten zijn per onderscheiden 'stuk' levensduurkosten verschillend. Omdat 'stuk van de levensduur' een betrekkelijk vaag begrip is, wordt bij de 'nieuwe' integrale indeling uitgegaan van de fase-indeling uit paragraaf 2.2. Door deze verandering sluit het 'nieuwe' integrale kostenindelingsmodel beter aan bij de bestaande fasering zoals die door RWS wordt gehanteerd. Het blijkt dan dat alle 'discriminerende' kostenelementen zich in de *realisatiefase* (het vroegere stichtings-'stuk') en *beheerfase* (het vroegere exploitatie-'stuk' en sloop-'stuk') bevinden. De overige twee fasen met de niet 'discriminerende' kostenelementen worden dan ook verder buiten beschouwing gelaten.

Omwille van de duidelijkheid en uniformiteit per fase worden de 'milieukosten' omgedoopt in 'maatschappelijke kosten' (de term uit de 'Zaltbommel-indeling'). De intentie van de 'maatschappelijke kosten' in de stichtingsfase komt immers overeen met die van de 'milieukosten' in de exploitatie- en sloopfase. In de 'nieuwe' integrale kostenindeling worden deze 'maatschappelijke kosten' per fase meegenomen.

Opgemerkt wordt dat de term 'integrale' wellicht wat verwarrend is, omdat niet alle kostenelementen worden meegenomen maar alleen de 'discriminerende' kostenelementen. Het uiteindelijke doel van dit onderzoek is namelijk varianten tegen elkaar af te wegen op basis van hun verschillende 'score' op de 'discriminerende' kostenelementen en dus niet op basis van hun totale kosten.

Het 'nieuwe' integrale kostenindelingsmodel ziet er als volgt uit (zie figuur 3.1):



Figuur 3.1 *Het nieuwe integrale kostenindelingsmodel.*

Realisatiefase

De kosten die deze fase met zich meebrengt worden de stichtingskosten genoemd. De ***stichtingskosten*** zijn verder opgebouwd uit ontwerpkosten, bouwkosten en maatschappelijke kosten.

De *ontwerpkosten* zijn de kosten die worden gemaakt voor het maken van de planstudie, het, al dan niet in eigen beheer, ontwerpen van het kunstwerk en het voeren van directie en toezicht. Deze kosten worden ook wel aangeduid met 'engineering costs'en worden in het algemeen voor een deel door de regionale directies 'uitbesteed' aan de Bouwdienst. De Bouwdienst op haar beurt kan ook weer (een deel van) de 'engineering' uitbesteden aan derden (ingenieursbureau's, etc).

Onder de *bouwkosten* worden alle kosten verstaan die worden gemaakt -vanaf de eerste schep in de grond tot en met de laatste bout- op het bouwterrein. Het betreft hier zowel de kosten voor personeel als voor materialen als voor de diverse overige benodigdheden op het bouwterrein. De kosten worden door een ingeschakelde aannemer gemaakt, die deze op zijn beurt per fase declareert bij de regionale directie of de Bouwdienst (als deze het budget van een regionale directie voor een kunstwerk 'overneemt').

De *maatschappelijke kosten* bestaan uit (compensatie)kosten om aantasting van het milieu te voorkomen tijdens de bouw. Deze kosten zijn in de praktijk (nog) weinig aan de orde en komen meestal voor rekening van de maatschappij.

Beheerfase
Het gerealiseerde kunstwerk wordt in gebruik genomen, nazorg, beheer en onderhoud zijn hier de belangrijkste activiteiten. Dit brengt kosten met zich mee, de zgn. exploitatiekosten. De ***exploitatiekosten*** zijn verder opgebouwd uit beheerkosten, onderhoudskosten, aanpassingskosten, sloopkosten en maatschappelijke kosten.

Onder de *beheerskosten* vallen de kosten die worden veroorzaakt door het 'dagelijkse' gebruik van het kunstwerk (bv. de sluiswachter) en de indirecte kosten die gemaakt worden voor het onderhouden van de kunstwerken (bv. gebouwen, ondersteunend personeel, kantoormiddelen, etc.). Deze kosten worden vooral gemaakt door de dienstkringen, die over het uiteindelijke beheer van de kunstwerken gaan.

De *onderhoudskosten* omvatten alle kosten die moeten worden gemaakt om een kunstwerk in functionele staat te houden c.q. terug te brengen. Ook alle kosten die moeten worden gemaakt voor het daadwerkelijk repareren c.q. renoveren van de kunstwerken vallen hieronder. Dit omvat wederom zowel de personele als de materiele kosten. De (door aannemers gemaakte) kosten komen voor rekening van de regionale directie.

Tijdens het bestaan van het kunstwerk kan de functie of het doel ervan veranderen c.q. worden uitgebreid ten gevolge van veranderende eisen of inzichten in de maatschappij. Onder de *aanpassingskosten* worden dan ook alle kosten verstaan die gepaard gaan met dit 'upgraden' van het kunstwerk, dat wil zeggen het kunstwerk geschikt maken voor toekomstige functievervullingen. Deze (door de aannemers gemaakte) kosten komen ook voor rekening van de regionale directie.

Als de aanpassingskosten niet (meer) opwegen tegen het (geheel) vervangen van het kunstwerk of aan het einde van de economische danwel technische levensduur van het kunstwerk, zal het oude kunstwerk worden gesloopt. De *sloopkosten* zijn alle kosten die moeten worden gemaakt voor het demonteren, afbreken en verwijderen van het betreffende kunstwerk. De (door de slopers gemaakte) kosten komen wederom voor rekening van de regionale directies.

De *maatschappelijke kosten* zijn de kosten die de maatschappij moet maken wanneer als gevolg van het falen of onderhouden van een onderdeel een beheersobject (hier een kunstwerk) functieverlies/-beperking kent [27].Te denken valt wederom aan file- en omrijdingskosten. Daarnaast bestaan de maatschappelijke kosten uit (compensatie)kosten om aantasting van het milieu te voorkomen tijdens de exploitatie. Deze kosten zijn in de praktijk (nog) weinig aan de orde.

Om het belang van de 'discriminerende' kostenelementen in het 'nieuwe' integrale kostenindelingsmodel vast te stellen, wordt in de volgende paragrafen de grootte van de kostenelementen geschat t.o.v. de referentiekosten. Als referentiekosten worden de bouwkosten (bouwsom) van een kunstwerk genomen, omdat deze kosten het grootste kostenelement vormen en vaak aan de basis van kostenramingen staan (zie ook hoofdstuk 4). Verwacht wordt dat de onderhoudskosten na de bouwkosten het grootste kostenelement zullen zijn, gevolgd door de sloopkosten. De maatschappelijke kosten zullen relatief gering zijn.

Om niet te verzanden in te algemene schattingen (die weliswaar voor alle kunstwerken geldig zijn, maar voor een specifieke categorie kunstwerken te globaal zijn om zich te onderscheiden van de overige categorieën) worden als uitgangspunt

voor deze exercitie de kosten van een nieuw te bouwen betonnen, niet beweegbare brug genomen (bestaande uit één kunstwerkdeel). De keuze voor bruggen (c.q. viaducten) berust op het feit dat de meeste kunstwerken (zo'n 90%) bruggen of viaducten zijn. Daarnaast heeft DI in Utrecht de meeste gegevens beschikbaar over betonnen (niet beweegbare) bruggen en viaducten.

De fictieve brug heeft een lengte van 125 m en een breedte van 40 m (oppervlakte van ca. 5.000 m^2) en is daarmee relatief groot. Voor de brug wordt een economische levensduur van 50 jaar aangehouden. De reden hiervoor is dat een kunstwerk na ca. 50 jaar veelal wordt aangepast of gesloopt, waardoor een nieuwe situatie ontstaat.

Opgemerkt wordt dat de percentages van de kostenelementen voor de fictieve brug alleen voor overeenkomstige bruggen (en waarschijnlijk ook overeenkomstige viaducten) kunnen worden gebruikt en dus **niet** voor alle bruggen (en viaducten). Aanbevolen wordt dergelijke exercities ook voor deze andere typen kunstwerken uit te voeren.

3.3 Schatting stichtingskosten

De *stichtingskosten* zijn de kosten die gepaard gaan met het ontwerpen en daadwerke lijk bouwen van het kunstwerk. De kosten zijn verder opgebouwd uit ontwerpkosten, bouwkosten en maatschappelijke kosten.

3.3.1 Schatting ontwerpkosten

De *ontwerpkosten* zijn de kosten die worden gemaakt voor het maken van de planstu die, het ontwerpen van de brug (al dan niet in eigen beheer) en het voeren van directie en toezicht. Deze kosten worden ook wel aangeduid met 'engineering' in *Werk in uitvoering* [9].

Voor wat betreft de kosten voor het ontwerp en het maken van de planstudie wordt in het definitieve rapport 'Raming engineeringskosten voor bruggenprojekten' [31] op basis van een analyse van 35 opgeleverde projecten geconcludeerd , dat de best mogelijke benadering van de 'engineering'skosten (= ontwerpkosten) van een integraal bruggen-project voor dit moment (eind 1996) wordt weergegeven door de volgende formules:

Voor bruggen met bouwsommen *kleiner* of *gelijk aan f* 14 miljoen:

engineering als *percentage van de bouwsom* = $$8{,}6 \times \sqrt{\frac{14}{B + 0{,}25}}$$

Hierin staat de 'B' voor de Bouwsom in miljoen guldens exclusief BTW, oftewel de aanneemsom plus eventueel ter beschikking gestelde materialen.

Voor bruggen met bouwsommen *groter dan f* 14 miljoen:

engineering als *percentage van de bouwsom* = 8,6%

Daar in dit onderzoek (voor de casestudie) wordt uitgegaan van de grotere bruggenprojecten (meer dan 14 miljoen), mag voor de ontwerpkosten een percentage van 8,6% van de bouwsom worden aangehouden met een standaardafwijking van ± 40%. Zie ook bijlage I.

Voor wat betreft de kosten voor het voeren van 'directie en toezicht' wordt in hetzelfde rapport [31] op basis van een analyse van 23 opgeleverde projecten geconcludeerd dat de best mogelijke benadering voor de kosten van 'directie en toezicht' (D+T) op dit moment de volgende is:

Voor bruggen met bouwsommen *kleiner* of *gelijk aan f* 8 miljoen:

D + T als *percentage van de bouwsom* = 7,2 x (1,7 - 0,09B)

Hierin staat de 'B' wederom voor de Bouwsom in miljoen guldens exclusief BTW, oftewel de aanneemsom plus eventueel ter beschikking gestelde materialen.

Voor bruggen met bouwsommen *groter dan f* 8 miljoen:

D + T als *percentage van de bouwsom* = 7,2%

Daar in dit onderzoek wordt uitgegaan van de grotere bruggenprojecten (meer dan 8 miljoen), mag voor 'directie en toezicht' een percentage van 7,2% van de bouwsom worden aangehouden met een standaardafwijking van ± 35%. Zie ook bijlage I.

Concluderend kan worden gesteld dat voor de totale ontwerpkosten het beste een percentage van 15,8% (= 8,6% + 7,2%) van de bouwsom kan worden genomen met een spreiding van rond de 40%.

3.3.2 Schatting bouwkosten

Onder de *bouwkosten* worden alle kosten verstaan die worden gemaakt -vanaf de eerste schep in de grond tot en met de laatste bout- op het bouwterrein. Het betreft hier zowel de kosten voor personeel als voor materialen als voor de diverse overige benodigdheden op het bouwterrein. De bouwkosten worden ook wel bouwsom genoemd. Voor dit onderzoek worden de bouwkosten voor het gemak op 100% gesteld, omdat zij als referentiekosten fungeert voor de andere kostenelementen.

3.3.3 Schatting maatschappelijke kosten

De *maatschappelijke kosten* bestaan uit (compensatie)kosten om aantasting van het milieu te voorkomen tijdens de bouw. Deze kosten zijn in de praktijk (nog) weinig aan de orde en komen meestal voor rekening van de maatschappij.

Bij de (compensatie)kosten kan worden gedacht aan faunavoorzieningen (zoals wildopeningen) bij het ontwerpen van een brug , zoals nu in een enkel geval gebeurt. Hiertoe wordt een brug wat verlengd, zodat er (aan weerszijden) dieren onder door kunnen. Over de grootte van de kosten van dit soort aanpassingen is in de praktijk nog weinig bekend. Een indicatie van deze kosten kan worden gegeven door de aanpassingskosten van het brug te berekenen. De kosten voor een nieuwe brug bedragen ca. *f* 3.000,-/m^2. Een verlenging van ca. 2 m toegepast op de fictieve brug bij een breedte van 40 m kost *f* 240.000,-. Op een totale bouwsom van *f* 15 miljoen voor de gehele brug (5.000 m^2) betekent dit een percentage van ongeveer 1,6%.

Voor de totale maatschappelijke kosten lijkt op grond van het bovenstaande een percentage van 2% (± 30%) redelijk.

Opgemerkt wordt verder nog dat het Centrum voor Milieustudies in Leiden (CML) bezig is met het ontwikkelen van LCA-methodes om deze kosten mee te nemen. Voor dit onderzoek waren daarvan echter nog geen bruikbare methoden voor handen.

3.4 Schatting exploitatiekosten

De gerealiseerde brug wordt in gebruik genomen, nazorg, beheer en onderhoud zijn hier de belangrijkste activiteiten. Dit brengt kosten met zich mee, de zgn. exploitatiekosten. De *exploitatiekosten* zijn verder opgebouwd uit beheerkosten, onderhoudskosten, aanpassings- en sloopkosten en maatschappelijke kosten. Opgemerkt wordt dat de beheerkosten, onderhoudskosten en de maatschappelijke kosten **niet** éénmalig zijn, maar **jaarlijks** worden gemaakt. Deze kosten worden daarom voor de economische levensduur van 50 jaar geschat. Het percentage heeft dus betrekking op de verdisconteerd kosten gedurende 50 jaar t.o.v. de bouwsom. Als discontovoet wordt een percentage van 4% genomen (zie ook paragraaf 4.6).

3.4.1 Schatting beheerkosten

Onder de *beheerskosten* vallen de kosten die worden veroorzaakt door het 'dagelijkse' gebruik van de brug en de indirecte kosten die moeten worden gemaakt voor het onderhouden van de brug (bv. ondersteunend personeel, kantoormiddelen, etc.). Een telefonische enquête onder vijf dienstkringen leverde een schatting van de beheerkosten van gemiddeld 2 à 3.000 gulden per jaar per kunstwerk op. De fictieve brug is niet beweegbaar en heeft daardoor geen bedieningskosten. Voor de beheerkosten van de fictieve brug wordt daarom 2.000 gulden per jaar genomen. De totale verdisconteerde beheerkosten bedragen dan: *f* 43.000,- voor 50 jaar (zie bijlage III). T.o.v. de bouwsom van 15 miljoen gulden van de fictieve brug (zie paragraaf 3.3.3), betekent dit een percentage van 0,30% (± 40%) voor 50 jaar. Voor de Zaltbommelbrug (zie paragraaf 6.6.2) bedraagt het percentage beheerkosten 1,6% voor 75 jaar. Een percentage van rond de 1% (± 40%) voor de beheerkosten (voor 50 jaar) is het meest reëel.

3.4.2 Schatting onderhoudskosten

De *onderhoudskosten* omvatten alle kosten die moeten worden gemaakt om de brug in goede staat te houden c.q. terug te brengen. Ook reparatie- en renovatiekosten van de brug vallen hieronder. Het percentage *vaste* onderhoudskosten bedraagt voor de

fictieve brug voor 50 jaar 0,43% (± 40%). Voor de *variabele* onderhoudskosten varieert het percentage tussen de 3,3 en 10,7% voor 50 jaar. Het percentage vaste onderhoudskosten valt in het niet bij die van de variabele onderhoudskosten. Voor de totale (variabel en vast) onderhoudskosten lijkt een gemiddeld percentage van 7% (±40%) voor 50 jaar de beste keuze. Zie bijlage III voor meer informatie.

3.4.3 Schatting aanpassingskosten

De *aanpassingskosten* zijn alle kosten die gepaard gaan met het 'upgraden' van de brug. Van aanpassingskosten zijn weinig gegevens bekend. Vaak gaat het om een ad hoc-afweging tussen renovatie of sloop. Veelal wordt de aanpassing gecombineerd uitgevoerd met onderhoud aan de brug , zodat vertroebeling van de grootte optreedt. Het is daarom beter de aanpassingskosten als een soort vorm van éénmalig 'groot' onderhoud te beschouwen.

In bijlage IV worden een aantal aanpassingsscenario's besproken. Afhankelijk van de grootte van de verbreding dan wel verlenging varieert het percentage verdisconteerde aanpassingskosten van 0,17 tot 0,33%. Het werkelijke percentage zal eerder hoger dan lager zijn. Een percentage van 0,3% (±50%) lijkt dan ook niet onredelijk voor de aanpassingskosten.

3.4.4 Schatting sloopkosten

De *sloopkosten* bestaan uit éénmalige kosten voor het demonteren, afbreken en verwijderen van de fictieve brug. Dit zal veelal gebeuren als aanpassen vanuit economisch opzicht geen nut meer heeft. Het slopen van een brug kost (volgens DIBK) ca. *f* 450,-/m^2. Omdat deze kosten pas rond het einde van de economische levensduur worden gemaakt, zijn deze kosten verdisconteerd: *f* 65,- (in het vijftigste 'levensjaar'). In het rapport 'Olifanten en dino's' [30] worden voor een brug vervangingswaarden aangegeven variërend van *f* 5.000,-/m^2 (voor brugoppervlakken kleiner dan 100 m^2) tot *f* 2.200,-/m^2 (voor brugoppervlakken groter dan 5.000 m^2). De fictieve brug valt in deze laatste categorie, hetgeen betekent dat het percentage sloopkosten 3% (± 30%) bedraagt.

3.4.5 Schatting maatschappelijke kosten

De *maatschappelijke kosten* zijn de kosten die de maatschappij moet maken wanneer als gevolg van het falen of onderhouden van een onderdeel een beheersobject (hier een kunstwerk) functieverlies/-beperking kent [27].Te denken valt aan file- en omrijdingskosten.

De Adviesdienst voor Verkeer & Vervoer is bezig met het opstellen van een model voor de bepaling van de economische kosten van wegafzettingen. Dit model was ten tijde van dit onderzoek echter nog niet beschikbaar. Ook het PBOK heeft modellen opgesteld om te berekenen wat de maatschappelijke kosten zijn als een kunstwerk faalt. Zij heeft daartoe een 12-tal situaties onderkend (zie [27]). De modellen vergen echter te veel gedetailleerde informatie, die in de studiefase nog niet bekend zijn. Zodoende zijn deze modellen onbruikbaar voor dit onderzoek.

In 'Eindrapport keuzeproblematiek Zaltbommel' [2] staat wel een bruikbaar 'model' voor maatschappelijke kosten t.g.v. stremmingen bij onderhoudswerkzaam heden. In bijlage II zijn deze kosten geschat voor de fictieve brug. Tijdens de

beheerfase bedragen de maatschappelijke kosten voor 50 jaar, gemiddeld 20% (± 50%).

Daarnaast bestaan de maatschappelijke kosten uit (compensatie)kosten om aantasting van het milieu te voorkomen tijdens de exploitatie. Deze kosten zijn in de praktijk (nog) weinig aan de orde en worden hier verder verwaarloosd t.o.v. de stremmingskosten.

3.5 Resultaten en conclusies

De resultaten van de vorige paragrafen zijn in tabel 3.1 nog eens op een rij gezet. In de eerste kolom staan de 'discriminerende' kostenelementen per fase. De geschatte percentages van deze kostenelementen staan in kolom twee en de erbij behorende nauwkeurigheid in de derde kolom. Ter verifiëring zijn de 'discriminerende' kostenelementen voorgelegd aan de afdeling kostprijszaken van droge infrastructuur (DIBK) en aan het steunpunt opdrachtgeverschap van projecten & diensten (PDS) met het verzoek een schatting van de grootte te geven. Deze percentages staan respectievelijk in de vierde en vijfde kolom. In de laatste kolom staan genormaliseerde percentages, d.w.z. het totaal aan 'discriminerende' kostenpercentages vormt cumulatief 100%. Hierdoor ontstaat een beter inzicht in de onderlinge groottes en verhoudingen.

Opgemerkt wordt dat onderstaande percentages **niet** representatief zijn voor alle soorten bruggen en viaducten, doch slechts voor betonnen, vaste bruggen.

Kostenelementen per fase	Percentage uit onderz.	Nauwkeurigheid percent.	Percentage DIBK	Percentage PDS	Genorm. percent.
Realisatiefase					
Ontwerpkosten	15,8%	± 40%	5 - 25%	17%	10,7%
Bouwkosten	100%	± 20%	100%	100%	67%
Maatschap. kosten	2%	± 30%		0,7%	1,3%
Beheerfase					
Beheerkosten	1%	± 40%		0,5-1,0%	0,7%
Onderhoudskosten	7%	± 40%	10 - 23%[2]	6,5%	4,7%
Aanpassingskosten	0,3%	± 40%		ad hoc	0,2%
Sloopkosten	3%	± 30%		7%	2,0%
Maatschap. kosten	20%	± 50%	10 - 30%	7%	13,4%

Tabel 3.1 *Resultaten geschatte percentages van de 'discriminerende' kostenelementen t.o.v. de bouwkosten voor betonnen, vaste bruggen.*

[2] Deze percentages zijn inclusief inspectiekosten.

Conclusies
Uit de tabel kunnen de volgende conclusies worden getrokken:
- De bouwkosten vormen conform verwachting het grootste kostenelement. Na de bouwkosten komen in rangorde van grootte de maatschappelijke kosten (in de beheerfase), ontwerpkosten en dan pas de onderhoudskosten. Dit laatste is niet conform de verwachting;
- De maatschappelijke kosten vormen tegen de verwachting in een bijzonder grote post. Waarschijnlijk zijn de kosten overtrokken, doordat het gebruikte model nog teveel gebruik moet maken van aannamen. Betere modellen zijn op het moment echter (nog) niet beschikbaar;
- De aanpassingskosten vormen een vrij klein kostenelement, hetgeen kan worden verklaard door het disconteringseffect: kosten die pas in de 'verre' toekomst worden gemaakt, lijken door het disconteren naar het jaar van aanleg/investering onevenredig 'klein' geworden.

3.6 Eindconclusies

Aan het einde gekomen van dit hoofdstuk kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Het belang van de bouwkosten, ontwerpkosten, onderhoudskosten en maatschappelijke kosten is bij de afweging van varianten het grootste. Omdat de betrouwbaarheid van de maatschappelijke kosten echter te wensen overlaat, wordt in de volgende hoofdstukken in eerste instantie verder gegaan met de 'stichtingskosten' (ontwerp- en bouwkosten) en de onderhoudskosten;
- De maatschappelijke kosten in de vorm van compensatiekosten tegen aantasting van het milieu zijn moeilijk te schatten.

Aanbevolen wordt nader onderzoek te verrichten naar de maatschappelijke kosten t.g.v. stremmingen door onderhoudswerkzaamheden om een beter beeld van de 'werkelijke' grootte te krijgen. Daarnaast moet worden bekeken of deze kosten daadwerkelijk 'discriminerend' zijn of dat ze voor de verschillende soorten bruggen (en viaducten) vrijwel hetzelfde zijn.

In het volgende hoofdstuk worden ramingsmethodieken behandeld om de 'stichtingskosten' en onderhoudskosten te ramen.

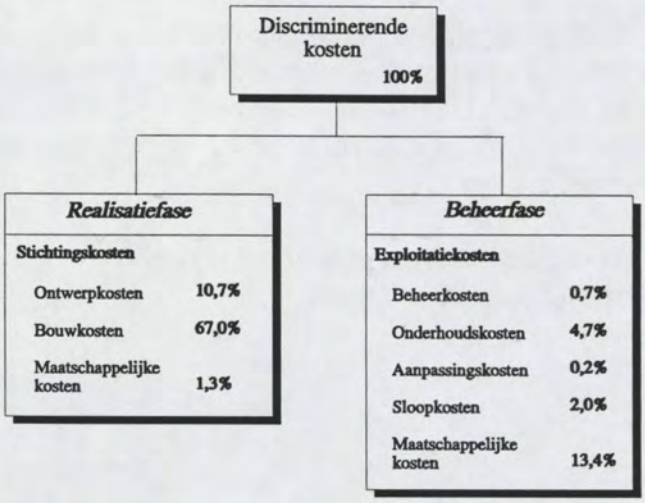
4 Het ramen van de belangrijkste kostenelementen

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk staat de beantwoording van de tweede onderzoeksvraag centraal, namelijk hoe de kosten(elementen) van (voor)ontwerpen voor kunstwerken zijn te ramen en welke rol discontering daar eventueel bijspeelt. Hiertoe worden eerst de resultaten van de voorgaande hoofdstukken gerecapituleerd (paragraaf 4.2), waarna met het ramen van de belangrijkste kostenelementen wordt begonnen. In paragraaf 4.3 wordt behandeld hoe de stichtingskosten kunnen worden geraamd en in paragraaf 4.4 de onderhoudskosten. Na deze specifieke ramingsmethoden komt in paragraaf 4.5 een meer algemene, door RWS gebruikte, ramingsmethodiek aan de orde. In paragraaf 4.6 worden de eventuele effecten van disconteren op de ramingen besproken. Het hoofdstuk wordt afgesloten met conclusies (paragraaf 4.7).

4.2 Recapitulatie

In eerste instantie zijn (kosten)indelingen vergeleken met een referentie-indeling. Dit leverde aanvullende 'discriminerende' kostenelementen op, waarmee in tweede instantie een 'nieuw' integraal kostenindelingsmodel is gebouwd. Vervolgens is bekeken wat het belang van de kostenelementen in dit model bij een afweging van varianten is. Hiertoe is de grootte van de kostenelementen geschat in een percentage ten opzichte van een referentie-kostenelement. Hieruit bleek dat het belang van de bouwkosten, ontwerpkosten, onderhoudskosten en maatschappelijke kosten bij de afweging van varianten het grootste is (zie figuur 4.1).



Figuur 4.1 *Het belang van de 'discriminerende' kosten.*

Omdat schattingen c.q. ramingen van de maatschappelijke kosten i.t.t. de andere kostenelementen het minst betrouwbaar zijn, wordt voorlopig alleen verder gegaan met de 'stichtingskosten' (ontwerp- en bouwkosten) en de onderhoudskosten.

In de volgende paragrafen worden ramingsmethodieken besproken om deze kostenelementen (de 'stichtingskosten' en onderhoudskosten) voor bruggen en viaducten te ramen. In principe zijn de ramingsmethodieken zowel voor viaducten als bruggen te gebruiken, tenzij anders wordt aangegeven.

4.3 Raming stichtingskosten

De huidige wijze waarop de stichtingskosten worden geraamd is aan de hand van kengetallen. Een kengetal is een integrale (bedrijfseconomische) kostprijs voor een eenduidig gedefinieerd hoofdelement. Hoofdelementen zijn in dit verband gedefinieerd als onderdelen van infrastructurele werken die langs de lengte-as continu van vorm zijn [22]. De kengetallen worden beschikbaar gesteld door de bureaus kostprijszaken van de hoofdafdelingen. Voor vrijwel elk type kunstwerk zijn kengetallen beschikbaar (of komen in de toekomst beschikbaar). Bij het ramen wordt al dan niet gebruik gemaakt van de kengetallenmethode. In de handleiding *Kengetallen Rijkswaterstaat* [22] wordt de kengetallenmethode beschreven. Deze methode gaat er vanuit dat infrastructurele projecten kunnen worden opgedeeld in hoofdelementen. Voor de hoofdelementen geldt dat:

- zij in de verkenningsfase (zie paragraaf 2.2) kunnen worden onderscheiden en begrensd, waarbij de grenzen worden gevormd door de plaats waar het wegprofiel verandert;
- zij eenduidig kunnen worden beschreven;
- er op basis van ervaring betrouwbare schattingen van de kosten kunnen worden gemaakt.

Voorbeelden van hoofdelementen zijn: wegvakken, aansluitingen, knooppunten en bruggen/viaducten. 'Kleine kunstwerken' als fietstunnels, duikers en kruisingen met provinciale of gemeentelijke wegen worden in het kengetallensysteem niet als aparte hoofdelementen gezien, maar als toeslag bij wegvakken meegerekend [22]. Voor dit onderzoek is vooral het hoofdelement 'bruggen/viaducten' van belang.

Op basis van beschreven specificaties kan worden bepaald welk kengetal voor het betreffende hoofdelement van toepassing is. In de handleiding worden tot nu toe alleen nog 'maar' kengetallen voor de aanleg van wegvakken en kunstwerken gegeven. Voor de exploitatiekosten zijn nog geen kengetallen beschikbaar c.q. ontwikkeld.

Om tot een raming van de stichtingskosten te komen, moeten globaal de onderstaande stappen worden doorlopen [22]:

1 Wijs aan het kunstwerk (een) hoofdelement(en) uit het Kengetallensysteem toe:

de volgende hoofdelementen voor kunstwerken worden onderscheiden:

- knooppunten (alleen tussen autosnelwegen onderling);
- kruisingen (ongelijkvloers met auto-, spoor- en kleinere waterwegen);
- kruispunten (alleen tussen niet autosnelwegen);
- aansluitingen (tussen autosnelwegen en niet autosnelwegen);
- grote kunstwerken (bruggen, tunnels en aquaducten);
- verzorgingsplaatsen.

2 Wanneer van de 'standaard'-kengetallen gebruik wordt gemaakt, bepalen maximaal tien invoervariabelen welk kengetal moet worden toegepast, het zgn. '10 vragen-niveau'. Als nauwkeuriger moet worden gewerkt is extra informatie nodig, het zgn. '10-plus vragen-niveau'.

3 Zoek aan de hand van de gemaakte keuzes het bijbehorende kengetal(len) op met behulp van het Kengetallenboek (deel II e.v.) of met behulp van het rekenmodel in IBIS-CALC. De kengetallen die voor de diverse verschijningsvormen van de hoofdelementen zijn uitgewerkt, zijn op een gestandaardiseerde wijze gedocumenteerd. Specificeer en noteer eventuele grote afwijkingen op de technische omschrijving uit het Kengetallensysteem.

4 Maak een notitie als het kunstwerk niet in de lijst met hoofdelementen voorkomt. Dit element zal nog apart, eventueel door een specialist moeten worden geraamd.

5 Bepaal van het kunstwerk de bijbehorende elementlengte.

6 Vermenigvuldig het kengetal met de berekende elementlengte en noteer de uitkomst als basisraming.

7 Controleer en documenteer de basisraming.

Voor een uitgebreidere toelichting op het ramen van kunstwerken met behulp van de kengetallenmethode wordt verwezen naar de betreffende handleidingen [22,23].

In eerste instantie lijkt de kengetallenmethode een bruikbare ramingsmethode. Toch zijn er een aantal kanttekeningen te maken:

- Een beter beeld van de stichtingskosten wordt verkregen door de opgestelde specificaties van een hoofdelement (variant) gelijk te vermenigvuldigen met erbij horende kengetallen. Dit werkt efficiënter en effectiever dan eerst met behulp van de specificaties een passend kengetal voor het gehele hoofdelement op te zoeken en vervolgens voor een betere 'fit' de default-waarden binnen een standaard kengetal aan te passen aan de situatie van het te ramen hoofdelement (de variant);
- De methode werkt met een top-down-benadering (een kengetal voor het gehele hoofdelement, eventuele uitzonderingen apart ramen), terwijl een bottum-up benadering (meerdere kengetallen voor meerdere elementen) een beter gefundeerde

raming oplevert. Dit laatste is van belang i.v.m. het 'discriminerende' vermogen bij een afweging tussen varianten (hoofdelementen).

De nauwkeurigheid van de schattingen, die met behulp van de kengetallen worden gemaakt, worden bepaald door een aantal factoren. Van belang zijn onder meer:
- de mate van overeenkomst tussen de situatie die in het project wordt aangetroffen en de aannamen in de kengetallen;
- de onzekerheden die in de projectdefinitie aanwezig zijn (de diverse uitvoeringsvarianten);
- de onzekerheidsmarges die per kengetal kunnen worden onderscheiden.

De marge rondom de kengetallen bestaat uit een marge rondom de hoeveelheden en een marge rondom de gehanteerde éénheidsprijzen. De marge rondom de hoeveelheden is het gevolg van de zogenaamde default-waarden in de kengetallen. De marge rondom de éénheidsprijzen is het gevolg van het werken met landelijke prijzen.

De marges van de hoofdelementen variëren van circa ± 10 tot ± 20% bij een over- en onderschrijdingskans van 15%. Dit betekent dat er 70% kans bestaat dat de raming tussen de aangegeven boven- en ondergrens ligt [22].

De onzekerheidsmarges kunnen worden verkleind door:
- de kengetallen aan te passen aan de lokale (project)situatie;
- meerdere (mogelijke) uitvoeringsvarianten door te rekenen en de verschillen te analyseren (gevoeligheidsanalyse).

In hoofdstuk 5 wordt dieper ingegaan op deze onzekerhedenproblematiek en op methoden om deze onzekerheden te reduceren.

In de volgende paragraaf worden ramingsmethodieken besproken om de onderhoudskosten te ramen.

4.4 Raming onderhoudskosten

Het ramen van de onderhoudskosten van kunstwerken staat nog in zijn kinderschoenen, daarom zijn er nog maar weinig bruikbare methoden beschikbaar. Om daar verandering in te brengen is het Projectbureau Onderhoud Kunstwerken (PBOK) opgericht. Dit bureau heeft enkele instandhoudingsplannen geschreven en een stappenplan om tot een instandhoudingsplan te komen, maar echt concrete modellen zijn nog niet beschikbaar.

Ook TNO, in opdracht van Rijkswaterstaat en de twaalf provincies, is bezig met onderzoek naar een onderhoudsaanpak voor kunstwerken, het zogenaamde Rationeel Kunstwerkbeheer (Ratku). De uitgebrachte rapporten hebben echter vooral betrekking op (de aanpak voor) het onderhouden van groepen kunstwerken, terwijl het in dit onderzoek juist om de afweging van afzonderlijke kunstwerkvarianten gaat. Daarnaast heeft Ratku nog geen concreet toepasbare modellen opgeleverd.

Wel concrete modellen worden beschreven in de afstudeerverslagen van Schouwstra en Van Bussel, waarin respectievelijk een onderhoudsprognosemodel

voor vaste stalen bruggen en voor betonnen overbruggingen is opgesteld [3,12]. Deze prognosemodellen worden hieronder besproken evenals een methode gebaseerd op onderhoudscenario's uit het rapport 'Olifanten en dino's' [30].

4.4.1 Raming onderhoudskosten vaste stalen bruggen

In het afstudeerverslag *Vaste stalen bruggen, een onderhoudsprognosemodel* [12] wordt een prognosemodel voor de onderhoudskosten van vaste stalen bruggen gegeven. Daarin verstaat Schouwstra onder onderhoudskosten het volgende:

> *De externe kosten van technische maatregelen (inzet personeel, materieel, materiaal) om functievervulling van de constructie gedurende de levensduur op het gewenste niveau te houden zonder dat niveau zelf te wijzigen.*

Deze definitie komt vrijwel overeen met de in dit onderzoek gehanteerde definitie van onderhoudskosten.

Voor (een groep) vaste stalen bruggen wordt het volgende algemene onderhoudsprognosemodel geformuleerd [12]:

$$K_t = \Sigma_{(i=1\rightarrow n)} A_i k_{t,i}$$

Hierbij is:

K_t = Kosten onderhoud per jaar van n bruggen
n = Aantal bruggen
A_i = Brugdekoppervlak van brug i
$k_{t,i}$ = Kosten onderhoud per m^2 dekoppervlak per jaar van brug i

$k_{t,i}$ = *f* 11,22/m^2 dekoppervlak·jaar

Uitgangspunt is dat er over de jaren heen een middeling plaatsvindt:
- over de economische situatie: werkaanbod, kostprijzen, concurrentie;
- over de omgevingsinvloeden: bijvoorbeeld verkeersintensiteit, milieu, weersinvloeden;
- over de verschuivingen vanwege budgettaire of personele redenen;
- over bestekken met Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (W.V.O.-regelingen) en zonder W.V.O.-regelingen;
- over andere verschillende bepalingen in bestekken;
- overige invloeden in de tijd;
- over de verschillende bruggen met hun eigen constructieve kenmerken.

Niet alle middelingen zijn verantwoord wanneer het model wordt gebruikt voor exploitatie naar de toekomst, de zgn. prognose:
- Zo hebben de verkeersintensiteiten een duidelijk toenemende trend in de tijd. Bij het milieu daarentegen is een duidelijk afnemende concentratie zwaveldioxyde in de tijd waar te nemen;
- Voor wat betreft de W.V.O.-regelingen zullen deze in de toekomst zeker geldig blijven en wellicht nog worden aangescherpt: een extrapolatie van de gemiddelde

waarden veroorzaakt een te lage schatting;

- Tenslotte veroudert ook het bruggenbestand, en worden anderzijds nieuwe bruggen bijgebouwd, welke van een ander type kunnen zijn en zodanig zullen worden ontworpen dat het aantal m^2 te conserveren oppervlak zo laag mogelijk blijft. Dus ook de samenstelling van het bruggenbestand zal zich in de toekomst wijzigen, hetgeen het bovenstaande prognosemodel in waarde zal doen verminderen. Het is dus zaak de kengetallen periodiek bij te stellen (1 à 2 keer per jaar) op basis van de nieuwste datagegevens.

Een nadeel van het bovenstaande onderhoudsprognosemodel is, dat het alleen bruikbaar en geldig is binnen een afgebakende groep kunstwerken. Het model is daardoor niet universeel toepasbaar voor elke willekeurige (vaste) stalen brug. Nader onderzoek moet aantonen of dit model (op eenvoudige wijze) meer specifiek geldig kan worden gemaakt, zodat voor een willekeurige stalen brugvariant een uitspraak omtrent de te verwachten onderhoudskosten kan worden gemaakt.

Voor een meer uitgebreide behandeling van het prognosemodel van Schouwstra wordt verwezen naar bijlage V.

4.4.2 Raming onderhoudskosten betonnen overbrugging

In het afstudeerverslag *Een onderhoudsprognosemodel voor betonnen overbruggingsconstructies* [13] wordt een prognosemodel voor de onderhoudskosten van betonnen overbruggingsconstructies gegeven. Daarin verstaat Van Bussel onder onderhoudskosten het volgende:

> *Onderhoud is het totaal van technische activiteiten, dat nodig is om een constructie zijn oorspronkelijke functies te laten vervullen, en wel gedurende een zekere periode met een zekere betrouwbaarheid.*

Ook deze definitie komt vrijwel overeen met de in dit onderzoek gehanteerde definitie voor onderhoudskosten.

Het onderstaande onderhoudsprognosemodel voor (een groep) betonnen overbruggingsconstructies voorspelt de kosten van onderhoud voor de langere termijn bij de provincie Overijssel [13]:

$$K_{totaal,j} = \sum_{lp=1}^{lp=7} \left((\mu_{beton,lp} + \mu_{overig,lp}) \cdot \sum_{i=1}^{i=n_{j,lp}} L_{i_{lp}} \right) \qquad [f]$$

$K_{totaal,j}$ = de totale onderhoudskosten aan de verzameling van n kunstwerken die in jaar j in beheer zijn [*f*];

lp = de leeftijdsperiode [-]: lp = 1, 2, 3, 4, 5, 6 en 7;

$A_i = T\text{-}B_i$ = de leeftijd van kunstwerk i [jaar] (het verschil tussen de tijd [jaar] en het bouwjaar);

lp_i = de leeftijdsperiode van kunstwerk i [-] = $A_i/10$, naar boven afgerond, waarbij voor $A_i \geq 70$ geldt $lp_i = 0$;

$\mu_{beton,lp}$ = de gemiddelde onderhoudskosten per beheerde strekkende meter lengte kunstwerken in leeftijdsperiode lp voor de categorie *beton* [*f*/m];

$\mu_{overig,lp}$ = de gemiddelde onderhoudskosten per beheerde strekkende meter lengte kunstwerken in leeftijdsperiode lp voor de categorie *overig* [*f*/m];

$n_{j,lp}$ = het aantal kunstwerken dat in jaar j behoort tot leeftijdsperiode lp;

$L_{i,lp}$ = de lengte van kunstwerk i, die in jaar j behoort tot leeftijdsperiode lp [m].

Bij het onderhoudsprognosemodel voor betonnen overbruggingen is van de volgende veronderstellingen uitgegaan [13]:

- Alleen betonnen overbruggingsconstructies zijn beschouwd (bruggen en viaducten);
- Het model is ontwikkeld op basis van gegevens over een periode van 20 jaar van kunstwerken in de provincie Overijssel;
- De prognose vindt plaats op basis van historische gegevens (dat wil zeggen op basis van gegevens die het resultaat zijn van historische onderhoudsstrategieën en uitbestedingspolitieken);
- Er zijn geen structurele veranderingen opgetreden in de besteksvoorwaarden;
- De 'werkhonger' van aannemingsmaatschappijen is in de tijd gezien gemiddeld genomen gelijk gebleven;
- In de personele of financiële capaciteit van de beheerder hebben geen structurele wijzigingen plaatsgevonden;
- Aangenomen werd dat er geen bijzondere technologische ontwikkelingen zijn geweest in de periode vanaf 1974 tot en met 1994;
- De prognose vond plaats op basis van het toenmalige prijspeil (1994), daarom zijn de prognoses gecorrigeerd met behulp van toekomstig te verwachten indexeringscijfers;
- Aangenomen is dat de verzamelde gegevens juist waren en dat ze op dezelfde wijze waren geregistreerd en verzameld. Dit geldt met name voor de verzamelde bedragen (-kosten van werkzaamheden).

Het model mag alleen worden toegepast voor prognoses, indien de ontwikkelingen van de onderhoudsstrategie, de uitbestedingspolitiek, de besteksvoorwaarden, de concurrentie tussen aannemers, de personele en financiële capaciteit van de beheerder en de technologische vooruitgang geen effect hebben op de ontwikkeling van de onderhoudskosten. Kort gezegd komt het er op neer dat het model van Van Bussel net als die van Schouwstra alleen mag worden gebruikt als de bovenstaande effecten zich over de jaren heen uitmiddelen.

Ook aan dit prognosemodel kleeft het nadeel dat het model niet universeel te gebruiken is, maar slechts binnen een bepaalde afgebakende groep betonnen overbruggingen. Dit komt doordat bij de modelvorming alleen gegevens zijn gebruikt van één beheerder, te weten de provincie Overijssel. Hierdoor mag het model en de hier berekende kengetallen niet zonder meer worden gebruikt bij het voorspellen van de

onderhoudskosten bij een andere beheerder, hier in casu RWS. Nader onderzoek moet uitwijzen of de situatie tussen 'Overijssel' en Rijkswaterstaat wat betreft de kengetallen inderdaad wezenlijk anders is. In *Rationeel Kunstwerkbeheer, eindrapportage niveau 2+*[44] wordt geconcludeerd, dat in ieder geval de aanpak van onderhoud tussen Rijkswaterstaat en de provincies verschilt.

In bijlage V staan de met behulp van dit prognosemodel door Van Bussel verkregen kengetallen beschreven.

4.4.3 Raming onderhoudskosten op basis van onderhoudscenario's

In het rapport 'Olifanten en Dino's' [30] staan onderhoudsscenario's beschreven om een schatting van het onderhoud (van de varianten) te maken. De onderhoudsscenario's voor een vaste brug (KV) en beweegbare brug (KB) zijn (L = onderhoudstijdinterval in jaren; K = kosten als percentage van de vervangingswaarde):

■ **Vaste brug**

Voor een vaste brug zijn de volgende uitgangspunten genomen:
- de gemiddelde vervangingswaarde bedraagt: k*f* 4/m^2;
- onderhoud aan een stalen draagconstructie:
  * conserveren (Lmin = 12; Lmax = 18) tegen K = 5%;
  * vervangen (Lmin = 80; Lmax = 110) tegen K = vervangingswaarde;
- onderhoud aan een betonnen draagconstructie:
  * conserveren inclusief betonreparaties (Lmin = 14; Lmax = 20) tegen K = 5%;
  * vervangen (Lmin = 80; Lmax = 130) tegen K = vervangingswaarde;
- onderhoud aan een stalen brug met betondek:
  * vervangen betondek (Lmin = 40; Lmax = 60) tegen K = 25% (loopt meestal gelijk met nieuw conserveringssysteem);
- onderhoud aan tuien:
  * vervangen (Lmin = 60; Lmax = 80) tegen K = 25%;
- eventueel onderhoud aan het asfalt:
  * vervangen (Lmin = 15; Lmax = 20) tegen K = 5% (*f* 200/m^2).

■ **Beweegbare brug**

Voor een beweegbare brug zijn de volgende uitgangspunten genomen:
- de gemiddelde vervangingswaarde bedraagt: k*f* 10/m^2 (alhoewel dit sterk afhankelijk is van de verhouding lengte bascule-/aanbruggen)
- onderhoud van een stalen dek:
  * conserveren *incl. hameisteilen* (Lmin = 12; Lmax = 18) tegen K = 5%;
  * vervangen *gehele brug* (Lmin = 80; Lmax = 110) tegen K = vervangingswaarde;
  * vervangen *stalen dek* (Lmin = 60; Lmax = 80) tegen K = vervangingswaarde;
  * vervangen *slijtlaag* (Lmin = 10; Lmax = 15) tegen K = onbekend;
- onderhoud aan de aandrijving:
  * revisie (Lmin = 20; Lmax = 30) tegen K = 6%;

  * vervangen (Lmin = 40; Lmax = 60) tegen K = 18%;
- onderhoud aan de besturing:
  * vervangen (Lmin = 12; Lmax = 30) tegen K = 10%;
- onderhoud aan het bedieningsgebouw:
  * renovatie (Lmin = 25; Lmax = 35) tegen K = 2%;
- eventueel onderhoud aan het asfalt:
  * vervangen (Lmin = 15; Lmax = 20) tegen K = 5% (*f* 200/m^2).

Nadeel van de bovenstaande onderhoudscenario's is dat ze slechts betrekking hebben op bruggen en niet ook op viaducten. Onderzocht moet worden of de scenario's ook (met enige aanpassingen) geldig kunnen worden gemaakt voor viaducten. Verder is het onderhoud wellicht wat eenzijdig, namelijk alleen conserveren en/of vervangen. Maar aan de andere kant gaat het in deze fase om een globale doch accurate schatting van de onderhoudskosten.

In de afgelopen paragrafen zijn ramingsmethodieken behandeld. Een wens van RWS is dat deze ramingsmethodieken aansluiten bij de gangbare ramingsmethodieken en de wijze waarop daarin met onzekerheden wordt omgegaan. Daarom wordt in de volgende paragraaf de binnen de Bouwdienst gangbare ramingsmethodiek behandeld, die ten grondslag ligt aan de ramingen.

4.5 Ramen volgens 'Werk in Uitvoering'

Zoals gezegd in de opdrachtformulering is het een wens van de Bouwdienst dat de kostenramingen bij voorkeur aansluiten bij de gangbare ramingsmethodiek en de wijze waarop daarin met onzekerheden wordt omgegaan (zie paragraaf 1.2).

Volgens het handboek 'Werk in uitvoering' [9] met daarin suggesties en ideeën voor het opzetten van een raming, wordt een kostenraming in de studiefase van tracé/MER gemaakt op basis van geschatte hoeveelheden en prijzen per eenheid (gebaseerd op evaluatie/nacalculatie van 'oude' projecten). In de kostenraming dient een bedrag voor *onvoorzien* te worden opgenomen (bv. door middel van een percentage). Daarnaast dient bij de kostenraming een *marge* te worden opgenomen.

Een raming volgens 'Werk in uitvoering' bestaat uit de volgende hoofdelementen (zie ook figuur 4.2):

- **directe kosten**
  Kosten die specifiek kunnen worden geïdentificeerd met of toegewezen aan een gegeven kostenobject op een economisch toelaatbare wijze [17]. De kosten van de posten in de raming van een project die later via bestekken op de markt worden gebracht en die aan één onderdeel van het werk kunnen worden toegerekend. In de meeste gevallen hoeveelheid maal eenheidsprijs.

- **indirecte kosten**
  Kosten die niet specifiek kunnen worden geïdentificeerd met of toegewezen aan een gegeven kostenobject op een economisch toelaatbare wijze [17]. De kosten van de posten in de raming van een project die later via bestekken op de markt worden gebracht en die niet aan één onderdeel van het werk kunnen worden toegerekend. Dit zijn meestal kosten die voor het bestek als geheel worden gemaakt en niet aan het gehele totstandkomingsproces toe te rekenen zijn.

- **bijkomende kosten**
  De kosten van de delen van het project die later **niet** via bestekken op de markt zullen worden gebracht.

Figuur 4.2 *Raming hoofdelementen.*

- **diversen**
  De post 'Diversen' is een toeslag op de raming voor uitdetaillering, ter completering van de 'Basisraming'. Men verwacht deze kosten te maken als gevolg van het verder uit detailleren van het ontwerp, de werkmethode, etc. De post 'Diversen' staat daarmee naast de reeds geraamde elementen ('grote brokken') in de 'Basisraming', en zal in een later stadium worden gespecificeerd in een aantal relatief kleine (voorziene) posten.

- **onvoorzien**
  De post 'Onvoorzien' is een toeslag op de 'Basisraming' bedoeld ter dekking van kosten, die in een later stadium zullen worden gemaakt als gevolg van bijvoorbeeld:
  - onvoorziene wijzigingen, die binnen het programma van eisen vallen;
  - onvoorziene complexiteit tijdens de uitvoering.

  Onvoorzien kan zowel op de 'Directe', de 'Indirecte' als op de 'Bijkomende kosten' betrekking hebben.

- **BTW**
  Op basis van wettelijk voorgeschreven percentages door te berekenen Belasting Toegevoegde Waarde.

De BTW wordt mee geraamd, omdat het voor derden (zoals een aannemer) waar RWS zaken meedoet wel een kostenpost is. De BTW wordt bijvoorbeeld door de aannemer verwerkt in de aanneemsom, die daardoor hoger uitvalt en dus de budgetraming verhoogt bij RWS.

Bij deze ramingsmethodiek worden de volgende onzekerheden onderkend (zie ook hoofdstuk 5):

- **Statistische onzekerheid**
  De statistische fluctuatie van de totale projectkosten. Deze is samengesteld uit de statistische onzekerheid in de 'Basisraming' en de statistische onzekerheid in 'Onvoorzien' (incl. BTW).

- **Statistische onzekerheid in de 'Basisraming'**
  De statistische fluctuatie van de 'Basisraming' als gevolg van de variatie in hoeveelheden en prijzen. Hier wordt in rekening gebracht dat de kosten van de 'zekere' posten nog kunnen variëren, omdat de kosten niet exact kunnen worden berekend.

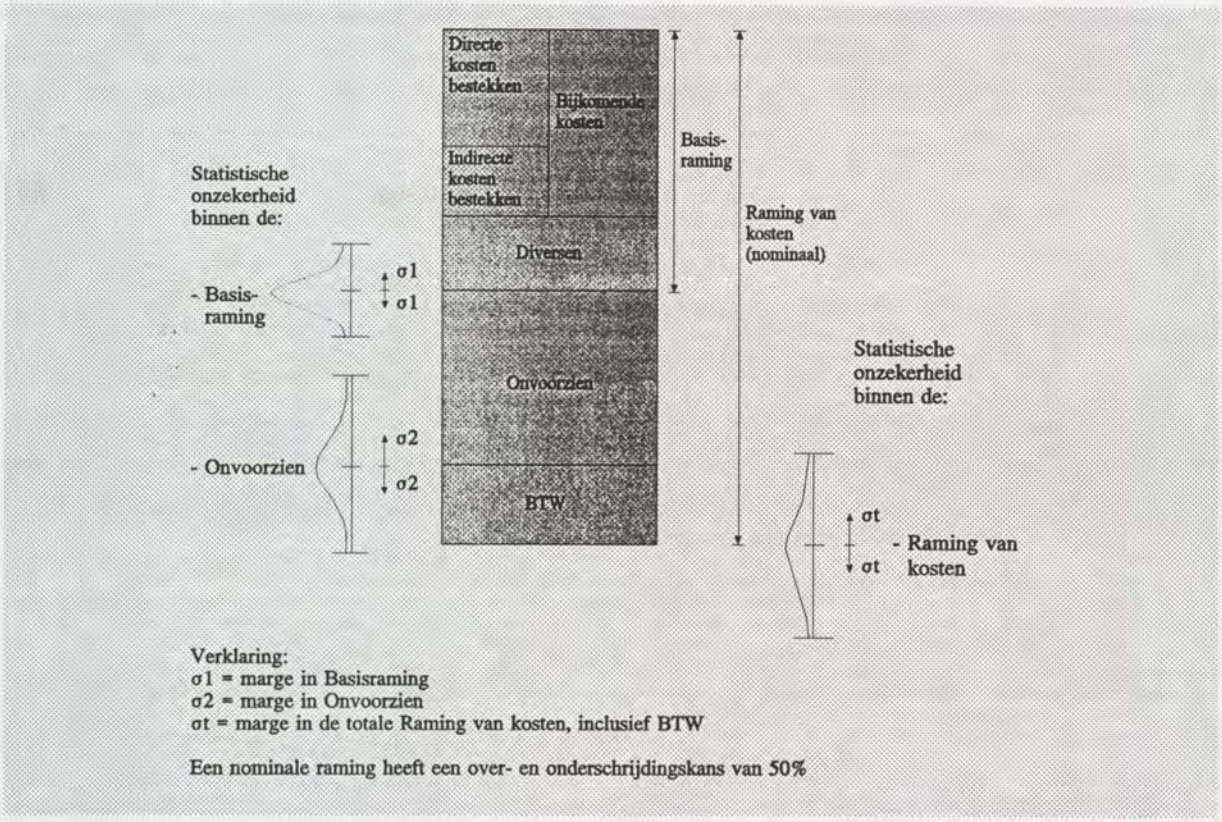
- **Statistische onzekerheid in 'Onvoorzien'**
  De statistische fluctuatie van de 'Onvoorziene kosten'. Hier wordt in rekening gebracht dat ook de geschatte, onvoorziene, kosten kunnen meevallen, maar ook tegenvallen.

- **Marge**
  Ten einde inzicht te verschaffen in de trefzekerheid van de raming dient voor het eindbedrag een 'Onzekerheidsmarge' te worden gegeven. De marge hangt samen met de (statistische) onzekerheden rondom de raming. Het vormt een maat voor de mogelijke afwijking van de totale kosten, in zowel positieve als negatieve zin. De gewenste kans dat de boven- of ondergrens respectievelijk wordt over- of onderschreden bepaalt de grootte van de marge. Veelal wordt gekozen voor een over- en onderschrijdingskans van 15%, omdat bij een 'normale' verdeling de marge dan ongeveer gelijk is aan de bekende 'standaardafwijking'. De kans dat de totale projectkosten tussen de onder- en bovengrens van de raming vallen, is in dat geval 70%.

Het voorgaande kan als volgt grafisch worden weergegeven (zie figuur 4.3):

Ten opzichte van de eerder besproken ramingsmethodieken voor de stichtingskosten en onderhoudskosten levert deze 'algemene' ramingsmethodiek geen meerwaarde op (voor gebruik bij een integrale kostenafweging van varianten). De ramingsmethodiek neemt alle kostenelementen mee, terwijl alleen de 'discriminerende' kostenelementen van belang zijn bij de variantenafweging (en dus alleen dienen te worden geraamd). Bovendien perst de methodiek de kostenelementen in een ander, algemener keurslijf, waardoor het verschil tussen 'discriminerende' en 'niet discriminerende' optisch wordt geëlimineerd. Dit komt de overzichtelijkheid en de onderlinge vergelijkbaarheid c.q. afweegbaarheid niet ten goede. Geconcludeerd kan worden dat de 'algemene' ramingsmethodiek voor de doelstelling van dit onderzoek minder geschikt is als de eerder besproken ramingsmethodieken.

De 'algemene' methodiek wordt min of meer ook gebruikt voor het opstellen van kengetallen en voldoet daarvoor wel goed. De eerder gepresenteerde ramingsmethodiek voor de stichtingskosten maakt gebruik van deze kengetallen, zodat indirect toch gebruik wordt gemaakt van deze algemene ramingsmethodiek.



Figuur 4.3 *Algemene raming van nominale kosten en haar onzekerheden.*

In de volgende paragraaf wordt bekeken wat de effecten van disconteren zijn op de ramingen.

4.6 Discontering

Als gevolg van onder meer inflatie en veranderingen in arbeidsproductiviteit zullen kengetallen (zoals bijvoorbeeld die van de stichtingskosten) gaan wijzigen. Met inflatie wordt hier de stijging van het algemene prijspeil bedoeld en met arbeidsproductiviteit de productie per eenheid arbeid. Om de (economische) effecten over een langere periode vergelijkbaar te maken dienen de resultaten over de verschillende jaren verdisconteerd te worden naar één basisjaar. Conform kabinetsbesluit wordt geadviseerd hiertoe een disconteringsvoet van 4% te hanteren [18].

Als grondslag voor deze disconteringsvoet is gekozen voor de kapitaalmarktrente. Een studiegroep van het Ministerie van Financiën is namelijk tot het oordeel gekomen dat de in het bedrijfsleven geldende minimale rendementseis het beste kan worden benaderd op basis van de kapitaalmarktrente. Bovendien is de kapitaalmarktrente in zekere zin ook een afspiegeling van de marginale tijdvoorkeur. Deze rente geeft immers de premie aan die wordt verkregen indien wordt afgezien van consumptie nu ten gunste van consumptie later. Bij de kapitaalmarktrente geldt voorts het voordeel van de directe waarneming [24].

Bij discontering wordt rekening gehouden met tijdsvoorkeur door de zogenaamde netto contante waarde (NCW) van zowel de stroom toekomstige kosten als baten te bepalen. Dat betekent dat alle toekomstige kosten en baten met behulp van een discontovoet herleid worden tot equivalente waarden voor het basisjaar, zodat ze zinvol met elkaar vergeleken kunnen worden. De netto contante waarde (NCW) van een investeringsproject kan dan als volgt worden gedefinieerd:

$$NCW = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{B_t - K_t}{(1+i)^t}$$

NCW = netto contante waarde
B_t = baten in jaar t
K_t = kosten in jaar t

t = tijdsindex, deze loopt van t = 0 (het jaar waar de eerste investeringskosten optreden) tot t = T (het jaar waarin de investering als volkomen afgeschreven wordt beschouwd en buiten gebruik wordt gesteld, zodat kosten nog baten meer optreden)
i = de discontovoet oftewel de tijdsvoorkeursvoet

Met betrekking tot dit onderzoek zijn alleen de kosten van belang, waardoor in de bovenstaande formule B_t achterwege kan worden gelaten. De formule wordt dan:

$$NCW = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{K_t}{(1+i)^t}$$

Deze formule komt er op neer dat alleen de kosten contant worden gemaakt. De contant gemaakte kosten kunnen dan voor de verschillende varianten tegen elkaar worden afgewogen.

De discontovoet is één van de kritieke variabelen in de NCW-methode, omdat de beslissing om verder te gaan met een bepaalde variant in hoge mate wordt beïnvloed door de keuze van het discontopercentage. Een te hoge discontovoet zal beslissingen beïnvloeden ten gunste van korte termijn opties met lage investeringskosten, terwijl een te lage discontovoet een overmatige bevoordeling van toekomstige kostenbesparingen te zien zal geven [6].

Van de eerder besproken kostenramingsmethodieken heeft alleen het ramen van de onderhoudskosten eventueel te maken met het laatstgenoemde effect. Daar de onderhoudskosten redelijk verspreid over de totale levensduur zitten zal dit effect marginaal zijn, tenzij de 'kostenolifanten' van de varianten ook redelijk verspreid in de tijd optreden. Een variant waarbij deze kosten relatief laat in zijn levensduur vallen t.o.v. de andere varianten, zal dan een licht voordeel t.o.v. de andere varianten hebben. Omdat de varianten echter integraal worden afgewogen, zal het voordeel verwaarloosbaar klein zijn. Eventuele 'bevoordelingen' door disconteren zijn dus verwaarloosbaar op de gehele integrale kostenafweging.

Redenen om als overheid (hier Rijkswaterstaat) te disconteren zijn:

- een duurzame samenleving: door te disconteren wordt in die projecten geïnvesteerd met de grootste maatschappelijke bate;

- om verschillende projecten of, zoals in dit onderzoek, varianten onderling vergelijkbaar te maken en af te wegen (qua maatschappelijke baten);
- de gaten in de overheidsbegroting worden 'gedicht' met geleend geld op de kapitaalmarkt. Het rendement op deze leningen dient 'terugverdient' te worden in de vorm van maatschappelijke baten;
- lange termijn denken met als doel kostenminimalisering.

Daarnaast interacteert RWS volop met het bedrijfsleven, een waarderingsmethode die daar geen rekening mee houdt lijkt dan ook ongewenst. Ook waait er bij de overheid (RWS) een zakelijker wind om meer bedrijfsmatig (d.i. outputgericht) te gaan werken. Een meer marktconforme benadering van toekomstige kosten hoort daar dan ook bij, disconteren vormt dan een goede optie.

4.7 Conclusies

Aan het eind van dit hoofdstuk kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De gepresenteerde onderhoudsprognosemodellen voor vaste bruggen/viaducten voldoen alleen voor een groep bruggen/viaducten. Bekeken moet worden of de prognosemodellen met wat aanpassingen meer universeel kunnen worden gemaakt;
- De in 'Werk in uitvoering' gepresenteerde 'algemene' ramingsmethodiek voldoet niet voor het ramen van de 'discriminerende' kostenelementen. Voor het ramen van kengetallen voldoet de methodiek wel;
- Eventuele 'bevoordelingen' van varianten door disconteren zijn verwaarloosbaar op de gehele integrale kostenafweging.

In het volgende hoofdstuk worden de met het ramen gepaard gaande onzekerheden behandeld en methoden om deze onzekerheden te reduceren.

5 Onzekerheden bij kostenramingen van varianten

5.1 Inleiding

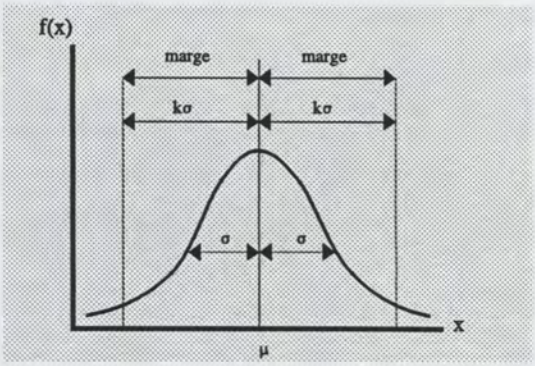
In dit hoofdstuk staat de beantwoording van de derde onderzoeksvraag centraal, name lijk hoe 'hard' een kostenraming is, welke onzekerheden (zowel conceptueel als operationeel) daarbij een rol spelen en hoe daar het beste mee kan worden omgegaan. Hiertoe wordt eerst het begrip hardheid gedefinieerd in paragraaf 5.2. Vervolgens worden in paragraaf 5.3 de onzekerheden en eventuele onderlinge afhankelijkheden van de 'discriminerende' basis-kostenelementen besproken. Methodieken om de onzekerheden van varianten in kaart te brengen komen in paragraaf 5.4 aan bod. Het hoofdstuk wordt afgesloten met conclusies (paragraaf 5.5).

5.2 Hardheid van ramingen

De 'hardheid' van een raming kan volgens de klapper *Werk in Uitvoering* in beeld worden gebracht door naast de gemiddelde kosten een marge aan te geven met een kans dat de uiteindelijke kosten binnen de marge zullen vallen.

Onder 'hardheid' wordt het volgende verstaan [9]: *Mate waarin de raming de verwachte investeringslasten benadert.* Het is een maat voor de trefzekerheid van de raming en wordt uitgedrukt als een maximaal percentage (marge) van de verwachte investeringskosten. Hoe 'harder' de raming, des te lager het percentage (marge). De raming plus de marge geeft dan de bovengrens aan en de raming minus de marge de ondergrens. De marge is een afgeleid begrip: de marge hangt af van de onzekerheid rond de raming en bedraagt één dan wel een aantal malen (k) de standaardafwijking (σ). De waarde van k moet expliciet worden gekozen en daarmee ligt de kans vast, dat de uiteindelijke kosten binnen de marge vallen. In de meeste gevallen wordt voor een k tussen 0,5 en 2 gekozen.

Met het aangeven van een standaardafwijking bij de raming, aangeduid met σ, wordt getracht om onzekerheid te benoemen, die zich uit in een variatie rond een gemiddelde waarde, de verwachtingswaarde μ (zie figuur 5.1).



Figuur 5.1 *Standaardafwijking.*

Gedurende de levensloop van het project moet rekening gehouden worden met onzekerheden. In het begin van het project (bv. de studiefase) zijn de onzekerheden veel groter dan aan het eind van het project. Immers aan het begin is er minder informatie beschikbaar. De grootte van de standaardafwijking is dus afhankelijk van de beschikbare informatie en projectfase. Een standaardafwijking geeft extra informatie t.o.v. 'een getal', want de betrouwbaarheid van slechts 'een getal' is niet zichtbaar.

In het *Handboek Cost Engineers* [45] worden enkele indicaties gegeven voor fase-afhankelijke marges (zie tabel 5.1):

Begrotingsklasse	Doel	Fase	Marge
Orde van grootte-begroting	Allereerste economische beoordeling, rangschikking van alternatieven	Voorstudiefase	± 40%
Studiebegroting (haalbaarheid/optimalisatie)	Meer gedetailleerde economische beoordeling van geselecteerde alternatieven. Goedkeuring van voorlopig budget	Studiefase	± 25%
Budgetbegroting	Definitieve goedkeuring van het bud get, op basis waarvan de uitvoering van het project van start gaat	Realisatiefase (planstudie)	± 10%
Controlebegroting (ook wel detailbegroting)	Basis voor de kostencontrole gedurende de uitvoering van het project	Realisatiefase (uitvoering)	± 5%

Tabel 5.1 *Fase-afhankelijke marges*

Verondersteld wordt dat bij bovenstaande marges de 'normaal-verdeelde' kosten met een zekerheid van 70% binnen de aangegeven boven- en ondergrens blijven (dus k = 1). Omdat dit onderzoek zich op de (voor)studiefase richt, wordt bij het ramen van de 'discriminerende' kostenelementen in het vervolg een marge van 25 à 40% aangehouden bij een zekerheid van 70% (k = 1).

Om een situatie te bereiken waarin de raming binnen de gestelde grenzen blijft, is het noodzakelijk de kostenposten te kennen die de grootste invloed op de trefzekerheid van de raming hebben, voor dit onderzoek zijn dat de 'discriminerende' basiskostenelementen. Bovendien is het van belang te weten hoe de onzekerheden kunnen worden gecombineerd tot een spreiding rond het eindbedrag. Om dit te bereiken dienen alle posten van de raming stuk voor stuk op grootte, onzekerheid en onderlinge afhankelijkheid te worden beoordeeld. Dit geldt in principe voor elke fase, dus ook voor het ramen in de (voor)studiefase.

De beoordeling van de grootte van de 'discriminerende' kostenelementen is reeds in hoofdstuk 3 gedaan. De grootste 'discriminerende' kostenelementen zijn toen geselecteerd om in eerste instantie als basis van het op te stellen integrale kosten**afweging**smodel te dienen. Voor deze basis-kostenelementen worden in de volgende paragraaf de onzekerheden en onderlinge afhankelijkheden in kaart gebracht.

5.3 Onzekerheden en onderlinge afhankelijkheid

In de eerste plaats kent vrijwel elk (kunstwerk)project de volgende algemene onzekerheden [24]:

- *afbakeningsonzekerheid*: de vraag of niet ten onrechte varianten buiten beschouwing worden gelaten;
- *criteriumonzekerheid*: bij het kiezen van beoordelingscriteria treedt onzekerheid

op of alle relevante aspecten c.q. criteria wel in beschouwing worden genomen;
- *methodegevoeligheid*: dit betreft het probleem dat het hanteren van verschillende methoden kan leiden tot uiteenlopende rangordes van varianten;
- *kosten-baten-onzekerheid*: om na te gaan bij welke prijs, score of gewicht van een geselecteerd criterium de rangordes van twee gekozen alternatieven zich wijzigen, kunnen zogenaamde betrouwbaarheidsintervallen worden berekend. Bij het schatten van effecten kan een onderscheid worden gemaakt tussen stochastische onzekerheid en echte onzekerheid. Van stochastische onzekerheid is sprake indien de kans op een gebeurtenis kan worden geschat op grond van kwantitatieve informatie. Stochastische onzekerheden waarvan de waarschijnlijkheidsverdeling bekend is, worden risico's genoemd. Door toepassing van verschillende typen gevoeligheidsanalyses (ook wel *sensitivity analysis* genoemd) kan de schattings- of scoreonzekerheid bij multicriteria- en kosten-batenanalyses (kosten-batenonzekerheid) worden nagegaan.

Deze algemene onzekerheden zijn onafhankelijk van de geselecteerde 'discriminerende' kostenelementen. Naast deze algemene onzekerheden kunnen voor de 'discrimine rende' basis-kostenelementen nog een aantal meer specifieke onzekerheden worden onderkend. Daar het onderzoek zich in dit stadium heeft beperkt tot de basis-kostenelementen *stichtingskosten* en *onderhoudskosten*, worden alleen voor deze twee kostenelementen de specifieke onzekerheden gegeven en beoordeeld.

Onzekerheden Stichtingskosten
De 'overgebleven' stichtingskosten bestaan uit de basis-kostenelementen 'ontwerpkosten' en 'bouwkosten'. De specifieke onzekerheden voor 'ontwerpkosten' zijn:

1 De nauwkeurigheid van de schattingen, die met behulp van de formules worden gemaakt (zie paragraaf 3.3.1). Van belang zijn onder meer:
   * de mate van overeenkomst tussen de situatie die in het project wordt aangetroffen en de aannamen in de formules;
   * de onzekerheden die in de projectdefinitie aanwezig zijn (de diverse uitvoeringsvarianten);
   * de onzekerheidsmarges die voor de formules zijn onderscheiden.
2 De grootte van de kosten van uitbesteden van het ontwerp aan derden;
3 De grootte van de kosten van uitbesteden van 'directie en toezicht' aan derden;
4 De benodigde inzet en hoeveelheden materiaal en personeel;
5 Het aantal aanpassingen van een ontwerp en de grootte van de aanpassingen.

Van deze onzekerheden vormt de eerste de belangrijkste, omdat de andere vier in principe zijn verwerkt in de onzekerheidsmarges van de opgestelde formules. De onzekerheden van de 'ontwerpkosten' en die van de 'bouwkosten' zijn onderling afhankelijk, omdat de formule van de 'ontwerpkosten' de 'bouwkosten' als input gebruikt. De onzekerheden van de 'bouwkosten' werken dus door in de raming van de 'ontwerpkosten'.

De specifieke onzekerheden voor het andere stichtingskostenelement 'bouwkosten' zijn:

1 De nauwkeurigheid van de schattingen, die met behulp van de kengetallen worden gemaakt. Van belang zijn onder meer [22]:
   * de mate van overeenkomst tussen de situatie die in het project wordt aangetroffen en de aannamen in de kengetallen;
   * de onzekerheden die in de projectdefinitie aanwezig zijn (de diverse uitvoeringsvarianten);
   * de onzekerheidsmarges die per kengetal worden onderscheiden: een marge rondom de hoeveelheden en een marge rondom de gehanteerde éénheidsprijzen;
2 De benodigde inzet en hoeveelheden materiaal, materieel en personeel;
3 Het aantal aanpassingen tijdens de bouw en de grootte van de aanpassingen.

Wederom is de eerste onzekerheid de belangrijkste, omdat de andere onzekerheden in principe de input van de onzekerheidsmarges vormen die per kengetal worden onderscheiden.

Onzekerheden Onderhoudskosten
De specifieke onzekerheden voor het basis-kostenelement 'onderhoudskosten' zijn:

1 De nauwkeurigheid van de schattingen, die met behulp van onderhoudskengetallen worden gemaakt. Hoewel er nog maar weinig kengetallen zijn voor onderhoud, zijn onder meer van belang:
   * de mate van overeenkomst tussen de situatie die in het onderhoudsproject wordt aangetroffen en de aannamen in de onderhoudskengetallen;
   * de onzekerheden die in de projectdefinitie aanwezig zijn (de diverse uitvoeringsvarianten);
   * de onzekerheidsmarges die per onderhoudskengetal worden onderscheiden: een marge rondom de hoeveelheden en een marge rondom de gehanteerde éénheidsprijzen;
2 Onzekerheid rond de technische danwel economische levensduur van een kunstwerk. Uit onderzoek blijkt namelijk dat er een verband is tussen de leeftijd en de verwachte onderhoudskosten [7, 44];
3 Onzekerheden rond de frequentie van onderhoudsmaatregelen.
4 De benodigde inzet en hoeveelheden materiaal, materieel en personeel;

Ook hier is de kengetalonzekerheid de belangrijkste onzekerheid en vormen de overige onzekerheden in principe de input van de onzekerheidsmarges die per onderhoudskengetal worden onderscheiden. Onderlinge afhankelijkheid van de onzekerheden met die van de andere basis-kostenelementen is er niet, omdat de 'onderhoudskosten' onafhankelijk van de 'bouwkosten' worden geraamd.

Conclusie
De onzekerheden bij het ramen kunnen worden verminderd door de kengetallen betrouwbaarder te maken. Dit kan door stelselmatig van klaargekomen projecten de nacalculatorische gegevens te analyseren en te koppelen aan bestaande kengetallen of indien die er niet zijn nieuwe te creëren. De kengetalonzekerheden kunnen worden verkleind door:

* de kengetallen aan te passen aan de lokale (project)situatie;
* meerdere (mogelijke) uitvoeringsvarianten door te rekenen en de verschillen te analyseren (een soort gevoeligheidsanalyse)

In de volgende paragraaf worden methoden besproken om onzekerheden per variant in kaart te brengen.

5.4 Methoden om onzekerheden in kaart te brengen

Om onzekerheden in kaart te brengen kunnen de volgende methoden (individueel) per variant worden toegepast [9]:

- **black-box methode**
  Bij de black-box methode worden geen onzekerheden per kostenpost berekend. Op basis van ervaring en inzicht wordt in één keer een standaardafwijking voor de gehele raming geschat. Nadelen zijn echter dat het resultaat sterk afhankelijk van ervaring en intuïtie is, een gevoeligheidsanalyse niet mogelijk is en dat geen inzicht in risicovolle kostenposten wordt verkregen.

- **eenvoudige benaderende probabilistische methode**
  Het doel van de benaderende probabilistische methode is behalve het ramingsbedrag ook de onzekerheid ervan vast te stellen, uitgaande van de onzekerheden in de samenstellende onderdelen. De benaderende methode beperkt zich per ramingsonderdeel tot twee getallen: de verwachte kosten (aangeduid met μ) en de standaardafwijking (aangeduid met σ). Een gevoeligheidsanalyse op postniveau is bij deze methode mogelijk. Deze methode heeft als nadelen, dat de methode geen inzicht geeft in de kansverdelingsfunctie van de totale kosten en dat gedeeltelijke afhankelijkheid tussen kostenposten theoretisch wel kan worden meegenomen, maar praktisch gezien lastig is.

- **verfijnde benaderende probabilistische methode**
  Bij de verfijnde benaderende methode wordt de raming beschouwd als een wiskundige functie van de hoeveelheden, de prijzen, de toeslagen, etc. Voor al deze variabelen wordt de onzekerheid vormgegeven door een kansverdelingsfunctie en niet alleen door middel van de eerder genoemde μ en σ. Naast de mogelijkheid van een gevoeligheidsanalyse op postniveau geeft deze methode ook een benadering van de kansdichtheidsfunctie van de totale kosten. Deze methode heeft als nadelen, dat de kansdichtheidsfuncties van invoervariabelen nodig zijn, specialistische apparatuur benodigd is en dat gedeeltelijke afhankelijkheid tussen kostenposten theoretisch wel kan worden meegenomen, maar praktisch gezien lastig is.

- **exacte probabilistische methode (Monte Carlo simulatie)**
  Bij de Monte Carlo simulatie worden voor alle kostenposten 'waarden getrokken' uit de kansdichtheidsfuncties. Dit gebeurt met behulp van een zgn. 'random-number-generator'. Vervolgens wordt het ramingsbedrag voor deze waarden van de variabelen berekend. Deze procedure wordt vele malen (bijv. 10.000 maal) herhaald. Uit de vele berekeningen van het ramingsbedrag kan een goede indruk van de verwachtingswaarde en de spreiding worden verkregen. De Monte Carlo simulatie is vooral aantrekkelijk om een indruk van de exacte kansdichtheidsfunctie van de raming te verkrijgen en daarmee van de kansen, dat bepaalde onder- en bovengrenzen worden overschreden. Gevoeligheidsanalyses op postniveau zijn mogelijk. De methode geeft de exacte kansdichtheidsfunctie van de totale kosten. Gedeeltelijke afhankelijkheid tussen kostenposten kan worden meegenomen. Deze methode heeft als nadelen, dat de kansdichtheidsfuncties van invoervariabelen nodig zijn en specialistische apparatuur benodigd is.

- **Marginale analyse**
  Door middel van een *marginale analyse* kan de invloed van onzekerheden in de gegevens worden bepaald. Niet alleen de kostengegevens met de grootste potentie voor verbetering worden hiermee gesignaleerd, maar ook de kostengegevens waarvan een onnauwkeurigheid de grootste gevolgen heeft. De marginale analyse levert uitspraken over een afzonderlijke verandering van alle kostengegevens, onder de voorwaarde dat de andere kostengegevens niet wijzigen. In de praktijk is dat een utopie [25]. De *marginale analyse* werkt als volgt [6]:

  Stap 1 Bepaal de levensduurkosten van een variant, door voor de parameters van de beste schattingen uit te gaan;

  Stap 2 Identificeer de parameters die aan risico en onzekerheden onderhevig zijn, zoals bijvoorbeeld onderhoudsfrequentie;

  Stap 3 Kies een parameter uit stap 2 en varieer deze met $\pm x\%$, waarbij x vastligt voor een bepaald domein. Bepaal de levensduurkosten opnieuw;

  Stap 4 Teken de resulterende levensduurkosten in een 'spider diagram' (levensduurkosten tegen het percentage variatie van de parameter) en trek een lijn door de punten voor de tussenliggende waarden;

  Stap 5 Herhaal de stappen 3 en 4 voor de overgebleven parameters in stap 2.

  Hoe vlakker de lijn van een parameter is, hoe gevoeliger de levensduurkosten zijn voor variatie in deze parameter.

  Het voordeel van deze methode is dat geen kansdichtheidsfuncties van de invoervariabelen benodigd zijn.

Conclusie
De *marginale analyse methode* verdient de voorkeur, omdat ondanks dat voor deze methode geen kansdichtheidsfuncties van de parameters benodigd zijn, de methode toch een goed beeld schetst van de gevoeligheden van de levensduurkosten.

De *Monte Carlo Simulatie methode* is een goede tweede, maar deze methode is meer arbeidsintensief dan de vorige methode. Bovendien zijn de kansdichtheidsfuncties van parameters veelal nog niet bekend in de (voor)studiefase.

De besproken methoden vergen extra inspanningen van haar gebruikers. Daar tijd vaak schaars is en/of geordend cijfermateriaal niet beschikbaar, zal veelal op de volgende vuistregel worden teruggevallen:

Doe binnen de organisatie navraag naar ervaringscijfers en maak schattingen van het maximum, het minimum en de meest waarschijnlijke waarde betreffende soortgelijke projectonderdelen. Dit kan een éénvoudig kengetal zijn (bv. de all-in kosten van een strekkende meter brug), maar ook een bedrag, gebaseerd op hoeveelheden maal eenheidsprijzen, waarbij beide onzekere grootheden zijn. De waarde van μ kan worden geschat door het rekenkundig gemiddelde te nemen van de bovengenoemde schattingen. Afhankelijk van de hardheid van de extreme waarden kan het verschil tussen de maximale en minimale waarde worden gesteld op 3 à 5 maal de σ. Aannemende dat de beide extremen vrij 'hard' zijn, kan het bovengenoemde verschil worden gesteld op 4,8 maal de σ. Deze laatste vuistregel is bij benadering geldig, zowel voor symmetrische als niet-symmetrische verdelingen.

5.5 Conclusies

Aan het einde gekomen van dit hoofdstuk kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- voor het ramen van de 'discriminerende' kostenelementen in de (voor)studiefase kan het beste een marge van 25 à 40% worden aangehouden bij een zekerheid van 70% (k=1);
- van de onderscheiden onzekerheden voor de 'discriminerende' basis-kostenelementen zijn de kengetal-onzekerheden de belangrijkste. Door deze kengetallen meer betrouwbaar te maken, neemt ook de betrouwbaarheid van de ramingen toe;
- om onzekerheden van varianten in kaart te brengen, kan het beste de *marginale analyse* worden gebruikt.

Aanbevolen wordt de inspanningen om onzekerheid te reduceren in te zetten voor het verbeteren van de kengetallen. Het mes snijdt dan immers aan twee kanten: eerst worden de ramingen beter en vervolgens worden de op deze ramingen gebaseerde nieuwe kengetallen weer beter, etc.

In het volgende hoofdstuk wordt met behulp van de voorgaande hoofdstukken het integrale kosten**afwegingsmodel** opgesteld.

6 Operationeel integraal kostenafwegingsmodel

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk staat de beantwoording van de vierde en tevens laatste onderzoeksvraag centraal, namelijk hoe de tot nu toe gevonden resultaten zijn om te zetten in een operationeel kostenafwegingsmodel ter beoordeling van (voor)ontwerpen voor kunstwerken in de (voor)studiefase. Hiertoe wordt in paragraaf 6.2 een beeld geschetst van het op te stellen integrale kostenafwegingsmodel.

6.2 Integraal afwegingsmodel

Op basis van de resultaten uit voorgaande hoofdstukken is het volgende operationele integrale kostenafwegingsmodel opgesteld. Het model bestaat uit de volgende stappen:

Stap 1 ontleed de varianten op hun fysieke, discriminerende kunstwerkelementen, als bv. alle varianten dezelfde geleiderail hebben, is dit fysieke element niet discriminerend;

Stap 2 raam voor deze discriminerende fysieke elementen de volgende 'discriminerende' basis-kostenelementen: ontwerpkosten, bouwkosten en onderhoudskosten (door per fysiek 'discriminerend' element de elementenprijs te vermenigvuldigen met de erbij behorende hoeveelheid);

Stap 3 bepaal door middel van *marginale analyse* per variant de invloed van onzekerheden in de gegevens (hier elementenprijzen en hoeveelheden), die als input voor ramingen van de 'discriminerende' kostenelementen dienen;

Stap 4 weeg op basis van de resultaten uit stap 2 en 3 de varianten tegen elkaar af.

Dit integrale kostenafwegingsmodel wordt in het volgende hoofdstuk gebruikt bij de case-studies. In tegenstelling tot wat stap twee 'voorschrijft' worden bij de case-studies niet de ontwerpkosten meegenomen. In de case-studies wordt alleen gekeken naar de effecten van het meenemen van de onderhoudskosten naast de bouwkosten bij de afweging van varianten.

Nader onderzoek moet het model meer operationaliseren voor wat betreft de omgang met onzekerheden. Verder moet onderzocht worden wat er gebeurt als ook de andere 'discriminerende' kostenelementen worden meegenomen in dit model.

7 Het integrale kostenafwegingsmodel in de praktijk

7.1 Inleiding

Het in paragraaf 6.2 opgestelde integrale kostenafwegingsmodel wordt in dit hoofdstuk in de 'praktijk' getest, d.w.z. drie infrastructurele projecten met kunstwerken zijn naast de stichtingskosten ook nog op de onderhoudskosten afgewogen. In paragraaf 7.2 wordt uiteengezet wat de opzet van de case-studies is en in paragraaf 7.3 wordt de zoektocht naar en selectie van geschikte cases beschreven. Voorafgaand aan de werkelijke cases is door middel van een kwalitatief onderzoek bekeken of de rol van de stichtingskosten werkelijk zo dominant is als wordt aangenomen. De resultaten hiervan staan beschreven in paragraaf 7.4. Na dit kwalitatieve onderzoek zijn de kwantitatieve casestudies aan de beurt. In paragraaf 7.5 wordt de VARI-case behandeld, in paragraaf 7.6 de Zaltbommel-case en tot slot de Dintelhavenbrug-case (paragraaf 7.7). Afsluitend worden in paragraaf 7.8 conclusies uit de casestudies getrokken.

7.2 Case-opzet

De case-studies zijn in eerste instantie opgezet om in de praktijk te toetsen wat de (meer)waarde van het integrale kostenafwegingsmodel is. Om dit te onderzoeken is bekeken of een (destijds genomen) beslissing voor een gekozen variant (veelal het huidige kunstwerk) verandert of gelijk blijft als ook andere kosten dan alleen de stichtingskosten worden meegenomen in de afweging. Het meenemen van de onderhoudskosten moet aan het licht brengen of:

- de onderhoudskosten een discriminerend karakter hebben t.o.v. de stichtingskosten of dat ze als een soort verlengstuk van de stichtingskosten moeten worden gezien;
- de verzamelde onderhoudskostengegevens volledig genoeg zijn om op grond daarvan 'discriminerende' uitspraken te kunnen doen of dat de onzekerheden per variant te groot zijn, waardoor het integrale afwegingsmodel een te groffe resolutie krijgt en waardoor eventuele verschillen tussen varianten nietszeggend worden, d.w.z. niet betrouwbaar genoeg om 'discriminerende' uitspraken te rechtvaardigen;

De verwachting is dat de onderhoudskosten 'discriminerend' zullen zijn, in de zin dat ze het verschil in stichtingskosten tussen twee varianten kunnen overbruggen. Hierdoor kan een variant met hogere stichtingskosten toch nog de voorkeur krijgen boven een andere variant met lagere stichtingskosten, maar met hogere onderhoudskosten.

Nadat tijdens de case-studie op het bestaan van voorontwerp- c.q. variantennota's was gestuit (zie paragraaf 7.3), is in tweede instantie bekeken of de stichtingskosten inderdaad zo'n dominante rol spelen bij de keuze-afweging of dat ook andere criteria wat in de melk hebben te brokkelen. Hiertoe is een kwalitatief vergelijkend onderzoek gehouden tussen zes verschillende voorontwerpnota's.

De casestudies beperken zich tot de kunstwerkcategorie bruggen en viaducten, omdat de meeste kunstwerken bruggen of viaducten zijn. Verder zijn van (betonnen) bruggen en viaducten bij DI de meeste gegevens beschikbaar.

In de volgende paragraaf wordt de zoektocht naar en het uiteindelijke 'selectie-proces' van geschikte cases beschreven.

7.3 Zoektocht naar en selectie van geschikte cases

De stappen gezet om aan case-materiaal te komen, kunnen worden herleid naar vier sporen, te weten:

Eerste spoor

Uit het rapport *Meerjaren Instandhoudingsplannen Kunstwerken gelegen in: RW 27* [26] van het PBOK zijn in totaal twee viaducten en één brug geselecteerd op basis van hun relatief recente bouwjaar (hier het stichtingsjaar van de (oudste) hoofddraag-constructie). De gedachte hierachter was hoe ouder een brug of viaduct is, hoe moeilijker het zal zijn eventuele (kosten)gegevens (van varianten) te achterhalen. De geselecteerde overbruggingen zijn: Brug Zevenbandse Boezem (1976), Viaduct De Tol (1973) en Viaduct Jachtlaan (1967).

De volgende stap was om van deze overbruggingen de (niet gekozen) varianten boven tafel te krijgen. Hiertoe is getracht van bovenstaande overbruggingen de projectleiders te achterhalen. Uit telefonisch contact met één van deze projectleiders bleek echter dat bij de 'kleinere' viaducten en bruggen (zoals die in RW 27) vaak maar één variant wordt ontworpen. Op deze éne variant zijn dan nog wat kleine variaties mogelijk, maar het is niet zo dat er een afweging plaatsvindt van meerdere totaal verschillende varianten. Dit komt simpelweg doordat er niet meer varianten zijn ontworpen, maar slechts wat 'kleine' aanpassingen zijn gedaan zoals variatie in breedte, lengte, soort voegovergang, etc. (soms op advies van of in samenspraak met een architect).

Slechts bij de 'megaprojecten', zoals bij het project Zaltbommel, worden meerdere varianten ontworpen. Dit wil echter niet zeggen dat bij deze megaprojecten ook andere kosten dan de stichtingskosten bij de afweging worden betrokken. Hoogstens wordt er in een 'nota bene-tje' gememoreerd dat de onderhoudskosten van de éne variant meer zullen zijn dan van de andere. Ook het verschil in materiaal zoals die tussen staal en beton (zo die er is) hoeft niet van doorslaggevende betekenis te zijn, omdat de politiek soms voor een bepaalde variant, zeg de stalen variant, kiest vanuit het oogpunt dat ook in die hoek binnen RWS de 'pijp moet blijven roken'.

Een ander punt is dat de keuze voor een materiaal, zeg prefab beton of het ter plaatse storten van beton, zo hun consequenties hebben voor de veiligheid en maatschappelijke kosten. Na een aanrijding is gestort beton namelijk moeilijker te vervangen, waardoor het verkeer langer hinder ondervindt dan het geval is bij het vervangen van een beschadigd prefab-element. Dit soort discussies spelen nog maar nauwelijks een rol bij de 'integrale' afweging van varianten.

Kortom elke afweging heeft tot nu toe zo zijn specifieke achtergronden. De vraag kan dan ook worden gesteld of het opstellen van een integraal kostenafwegingsmodel wel enig zin heeft als de besluitvorming toch elke keer anders verloopt en zal blijven verlopen. Daar komt bij dat het vergaren van informatie zeer veel tijd en moeite kost.

M.i. heeft het opstellen van een integraal kostenafwegingsmodel zeker zin, al was het maar om de kennisuitwisseling tussen de ontwikkelaar (hier de Bouwdienst) en de beheerder (de dienstkring) te bevorderen. Door de scheiding tussen taken voor investering en taken voor gebruik/beheer, met bijbehorende verantwoordelijkheden en bevoegdheden wordt de kennisuitwisseling tussen ontwikkeling en gebruik/beheer namelijk bemoeilijkt. Onderkend wordt dat tijdens het ontwikkelen een grote invloed wordt uitgeoefend op de gebruikskosten, beheerskosten en gebruikswaarde, maar terugkoppeling naar ontwerpbeslissingen vindt zelden gestructureerd plaats [38]. Dit probleem geldt in optima forma ook voor RWS bij het afwegen van varianten. Het huidige gebrek aan inzicht in andere kosten dan de stichtingskosten is namelijk ook te wijten aan gebrek aan kennisuitwisseling tussen de ontwikkelaar (hier de Bouwdienst) en de beheerder (de dienstkring) van een kunstwerk. Ditzelfde geldt voor de terugkoppeling naar ontwerpbeslissingen.

Conclusies
- De geselecteerde brug en viaducten zijn te kleinschalig om daarop het opgestelde integrale kostenafwegingsmodel te kunnen testen;
- Het integrale kostenafwegingsmodel kan het beste in die afwegingen worden gebruikt waarbij meerdere, min of meer zelfstandige varianten aan de orde zijn. Dit zijn doorgaans de meer grote infrastructurele kunstwerken;
- Andere, nog niet beschreven (bv. politieke), overwegingen kunnen ten grondslag liggen aan de keuze voor een voorkeursvariant.

De conclusies overziend is besloten het gekozen spoor af te kappen en een nieuw spoor te volgen, namelijk proberen de varianten(studies) van enkele grote bruggen/viaducten-projecten zien te bemachtigen.

Tweede spoor
Op basis van een uitdraai van alle DI-projecten die zich in de definitie- c.q. voorontwerpfase (respectievelijk fase 2 en 3) bevinden, zijn - op grond van de projectomschrijvingen - die projecten geselecteerd die te maken hebben met een brug of viaduct. Hierna is telefonisch contact gezocht met de desbetreffende projectleiders.

Van de geselecteerde projecten op de lijst bleek slechts één project geschikt, namelijk die van de bouw van vijf kunstwerken tussen Wolvega en Heerenveen in de RW 32. Na ontvangst van de variantenstudie bleek ook dit project echter niet geschikt, omdat evenals bij de rest het of 'slechts' om aanpassingen van bestaande bruggen c.q. viaducten gaat of om projecten met maar één variant met wat variaties daarop.

Conclusie
- Ook dit spoor loopt dood, vanwege de kleine verschillen tussen de varianten.

Derde spoor
Telefonisch contact met een 'interne' begeleider leverde twee projecten op, namelijk het VARI-project en het project brug bij Vianen aan. Na telefonisch contact met de desbetreffende projectleiders, resulteerde dit in een voorontwerpnota van het VARI-

project en een voorontwerpnota van een ander project namelijk het IJ-boulevard-project. Het project Vianen viel af, omdat het project in de aanbestedingsfase zat en de projectleider daarom liever niet de variantennota (met gevoelige kostengegevens) wilde toesturen. Bijzonder jammer, omdat bij dit project ook de onderhoudskosten kwantitatief (i.p.v. kwalitatief) zijn meegenomen in de afweging. Aanbevolen wordt bij een eventuele vervolgstudie deze variantennota wel mee te nemen.

Bij ontvangst van deze nota's bleken zij een heuse variantenafweging te bezitten. Het blijkt namelijk dat (ongeveer) sinds 1993 zogenaamde voorontwerp- c.q. variantennota's als deelresultaat verplicht zijn bij de grotere projecten (soms als deelproject kunstwerken). In de variantennota's worden de verschillende varianten op een structurele manier beschreven en tegen elkaar afgewogen. Bij bestudering viel het IJ-boulevard- project af, omdat de verschillen tussen de varianten te klein waren.

De telefoongesprekken leverden verder nog twee andere projecten op, namelijk de brug bij Zaltbommel en de nieuwe tuibrug bij Kampen. Van het project Zaltbommel de variantenstudie opgestuurd gekregen. Daar dit ook het startproject tot dit onderzoek vormde is zij bij uitstek geschikt. De tuibrug bij Kampen viel af, omdat de variantenstudie daarvan nog niet was afgerond. De projectleider raadde echter het project 'Dintelhavenbrug' aan. Bij ontvangst van de variantennota van dit project, bleek deze inderdaad geschikt.

Conclusies

- Sinds ongeveer 1993 blijken er voorontwerp- c.q. variantennota's (in de studiefase) te bestaan, waarin op een structurele, geordende manier verschillende varianten worden gepresenteerd en (veelal kwalitatief) tegen elkaar afgewogen;
- Het VARI-project, het project Zaltbommel en het project Dintelhavenbrug lijken geschikte cases.

Vierde spoor

In het rapport 'Olifanten en dino's' [30] is voor alle 'natte' kunstwerken in Nederland een prognose van de instandhoudingskosten opgesteld. Uit dit rapport zijn vervolgens de (beweegbare) bruggen geselecteerd met het stichtingsjaar rond of na 1993. Dit laatste i.v.m. de grotere kans op aanwezigheid van variantenstudies.

Na deze bruggen te hebben geselecteerd doemde een nieuw probleem op, van de bruggen werd namelijk alleen de BOPPER-code genoemd. Met deze code kon zowel het archief in Utrecht als in Zoetermeer niets. Na wat heen en weer gebel bleek het eerste deel van deze code voor de naam van de desbetreffende dienstkring te staan. Na vele belrondes langs deze dienstkringen is het gelukt wat meer gegevens over de bruggen te verkrijgen.

Met deze gegevens heeft het archief in Utrecht getracht de erbij behorende projectleiders c.q. varianten/voorontwerpnota's op te sporen. Dit koste echter erg veel moeite en is niet gelukt. Uiteindelijk is geprobeerd aan de hand van de gegevens de betreffende projectleiders erbij te zoeken in het PBMS-bestand (een database waarin de voortgang van projecten wordt bijgehouden). Dit lukte maar gedeeltelijk en leverde daardoor niet de gewenste case(s) op.

Eindconclusies
- Ook spoor 4 loopt dood, omdat het achterhalen van de desbetreffende projectleiders niet lukte;
- Het kost veel inspanningen binnen de Bouwdienst om de gewenste cases te verkrij gen, omdat nergens goed gedocumenteerd staat welke projecten er zijn (geweest);
- Uiteindelijk zijn de volgende projecten wel geschikt bevonden:
  * het VARI-project;
  * het project (brug bij) Zaltbommel en
  * het project Dintelhavenbrug.

Voordat (de resultaten van) deze drie cases worden behandeld, volgt eerst de uitkomst van de kwalitatieve vergelijking van de toegestuurde voorontwerpnota's c.q. variantenstudies.

7.4 Kwalitatieve vergelijking voorontwerpnota's/variantenstudies

Door middel van een kwalitatieve vergelijking tussen de gebruikte criteria in de zeven toegestuurde voorontwerp-/variantennota's is gekeken naar de, dominant veronderstelde, rol van de bouw/stichtingskosten. Per variant is bekeken op welke aspecten de afweging werd gemaakt en op welke wijze.

Variantennota kunstwerken RW 32, ged. Wolvega - Heerenveen
In de variantennota kunstwerken RW 32, ged. Wolvega - Heerenveen [32] zijn de volgende aspecten beschouwd:
- Doorrijhoogte;
- Kosten
  Deels op basis van hoeveelheden en deels op basis van prijzen per m^2;
- Vormgeving;
- Bouwtijd/ verkeershinder;
- Uitzicht;
- Obstakels/aanrijding dek.

Van deze zes aspecten worden alleen de kosten monetair uitgedrukt en de rest kwalitatief. Verder valt op dat de veiligheid (doorrijhoogte, uitzicht en obstakels/aanrijding dek) en esthetica een grote rol spelen. Dit in tegenstelling tot het in hoofdstuk 5 geformuleerde integrale kostenafwegingsmodel, waarin deze aspecten niet of nauwelijks worden meegenomen.

Bij de uiteindelijke afweging valt op dat eerst (inderdaad) naar de bouwkosten wordt gekeken en in tweede instantie pas naar de overige aspecten. Als de goedkoopste variant echter slecht scoort op de overige aspecten, wordt gekeken naar de op-één-na goedkoopste variant, etc.

Variantennota KW 14, Brug o/d Tjonger
In de variantennota KW 14, Brug o/d Tjonger [33] zijn de volgende aspecten beschouwd:
- Kosten;

- Doorvaarthoogte;
- Doorrijhoogte;
- Vormgeving.

Ook hier heeft de veiligheid (in de vorm van doorvaart-/doorrijhoogte) een grote inbreng evenals de vormgeving (esthetica).

Bij de afweging valt op dat de voorkeur van Bouwdienst naar de duurdere variant gaat, omdat deze op de overige aspecten beter scoort dan de andere variant. Desondanks heeft de opdrachtgever uiteindelijk gekozen voor de goedkopere variant.

Voorontwerpnota Kunstwerken VARI
In de voorontwerpnota Kunstwerken VARI [29] zijn de volgende aspecten beschouwd:
- Esthetica;
- Bouwtijd;
- Voorbereidingstijd;
- Verkeershinder;
- Onderhoud;
- Bouwkosten.

Hier wordt het onderhoud wel meegenomen, maar slechts op een kwalitatieve manier (evenals de overige aspecten, m.u.v. de bouwkosten).

Bij de uiteindelijke afweging valt op dat de overall slechtst scorende variant wordt afgewezen en dat bij de uiteindelijke beslissing tussen de drie goedkoopste varianten toch voor de meest esthetische (en daardoor duurdere) variant is gekozen.

Voorontwerpnota Aansluiting IJ-boulevard
In de voorontwerpnota Aansluiting IJ-boulevard [35] is alleen het volgende aspect beschouwd:
- kosten.

Alleen de bouwkosten zijn beschouwd om vervolgens met de meest gunstige varianten verder te gaan.

Concept rapportage Ecoduct Kootwijk
In de concept rapportage Ecoduct Kootwijk [36] zijn de volgende aspecten in de beschouwing meegenomen:

- bouwkosten;
- bouwtijd;
- verkeersmaatregelen;
- kosten verkeersmaatregelen;
- veiligheid;
- esthetica;
- diversen.

Ook hier is weer een rol weggelegd voor esthetica en veiligheid. Onder diversen zijn dingen geschaard als het twee keer kunnen gebruiken van dezelfde bekisting, etc.

Bij het uiteindelijke advies valt op dat weliswaar binnen de groep varianten die financieel het goedkoopste zijn, toch de variant met de hoogste mate aan veiligheid (en daarmee net iets duurder) wordt aangeraden.

Variantennota Brug Zaltbommel
In de variantennota Brug Zaltbommel [36] zijn de beschouwde criteria onderverdeeld in drie categorieën:

1. financieel:
   - geraamde bouwkosten;
   - invloed van optimalisatie en verdere uitwerking op de geraamde bouwkosten;
   - exploitatiekosten;
2. technisch
   - voorontwerp passend binnen randvoorwaarden volgend uit het programma van eisen;
   - niet uitgezochte onderwerpen in het voorontwerp;
   - montagemogelijkheid van de tweede brug;
3. omgeving
   - esthetica en landschappelijke inpassing;
   - hinder voor de scheepvaart tijdens de bouw.

Ook hier spelen veiligheid en esthetica weer een rol (binnen 'omgeving'). Bij de uiteindelijke afweging valt op dat de keuze voornamelijk wordt gebaseerd op economische gronden (m.a.w. criterium 1 is het belangrijkst). De twee varianten die naast de kosten ook op de overige aspecten het beste scoren, worden aanbevolen.

Variantennota RW 15 uitbreiding Europaweg bouw Dintelhavenbrug
In de variantennota Dintelhavenbrug [43] worden de varianten op de volgende aspecten afgewogen:

- wegontwerp (horizontaal en verticaal alignement);
- wegontwerp onderliggend wegennet;
- nautische aspecten (hinder scheepvaart);
- fasering noordelijk landhoofd;
- uitvoeringsaspecten;
- planning van de uitvoering (bouwtijd);
- esthetica;
- onderhoudskosten;
- bouwkosten.

Opvallend aan deze variantennota is dat naast de bouwkosten ook de onderhoudskosten kwantitatief zijn meegenomen. Op basis van onderhoudgegevens van de brug bij Zaltbommel zijn prognoses gemaakt voor de vier varianten. De overige aspecten zijn verder kwalitatief meegenomen in de afweging.

Bij de afweging valt op dat de voorkeur van Bouwdienst naar de esthetisch fraaiere maar tevens duurdere variant gaat. Het argument hiervoor is dat het huidige beleid van RWS gericht is op het bijdragen aan een duurzame ontwikkeling. Daarin past ook dat gekozen wordt voor een esthetisch fraaiere oplossing, zelfs als die

duurder is dan een technisch gelijkwaardige maar minder fraaie variant. Desondanks heeft de opdrachtgever uiteindelijk gekozen voor de goedkoopste variant.

Conclusies
Uit de kwalitatieve analyse kunnen de volgende conclusies worden getrokken:
- De veronderstelling dat de bouw/stichtingskosten het belangrijkste criterium vormen lijkt gerechtvaardigd, gezien de geanalyseerde variantenstudies.
- Het onderhoud wordt sporadisch meegenomen en dan nog slechts op een kwalitatieve manier. Slechts één keer wordt het kwantitatief meegenomen;
- Varianten die op (vrijwel) alle aspecten slecht(er) scoren worden meteen afgewezen;
- Veiligheid en esthetica vormen naast de kosten de belangrijkste afwegingscriteria.

Opvallend aan de laatste conclusie is dat deze aspecten in de behandelde kostenindelingsmodellen uit de literatuur niet expliciet worden vermeldt c.q. meegenomen. Aanbevolen wordt nader onderzoek te verrichten of deze posten mogelijk opgenomen dienen te worden in het integrale kostenafwegingsmodel.

7.5 VARI-case

7.5.1 Algemeen
De kunstwerken KW 7 en KW 8 van het VARI-project zijn de fly-overs in het verkeersknooppunt Ridderkerk. De kunstwerken vormen het sluitstuk in de aansluiting van RW 15 op RW 16.

Beschrijving kunstwerken [29]:

- KW 7 is een nieuw viaduct (fly-over) in de afslag Europoort - Terbregseplein. Het hoogste punt van het wegdek ligt op een hoogte van ca. NAP + 14m. De totale lengte van de fly-over is ca. 730m. Het dwarsprofiel is ca. 14m breed totaal en omvat 2 rijstroken met een vluchtstrook. De fly-over bestaat uit 2 landhoofden en 19 peilers met 20 velden daartussen.
- KW 8 is een nieuw viaduct (fly-over) in de afslag Dordrecht/Gorinchem - Europoort. De fly-over kruist KW 7. Het hoogste punt van het wegdek ligt op ca. NAP + 20m. De totale lengte van de fly-over is ca. 620m. Het dwarsprofiel is ca. 18m breed totaal en omvat 3 rijstroken met een vluchtstrook. De fly-over bestaat uit 2 landhoofden en 17 peilers met 18 velden daartussen.

In de voorontwerpnota [29] staan acht varianten beschreven, waarvan er twee bij voorbaat al zijn afgevallen vanwege het te ambitieuze karakter en de technisch onhaalbaarheid. De zes overgebleven varianten zijn zowel voor KW 7 als KW 8 hetzelfde, alleen de breedte en lengte van de twee fly-overs is verschillend. Voor het gemak wordt bij het ramen van de onderhoudskosten uitgegaan van KW 8, omdat dit kunstwerk in de voorontwerpen staat getekend.

7.5.2 Raming onderhoudskosten

Bij het ramen van de onderhoudskosten voor de fly-overs wordt uitgegaan van:

- een *economische* levensduur van 50 jaar (waarna het kunstwerk is afgeschreven). De praktijk leert namelijk dat een kunstwerk na ca. 50 jaar dient te worden aangepast c.q. gesloopt (o.a. door veranderde functie-eisen), waardoor een (geheel) nieuwe situatie ontstaat. Dit wil overigens niet zeggen dat de *technische* levensduur, het werkelijk fysiek volhouden, van het kunstwerk niet langer kan zijn (voor een betonnen brug meestal: 80 jaar en voor een stalen brug: 100 jaar);
- de *variabele* onderhoudskosten. De *vaste* onderhoudskosten (kleinschalige reparaties en bijwerken) worden niet meegenomen, omdat deze kosten voor de verschillende varianten min of meer hetzelfde worden verondersteld. Hierdoor vormen de vaste onderhoudskosten geen onderscheidende factor. Dit zelfde geldt min of meer voor de inspectiekosten;
- disconteren, d.w.z. de waarde van toekomstige kosten wordt verdisconteerd tegen een discontovoet van 4% naar nu;
- onderlinge onafhankelijkheid tussen de te onderkennen onderhoudsactiviteiten. In de praktijk zal dit niet voorkomen, doordat bv. het tegelijkertijd conserveren van de peilers en de liggers (i.p.v. elk onafhankelijk) synergetische voordelen oplevert. Voor het gemak wordt echter van onderlinge onafhankelijkheid uitgegaan, omdat moeilijk in te schatten is hoe groot die voordelen (zullen) zijn.

Eerste poging

Eerst is getracht met behulp van de formules van Schouwstra, Van Bussel en de onderhoudscenario's uit 'Olifanten en dino's' (zie paragraaf 4.4) per variant de onderhoudskosten te ramen. Dit is mislukt, omdat de formules te algemeen van aard zijn. De formules c.q. scenario's zitten resp. op het niveau van een groep kunstwerken c.q. het niveau kunstwerk. Dit blijkt een te 'hoog' niveau te zijn, waardoor eventuele verschillen in onderhoudskosten tussen de varianten niet tot uitdrukking komen.

Tweede poging

Na de eerste (vergeefse) poging is bekeken uit welke elementen een fly-over (of meer algemeen een viaduct) is opgebouwd. Grof gesteld bestaat een fly-over uit een onderbouw en een bovenbouw. Deze onder- en bovenbouw zijn weer verder onderverdeeld.

De onderbouw wordt gevormd door:

1 pijlers en
2 landhoofden.

De bovenbouw door:

3 schampranden
4 liggers
5 druklaag en/of plaat (optioneel)
6 (prefab) rand
7 geleiderail
8 hekwerk
9 hemelwaterafvoer (HWA)

10 voegovergangen
11 wegverharding (eventueel)

En (eventueel) loopbruggen.

Het PBOK gaat bij zijn instandhoudingsplannen (voor viaducten in RW 27 [26]) grofweg van dezelfde 'elementen' (c.q. hetzelfde niveau) uit als hierboven beschreven.

Uit bestudering van de VARI-voorontwerpnota op de bovenstaande elementen blijkt, dat voor alle zes de varianten de onderbouw, de geleiderail, het hekwerk, de hemelwaterafvoer, de voegovergangen en de wegverharding en de loopbruggen (min of meer) hetzelfde zijn. Dit betekent dat deze elementen geen onderscheidend vermogen (waardoor de ene variant beter scoort dan de andere) bezitten qua inbreng in de onderhoudskosten. Hierom worden deze elementen verder buiten beschouwing gelaten bij het ramen van de onderhoudskosten.

De volgende stap is geweest de onderhoudskosten voor de varianten te ramen op basis van de vijf overgebleven elementen (te weten: schampranden, liggers, druklaag en/of plaat en (prefab) rand) en met behulp van de daarbij behorende (door o.a. PBOK aangeleverde) kengetallen, etc. (zie bijlage VI). De resultaten staan gepresenteerd in tabel 7.1. Doordat de nauwkeurigheid van de geraamde onderhoudskosten ± 20% bedraagt, zijn in de tabel ook de minimum- en de maximumkosten aangegeven.

Variant	Totale gemid. onderhoudskosten	Minimale onderhoudskosten	Maximale onderhoudskosten
Variant I staal	ƒ 1.200.750,-	ƒ 960.600,-	ƒ 1.440.900,-
Variant II beton	ƒ 276.060,-	ƒ 220.850,-	ƒ 331.270,-
Variant III beton	ƒ 276.060,-	ƒ 220.850,-	ƒ 331.270,-
Variant IV beton	ƒ 276.060,-	ƒ 220.850,-	ƒ 331.270,-
Variant V beton	ƒ 285.060,-	ƒ 228.050,-	ƒ 342.070,-
Variant VI staal	ƒ 1.080.870,-	ƒ 864.700,-	ƒ 1.297.040,-

Tabel 7.1 *Totale onderhoudskosten VARI-varianten*

Conclusies

Uit de tabel kunnen de volgende conclusies worden getrokken:
- de varianten II, III en IV zijn het goedkoopst qua onderhoud;
- de betonnen varianten grofweg een factor 4 goedkoper zijn qua onderhoud dan de stalen varianten;
- het verschil vooral in de huur van een steiger zit (zie bijlage VI);
- dat ook zonder de huur van de steiger (een kleine zeven ton), de betonnen varianten beter scoren dan de stalen tegenhangers;
- dat ook wanneer het maximum voor de betonnen varianten wordt genomen en het

minimum voor de stalen varianten, de eersten nog steeds beter scoren. Dit betekent ook dat er geen probleem van overlap bestaat;

Uit de conclusies blijkt dat de betonnen varianten duidelijk lager in onderhoudskosten zijn de stalen varianten. Opgemerkt wordt dat de conclusies slechts indicatief en niet representatief zijn, omdat niet is voldaan aan de statistische vereisten voor een betrouwbare steekproef.

7.5.3 Afweging onderhouds- en stichtingskosten

Op grond van de berekende onderhoudskosten en de al bekende bouwkosten is opnieuw een afweging gemaakt. Hierbij zijn alleen de 'onderscheidende' onderhoudskosten meegewogen. Tevens is gekeken naar de gezamenlijke minimale en maximale kosten van de twee kostenelementen. De resultaten hiervan staan vermeld in tabel 7.2.

Variant	Totale bouwkosten	Onderhoudskosten	Totale minimale kosten	Totale maximale kosten
Variant I staal	f 77.000.000,-	f 1.200.750,-	f 62.560.600,-	f 93.840.900,-
Variant II beton	f 61.000.000,-	f 276.060,-	f 49.020.850,-	f 73.531.270,-
Variant III beton	f 63.000.000,-	f 276.060,-	f 50.620.850,-	f 75.931.270,-
Variant IV beton	f 65.000.000,-	f 276.060,-	f 52.220.850,-	f 78.331.270,-
Variant V beton	f 76.000.000,-	f 285.060,-	f 61.028.050,-	f 91.542.070,-
Variant VI staal	f 100.000.000,-	f 1.080.870,-	f 80.864.700,-	f 121.297.040,-

Tabel 7.2 *Herafweging VARI-varianten op grond van zowel de bouw- als onderhoudskosten*

Conclusies

Uit de tabel zijn de volgende conclusies te trekken:

- In zekere zin volgen de onderhoudskosten de bouwkosten, d.w.z. hoe hoger de bouwsom van een variant, hoe hoger ook de onderhoudskosten. Een lineair verband tussen de beide kostenelementen valt echter niet te ontdekken;
- Het totaal aan 'discriminerende' onderhoudskosten vormt per variant slechts tussen de 0,4 en 1,5% van de bouwsom. Bij een totale nauwkeurigheid van de kosten van ± 20% zijn deze 'discriminerende' onderhoudskosten dan ook verwaarloosbaar bij de afweging;
- Er treedt overlap op tussen de varianten, m.a.w. de maximale kosten van de (goedkopere) betonnen varianten zijn hoger dan de minimale kosten van de (duurdere) stalen varianten;

7.6 Zaltbommel-case

7.6.1 Algemeen

De brug bij Zaltbommel is al jaren een knelpunt in de A2 tussen Utrecht en Den Bosch. Een nieuwe oeververbinding werd dan ook noodzakelijk geacht. Deze nieuwe verbinding wordt in fasen aangelegd. In de eerste fase wordt een nieuwe brug met 2*3 rijstroken en een parallelweg aangelegd, waarna de oude brug wordt geamoveerd. Hierna wordt in de tweede fase op de plek van de oude een nieuwe brug aangelegd met 2*4 rijstroken, vluchtstroken en een parallelweg voor langzaam verkeer. In deze case wordt alleen de 'eerste fase' behandeld.

Beschrijving kunstwerk:

- de brug krijgt een dwarsprofiel van 2*3 rijstroken zonder vluchtstroken, maar met een parallelweg voor langzaam verkeer aan de westzijde (samen ± 36m), het rijdek ligt ± 18m boven NAP;
- de lengte van de hoofdoverspanning bedraagt 256m, de totale lengte (dus inclusief de aanbruggen) varieert tussen de 470 en 521m.

7.6.2 Beoordeling varianten Zaltbommel

In de variantennota 'Brug Zaltbommel' [40] staan zeven varianten beschreven. De beoordeling van deze varianten geschiedde op de volgende criteria:

1 Geraamde bouwkosten;
2 Invloed van optimalisatie en verdere uitwerking op de geraamde bouwkosten;
3 Voorontwerp passend binnen randvoorwaarden volgend uit programma van eisen;
4 Niet uitgezochte onderwerpen in het voorontwerp;
5 Montagemogelijkheid van de tweede brug;
6 Hinder voor de scheepvaart.

Het resultaat hiervan staat vermeld in tabel 7.3:

Criterium Variant	1 bouwk.	2 optimal.	3 randv.	4 niet uitg.	5 montagem.	6 hinder
A beton sym.	63.378.000	0	+	0	+	+
B staal/beton asym.	85.888.000	+	-	-	+	0+
C staal sym. bet. pyl.	68.919.000	0	+	0	+	0+
CC sta. sym sta. pyl.	69.171.000	0	+	+	+	0+
D staal asym.	75.014.000	0	-	0	+	0+
E boog beton	69.033.000	-	+	-	-	-
F staal/beton sym.	79.249.000	0	+	-	+	0+

Tabel 7.3 *Resultaten beoordeling varianten brug bij Zaltbommel*

De keuze van de voorkeursvarianten heeft voornamelijk plaats gevonden op grond

van criterium 1 met als resultaat dat variant A, C en CC als beste uit de bus komen. Vervolgens zijn op grond van deze drie varianten, vier hoofdvarianten uitgewerkt tot besteksniveau, namelijk:

- betonnen aanbrug + betonnen tuibrug;
- staal/betonnen aanbrug + stalen tuibrug;
- betonnen aanbrug + stalen tuibrug;
- staal/betonnen aanbrug + betonnen tuibrug.

In het rapport 'Eindrapportage keuzeproblematiek Zaltbommel' [2] zijn vervolgens voor een betonnen aanbrug, een stalen aanbrug, een betonnen tuibrug en een stalen tuibrug de onderhouds-, beheer-, engineering & toezichts-, aanpassings-, sloop- & restwaarde, rijksleveringen en maatschappelijke kosten bepaald. Voor de vier overgebleven varianten, elk bestaande uit een combinatie van zo'n aanbrug en tuibrug, zijn op grond van deze kosten en de achterhaalde bouwkosten de totale (c.q. integrale) kosten opgesteld. Het resultaat staat vermeld in tabel 7.4.

Kostenelement	Variant A bet. tuibr. bet. aanbr.	Variant B stal. tuibr. bet/st. aanbr.	Variant C stal. tuibr. bet. aanbr.	Variant D bet. tuibr. bet/st. aanbr.	Beste Keuze
Bouwkosten	72.507.000	73.170.000	70.264.000	74.613.000	C
Onderhoudsk.	4.610.000	11.690.000	7.550.000	8.750.000	A
Beheerkosten	1.210.000	2.710.000	2.690.000	1.230.000	D
Engin. & toez.	6.680.000	6.340.000	6.470.000	6.550.000	B
Aanpassingsk.	830.000	1.070.000	1.060.000	840.000	A
Sloopk. + restw.	390.000	250.000	290.000	350.000	C
Rijksleveringen	790.000	470.000	370.000	890.000	C
Maatsch. kosten	13.300.000	13.300.000	13.300.000	13.300.000	C
Totaalkosten	**100.317.000**	**109.000.000**	**101.774.000**	**106.743.000**	**A**

Tabel 7.4 *Totaalkosten overgebleven varianten Zaltbommel*

Conclusies

Los van de onzekerheden van de vermelde bedragen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Als alleen de bouwkosten (zoals tot op heden gebruikelijk) worden bekeken, komt variant C als winnaar uit de bus. Worden echter ook de andere kosten erbij betrokken (d.w.z. een integrale afweging), dan blijkt variant A de voorkeur te genieten.;
- Hoewel de maatschappelijke kosten na de bouwkosten de grootste kostenpost vormen, zijn ze hier voor alle vier de varianten hetzelfde en daarmee niet onderscheidend. Ditzelfde verhaal geldt voor de engineerings- en toezichtskosten (de op twee na grootste kostenpost);
- De onderhoudskosten en de beheerkosten zorgen voor de verschuiving van

variant C naar variant A. M.a.w. deze twee kostenposten vormen samen (althans in deze case) de 'discriminerende' elementen, waardoor de keuze voor de voorkeursvariant verandert;
- Ook hier gaat het principe op dat een duurdere brug qua bouwkosten dat ook qua onderhoudskosten is. De staal/betonnen aanbruggen lijken hierin een grote rol te spelen, omdat ze in de twee duurste varianten zitten (zowel bouw- als onderhoudskosten).

7.7 Dintelhavenbrug-case

7.7.1 Algemeen

De Dintelhavenbrug is een onderdeel van de bestaande Europaweg (N 15) en vormt de overkruising over de Dintelhaven. Op de bestaande brug liggen thans één spoor, twee rijstroken en een fietspad. De bestaande brug vormt zowel voor de scheepvaart, als voor het spoor en het wegverkeer een bottleneck in de afwikkeling van de diverse goederenstromen. Zowel een nieuwe spoorbrug als verkeersbrug zijn daarom benodigd.

Beschrijving kunstwerk:
De nieuwe verkeersbrug moet aan de volgende vereisten voldoen: 2x2 rijstroken met in- c.q. uitvoegstrook, geen vluchtstroken en een parallelbaan voor langzaam verkeer. De benodigde totaalbreedte van het dwarsprofiel bedraagt ca. 40m. De lengte van de totale overspanning bedraagt ca. 224m. Voor de gehele vaarbaanbreedte (85m) bedraagt de doorvaarhoogte 12,5m +NAP. De beoogde levensduur van de brug bedraagt 75 jaar [43].

7.7.2 Stichtings- en onderhoudskosten

Eerst zijn studies verricht naar mogelijke brugconstructies binnen de categorie 'Liggerbruggen', 'Boogbruggen' en 'Tuibruggen'. Daarna zijn vier varianten overgebleven (zie ook bijlage VII):

- een dubbele uitbouwbrug;
- een enkele boogbrug van beton;
- een enkele boogbrug van staal;
- een scheve asymmetrische tuibrug.

Vervolgens zijn deze varianten afgewogen op verschillende aspecten (zie bijlage VII) waaronder de bouw- en onderhoudskosten [43].

Aanleg

Opvallend aan de raming van de stichtingskosten is dat de bijkomende kosten (o.a. de engineeringskosten) niet worden meegenomen. Hierdoor ontstaat een vertekend beeld, omdat de stichtingskosten in werkelijkheid hoger zullen zijn.

De hoeveelheden hebben de basis gevormd voor de ramingen van de stichtingskosten (prijspeil 1994), waardoor nauwkeurige ramingen zijn verkregen (± 15%).

Onderhoud
Voor de toekomstige onderhoudskosten is uitgegaan van de trend van de door twee ingenieursbureau's gemaakte prognoses [41,42] voor de brug bij Zaltbommel. Voor het vergelijken van de betonnen en stalen boogbrug is deze trend overgenomen. Kort samengevat houdt deze trend in dat optimalisatie van het onderhoud wordt nagestreefd. Frequent onderhoud moet de constructie in conditie houden en alleen de meest noodzakelijke dingen worden vervangen binnen de levensduur van 75 jaar.

Het hanteren van de resultaten van het tuibruggedeelte van Zaltbommel wordt als volgt verantwoord:

1. de stalen tuibrug Zaltbommel en de stalen boogbrug Dintelhaven hebben allebei een stalen rijdek, stalen pylonen c.q. stalen bogen. tuikabels c.q. hangers;
2. de betonnen tuibrug Zaltbommel en de betonnen boogbrug Dintelhaven hebben allebei een rijdek van betonnen prefab liggers met prefab vloerplaten en een ter plaatse gestort dek. De pylonen van Zaltbommel zijn van beton evenals de bogen van de Dintelhavenbrug;
3. de bouwkosten van de tuibrug Zaltbommel zijn van dezelfde orde en grootte als de boogbrug Dintelhaven;
4. in beide gevallen is de levensduur 75 jaar.

De onderhoudskosten zijn contant gemaakt tegen een discontovoet van 5%. De band breedte van de onderhoudskosten bedraagt (evenals de stichtingskosten) ± 15%.

Omdat het project ten tijde van dit onderzoek in de aanbestedingsfase zat, worden i.v.m. de gevoeligheid van deze cijfers niet de werkelijke stichtings- en onderhoudskosten gegeven maar afgeleide indexcijfers. De kosten zijn geïndexeerd, door de hoogste 'totale kostenpost' op 1 te stellen en de 'rest' door deze hoogste 'totale kostenpost' te delen. De resultaten van deze exercitie staan vermeld in tabel 7.5.

Variant	Stichtingskosten	Onderhoudskosten	Totaal
Dubbele uitbouwbrug	0,868	0,026	0,894
Enkele betonnen boogbrug	0,945	0,033	0,978
Enkele stalen boogbrug	0,924	0,076	1,000
Scheve asymmetrische tuibrug	0,947	0,046	0,993

Tabel 7.5 *Geïndexeerde bouw- en onderhoudskosten Dintelhavenbrug.*

Indien bedacht wordt dat de bandbreedte van zowel de stichtingskosten als de onderhoudskosten ± 15% bedraagt, kan er overlap optreden tussen de varianten waardoor een eenduidige keuze wordt bemoeilijkt.

Conclusies
Uit tabel 7.4 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:
- de varianten met de laagste (hoogste) stichtingskosten hebben de laagste (hoogste) onderhoudskosten en vice versa;
- door de onderhoudskosten mee te wegen, wordt de tuibrug bij deze 'integrale'

afweging aantrekkelijker dan de stalen boogbrug (verschuift van de vierde naar de derde plaats);
- de contant gemaakte onderhoudskosten bedragen bij de betonnen varianten rond de 3%, bij de stalen boogbrug rond de 8% en bij de tuibrug rond de 5% van de stichtingskosten;
- de onderhoudskosten (uitgedrukt in percentages t.o.v. stichtingskosten) zijn niet discriminerend als wordt bedacht dat de onnauwkeurigheid ± 15% bedraagt.

7.8 Conclusies

Aan het einde van dit hoofdstuk vol studie-cases worden de volgende conclusies getrokken:

- Andere, nog niet beschreven (bv. politieke), overwegingen kunnen ten grondslag liggen aan de keuze voor een voorkeursvariant. Zo vormen veiligheid en esthetica naast de kosten de belangrijkste afwegingscriteria;
- Het integrale kostenafwegingsmodel kan het beste in die afwegingen worden gebruikt waarbij meerdere, min of meer zelfstandige varianten aan de orde zijn. Dit zijn doorgaans de meer grote infrastructurele kunstwerken;
- De onderhoudskosten zijn niet aanvullend 'discriminerend' gebleken, omdat enerzijds de verdisconteerde onderhoudskosten relatief gering zijn t.o.v. bouwkosten en anderzijds een duurdere brug qua bouwkosten dat ook qua onderhoudskosten bleek te zijn en vice versa;
- Het totale percentage aan 'discriminerende' onderhoudskosten (3 à 8%) vallen in het niet bij een totale nauwkeurigheid van de kosten van ± 20%.

8 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de eindconclusies (paragraaf 8.1) en aanbevelingen gepresenteerd (paragraaf 8.2).

8.1 Conclusies

Uit dit onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

1. Van de behandelde (kosten)indelingen voldoet de levensduurkosten-indeling het beste als 'kapstok' om kostenelementen aan op te hangen;

2. Binnen het opgestelde integrale kosten**indeling**smodel vormen de 'discriminerende' kostenelementen *bouwkosten, ontwerpkosten, onderhoudskosten* en *maatschappelijke kosten* de belangrijkste kostenelementen, respectievelijk 67%, 11%, 5% en 13% (als het totaal aan 'discriminerende' kostenelementen samen 100% is);

3. De bestaande, door RWS gebruikte, algemene ramingsmethodiek voldoet niet voor het ramen van de stichtings- c.q. onderhoudskosten. De methodiek perst de kostenelementen op een andere manier in een algemeen keurslijf, waardoor het verschil tussen 'discriminerende' en 'niet discriminerende' kostenelementen optisch wordt geëlimineerd. Als basis voor het 'ramen' van kengetallen voldoet deze methodiek wel;

4. Eventuele 'bevoordelingen' of 'benadelingen' van kostenelementen door disconteren zijn verwaarloosbaar op de gehele integrale kostenafweging;

5. Van de onderscheiden onzekerheden voor de 'discriminerende' basis-kostenelementen zijn de kengetal-onzekerheden de belangrijkste. Door deze kengetallen meer betrouwbaar te maken, neemt ook de betrouwbaarheid van de ramingen toe;

6. De onderhoudskosten zijn niet aanvullend 'discriminerend' gebleken op de bouwkosten, omdat enerzijds de verdisconteerde onderhoudskosten relatief gering zijn t.o.v. bouwkosten en anderzijds een duurdere brug qua bouwkosten dat ook qua onderhoudskosten bleek te zijn en vice versa. Daarnaast valt het totale percentage aan 'discriminerende' onderhoudskosten (in de cases zo'n 3 à 8%) in het niet bij een totale nauwkeurigheid van de kosten van ± 20%;

7. Tussen de hoogte van de bouwkosten en de hoogte van de onderhoudskosten lijkt een niet-lineair verband te bestaan, waarbij de materiaalsoort van het kunstwerk een doorslaggevende rol speelt.

8.2 Aanbevelingen

Op grond van het onderzoek en de conclusies uit paragraaf 8.1 worden de volgende aanbevelingen gedaan:

1. Naar aanleiding van het kwalitatieve onderzoek naar de gebruikte criteria in variantennota's, wordt aanbevolen of de aspecten veiligheid en esthetica explicieter in het opgestelde integrale kostenafwegingsmodel kunnen worden opgenomen.

2. Exercities om de 'discriminerende' kostenelementen te schatten, zoals in hoofdstuk 3 is gedaan voor vaste betonnen bruggen, ook voor andere typen kunstwerken uit te voeren;

3. Nader onderzoek te verrichten naar de maatschappelijke kosten t.g.v. stremmingen door onderhoudswerkzaamheden om een beter beeld van de 'werkelijke' grootte te krijgen. Daarnaast moet worden bekeken of deze kosten daadwerkelijk 'discriminerend' zijn of dat ze voor de verschillende soorten bruggen (en viaducten) vrijwel hetzelfde zijn.

4. Inspanningen om onzekerheid te reduceren in te zetten voor het verbeteren van de kengetallen. Het mes snijdt dan aan twee kanten: eerst worden de ramingen beter en vervolgens worden de op deze ramingen gebaseerde nieuwe kengetallen weer beter, etc.

5. Nagaan wat de overige 'discriminerende' kostenelementen voor invloed hebben op de uiteindelijke afweging van kunstwerkvarianten.

LITERATUURLIJST

[1] *Een brug tussen beleid en realisatie*, Bouwdienst Rijkswaterstaat, Afdeling Voorlichting.

[2] *Eindrapportage keuzeproblematiek Zaltbommel*, de ontwikkeling van een methodiek die de keuze van het meest economische alternatief bij het project Zaltbommel mogelijk moet maken, C.A. Sanders, Bouwdienst RWS, DIA, april 1992.

[3] *Een onderhoudsprognosemodel voor betonnen overbruggingsconstructies*, deel I: voorstudie, L.J. van Bussel, Hengelo, oktober 1995.

[4] *Kosten en offers*, drs. R.M. Klein Nagelvoort, Boekelo, 1993.

[5] *Strategie voor de jaren negentig*, Beleidsplan Rijkswaterstaat, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, mei 1990.

[6] *Uitvoeringstechniek & Beheer*, collegedictaat, dr. ir. M. Kok, Universiteit Twente, augustus 1993.

[7] *Onderhoud: kunst- en vliegwerk (?)*, afstudeerverslag, P.J.M.M. Krumm, Enschede, december 1992.

[8] *Een raamwerk voor ramingen*, eindrapport, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Werkgroep Ramingen Problematiek, mei 1991.

[9] *Werk in uitvoering*, een handreiking met suggesties en ideeën, Project Ramingen Infrastructuur, maart 1995.

[10] *Handleiding Besluitvorming Hoofdwegen*, Deel II aspecten, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, mei 1996.

[11] *200 jaar ramingen bij rijkswaterstaat*, een verkenning, Alex van Heezik, 's-Gravenhage, maart 1994.

[12] *Vaste stalen bruggen, een onderhoudsprognosemodel*, L.P. Schouwstra, afstudeerverslag, Civiele Technologie & Management, Universiteit Twente, oktober 1995.

[13] *Een onderhoudsprognosemodel voor betonnen overbruggingsconstructies*, deel II: Hoofdrapport, L.J. van Bussel, Hengelo, oktober 1995.

[14] *Laagste inschrijving niet per definitie de goedkoopste*, Bouwdienstmagazine, nr. 2, p.7-9, C.A. Sanders en A.W.F. Reij, november 1992.

[15] *Handleiding Besluitvorming Hoofdinfrastructuur deel II*, concept, Twijnstra Gudde, RWS, DWW, 2 augustus 1994.

[16] *Kostenbewust beheer en onderhoud van kunstwerken*, probleeminventarisatie en onderzoeksvoorstel, ir. R.C. Steyn, Enschede, 30 juni 1993.

[17] *Cost accounting*, a managerial emphasis, seventh edition, Charles T. Horngren/ George Foster, 1991.

[18] *Handboek Economische Effecten Infrastructuur*, AGV Adviesgroep voor Verkeer en Vervoer, februari 1996.

[19] *Handboek Civiele kunstwerken*, ontwerp, uitvoering, beheer en onderhoud, ir. Henk de Jong, et al, Den Haag, 1996.

[20] *Milieugerichte levenscyclusanalyses van produkten*, Handleiding, R.Heijungs (red.), Leiden, 1992.

[21] *Begroten, budgettering, kosten beheersen*, reader 1994/1995, H. Kroon.

[22] *Kengetallen Rijkswaterstaat Algemeen*, Deel I, Bouwdienst Rijkswaterstaat, Steunpunt Opdrachtgeverschap, oktober 1996.

[23] *Kengetallen Rijkswaterstaat Kunstwerken*, Deel III, Bouwdienst Rijkswaterstaat, Steunpunt Opdrachtgeverschap, september 1995.

[24] *Evaluatiemethoden*, een introductie, vierde herziene druk, Ministerie van Financiën, 's-Gravenhage, 1992.

[25] *Milieugerichte levenscyclusanalyses van produkten*, Achtergronden, R. Heijungs (red.), Leiden, 1992

[26] *Meerjaren Instandhoudingsplannen Kunstwerken gelegen in RW 27*, deel I, DAS Den Bosch, Projectbureau Onderhoud Kunstwerken, 25 juni 1996.

[27] *Meerjaren Instandhoudingsplannen Kunstwerken gelegen in RW 27*, deel II: Bijlage, DAS Den Bosch, Projectbureau Onderhoud Kunstwerken, 25 juni 1996.

[28] *Meerjaren Instandhoudingsplannen Kunstwerken gelegen in RW 73*, Projectbureau Onderhoud Kunstwerken, 1996.

[29] *Voorontwerpnota kunstwerken VARI KW 7 en 8*, Bouwdienst Rijkswaterstaat, 1 september 1994.

[30] *Olifanten en dino's*, prognose kosten instandhouding kunstwerken in 'nat' beheer bij Rijkswaterstaat, Inframm, augustus 1996.

[31] *Raming engineeringskosten voor bruggen-projecten*, projectgroep 'Raming Engineeringskosten', 24 januari 1996.

[32] *Variantennota kunstwerken 2, 3, 4, 5, 6 en 8*, RW 32, gedeelte Wolvega - Heerenveen, H. Bouwman, Bouwdienst Rijkswaterstaat, augustus 1994.

[33] *Variantennota kw 14, brug o/d Tjonger*, RW 32, gedeelte Heerenveen - Ooievaar, H. Bouwman, Bouwdienst Rijkswaterstaat, december 1995.

[34] *Brug over het Eemmeer/Gooimeer in RW 27 gedeelte knooppunt Eemnes - Flevoland*, Voorontwerpnota, A. Cools / J. Dudar / N. Kaptijn / G. Krielaart, 19 april 1994.

[35] *Aansluiting IJ-boulevard op RW 10 Oost*, Deelproject kunstwerken, Voorontwerpnota (herziene versie), J. de Witte, 1 juni 1994.

[36] *Ecoduct Kootwijk*, ACE Ingenieurs- & Adviesburo, Rotterdam, 19 juli 1996.

[37] *Brug Zaltbommel*, variantennota, 2e deel, Directie Bruggen, 28 november 1989.

[38] *Besturingsconcepten voor bouwprocessen*, collegedictaat, ir. A.G. Dorée, Universiteit Twente, november 1993.

[39] *VWO economie II samengevat*, drs. A. Maurer, Leiden, november 1991.

[40] *Brug Zaltbommel*, variantennota, 1e deel, Directie Bruggen, 28 november 1989.

[41] *Onderzoek naar de onderhoudsgevoeligheid van een viertal ontwerpvarianten voor de brug over de Waal bij Zaltbommel*, rapportage, Ingenieursbureau Grabowsky & Poort BV, mei 1991.

[42] *Analyse onderhouds- en beheerskosten tuibrug Zaltbommel*, Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs, mei 1991.

[43] *RW 15 Uitbreiding Europaweg*, Bouw Dintelhavenbrug, variantennota, C. Kuilboer, 10 april 1995.

[44] *Rationeel kunstwerkbeheer*, eindrapportage niveau 2+, TNO Bouw, Rijswijk, 28 januari 1997.

[45] *Handboek Cost Engineers*, Dutch Association of Cost Engineers, Alphen aan den Rijn, april 1989.

BIJLAGE I

Ontwerpkosten en maken planstudie

In het definitieve rapport 'Raming engineeringskosten voor bruggenprojekten' [31] concludeert de projectgroep 'Raming engineeringskosten' op basis van een analyse van 35 opgeleverde projecten, dat de best mogelijke benadering van de engineeringskosten (= ontwerpkosten) van een integraal bruggenproject (van de initiatieffase tot en met de beheerfase) voor dit moment (eind 1996) wordt weergegeven door de volgende formules:

Voor bruggen met bouwsommen *kleiner* of *gelijk aan* 14 miljoen:

engineering als *percentage van de bouwsom* = $8{,}6 \times \sqrt{\dfrac{14}{B + 0{,}25}}$

engineering in *manweken per miljoen bouwsom* = $19{,}1 \times \sqrt{\dfrac{14}{B + 0{,}25}}$

Hierin staat de 'B' voor de Bouwsom in miljoen guldens exclusief BTW, oftewel de aanneemsom plus eventueel ter beschikking gestelde materialen.

Voor bruggen met bouwsommen *groter dan* 14 miljoen:

engineering als *percentage van de bouwsom* = 8,6%

engineering in *manweken per miljoen bouwsom* = 19,1 manweken

Bij bovenstaande formules dient het volgende in ogenschouw te worden genomen [31]:

- dat de gemiddelde waarden voor engineering een relatief hoge standaardafwijking vertonen, o.m. door de mate van complexiteit van het werk. Een hoge (lage) complexiteit van het werk heeft een hoge (lage) m^2-prijs. Daarom moet het aan de hand van de formule berekende getal bij een hoge (lage) complexiteit van het werk worden verminderd (vermeerderd) met (maximaal) een kwart van de standaardafwijking: ± 40%.;
- dat de betrouwbaarheid van de uitgedrukte manweken groter is dan die van de uitgedrukte kosten;
- hoewel daar geen 'harde' uitspraken over zijn te doen, is het engineeringsaandeel in de verschillende projectfasen gemiddeld als volgt:

* initiatieffase	6,2%
* studiefase	11,9%
* realisatiefase	78,8%
* beheerfase	3,1%
	100%

Conclusie
Daar in dit onderzoek (voor de casestudie) wordt uitgegaan van de grotere bruggenprojecten (meer dan 14 miljoen), mag voor de ontwerpkosten een percentage van 8,6% van de bouwsom worden aangehouden met een standaardafwijking van ± 40%.

'Directie en toezicht'
Voor wat betreft de kosten voor het voeren van 'directie en toezicht' wordt in hetzelfde rapport [31] op basis van een analyse van 23 opgeleverde projecten geconcludeerd dat de best mogelijke benadering voor de kosten van 'directie en toezicht' (D +T) op dit moment de volgende is:

Voor bruggen met bouwsommen *kleiner* of *gelijk aan* 8 miljoen:

D + T als *percentage van de bouwsom* = 7,2 x (1,7 - 0,09B)

D + T in *manweken per miljoen bouwsom* = 14,4 x (1,7 - 0,09B)

Hierin staat de 'B' wederom voor de Bouwsom in miljoen guldens exclusief BTW, oftewel de aanneemsom plus eventueel ter beschikking gestelde materialen.

Voor bruggen met bouwsommen *groter dan* 8 miljoen:

D + T als *percentage van de bouwsom* = 7,2%

D + T in *manweken per miljoen bouwsom* = 14,4 manweken

De projectgroep ziet vooralsnog geen reden waarom van grote spreiding in D + T sprake zou moeten zijn, hoewel deze er wel is (35 à 42%) . Voor directievoering en toezicht lijkt een lineair verband te bestaan tussen bouwsom en D+T-percentage/ aantal manweken per miljoen bouwsom hiervoor. Het loonkosten-aandeel van bouwsommen ligt vrij constant rond de 40%. Met de veronderstelling 'X-man voor Y-man van de aannemer' zou ook de D + T een vrijwel constant percentage van de bouwsom moeten zijn.

Conclusie
Daar in dit onderzoek wordt uitgegaan van de grotere bruggenprojecten (meer dan 8 miljoen), mag voor 'directie en toezicht' een percentage van 7,2% van de bouwsom worden aangehouden met een standaardafwijking van ± 35%.

BIJLAGE II

Maatschappelijke kosten t.g.v. stremmingen bij onderhoudswerkzaamheden aan de fictieve brug.

Uitgangspunten en aannamen [2]:

- de onderhoudswerkzaamheden van de fictieve betonnen brug komen vrijwel overeen met die van de 'betonnen aanbrug'-variant van de brug bij Zaltbommel.

- wegafzettingen:
  * 1x per 2 jaar voor inspectie en onderhoud;
  * 1x per 8 jaar voor groot onderhoud c.q. vervanging.

- de werkzaamheden vinden plaats buiten de spits en alle onderhoudsacties, waarvoor een rijstrook- of wegafzetting nodig is, zijn op elkaar afgestemd.

- voor inspectie en onderhoud zijn 5 werkdagen per actie nodig, voor groot onderhoud c.q. vervanging 10 dagen.

- capaciteit op de weg: 2x2 ASW —> max. 4.300 mvt / u / richting.

- bij onderhoudsactiviteiten ondervindt het verkeer hinder op een wegvak van 5 km lengte; de gemiddelde snelheid op dat wegvak is 10 i.p.v. 100 km per uur. Dit komt overeen met een vertraging van ca. 27 minuten (per uur per mvt).

- het aantal voertuigen dat vertraging ondervindt (gedurende 6 uur per dag) bedraagt 2.900/u.

- bovengenoemde vertragingen treden pas na de eerste 15 jaar op.

- de maatschappelijke kosten per voertuig per uur bedroegen in 1986 gemiddeld circa *f* 20,- (index=100). Voor 1996 komt dit overeen met *f* 27,- (index=134).

Bovenstaande gegevens leiden per I&O-actie tot de volgende kosten:

5 (dgn) x 6 (uur) x 2.900 (mvt) x 27/60 x 27 = *f* 1.057.000,-

Deze kosten treden, bij een economische levensduur van 50 jaar, 17 keer op.

Voor 'groot onderhoud/vervanging' is een zelfde berekening uitgevoerd. Per actie 'groot onderhoud' bedragen de maatschappelijke kosten: *f* 9.720.000,- (1986, index=100). Voor 1996 komt dit overeen met *f* 13.025.000,- (index=134). Deze kosten treden, bij een economische levensduur van 50 jaar, 5 keer op.

De in totaal 22 kostenposten, die op bovenstaande wijze zijn bepaald, zijn tenslotte voor 50 jaar gedisconteerd (discontovoet 4%). De totale maatschappelijke kosten ten gevolge van stremmingen bedragen dan: 5.530.000 + 20.697.000 = *f* 26.227.000,-

voor de gehele brug bij Zaltbommel. Grofweg de helft hiervan is voor de betonnen aanbrug: *f* 13.100.000,-. Deze betonnen aanbrug heeft een lengte van ca. 250m, de fictieve brug heeft een lengte van 125m.

De maatschappelijke kosten voor de fictieve brug ten gevolge van stremmingen door onderhoudswerkzaamheden (gedurende 50 jaar) bedragen dan de helft van die van de betonnen aanbrug: *f* 6.500.000,-. T.o.v. de bouwsom van *f* 15 miljoen betekent dit een percentage van 43%. Dit percentage is aanzienlijk meer dan die voor de brug bij Zaltbommel, namelijk 18% (zie paragraaf 6.6.2). Dit laatste percentage is meer reëel, daarom wordt voor de maatschappelijke kosten tijdens de beheerfase een percentage van 20% (± 50%) aangehouden.

Conclusie

Tijdens de beheerfase bedragen de maatschappelijke kosten voor 50 jaar, gemiddeld 20% (± 50%).

BIJLAGE III

Beheerkosten

Schatting van de verdisconteerde beheerkosten voor 50 jaar. De discontovoet is 4% en de beheerkosten *f* 2.000,- per jaar voor de fictieve brug.

Dit bedrag disconteren voor 50 jaar levert het volgende resultaat:

$$C_t + \frac{C_{t+1}}{(1+r)^{t+1}} + \ldots + \frac{C_{50}}{(1+r)^{50}} = C_{50}\left(\frac{1 - \frac{1}{(1+r)^{50}}}{r}\right) = 2.000\left(\frac{1 - \frac{1}{(1+0{,}04)^{50}}}{0{,}04}\right) = 42.964$$

De verdisconteerde beheerkosten bedragen voor 50 jaar ca. 43.000 gulden.

Onderhoudskosten

De **vaste** onderhoudskosten van een brug (viaduct) bestaan uit kleinschalige reparaties, routinematig onderhoud en het bijwerken (van beschadigingen aan een verf/conserveringssysteem). Deze kosten bedragen per jaar circa *f* 3.000,- per kunstwerkdeel[3]. Verdisconteerd voor 50 jaar (m.b.v. bovenstaande formule bij beheerkosten) bedragen de vaste onderhoudskosten: *f* 64.000,-. T.o.v. de bouwsom van 15 miljoen gulden van de fictieve brug, betekent dit een gemiddeld percentage voor vaste onderhoudskosten van 0,43% (± 40%) voor 50 jaar.

Bij de bepaling van het percentage voor de **variabele** onderhoudskosten (voor niet periodiek en/of routinematig onderhoud) is uitgegaan van de onderhoudsscenario's zoals die in het rapport 'Olifanten en dino's' staan beschreven [30].

De daarin onderkende onderhoudsscenario's voor een vaste brug zijn (L = onderhoudstijdinterval in jaren; K = kosten als percentage van de vervangingswaarde):

- vervangingswaarde: k*f* 4/m^2
- betonnen draagconstructie:
  conserveren inclusief betonreparaties:
  Lmin = 14; Lmax = 20
  K = 5%
  vervangen: Lmin = 80; Lmax = 130
  K = vervangingswaarde

- stalen brug met betondek:
  vervangen betondek: Lmin = 40; Lmax = 60
  K = 25%
  (loopt meestal gelijk met nieuw conserveringssysteem)

---

3 Cijfers zijn afkomstig van het Projectbureau Onderhoud Kunstwerken (1996).

- tuien:
  vervangen: Lmin = 60; Lmax = 80
  K = 25%

- asfalt: deze kosten worden hier **niet** meegenomen, omdat deze kosten meestal voor een gehele weg worden gemaakt en niet alleen voor een brug.

De kosten van conserveren en vervangen zijn verdisconteerd voor de economische levensduur van 50 jaar. Hierbij is uitgegaan van:

- een goede staat van de vaste brug bij oplevering;
- een eerste conserverings- of vervangingsbeurt na een periode van Lmin (Lmax), een tweede wederom na een periode van Lmin (Lmax) en zo verder tot de laatste beurt waarna het vijftigste levensjaar van de brug optreedt;
- een discontovoet van 4% (zie paragraaf 4.6);
- de formule gebruikt bij de beheerkosten hierboven, waarbij t=Lmin of t=Lmax;
- afgeronde bedragen.

De onderhoudskosten voor de fictieve brug bedragen dan gedurende 50 jaar voor een 'Betonnen draagconstructie'-variant met tuien (TVK = Totale Verdisconteerde Kosten en n.v.t. = niet van toepassing, d.w.z. dat er geen vervanging plaatsvindt gedurende de economische levensduur van 50 jaar):

Constructie-onderdeel	L	Conserveren	Vervangen	TVK/m² per 50 j.
Beton. draagconstructie	min	220	n.v.t.	220
	max	133	n.v.t.	133
Stal. brug met betondek	min		208	208
	max		n.v.t.	
Tuien	min		n.v.t.	
	max		n.v.t.	

Tabel V.1 *Onderhoudskosten 'Betonnen draagconstructie'-variant met tuien.*

Voor Lmin betekent dit aan totale kosten: 220 + 208 = *f* 428,-/m² per 50 jaar, oftewel op een vervangingswaarde van *f* 4.000,-/m² komt dit overeen met 10,7% voor 50 jaar.
Voor Lmax betekent dit aan totale kosten: *f* 133,-/m² per 50 jaar, oftewel op een vervangingswaarde van *f* 4.000,-/m² komt dit overeen met 3,3% voor 50 jaar.

De variabele onderhoudskosten van de fictieve betonnen, vaste brug variëren van 3,3 tot 10,7% voor 50 jaar.

Conclusie
Het percentage vaste onderhoudskosten valt in het niet bij die van de variabele onder houdskosten. Voor de totale (variabel en vast) onderhoudskosten lijkt een gemiddeld percentage van 7% (±40%) voor 50 jaar de beste keuze.

BIJLAGE IV

Voor de aanpassing van een brug zijn een aantal scenario's denkbaar:

- vervangingswaarde: *f* 2.200,-/m^2, deze waarde ligt hoger omdat het om aanpassingen gaat aan reeds bestaande kunstwerken;

- *verbreden t.b.v. extra rijstroken of geluidsschermen*
  * de huidige fictieve brug verbreden:
    een extra rijstrook of strook voor een geluidsscherm c.q. aarden wal betekent grofweg een verbreding van de brug met 4m. Bij een breedte van 40m van de fictieve brug en een vervangingswaarde van *f* 2.200,-/m^2 betekent dit aan aanpassingskosten: *f* 352.000,-. Deze kosten zullen veelal gemiddeld pas aan het einde van de economische levensduur van de brug worden gemaakt. Hierdoor ligt discontering van de kosten voor de hand: *f* 49.500,- (in het vijftigste 'levensjaar'). Op een totale bouwsom van *f* 15.000.000,- is dit ca. 0,33%. Indien aan weerszijden een extra (rij)strook wordt aangelegd, verdubbeld het percentage;
  * een tweede brug parallel naast de fictieve brug bouwen:
    bij deze optie wordt er in wezen een nieuwe brug gebouwd. De kosten hiervoor vallen m.i. dan ook niet onder aanpassingskosten, maar onder bouwkosten.

- *verlengen t.b.v. faunavoorzieningen of door verbreding van de onderliggende (vaar)weg*
  * de huidige fictieve brug verlengen:
    een verlenging met 2m voor een faunavoorziening van de fictieve brug bij een breedte van 40 m kost *f* 176.000,-. Deze kosten zullen veelal gemiddeld pas aan het einde van de economische levensduur van de brug worden gemaakt. Hierdoor ligt discontering van de kosten voor de hand: *f* 24.750,- (in het vijftigste 'levensjaar'). Op een totale bouwsom van *f* 15.000.000,- voor de gehele brug betekent dit een percentage van ongeveer 0,17%. Bij verbreding van de onderliggende (vaar)weg zal de verlenging van de fictieve brug van dezelfde orde en grootte zijn als de genoemde verbreding voor een extra (rij)strook;
  * een tweede brug in serie naast de fictieve brug bouwen
    bij deze optie wordt er in wezen een nieuwe brug gebouwd. De kosten hiervoor vallen m.i. dan ook niet onder aanpassingskosten, maar onder bouwkosten.

Conclusie
Afhankelijk van de grootte van de verbreding dan wel verlenging varieert het percentage aanpassingskosten van zo'n 0,17 tot 0,33%. Het werkelijke percentage zal eerder hoger dan lager zijn. Een percentage van 0,3% (±40%) lijkt dan ook niet onredelijk voor de aanpassingskosten.

Aanbevolen wordt om in een eventuele vervolgstudie de aanpassingsscenario's aan te scherpen en aan te vullen.

BIJLAGE V

Onderhoudprognosemodel vaste stalen bruggen

Samengevat ziet het prognosemodel van Schouwstra voor de onderhoudskosten van vaste stalen bruggen er als volgt uit [12]:

$$K_t(x) = K_{s(x)} + K_{a(x)} + K_{b(x)} + K_{o(x)}$$

Met:

$$K_s(x) = \Sigma_{(i=1\rightarrow n)} A_{s,i} k_{s,i}$$
$$K_a(x) = \Sigma_{(i=1\rightarrow n)} A_i k_{a,i}$$
$$K_b(x) = \Sigma_{(i=1\rightarrow n)} A_{b,i} k_{b,i}$$
$$K_o(x) = \Sigma_{(i=1\rightarrow n)} A_i k_{o,i}$$

Waarbij:

K_t = Totaalkosten onderhoud volgens bovenstaande definitie
K_s = Submodel totaalkosten conserveringsonderhoud staal
K_a = Submodel totaalkosten asfaltonderhoud
K_b = Submodel totaalkosten betononderhoud
K_o = Submodel totaalkosten overig onderhoud

A_i = *Brug*dekoppervlak van brug i in m^2
$A_{b,i}$ = *Beton*dekoppervlak van brug i in m^2
$A_{s,i}$ = *Staal*oppervlak van brug i in m^2

n = Aantal bruggen
x = Prognosejaar

$k_{s,i}$ = Conserveringskosten per m^2 staal per jaar brug i
$k_{a,i}$ = Asfaltonderhoudskosten per m^2 dek per jaar brug i
$k_{b,i}$ = Betononderhoudskosten per m^2 betondek per jaar brug i
$k_{o,i}$ = Kosten overig onderhoud per m^2 dek per jaar brug i

Met:

$k_{s,i}$ = *f* 6,10/m^2 staal per jaar[4];
$k_{a,i}$ = *f* 6,30/m^2 dek per jaar;
$k_{b,i}$ = *f* 1,20/m^2 betondek per jaar;
$k_{o,i}$ = *f* 1,70/m^2 dek per jaar.

Zoals uit het bovenstaande blijkt, heeft Schouwstra de onderhoudskosten aan vaste stalen bruggen ter detaillering 'opgesplitst' in vier categorieën onderhoudskosten. Deze categorieën zijn: staalonderhoud, asfaltonderhoud, betononderhoud en 'overig' onderhoud.
Voor een nadere detaillering per onderhoudscategorie raadplege men het betreffende rapport van Schouwstra [12].

---

[4] Prijspeil 1995

Onderhoudprognosemodel vaste betonnen bruggen

Met behulp van de beschikbare gegevens is het model van Van Bussel ontwikkeld (zie paragraaf 4.4.2) en zijn kengetallen voor het model vastgesteld. In tabel V.1 zijn de gemiddelde kosten per beheerde strekkende meter lengte kunstwerken in elke leeftijdsperiode weergegeven voor het onderhoud van de categorie *beton* en *overig*.

Leeftijdsperioden		***Beton*** [*f*/m]	***Overig*** [*f*/m]
1	0 - 9	11,627	0,67129
2	10 - 19	49,628	9,6490
3	20 - 29	87,629	11,155
4	30 - 39	125,63	9,7099
5	40 - 49	163,63	18,652
6	50 - 59	201,63	0,55446
7	60 - 69	239,63	0

Tabel V.1 *Kengetallen voor vaste betonnen bruggen afhankelijk van leeftijdsperiode*

Het model mag alleen worden toegepast voor prognoses, indien de ontwikkelingen van de onderhoudsstrategie, de uitbestedingspolitiek, de besteksvoorwaarden, de concurrentie tussen aannemers, de personele en financiële capaciteit van de beheerder en de technologische vooruitgang geen effect hebben op de ontwikkeling van de onderhoudskosten. De kengetallen zijn voor dit onderzoek onbruikbaar, omdat ze alleen geldig zijn voor een bepaalde groep kunstwerken.

BIJLAGE VI

Raming variabele onderhoudskosten VARI-case

Bij het ramen van de variabele onderhoudskosten van de VARI-case is uitgegaan van de volgende uitgangspunten en aannamen:

- bij het ramen van de onderhoudskosten wordt uitgegaan van KW 8, omdat dit kunstwerk model heeft gestaan voor de voorontwerptekeningen;
- bij het ramen van de onderhoudskosten wordt er van uitgegaan dat de kunstwerken in goede staat zijn opgeleverd;
- onder een *veld* wordt de gehele bovenbouw tussen twee steunpunten van de flyover bedoeld;
- onderhoudsfrequentie voor stalen liggers, stalen ribben, stalen orthotrope plaat, betonnen liggers, betonnen druklaag, betonnen kokervormige segmenten en prefab rand: 1 keer in de 15 jaar;
- na deze 15 jaar wordt er vanuit gegaan dat de betonnen liggers, druklaag en prefab rand een schade-oppervlakte van gemiddeld 2% (schatting Bouwdienst) laten zien;
- onderhoudsfrequentie voor betonnen schampkant: 1 keer in de 20 jaar;
- gemiddelde lengte van een veld (c.q. ligger) van KW 8 is: 34,4m;
- voor de berekeningen wordt gebruik gemaakt van de volgende indexcijfers[5]: 1980: 100, 1991: 140 en 1996: 157;
- de economische levensduur bedraagt 50 jaar, d.w.z. de onderhoudskosten worden voor in totaal 50 jaar berekend. Binnen deze termijn worden de onderkende elementen niet vervangen, maar slechts hersteld/geconserveerd;
- de nauwkeurigheid van de bedraagt: 20%;
- bedragen worden op 10-tallen afgerond;
- toekomstige bedragen worden verdisconteerd tegen 4%.

Vervolgens zijn van de zes VARI-varianten de onderhoudskosten geraamd.

---

[5] Cijfers ontleent aan het referentiebestand voor kunstwerken van de Bouwdienst (bijgewerkt tot en met 199-6).

Variant I

Voor variant I worden per veld de volgende kosten onderscheiden:

Onderdeel	A of L (m^2 of m)	A_{schade} (%)	*f*/eenh. (1991)	Index-corr.	Aan-tal	Totaal (*f*)
Stalen liggers	34,4 x 3,8		15	157/140	6	13.200
$NCW_{stalen\ liggers}$	$\frac{13.200}{(1+0,04)^{15}} + \frac{13.200}{(1+0,04)^{30}} + \frac{13.200}{(1+0,04)^{45}}$					13.660
Betonnen druklaag	34,4 X 18	2	215	157/140	1	2.990
$NCW_{bet.\ druklaag}$	$\frac{2.990}{(1+0,04)^{15}} + \frac{2.990}{(1+0,04)^{30}} + \frac{2.990}{(1+0,04)^{45}}$					3.090
Prefab rand	34,4 x 1	2	215	157/140	2	330
$NCW_{prefab\ rand}$	$\frac{330}{(1+0,04)^{15}} + \frac{330}{(1+0,04)^{30}} + \frac{330}{(1+0,04)^{45}}$					340
Beton. schampkant	34,4		235	157/140	2	18.130
$NCW_{schampkant}$	$\frac{18.130}{(1+0,04)^{20}} + \frac{18.130}{(1+0,04)^{40}}$					12.050
Totaal onderdelen						**29.140**

Tabel VI.1 *Onderhoudskosten per veld variant I*

In de tabel is:
A = oppervlakte; L = lengte; NCW = Netto Contante Waarde

De totale onderhoudskosten voor variant I bedragen dan:
- onderhoudskosten 18 velden: 524.520,-
- overige kosten:
  * 6 weken hoogwerker: 30 x 100 x 157/140: 3.360,-
  * huur steiger: 3 x 200.000 x 157/140: 672.870,-

  ——— +
  1.200.750,-

Variant II

Voor variant II worden per veld de volgende kosten onderscheiden:

Onderdeel	A of L (m^2 of m)	A_{schade} (%)	*f*/eenh. (1991)	Index-corr.	Aan-tal	Totaal (*f*)
Pref. bet. liggers	34,4 X 1,15	2	215	157/140	14	2.670
$NCW_{pref.\ bet.\ liggers}$	$\frac{2.670}{(1+0,04)^{15}} + \frac{2.670}{(1+0,04)^{30}} + \frac{2.670}{(1+0,04)^{45}}$					2.760
Prefab rand	34,4 x 1	2	215	157/140	2	330
$NCW_{prefab\ rand}$	$\frac{330}{(1+0,04)^{15}} + \frac{330}{(1+0,04)^{30}} + \frac{330}{(1+0,04)^{45}}$					340
Beton. schampkant	34,4		235	157/140	2	18.130
$NCW_{schampkant}$	$\frac{18.130}{(1+0,04)^{20}} + \frac{18.130}{(1+0,04)^{40}}$					12.050
Totaal onderdelen						**15.150**

Tabel VI.2 *Onderhoudskosten per veld variant II*

In de tabel is:
A = oppervlakte; L = lengte; NCW = Netto Contante Waarde

Alhoewel deze variant ook een druklaag bezit, wordt deze niet meegenomen. De reden hiervoor is dat de laag niet zichtbaar is, doordat ze 'ingekapseld' zit tussen de betonnen liggers en het asfalt. Ook een steiger is niet benodigd.

De totale onderhoudskosten voor variant II bedragen dan:
- onderhoudskosten 18 velden: 272.700,-
- overige kosten:
  * 6 weken hoogwerker: 30 x 100 x 157/140: 3.360,-

  ——— +
  276.060,-

Ten opzichte van variant I zijn de kosten bijna een factor 3 lager.

Variant III

De onderhoudskosten voor variant III zijn vrijwel gelijk aan die van variant II. Het enige verschil tussen de beide varianten is de constructiehoogte. Dat variant III 0,3m lager is dan variant II maakt qua onderhoudskosten (in de studiefase) weinig uit. Kortom ook hier aan totale onderhoudskosten: *f* 276.060,-.

Variant IV

De onderhoudskosten voor variant IV zijn vrijwel gelijk aan die van variant III. Het enige verschil tussen de beide varianten is dat variant IV gebogen betonnen liggers heeft en variant III rechte. Qua onderhoudskosten maakt dit (in de studiefase) weinig uit. Kortom ook hier aan totale onderhoudskosten: *f* 276.060,-.

Variant V

Voor variant V worden per veld de volgende kosten onderscheiden:

Onderdeel	**A of L (m^2 of m)**	**A_{schade} (%)**	***f*/eenh. (1991)**	**Index-corr.**	**Aan-tal**	**Totaal (*f*)**
Kokervormig segment	34,4 X 19	2	215	157/140	1	3.150
$NCW_{kokervormig\ segment}$	$\frac{3.150}{(1+0{,}04)^{15}} + \frac{3.150}{(1+0{,}04)^{30}} + \frac{3.150}{(1+0{,}04)^{45}}$					3.260
Prefab rand	34,4 x 1	2	215	157/140	2	330
$NCW_{prefab\ rand}$	$\frac{330}{(1+0{,}04)^{15}} + \frac{330}{(1+0{,}04)^{30}} + \frac{330}{(1+0{,}04)^{45}}$					340
Beton. schampkant	34,4		235	157/140	2	18.130
$NCW_{schampkant}$	$\frac{18.130}{(1+0{,}04)^{20}} + \frac{18.130}{(1+0{,}04)^{40}}$					12.050
Totaal onderdelen						**15.650**

Tabel VI.3 *Onderhoudskosten per veld variant V*

In de tabel is:
A = oppervlakte in direct contact met buitenlucht; L = lengte;
NCW = Netto Contante Waarde

Deze variant bezit geen druklaag en ook voor de onderhoudswerkzaamheden is geen steiger benodigd.

De totale onderhoudskosten voor variant V bedragen dan:

- onderhoudskosten 18 velden: 281.700,-
- overige kosten:
  * 6 weken hoogwerker: 30 x 100 x 157/140: 3.360,-

  ——— +

  285.060,-

Variant VI

Voor variant VI worden per veld de volgende kosten onderscheiden:

Onderdeel	A of L (m^2 of m)	A_{schade} (%)	*f*/eenh. (1991)	Index-corr.	Aan-tal	Totaal (*f*)
Stal. Orthotrope pl.	34,4 x 28		15	157/140	1	16.200
$NCW_{orthotrope\ plaat}$	$\frac{16.200}{(1+0,04)^{15}} + \frac{16.200}{(1+0,04)^{30}} + \frac{16.200}{(1+0,04)^{45}}$					16.760
Buisv. randliggers	34,4 x 2,1		15	157/140	2	2.430
$NCW_{buisvormige\ randliggers}$	$\frac{2.430}{(1+0,04)^{15}} + \frac{2.430}{(1+0,04)^{30}} + \frac{2.430}{(1+0,04)^{45}}$					2.510
Buisv. hoofdligger	34,4 x 4,7		15	157/140	1	2.720
$NCW_{buisvormige\ hoofdligger}$	$\frac{2.720}{(1+0,04)^{15}} + \frac{2.720}{(1+0,04)^{30}} + \frac{2.720}{(1+0,04)^{45}}$					2.810
Stalen ribben	23,2		15	157/140	10	390
$NCW_{stalen\ ribben}$	$\frac{390}{(1+0,04)^{15}} + \frac{390}{(1+0,04)^{30}} + \frac{390}{(1+0,04)^{45}}$					400
Totaal onderdelen						**22.480**

Tabel VI.4 *Onderhoudskosten per veld variant VI*

In de tabel is:
A = oppervlakte; L = lengte; NCW = Netto Contante Waarde

De totale onderhoudskosten voor variant VI bedragen dan:

- onderhoudskosten 18 velden:	404.640,-
- overige kosten:	
* 6 weken hoogwerker: 30 x 100 x 157/140:	3.360,-
* huur steiger: 3 x 200.000 x 157/140:	672.870,-
	——— +
	1.080.870,-

Samengevat zien de resultaten er als volgt uit:

Variant	Totale onderhoudskosten
Variant I	*f* 1.200.750,-
Variant II	*f* 276.060,-
Variant III	*f* 276.060,-
Variant IV	*f* 276.060,-
Variant V	*f* 285.060,-
Variant VI	*f* 1.080.870,-

Tabel VI.5 *Totale onderhoudskosten VARI-varianten*

Conclusies
Uit de tabellen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:
- de varianten II, III en IV zijn het goedkoopst qua onderhoud;
- de betonnen varianten grofweg een factor 4 goedkoper zijn qua onderhoud dan de stalen varianten;
- het verschil vooral in de huur van een steiger zit.

BIJLAGE VII

Omschrijving van de overgebleven varianten Dintelhavenbrug [43].

Variant I Uitbouwbrug

- dubbele kokerbrug, van respectievelijk 15,5m (ééncellig) en 22,5m (tweecellig) breed;
- de constructiehoogte bedraagt 6,60m (incl. asfaltdikte van 0,10m), de hoogte (van een peiler) tot de bovenbouw bedraagt 8m en aan de uiteinden 3m;
- de lengtes bedragen respectievelijk 85-193,5-85m en 85-188,5-85m met een mootlengte van 4,50m.

Variant II Enkele boogbrug (beton)

- totale overspanning van 215m en een totale breedte van ca. 40m;
- de zij-overspanningen zijn van prefab-liggers;
- de constructiehoogte bedraagt 2,80m;
- het rijdek wordt gevormd door 34 prefab dwarsdragers (h.o.h. 6m), betonplaten en een ter plaatse gestorte druklaag;
- ter plaatse gestorte trekbanden;
- verticale hangers van tuidraad (h.o.h. 10m);
- twee kokervormige bogen van hoogsterktebeton met 8 kruisen van prefabbeton, elk bestaande uit vier kokers in het kruispunt verbonden door gestort beton.

Variant III Enkele boogbrug (staal)

- twee stalen kokervormige bogen met een K-windverband;
- een orthotrope rijvloer bestaande uit een stalen dekplaat van 12 mm met trogvormige langsverstijvingen (h.o.h. 6m);
- dwarsdragers met een hoogte van 1850 mm (h.o.h. 3145 mm) momentvast verbonden met twee kokervormige hoofdliggers;
- de twee hoofdliggers en de orthotrope rijvloer werken tesamen als trekband;
- de constructiehoogte bedraagt 2,60;
- verticale hangers van tuidraad (h.o.h. 15m).

Variant IV Scheve asymmetrische tuibrug

- het brugdek bestaat uit een betonnen rijdek, aan de buitenranden opgehangen aan tuikabels (h.o.h. 8,60m) en in de dwarsrichting versterkt met stalen dwarsdragers (h.o.h. 4,30m) die op hun beurt verbonden zijn met een stalen randligger;
- de hoofdoverspanning bedraagt 180m en de zij-overspanning 120m, de noordelijke zij-overspanningen worden uitgevoerd als scheve rijdekken los van elkaar met op de noordelijke oeverpeiler een voegovergang;
- van de zij-overspanning wordt de laatste 30m als betonnen ankerblok uitgevoerd (ongeveer 3m hoog);
- de constructiehoogte bedraagt 3,10m, de totale bovenbouwhoogte 70m.

Vervolgens zijn deze varianten afgewogen op de volgende aspecten:

- **Wegontwerp**
  Qua verticaal alignement scoort de uitbouwbrug slechter als de andere varianten, omdat hij hoger is (qua constructiehoogte) waardoor de zichtlengte nog net aanvaardbaar is. Het horizontale alignement is voor alle varianten gelijk (licht voordeel voor uitbouwbrug);
- **Wegontwerp onderliggend wegennet**
  Geen significant verschil tussen de varianten, alleen bij de boogbruggen is er tijdelijk sprake van een slinger in de weg (negatief).
- **Nautische aspecten**
  De bouw van de uitbouwbrug levert nauwelijks hinder voor de scheepvaart op. Bij de betonnen boogbrug ondervindt de scheepvaart wekenlang (max. 17 weken) hinder van stremmingen, zij het niet tegelijk, van de doorvaartopeningen. De scheepvaart wordt drie dagen gestremd bij het invaren van de stalen boogbrug. Bij de tuibrug ondervindt de scheepvaart wekenlang (max. 6 weken) hinder van stremmingen, zij het niet tegelijk, van de doorvaartopeningen en is zij een aantal dagen geheel gestremd.
- **Fasering Noordelijk landhoofd**
  De uitbouwbrug heeft een gering nadeel t.o.v. de andere varianten, omdat bij deze variant het grondwerk achter het landhoofd lastiger is uit te voeren.
- **Uitvoeringsaspecten**
  Uitbouwbrug: met het toepassen van Hoog Sterkte Beton (HSB) is nog weinig uitvoeringservaring opgedaan;
  Betonnen boogbrug: aandachtspunt is de engineering van de hulpconstructies en het aanspannen van de hulptuien;
  Stalen boogbrug: het opvijzelen of optrekken van de boogbrug na het invaren vormt een aandachtspunt;
  Tuibrug: het berekenen van de juiste overhoogte en tuikrachten is erg ingewikkeld en arbeidsintensief.
- **Planning**
  Met de uitvoering van de stalen boogbrug moet een jaar eerder worden gestart dan met de overige varianten. De ontwerp- en besteksfase wordt daardoor onverantwoord kort en is waarschijnlijk niet haalbaar.
- **Esthetica**
  Deze is beoordeeld in samenhang met de nieuw te bouwen spoorbrug ernaast.
  Uitbouwbrug: de drie bruggen leveren een tamelijk grof beeld op, het is niet mogelijk de brug van zijn mooiste kant te laten zien. Het uitzicht daarentegen is vanwege de hogere ligging wel heel goed;
  Boogbruggen: ze passen goed bij elkaar, zijn goed waarneembaar en onderscheidbaar;
  Tuibrug: de brug roept een rustig, logisch beeld op.
- **Onderhoud**
  Voor de toekomstige onderhoudskosten is uitgegaan van de trend van de door twee ingenieursbureau's gemaakte prognoses [41,42] voor de brug bij Zaltbommel. Voor het vergelijken van de betonnen en stalen boogbrug is deze trend overgenomen.

  Omdat het project ten tijde van dit onderzoek in de aanbestedingsfase zat, worden niet de werkelijke (verdisconteerde) onderhoudskosten gegeven maar

afgeleide indexcijfers:

* dubbele uitbouwbrug: 0,026;
* enkele betonnen boogbrug: 0,033;
* enkele stalen boogbrug: 0,076;
* scheve asymmetrische tuibrug: 0,046.

- **Stichtingskosten**

Opvallend aan de raming van de stichtingskosten is dat de bijkomende kosten (o.a. de engineeringskosten) niet worden meegenomen (zie ook paragraaf 4.5). Hierdoor ontstaat een vertekend beeld, omdat de stichtingskosten in werkelijkheid hoger zijn.

Omdat het project ten tijde van dit onderzoek in de aanbestedingsfase zat, worden niet de werkelijke stichtingskosten gegeven maar afgeleide indexcijfers:

* dubbele uitbouwbrug: 0,894;
* enkele betonnen boogbrug: 0,978;
* enkele stalen boogbrug: 1,000;
* scheve asymmetrische tuibrug: 0,993.