



DI 103402

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Bouwdienst Rijkswaterstaat

Toetsing toepasbaarheid LCCM

project: Rijksweg 2

In opdracht van Bouwdienst RWS
opgesteld door NRG
Arnhem, 25 april 2000
20364/00.54080/P

BIBLIOTHEEK BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT
NR.C6956.BDU.....
ALLEEN INTERN UITLEENBAAR

Toetsing toepasbaarheid LCCM

project: Rijksweg 2

J.L. Brinkman
P.J.T. Bakker

Arnhem, 25 april 2000

20364/00.54080/P

In opdracht van Bouwdienst RWS

auteur : J.L. Brinkman

beoordeeld : P.J. Van Gestel

52 blz RDA/JLB/PMT

goedgekeurd : R.W. van Otterloo

lccmrw2 rapport.rtf

© NRG 2000

Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekendgemaakt en is NRG niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie.

Inhoudsopgave

Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	5
Lijst met afkortingen	6
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Doelstelling en opdrachtomschrijving	9
3 LCCM Raamwerk	10
3.1 Wat is het probleem?	10
3.2 Kernvragen	10
3.3 Wat is LCCM?	11
3.4 Keuze voor dit instrument	11
3.5 Achtergrondinformatie	11
3.6 Het instrument LCCM	12
3.7 Hoe te gebruiken?	12
3.7.1 Stap 1, Vaststellen van de randvoorwaarden en de eisen die aan de infrastructurele werken worden gesteld.	12
3.7.2 Stap 2, Vaststellen van de probleemstellingen, alternatieven en keuze.	13
3.7.3 Stap 3, Uitvoeren van kwalitatieve analyses ten behoeve van besluitvorming	13
3.7.4 Stap 4, Vaststellen (resterende) kosten en baten die van invloed zijn op en onderscheidend zijn voor de te nemen beslissingen	14
3.7.5 Stap 5, Uitvoeren probabilistische levensduurkostenberekening inclusief onzekerheids- en gevoeligheidsanalyse	14
3.7.6 Stap 6, Voorleggen van de kwalitatief en kwantitatief onderbouwde aanbevelingen	16
3.8 Waar en wanneer toegepast?	16
3.9 Resultaten in de praktijk	16
4 Toetsing aan het project Rw2	17
4.1 Aanpak van de toetsing	17
4.2 De documenten	18
4.3 <i>Stap 1:</i> Vaststellen van de randvoorwaarden en de eisen die aan de infrastructurele werken worden gesteld.	19
4.4 <i>Stap 2:</i> Vaststellen van de probleemstellingen, alternatieven en keuzes.	20
4.5 <i>Stap 3:</i> Uitvoeren van kwalitatieve analyses ten behoeve van besluitvorming	22
4.5.1 Kunstwerken	23
4.5.2 Verhardingen	24
4.5.3 Geluidsschermen	24
4.5.4 Grondwerk (aanvullingen)	25
4.6 <i>Stap 4:</i> Vaststellen (resterende) kosten en baten die van invloed zijn op en onderscheidend zijn voor de te nemen beslissingen.	25
4.7 <i>Stap 5:</i> Uitvoeren probabilistische levensduurkostenberekening inclusief onzekerheids- en gevoeligheidsanalyse.	25

<i>4.8 Stap 6: Voorleggen van de kwalitatief en kwantitatief onderbouwde aanbevelingen</i>	26
4.8.1 Variant	26
4.8.2 Brug	26
4.8.3 Verhardingen	26
4.8.4 Geluidsschermen	26
4.9 Huidige status Rw2	26
5 Conclusies en aanbevelingen	27
bijlage A Kwalitatieve analyses in de ontwerpfase	31
bijlage B Waarderingstabel varianten	49
bijlage C Kostenoverzicht type bruggen	52

Lijst van tabellen

tabel 1	bestudeerde documenten, op datum	17
tabel 2	grenswaarden per rijbaan voor verschillende afwikkelingsniveaus in personenauto-equivalenten per uur.	20

Lijst van figuren

figuur 1.	14
-----------	----

Lijst met afkortingen

FMEA	Failure Modes & Effect Analysis
FMECA	Failure Modes Effect & Criticality Analysis
GAO	Gebruiks(duur)Afhankelijk Onderhoud
ILS	Integrated Logistics Support
LC	Levelised Costs
LCC	Life Cycle Cost
LCCM	Life Cycle Cost Management
LORA	Level Of Repair Analysis
LSAR	Logistics Support Analysis Record
MER	Milieu Effect Rapportage
MTA	Maintenance Task Analysis
NC	Netto Contant
NCW	Netto Contante Waarde
PDA	Profit based Decision Analysis
PO	Periodiek (preventief) Onderhoud
RAM	Reliability Availability Maintainability
RCM	Reliability Centered Maintenance
RW2	Rijksweg 2, gedeelte aansluiting Nieuwegein/IJsselstein – knooppunt Everdingen
SAO	StoringsAfhankelijk Onderhoud
TAO	ToestandsAfhankelijk onderhoud

Samenvatting

In dit rapport beschrijft NRG een algemeen toepasbare methodiek voor het realiseren, beheren en onderhouden van infrastructurele werken. Het rapport omvat het instrument Life Cycle Cost Management (LCCM) waarmee het vergelijken van ontwerpvarianten, inclusief onderhoudsscenario's op basis van Levensduurkosten mogelijk wordt.

Het instrument is getoetst aan het project "Rijksweg 2, gedeelte aansluiting Nieuwegein/IJsselstein – knooppunt Everdingen". De toetsing is uitgevoerd door het bestuderen van door RWS geleverde relevante documenten en verhelderende en open gesprekken met drie betrokkenen.

Ten aanzien van de kernvragen, die door RWS over de bruikbaarheid van LCCM zijn gesteld, is het volgende vast te stellen:

- LCCM is een nuttig instrument bij het realiseren van een optimale onderhoudsstrategie doordat:
 - LCCM als rode draad door het ontwerpproces loopt;
 - integratie van ontwerpdisciplines en instandhouding in een vroeg stadium wordt bevorderd.
- Uit de toetsing blijkt dat er voldoende kennis aanwezig is voor het toepassen van LCCM. Een integratie van ontwerp en B&O, nodig voor een zinvolle toepassing van LCCM, ontbreekt echter.
- Met LCCM wordt inzichtelijk gemaakt waarom welke besluiten genomen zijn. Daardoor zijn de consequenties voor de beherende diensten bekend. De benodigde instandhoudingsmiddelen (en daarmee de budgetten) zijn gekoppeld aan het ontwerp en zijn een logisch gevolg van het besluitvormingsproces waarbij investeringen, kostenreductie en reserveringen voor de toekomstige instandhouding zijn gerelateerd. Bovendien zorgt LCCM tijdens de beheerfase er voor dat bijstelling van onderhoudsstrategieën via een goede uniforme onderbouwing mogelijk is.

Samenvattend kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

Het is van belang dat de verschillende partijen (Politiek, Principaal, Ontwerper, Instandhouder) consensus verkrijgen over het gebruik van LCCM. Het gevolg van het toepassen van LCCM is immers dat de (budgettaire) effecten van besluiten genomen in een bepaalde fase van de levensduurcyclus zichtbaar worden gemaakt voor de hele cyclus. Binnen het project Rw2 is LCCM beperkt toegepast op een deelaspect, namelijk de brug. De voordelen van LCCM zijn echter het grootst als het integraal wordt toegepast. Belangrijk hierbij is dat de LCC-analyse als een rode draad door het totale proces (van idee tot sloop) loopt en zorgt voor integratie van ontwerp en B&O.

De review laat ook zien dat met de huidige LCCM-inzichten wordt geconstateerd dat de opgelegde randvoorwaarden weinig tot geen ruimte bieden voor kostenoptimalisatie. Achteraf gezien wordt ook vastgesteld dat binnen de strakke projectuitvoering weinig gelegenheid is om serieuze alternatieven objectief af te wegen.

Aanbevolen wordt de ideeën over LCCM te bespreken met belanghebbenden en belangstellenden in de vorm van een workshop met als doelstellingen:

- LCCM te accepteren als een wezenlijk aspect van ontwerp en beheer
- verantwoordelijkheden, bevoegdheden en belangen te verduidelijken
- consensus verkrijgen over een projectorganisatie waarbinnen een LCC-manager een significante rol kan spelen.

Aanbevolen wordt het LCCM instrument daadwerkelijk te gebruiken en met praktijktoepassingen concrete ervaring op te doen. Dit betekent dat het instrument tegelijkertijd bij verscheidene projecten in verschillende stadia zou moeten worden toegepast bij actuele besluitvormingsprocessen.

1 Inleiding

In opdracht van de Bouwdienst RWS heeft NRG een algemeen toepasbare methodiek voor het realiseren, beheren en onderhouden van infrastructurele werken beschreven en getoetst aan het ontwerpproces van de Tweede Sluis Lith [1]. De methodiek maakt het vergelijken van ontwerpvarianten, inclusief onderhoudsscenario's op basis van Life Cycle Costing (LCC) mogelijk. Dit rapport, dat als zelfstandig rapport te lezen is, beschrijft de resultaten van de toetsing van de methodiek aan de hand van het project "Rijksweg 2" (Rw2)¹.

2 Doelstelling en opdrachtschrijving

Doelstelling:

Aan de hand van de door RWS ter beschikking gestelde documentatie en gesprekken met medewerkers die bij het project "Rijksweg 2" betrokken zijn (geweest), dient de toepasbaarheid van Life Cycle Cost Management (LCCM) te worden getoetst. Bovendien dienen de voorwaarden voor een succesvolle invoering van LCCM te worden geïnventariseerd.

Opdrachtschrijving

- 1) NRG maakt gebruik van de LCCM-methodiek, zoals beschreven in het rapport "LCCM als beleidsinstrument"^[1] en toetst deze aan het project Rw2, zoals omschreven in de projectstudie². De toetsing geschiedt door het bestuderen van relevante documenten en het interviewen van de projectmanager en (eventueel) andere relevante personen
- 2) Bij de beoordeling gaat het om de hoofdlijnen in de besluitvorming in relatie tot de kosten van het project gedurende de hele levensduur. In de totale kosten zijn de volgende aspecten dominant:
 - kunstwerken;
 - verhardingen;
 - geluidsschermen;
 - grondwerk (aanvullingen).De beoordeling dient zich op deze aspecten te concentreren.
- 3) NRG bespreekt de te leveren deelresultaten met (vertegenwoordigers van) de projectgroep.

Het door NRG te leveren eindproduct is een rapport waarin de beoordeling wordt verwoord op de wijze zoals in "LCCM als beleidsinstrument" is gedaan voor de Tweede Sluis Lith, inclusief bevindingen, conclusies en aanbevelingen. Het rapport moet voor de lezer zelfstandig leesbaar zijn ook als deze geen kennis draagt van "LCCM als beleidsinstrument".

Het eindrapport signaleert:

- de mate waarin LCCM aanwezig is in de gemaakte afwegingen, zoals die uit documenten en interviews naar voren komen;
- de mate waarin bij beslissingen rekening is gehouden met het instandhouden van de constructie (integratie ontwerp / beheer en onderhoud (B&O));

¹ Rijksweg 2: het gedeelte tussen de aansluiting Nieuwegein/IJsselstein en het knooppunt Everdingen

² Nota projectstudie Rijksweg 2, zie tabel 1

- het belang om in de toekomst de consequenties van keuzes voor B&O expliciet te maken; welke disciplines domineren in de besluitvorming (vormgeving, kosten, milieueisen, ervaring beslisser, draagvlak voor project in regio enz.),
- welke wijzigingen in het bestudeerde proces noodzakelijk zijn voor een succesvolle toepassing van LCCM;

Het opdrachtresultaat dient duidelijk te maken in welke mate LCCM een nuttig instrument is om een bijdrage te leveren aan een optimale onderhoudsstrategie bij RWS.

3 LCCM Raamwerk

Voor de beschrijving van de LCCM methodiek is gekozen voor de indeling die gebruikt wordt in het “Handboek Organisatie instrumenten; sturingsinstrumenten voor managers” van uitgever Samsom:

- 3.1 Wat is het probleem?
- 3.2 Kernvragen
- 3.3 Wat is LCCM?
- 3.4 Keuze voor dit instrument
- 3.5 Achtergrondinformatie
- 3.6 Het instrument
- 3.7 Hoe te gebruiken?
- 3.8 Waar en wanneer toepassen?
- 3.9 Resultaten in de praktijk?

3.1 Wat is het probleem?

In de inleiding van notitie pilotLCCM-N-99012 van RWS is de probleemstelling als volgt gedefinieerd: “In de huidige situatie wordt veelal nog uitgegaan van een bepaalde absolute functionaliteit van een ontwerp. De meeste kunstwerken worden gedimensioneerd voor een lange levensduur en na realisatie keurig in stand gehouden. In de ontwerpfase, noch in latere fasen vindt een objectieve afweging plaats op basis van een integrale kostenbenadering, waarin een Life Cycle Costs Analysis wordt uitgevoerd, met de gebruiksduur als variabele. Er is geen sprake van een levenscyclusbenadering om te bewerkstelligen dat de kosten van de infrastructuur gedurende de nog resterende levensduur zo laag mogelijk zijn.”

3.2 Kernvragen

- Waarom is Life Cycle Cost Management (LCCM) een nuttig instrument om een bijdrage te leveren aan het realiseren van een optimale onderhoudsstrategie van kunstwerken in beheer bij RWS?
- In hoeverre is LCCM praktisch toepasbaar en in hoeverre wordt de toepasbaarheid bedreigd door onvoldoende kennis?

- Waarom zouden de beherende diensten enthousiast moeten zijn voor LCCM?

3.3 Wat is LCCM?

LCCM is een methodiek waarmee keuzes of beslissingen op basis van levensduurkosten kunnen worden gemotiveerd. De afweging tussen verschillende ontwerpvarianten en / of onderhoudsscenario's wordt gemaakt door de besluitvormer (eigenaar) op basis van kosten en baten. Hij vraagt zich af: wat is het voordeel van de ene keuze ten opzichte van de andere en wat staan daar voor kosten (investeringen) tegenover? Het vaststellen van de absolute grootte van de levensduurkosten van de verschillende opties is hierbij van minder belang dan het vaststellen van de relatieve verschillen in kosten die nog (moeten) worden gemaakt.

3.4 Keuze voor dit instrument

In notitie pilotLCCM-N-99012 wordt de keuze als volgt beschreven: “ Op infrastructureel (object) niveau is Life Cycle Costs Management het meest effectief in het ontwerpproces, omdat tijdens het ontwerp majeure keuzes worden gemaakt, die onder andere het toekomstig onderhoud en dus de kosten daarvan, sterk beïnvloeden. Echter ook bij het beheer en onderhoud van bestaande objecten is LCCM toepasbaar bij het maken van strategische keuzes voor de resterende levensduur.”

In aanvullende notitie PBOK.LCM-4-99007 wordt gesteld dat voornamelijk in het strategische deel, waar de basis voor het kostenniveau wordt gelegd, ondanks betrekkelijk grote onzekerheden goed te sturen is. Zo is, gegeven de grote verhoudingen tussen de aanlegkosten op jaarbasis (kapitaallasten) en beheer- en onderhoudskosten, het beteugelen van de investeringsbedragen een eerste vereiste.

3.5 Achtergrondinformatie

LCCM gaat over kosten en baten. Vaak zijn de baten in geld uit te drukken, bijvoorbeeld: een investering nu in een dure materiaalkeuze zorgt voor een kostenreductie in het onderhoud in de toekomst. Soms wil men de voordelen niet in geld uit drukken, bijvoorbeeld verhoging van de veiligheid, en wordt gezocht naar maatschappelijk geaccepteerde normen waaraan moet worden voldaan. LCCM laat toe dat sommige baten niet in geld worden uitgedrukt.

De ervaring leert dat de levensduurkosten voor een belangrijk deel worden bepaald door de van tevoren vastgestelde randvoorwaarden en opgelegde normen. Het is verleidelijk om te discussiëren over de totstandkoming van dergelijke normen, maar dat moet dan wel gebeuren op het juiste niveau van besluitvorming en niet binnen een specifiek project. Beter is het dus om deze normen binnen een project te beschouwen als harde randvoorwaarden waaraan voldaan moet worden. Niet meer en niet minder, hetgeen betekent dat keuzes worden gemaakt die leiden tot minimale kosten (investeringen) waarbij (nog net) voldaan wordt aan de norm.

Een van de randvoorwaarden voor een project kan betrekking hebben op de verwachte gebruiksduur of de geprojecteerde levensduur. Als deze duur op 100 jaar wordt gesteld, dan ontwerpt men met recht een kunstwerk (zo niet een monument) en kan dat grote consequenties voor de instandhouding en dus voor de totale levensduurkosten hebben. Het loslaten van deze niet te overziene verwachte gebruiksduur brengt het ontwerp van bijvoorbeeld kunstwerken weer terug op wat het moet zijn: een infrastructureel werk. Of de keuze voor een andere levensduur inderdaad leidt tot andere levensduurkosten zal van het type infrastructuur afhangen.

Belangrijker nog is het feit dat LCCM gaat over integratie. Het ontwerpproces en het instandhoudings-voorbereidingsproces staan niet los van elkaar of in de tijd gezien na elkaar. In elke fase van het ontwerp kunnen onderhouds- en gebruikerservaringen van gelijksoortige infrastructurele werken worden gebruikt om het ontwerp zodanig te beïnvloeden dat de instandhoudingskosten niet onnodig hoog worden. Daarmee schrijft LCCM in feite voor hoe het ontwerpproces zou moeten worden ingericht: werkelijk instandhoudingsbewust ontwerpen. Bij elke keuze of beslissing moet niet alleen over de functionaliteit worden nagedacht, maar ook over de instandhouding van deze functionaliteit. Bij elke keuze of beslissing moet niet alleen worden gedacht over het voldoen aan normen en randvoorwaarden, maar moet ook worden nagedacht over de mogelijkheden aan deze verwachtingen te kunnen blijven voldoen.

3.6 Het instrument LCCM

De methodiek is een zes stappen model:

- Stap 1* Vaststellen van de randvoorwaarden en de eisen die aan de infrastructurele werken worden gesteld.
- Stap 2* Vaststellen van de probleemstellingen, alternatieven en keuzes.
- Stap 3* Uitvoeren van kwalitatieve analyses voor de besluitvorming.
- Stap 4* Vaststellen (resterende) kosten en baten die van invloed zijn op en onderscheidend zijn voor de te nemen beslissingen.
- Stap 5* Uitvoeren probabilistische levensduurkostenberekening, inclusief onzekerheids- en gevoeligheidsanalyse.
- Stap 6* Voorleggen van de kwalitatief en kwantitatief gemotiveerde aanbevelingen.

3.7 Hoe te gebruiken?

3.7.1 *Stap 1, Vaststellen van de randvoorwaarden en de eisen die aan de infrastructurele werken worden gesteld.*

Voornamelijk bij aanvang van het ontwerpproces worden randvoorwaarden en eisen geformuleerd die van grote invloed kunnen zijn op de levensduurkosten. Maar ook tijdens de ontwerpfase en zelfs tijdens de beheersfase kunnen deze eisen worden aangevuld, gewijzigd of zelfs worden losgelaten:

- Inventariseer de randvoorwaarden en uitgangspunten
- Stel vast welke van invloed zijn op de levensduurkosten
- Stel vast welke randvoorwaarden discutabel zijn vanuit LCC gezien

- Zijn er voorbeelden uit het verleden aan te geven die hiervoor relevant zijn
- Is de gebruiksduur een gegeven?
- Is enige kwantificering (met onzekerheden) in kosten in deze fase mogelijk?

In het algemeen kan gesteld worden dat een randvoorwaarde discutabel is als er reële alternatieven zijn en als er geen LCC onderbouwing bekend is voor de gekozen optie.

Iedereen die betrokken is bij het ontwerp en bij het gebruik van een infrastructureel werk, wordt geconfronteerd met randvoorwaarden en uitgangspunten waarbij (vaak omdat er verschillende belangen zijn) vraagtekens gezet kunnen worden. Het discutabel zijn hoeft dus ook niet voor iedereen te gelden. Het is van belang deze vraagtekens niet te laat te zetten, want in dat geval kan er vaak niet veel meer aan gedaan worden. De essentie is dat projectleiders of ontwerpers in een zo vroeg mogelijk stadium vanuit verschillende invalshoeken (ontwerp, gebruik, onderhoud) naar het ontwerp kijken en consensus weten te verkrijgen over de genomen beslissingen die in het vervolg van het traject als randvoorwaarden worden gezien.

3.7.2 Stap 2, Vaststellen van de probleemstellingen, alternatieven en keuze.

In het gehele ontwerpproces zijn er verschillende stadia aan te geven waarin keuzes worden gemaakt. Dit geldt bijvoorbeeld voor de totstandkoming van de Variantennota, maar ook voor de ontwerpnota en het onderhoudsconcept.

Steeds weer zal het volgende moeten worden vastgesteld:

- Inventariseer de te nemen beslissingen.
- Stel vast welke van invloed zijn op de levensduurkosten.
- Zijn er voorbeelden uit het verleden aan te geven die relevant zijn voor de te nemen beslissing?
- Welke beslissingen kunnen op grond van een kwalitatieve analyse worden genomen?
- Welke beslissingen resteren en worden gestaafd door een LCC berekening?

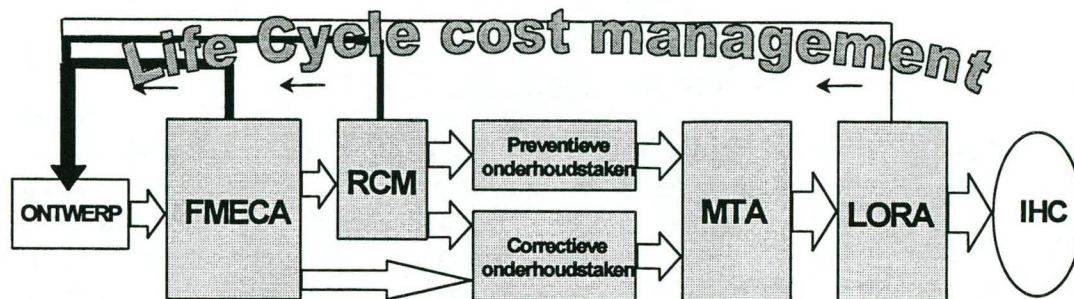
3.7.3 Stap 3, Uitvoeren van kwalitatieve analyses ten behoeve van besluitvorming

In de totale looptijd vanaf de planfase via de ontwerpfase tot en met de beheerfase vindt besluitvorming plaats. In elke fase kunnen verscheidene kwalitatieve analyses worden uitgevoerd voor de besluitvorming. Voor de ontwerpfase zijn deze methoden en hun onderlinge relatie verder uitgewerkt.

De integrale aanpak van instandhoudingsbewust ontwerpen zorgt er voor dat volgens een iteratief proces een optimaal ontwerp en bijbehorend instandhoudingsconcept (IHC) wordt gemaakt. Onderstaande figuur laat zien dat de uitkomst van verschillende kwalitatieve analyses van invloed kunnen zijn op het ontwerp.

Gezien de dikte van de pijlen heeft de FMECA meer invloed op het ontwerp dan de LORA.

figuur 1 LCCM



Voor de besluitvorming en beantwoording van bovenstaande vragen kan het nodig zijn kwalitatieve analyses uit te voeren:

- FMECA (Failure Mode Effects & Criticality Analysis) ter onderbouwing van ontwerpkeuzes en representatief voor technieken op het gebied van Reliability Engineering
- RCM (Reliability Centered Maintenance) ter onderbouwing van het onderhoud en representatief voor technieken op het gebied van Maintenance Engineering
- MTA (Maintenance Task Analysis) ter onderbouwing van de middelen, faciliteiten etc. ten behoeve van het onderhoud en representatief voor technieken op het gebied van Logistics Support
- LORA (Level of Repair Analysis) ter onderbouwing bij wie het onderhoud wordt uitgevoerd en representatief voor technieken op het gebied van in- en uitbesteding.

In bijlage A wordt nader ingegaan op bovenstaande analyses.

3.7.4 Stap 4, Vaststellen (resterende) kosten en baten die van invloed zijn op en onderscheidend zijn voor de te nemen beslissingen

Voor die beslissingen waarvoor een levensduurkostenberekening moet worden uitgevoerd, dienen alle relevante kosten en baten in de vorm van cashflows in kaart te worden gebracht. De belangrijkste criteria voor het opstellen van de lijst met beslissingen waarvoor een LCC-berekening gewenst is, zijn:

- Nadat de kwalitatieve analyse is afgerond zijn er nog steeds alternatieven waar tussen gekozen moet / kan worden.
- De levensduurkosten als geheel zijn een belangrijke factor in de besluitvorming.

3.7.5 Stap 5, Uitvoeren probabilistische levensduurkostenberekening inclusief onzekerheids- en gevoeligheidsanalyse

De beslissingen die in aanmerking komen voor de LCC berekening worden in deze stap nader geanalyseerd. Ter beantwoording van deze vragen wordt voorlopig de PDA (Profit based

Decision Analysis) voorgesteld. Dit is een netto contante waarde berekening waaraan probabilistische technieken zijn toegevoegd.

Het gaat er bij de LCC berekening niet om de absolute grootte van de netto contante waarde te bepalen, maar om het verschil tussen de verscheidene opties vast te stellen. De eenvoudigste formule hiervoor is:

$$\Delta NCW = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta B_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=1}^n \frac{\Delta K_i}{(1+r)^i}$$

waarbij: Δ = verschil tussen optie 1 en 2
 NCW = Netto Contante Waarde
 i = desbetreffende jaar
 n = laatste jaar
 r = verdisconteringspercentage
 B_i = Baten in desbetreffende jaar i
 K_i = Kosten in desbetreffende jaar i

Als ΔNCW positief is, dan heeft optie 1 de voorkeur.

Een eerste bezwaar bij bovenstaande formule is dat de verschillende opties voor een eerlijke vergelijking dezelfde n moeten hebben. Om dit probleem te ondervangen worden rekentrucs bedacht die soms tot verkeerde conclusies leiden. Een tweede bezwaar bij deze formule is dat alle voordelen (die relevant zijn voor de verschilberekening) in een monetaire eenheid moeten worden uitgedrukt. Een andere manier om de beslissing te onderbouwen, is gebruik te maken van de grootheid Levelised Costs (LC). Bij deze grootheid, die uitgedrukt wordt in kosten per jaar, worden alleen de kosten in rekening gebracht en netto contant uitgerekend en deze kosten worden gedeeld door de netto contante tijd dat het infrastructurele werk functioneel beschikbaar is.

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{K_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{b_i}{(1+r)^i}}$$

$$\Delta LC = LC_1 - LC_2$$

waarbij: Δ = verschil tussen optie 1 en 2
 LC = "Levelised Costs"
 i = desbetreffende jaar
 n = laatste jaar
 r = verdisconteringspercentage
 b_i = beschikbare tijd in desbetreffende jaar i (met dimensie jaar)
 K_i = Kosten in desbetreffende jaar i

Als ΔLC negatief is, dan heeft optie 1 de voorkeur.

Uitgangspunt bij deze formule is dat de voordelen nagenoeg evenredig zijn met de beschikbaarheid van het infrastructurele werk en dat net als met kosten de voordelen in het heden meer waard zijn dan in de toekomst.

Zowel de NCW-berekening als de LC-berekening is de meest simpele in zijn soort. Het gebruik van de gegeven LC formule kan alleen als de relatie tussen stremmingsduur en stremmingskosten lineair is, of als veel korte stremmingen hetzelfde worden gewaardeerd als enkele langdurige. Voorbeeld: 1 x 10 uur of 10 x 1 uur is gelijkwaardig. In de realiteit is dit vaak niet zo. Als het werkelijk zo is dat beschikbaarheden verschillend worden gewaardeerd en als dit tevens relevant is bij de keuze van alternatieven, dan zal de beschikbaarheidsberekening (b_i) in meer detail moeten worden uitgevoerd waardoor het verschil tussen 1 x 10 uur en 10 x 1 uur tot uiting kan worden gebracht.

Groot voordeel van de LC-formule is dat opties kunnen worden vergeleken met verschillende looptijd en dat niet alle voordelen in een monetaire eenheid behoeven te worden uitgedrukt.

Belangrijke bijkomstigheid is dat door het expliciete gebruik van de beschikbaarheid, deze grootte veel beter moet worden gekwantificeerd dan tot op heden is gebeurd.

3.7.6 Stap 6, *Voorleggen van de kwalitatief en kwantitatief onderbouwde aanbevelingen*

In stap 6 worden de kwalitatief en kwantitatief onderbouwde aanbevelingen voorgelegd aan de besluitvormers. Uitgangspunt is dat gestreefd wordt naar die keuzes die leiden tot de laagste levensduurkosten waarbij voldaan wordt aan de gestelde randvoorwaarden en eisen.

3.8 Waar en wanneer toegepast?

De beschreven methodiek kan in elk ontwerpproces worden toegepast. Uiteraard is de diepgang van de inventarisaties en analyses afhankelijk van de grootte van het project. Immers het toepassen van LCCM kan bij een overdosis meer kosten dan baten opleveren. Analyse van de randvoorwaarden en de begineisen is altijd aan te bevelen. Vaak is het mogelijk om op grond van deze analyse vast te stellen of het zinvol is nadere en meer gedetailleerdere LCC berekeningen uit te voeren.

3.9 Resultaten in de praktijk

Aan de hand van de door RWS geleverde documentatie en gehouden interviews is nagegaan of bovenstaand stappenplan uitvoerbaar is en een meerwaarde levert. Dit is verder uitgewerkt in hoofdstuk 4.

4 Toetsing aan het project Rw2

4.1 Aanpak van de toetsing

Om na te gaan of de aanpak van RWS bij project Rw2 overeenkomt met de aanpak volgens een LCCM-methodiek (zie §3.6 en §3.7) is een aantal documenten uit de eerste fase van het project doorgenomen en is een aantal personen, die betrokken zijn (geweest) bij het project Rw2 geraadpleegd [2, 3].

Geanalyseerd is in hoeverre de zes stappen uit de LCCM-methodiek terug te vinden zijn in de project aanpak. De analyse is uitgevoerd op project niveau, waarbij voor de overzichtelijkheid is gedifferentieerd naar de vier hoofdonderdelen:

- kunstwerken;
- verhardingen;
- geluidsschermen;
- grondwerk (aanvullingen).

Doorgenomen documenten

De doorgenomen documenten zijn opgenomen in tabel 1.

tabel 1 bestudeerde documenten, op datum

Nr	Titel
Doc1,	RWS nota, "Projectstudie Rijksweg 2 - gedeelte aansluiting Nieuwegein/IJsselstein-Knooppunt Everdingen", 10 april 1989 (<i>verder aangeduid als Nota Rw2</i>)
Doc2	RWS brief (concept) aan de Minister van Verkeer en Waterstaat, "Nota Projectstudie Rijksweg 2", d.d. 11 april 1989
Doc3	RWS Projectplan, "Rijksweg 2 - gedeelte aansluiting Nieuwegein/IJsselstein-Knooppunt Everdingen", d.d. 1 mei 1991.
Doc4	RWS brief, "Nota Projectstudie Rijksweg 2 - gedeelte aansluiting Nieuwegein/IJsselstein-Knooppunt Everdingen. Vaststelling project", kenmerk 12915 WXP, d.d. 6 november 1989 (<i>vaststelling hogere kosten fase 1 van optie 5 versus optie C1</i>)
Doc5	Rapport, "Geluidbeperkende voorzieningen langs de A-2 tussen Oudenrijn en Everdingen – Visueel ruimtelijke analyse", Grontmij afdeling ruimtelijke planning, juli 1989
Doc6	Rapport, "Definitief ontwerp voor de geluidsbeperkende voorzieningen langs Rijksweg 2 tussen de knooppunten Oudenrijn en Everdingen", Buro Maas, juni 1990
Doc7	RWS notitie (C.A. Sanders), "Onderhoudskosten brug over de Lek bij Vianen", d.d. 15/9/1994
Doc8	RWS notitie, "Rw2 Nieuwegein – Everdingen Lekbrug – Varianten met ramingen"
Doc9	Overzicht ontwerptraject Lekbrug te Vianen, opgesteld t.b.v. huidige analyse

Geraadpleegde personen

De volgende personen zijn geraadpleegd bij de beoordeling van het project Rw2:

- dhr ing. A. Idzinga (RWS Directie Utrecht);
- dhr ing. W. Rietbergen (Bouwdienst RWS);
- dhr Brevoord (RWS Dienstkring Utrecht).

4.2 De documenten

Basis voor de uiteindelijke keuze is de nota Projectstudie Rijksweg 2, gedeelte aansluiting Nieuwegein/IJsselstein - Knooppunt Everdingen van 10 april 1989 (Doc1). Hierin worden de uitgangspunten en knelpunten geanalyseerd en worden de beschouwde varianten met elkaar vergeleken. Een conclusie wordt in dit document niet getrokken.

Binnen LCCM is de vraag gerechtvaardigd wat het verschil in levensduurkosten is tussen variant 5 en een alternatief dat weliswaar niet gefaseerd kan worden uitgevoerd, maar voor de rest wel vergelijkbaar is. Het antwoord op deze vraag zal de keuze van variant 5 niet anders maken, maar de vaststelling wat het effect is op de levensduurkosten maakt LCCM explicieter en de betrokkenen kostenbewuster.

De keuze wordt verantwoord in de begeleidende brief aan de minister van verkeer en Waterstaat (Doc2). Gekozen is voor het gefaseerd uitvoeren van variant 5. NB dit is de enige variant die gefaseerd uitgevoerd kan worden. Voor de keuze wordt een aantal redenen aangedragen:

- onzekerheid verkeersbeperkende maatregelen;
- deel van de stichtingskosten kan worden vermeden of naar latere datum worden verschoven
- meeste instanties zijn voor een gefaseerde aanleg.

In Doc4 wordt enige verduidelijking gegeven over de gemaakte keuze.

Het "Projectplan" (Doc3) definieert in grote lijnen het project. Voor de randvoorwaarden en uitgangspunten wordt verwezen naar bovengenoemde nota. Het projectplan zelf geeft de beheersaspecten aan, zoals de organisatie, de kosten en de fasen³ van het project.

De randvoorwaarden en uitgangspunten voor de geluidsbeperkende voorzieningen worden gegeven in het rapport van de Grontmij (Doc5). Het definitieve ontwerp wordt gegeven in het rapport van "Buro Maas (Doc6)".

Betreffende kostenoverwegingen worden in Doc7 en Doc8 evaluaties betreffende de uitvoering van de Lekbrug uitgevoerd. Doc9 tenslotte geeft een overzicht van het verloop van de evaluatie betreffende de brugkeuze.

³ NB het betreft hier de uitvoering van de eerste fase van variant 5.

4.3 Stap 1: Vaststellen van de randvoorwaarden en de eisen die aan de infrastructurele werken worden gesteld.

De keuze van het alternatief voor vergroting van de capaciteit van Rw2 wordt, zie Doc1 en Doc2, bepaald door de randvoorwaarden die uit het SVV (1981) volgen. Deze zijn:

- een verkeersafwikkeling op minimaal niveau D in 2010;
- geen nieuw tracé.

Deze randvoorwaarden zijn binnen het project Rw2 te beschouwen als “hard”, dat wil zeggen de randvoorwaarden zijn van buiten opgelegd en als zodanig niet te beïnvloeden. De eerste randvoorwaarde is in wezen een beschikbaarheidseis. De onderbouwing (economisch of anderszins) is onbekend.

Betreffende de levensduur van Rw2 worden er geen expliciete eisen opgelegd. Wel wordt impliciet aangenomen dat de weg eeuwig blijft liggen, dat de kunstwerken een ontwerplevensduur hebben van orde 75 jaar⁴, en dat de asfaltering na 10 tot 12 jaar gerenoveerd dient te worden. De betrokkenheid van B&O bij het vaststellen van de randvoorwaarden betreft de gewenste functionele eisen voor het project. B&O zou ook bij de onderhoudbaarheid betrokken moeten worden.

De methodiek van de verkeersprognose is gegeven in bijlage 2 van de Nota Rw2. Het zal duidelijk zijn dat de prognoses via het aantal benodigde rijstroken een grote invloed op de life-cycle-kosten zullen hebben, zoals ook blijkt uit de prognose waarin met verkeersremmende maatregelen als rekeningrijden is rekening gehouden. Het is niet duidelijk wat de omvang van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyses is geweest.

Binnen LCCM is het essentieel dat de besluitvorming omtrent het vaststellen van het primaire niveau van verkeersafwikkeling helder is en dat de argumenten te achterhalen zijn, omdat deze randvoorwaarden grotendeels de levensduur bepalen. Op basis van de informatie in bijlage 2 van de Nota Rw2 moet geconcludeerd worden dat dit niet het geval is.

OPMERKING:

Eind jaren tachtig is de verkeersafwikkelingsnorm gewijzigd en in het SVV van 1988 vervangen door normen gebaseerd op een kans dat het verkeer vertraging ondervindt door een file. Ook deze norm staat inmiddels ter discussie. Wijzigen van de van buiten opgelegde randvoorwaarden kan leiden tot andere keuzes binnen het project. Dit illustreert dat verstandig kan zijn ook op deze randvoorwaarden gevoeligheidsanalyses los te laten.

Het gewenste verkeersafwikkelingsniveau in combinatie met een prognose van de verkeersintensiteit in 2010 leidt tot een keuze van 2*3, 2*4 etc rijstroken, zoals uit tabel 2 blijkt:

⁴ In de praktijk blijkt dat er onderhoudstechnisch rekening gehouden moet worden met een gebruik van ongeveer 40 jaar, omdat door andere oorzaken dan einde levensduur het kunstwerk niet meer bruikbaar is.

tabel 2 grenswaarden per rijbaan voor verschillende afwikkelniveaus in personenauto-equivalenten per uur.

Afwikkelings-Niveau	Grenswaarde intensiteit in pae/uur per rijbaan		
	2x2	2x3	2x4
A	1.400	2.400	3.400
B	2.000	3.500	5.000
C	3.000	4.800	6.600
D	3.600	5.400	7.200
E	4.000	6.000	8.000
F	>4.000	>6.000	>8.000

In het kader van de methodiek:

De randvoorwaarden en invloedsfactoren worden geformuleerd. De onzekerheid die bestaat in de invloedsfactoren wordt wel voor een deel genoemd, maar wordt niet verder geanalyseerd.

4.4 Stap 2: Vaststellen van de probleemstellingen, alternatieven en keuzes.

Het vaststellen van de probleemstellingen en alternatieven wordt uitgevoerd in de Nota Rw2 en in "Geluidbeperkende voorzieningen langs de A-2 tussen Oudenrijn en Everdingen, Visueel ruimtelijke analyse" (Doc5). Een keuze wordt in deze documenten niet gemaakt.

Met name de bouwdienst en de regionale directies zijn betrokken bij het opstellen en maken van keuze, B&O is hierbij minder betrokken⁵. Wel is de budgettaire keuze gemaakt om preventief onderhoud op een zo laag mogelijk niveau te houden.

Aan de probleemstelling/analyse wordt in Nota Rw2 (Doc1) een heel hoofdstuk gewijd. Hierin worden duidelijk de uitgangspositie, de verwachten ontwikkelingen en de gewenste situatie geschetst. Het geheel wordt op basis van de volgende zes aspecten geanalyseerd:

- ruimtelijke structuur;
- verkeer en vervoer;
- economische aspecten;
- woon- en leefmilieu;
- natuur en landschap;
- overig gebruik van het gebied.

In het kader van de methodiek:

De uitgangspositie is hiermee goed en eenduidig gedefinieerd. De (op te lossen) knelpunten staan nu op een rij.

⁵ De situatie is nu , vergeleken met eind tachtiger jaren, gewijzigd. B&O wordt er nu ook bij betrokken.

Vervolgens worden 13 oplossingsvarianten beschreven, die uiteenvallen in drie groepen:

- 1) huidige situatie met beter gebruik infrastructuur en verkeersbeperkende maatregelen: nulplus variant;
- 2) verbredingvarianten met 2x4 rijstroken (6 stuks, 5 met brug, 1 met tunnel): varianten 1 tot en met 6;
- 3) verbredingvarianten met 2x3 rijstroken aangevuld met verkeersbeperkende maatregelen: varianten C1 tot en met C6.

De oplossingen worden beoordeeld op basis van de zes hierboven genoemde aspecten plus:

- faseerbaarheid;
- grondstoffengebruik.

Elk van de aspecten is per variant uitgewerkt. Vervolgens worden deze samengevat in een vergelijkingstabel (zie 0). Hoewel in de nota geen conclusie wordt getrokken over de meest wenselijke variant, wordt er ook geen uitspraak gedaan hoe zwaar de verschillende (deel)-aspecten onderling wegen.

Uit de toelichting op de tabel valt het volgende op te maken. Nadat de effecten van de varianten zoveel mogelijk zijn gekwantificeerd, zijn deze per (deel)aspect met elkaar vergeleken en gewaardeerd ten opzichte van de nulvariant. De hiervoor gebruikte schaal heeft de volgende betekenis:

- ++ = zeer gunstig
- + = gunstig
- 0 = gelijk
- = ongunstig, respectievelijk schadelijk
- = zeer ongunstig, respectievelijk zeer schadelijk

Na de waardering van de effecten is per (deel)aspect een onderlinge rangorde aangegeven voor de varianten, waarbij rangnummer 1 de beste variant is. De rangorde is bedoeld om de waardering (++, +, 0, -, --) te detailleren. Het zal duidelijk zijn dat deze waardering niet geschikt is, om tot een eindwaardering over alle aspecten te komen.

OPMERKING

Wil men alles via het aspect kosten en/of beschikbaarheid beslissen dan ontkomt men er niet aan om voor een aantal aspecten zoals Natuur en Landschap, Verkeer en Vervoer kosten te bepalen: Hoeveel mag een mooie brug kosten? Hoeveel is doorstroming op niveau D waard? Het is echter niet nodig om deze niet-economische waarden in geld uit te drukken. Veel belangrijker is de verschillen in levensduurkosten (investeringen en exploitatie) naast de verschillen in niet-economische waarden te leggen. Wat is het niet-economische voordeel van een extra investering? Dit is wat anders dan: "Wat mag een niet-economisch voordeel kosten?".

De verschillen in de voorgestelde oplossingen bestaan hoofdzakelijk uit de manier waarop de kruising van Rw2 en de Lek wordt gerealiseerd. Vijf varianten gaan uit van de bouw van (een) nieuwe brug(gen). De keuze voor het brugtype ligt per variant vast; namelijk de goedkoopste. De zesde variant voorziet in een tunnel. Daarnaast varieert het benodigd aantal rijstroken (minder stroken bij de oplossingen met verkeerbeperkende maatregelen).

De hoeveelheid verharding, grondwerken en geluidsschermen varieert nauwelijks binnen de groepen varianten 1 tot en met 6 en C1 tot en met C6. Een afweging op basis van de gebruiksduur gekoppeld aan de instandhoudingskosten wordt niet gemaakt, hoewel een groot deel van de informatie wel voorhanden is of voorhanden geweest moet zijn.

Omdat de keuze voor een type viaduct, geluidsscherm en wegdek (beton, asfalt, combinatie) voor alle varianten echter dezelfde impact heeft, zal de uitkomst van de LCC-analyses niet van invloed zijn op de keuze van de variant. Deze kwantitatieve analyses kunnen dan ook uitgesteld worden tot het moment dat de variant bekend is. Hetzelfde geldt in wat mindere mate voor het brugtype, omdat het type brug voor de meeste varianten gelijk is.

Het is belangrijk om na te gaan of en wanneer een keuzemogelijkheid discriminerend is.

Leemten in kennis en informatie (o.a. op de aspecten Verkeer en vervoer, Economie en Natuur en landschap) worden wel gesignaleerd, maar er wordt in de Nota Rw2 geen analyse gepleegd op de mogelijke gevolgen voor de definitieve keuze. Ook in de andere documentatie is niet terug te vinden of deze leemten in een later stadium alsnog zijn opgevuld.

In het kader van de methodiek:

De beoordelingscriteria zijn vastgelegd, hoe te beslissen op basis van de uitkomsten in de waarderingstabel niet.

Belangrijk is vast te stellen welke criteria en keuzemogelijkheden op welk moment binnen het project discriminerend zijn.

4.5 Stap 3: Uitvoeren van kwalitatieve analyses ten behoeve van besluitvorming

Op basis van de verkregen documenten en uit de gehouden gesprekken blijkt dat in het bijzonder kwalitatieve overwegingen geleid hebben tot de gemaakte keuzes. De keuzes worden echter door geen van de LCCM-technieken (FMECA, RCM, MTA, LORA) onderbouwd. Kwantitatieve overwegingen zijn wel uitgevoerd maar deze zijn over het algemeen niet terug te vinden in de documentatie. Het is daarom ook moeilijk om in dit rapport hierin een duidelijke scheiding aan te brengen.

Binnen de methodiek wordt het aanbevolen om eerst een kwalitatieve analyse uit te voeren en op basis daarvan te bepalen welke keuzes op basis van kwantitatieve overwegingen verder onderbouwd dienen te worden.

De gemaakte overwegingen worden hieronder voor elk van de onderdelen weergegeven. Voor het kunnen beoordelen van de verschillende Lek overschrijdende varianten zijn op acht aspecten kwalitatieve analyses uitgevoerd. In bijlage B Waarderingstabel varianten wordt deze kwalitatieve analyse in tabelvorm weergegeven.

4.5.1 Kunstwerken

LEKBRUG(GEN)

In de verschillende varianten is gekozen voor het goedkoopste type voor de bruggen: namelijk de betonnen uitbouwbrug (zie hoofdstuk 4.7). Beschouwde (duurdere) alternatieven zijn de stalen plaatbrug en de stalen boogbrug. Stichtings en onderhoudskosten zijn bepaald op basis van ervaring en voorstudies [2].

De varianten 3, 4, C3 en C4 (vervangen van de oude brug door een nieuwe) hebben een stalen plaatbrug, in verband met de belastbaarheid van de bestaande her te gebruiken pijlers. Onduidelijk is of een kosten/baten analyse is uitgevoerd op dit hergebruik of dat er andere redenen zijn om de pijlers opnieuw te gebruiken⁶.

De levensduur is niet meegenomen als parameter. Bij kunstwerken (in beton) blijkt de ontwerpleeftijd echter nauwelijks een rol in de stichtingskosten te spelen. Voor stalen bruggen geldt dit in grote lijnen ook. De reden hiervoor is dat de ontwerpvoorschriften gebaseerd zijn op veiligheidseisen (voldoende marge tussen belasting en belastbaarheid). Deze veiligheidseisen zijn onafhankelijk van de gewenste levensduur van de constructie.

Keuze van betonkwaliteit en dikte van de deklaag kan echter wel de onderhoudskosten beïnvloeden. Een LCC-analyse, waarbij rekening gehouden wordt met de gewenste leeftijd zou hierop toegepast kunnen worden. Hetzelfde geldt voor de conservering van stalen bruggen.

VIADUCTEN

Het vervangen, verbreden van een aantal viaducten is onafhankelijk van de gekozen variant. De keuze voor vervangen of verbreden is gemaakt op basis van [2].

- kosten;
- conditie/leeftijd oude constructie;
- mogelijkheden;
- etc.

Het is niet duidelijk of de afweging is gebeurd op basis van Life-Cycle kosten. Uit het gesprek [2] kwam naar voren dat er wel een globale inschatting van de exploitatiekosten is gemaakt, maar een duidelijke op schrift gestelde afweging is niet beschikbaar.

⁶ Een mogelijke reden is dat het om een vervanging van de bestaande brug gaat. Om de vervanging niet te lang te laten duren, zou de nieuwe brug eerst elders gebouwd moeten worden en vervolgens ingevaren. Dit kan alleen met een stalen brug. Het laat echter onverlet dat een LCC-afweging aan te raden is.

4.5.2 Verhardingen

Gegeven de (verwachte) verkeersintensiteit liggen de hoeveelheden verhardingen vast. Deze vaststelling gebeurt op basis van een semi-kwantitatief model welk gevoed wordt door ervaring vanuit het gebruik. Het model bevat echter een groot aantal onzekere invoerwaarden die terdege van invloed kunnen zijn op de gemaakte keuzes. Voornamelijk het verwachte percentage aan zwaar belastend vrachtverkeer beïnvloedt de levensduur. Ook kan het een zekere tijd duren voordat de verwachte verkeersintensiteit bereikt wordt. De verharding kan in het begin dan wellicht lichter uitgevoerd worden.

Een LCC-analyse zou hier nuttig kunnen zijn. Als variabelen in de analyse valt te denken aan:

- het verhardingstype,
- de begindikte van het asfalt,
- de mogelijkheid tot tussentijdse vergroting van de dikte van het wegdek,
- de onderhoudsfrequentie,
- de ontwikkeling van de verkeersintensiteit.

Tussen de varianten 1 tot en met 6 zijn er geen verschillen in de benodigde hoeveelheden. Verschillen bestaan er wel tussen de varianten 1 tot en met 6 en C1 tot en met C6. Deze verschillen zijn globaal evenredig met het aantal rijstroken. Aanleg kosten worden niet gegeven, evenmin als onderhoudskosten. Omdat er geen verschillen bestaan zijn deze kosten ook niet nodig binnen het keuzeproces van de varianten.

4.5.3 Geluidsschermen

In Doc5 (Geluidsbeperkende voorzieningen, Visueel ruimtelijke analyse) worden de ontwerprichtlijnen gegeven. Richtlijnen die de Life Cycle kosten kunnen beïnvloeden zijn onder andere:

- gemaximaliseerde aanlegkosten per m²;
- esthetische eisen;

Voornamelijk de esthetische eisen beïnvloeden de keuze van het type geluidsschermen. Omdat hierbij vaak verschillende instanties betrokken zijn zal het ontwerp van een geluidsscherm bijna nooit gestandaardiseerd zijn. Dit locatie specifiek zijn van de geluidsschermen leidt er toe dat de onderhoudskosten veel hoger liggen dan noodzakelijk is. In het kader van LCCM is dit een overweging vanuit B&O om mee te nemen in de keuze van het ontwerp.

Verder leiden lage aanlegkosten vaak tot hoge onderhoudskosten. Dit is bovendien ook afhankelijk van de gewenste levensduur van de constructie. De levensduur is niet gespecificeerd. Een keuze voor een levensduur van de schermen korter dan de levensduur van de weg is niet onrealistisch. Aanscherping van de geluidsnormen kan bijvoorbeeld leiden tot een vroegtijdige sloop van het scherm.

4.5.4 Grondwerk (aanvullingen)

De eisen aan de grondwerken zijn:

- dat in principe de weg eeuwig blijft liggen (grote levensduur)
- de milieu wetgeving (plaatselijke verordeningen)
- de herbruikbaarheid van materialen bij reconstructie.

Met name de milieuwetgeving bepaalt het ontwerp zodanig dat LCC overwegingen moeilijk mee te nemen zijn.

4.6 Stap 4: Vaststellen (resterende) kosten en baten die van invloed zijn op en onderscheidend zijn voor de te nemen beslissingen.

Nadat de beslissing voor variant 5 was gemaakt, is in de jaren 1993-1994 een nieuwe studie gestart naar het toe te passen brugtype (Doc7 tot en met Doc9). Bekeken zijn betonnen bruggen (tui, boog en uitbouw), stalen bruggen (vlak, boog) en staalbeton bruggen (vlak, boog, tui symmetrisch, tui asymmetrisch). Hiervoor is een LCC analyse gemaakt op basis van een levensduur (voor de onderhoudskosten) van 75 jaar. In Kostenoverzicht type bruggen is de resulterende rangschikking naar kosten weergegeven. Door betrokkenen is opgemerkt dat wanneer deze analyse in een eerder stadium van de besluitvorming was uitgevoerd, er een andere brug (betonnen boogbrug) was gekozen.

De 75 jaar zijn niet als een variabele beschouwd. De vragen die men zich hierbij kan stellen zijn onder andere:

- Levert een andere leeftijd een andere volgorde op?
- Is er verschil in bijvoorbeeld $2 * 75$ jaar en $3 * 50$ jaar?
- Wat is het verschil in kapitaalvernietiging als na 40 blijkt dat het tracé om andere dan technische redenen vervangen moet worden?
- Is er voldoende inzicht om een (kwalitatief) antwoord te formuleren?

Anders gesteld: inzicht verkrijgen in dit soort zaken is LCCM.

4.7 Stap 5: Uitvoeren probabilistische levensduurkostenberekening inclusief onzekerheids- en gevoeligheidsanalyse.

Voor het kunnen uitvoeren van deze stap is veel extra informatie noodzakelijk. Op basis van de documenten en de gehouden interviews kan geconcludeerd worden dat deze informatie niet beschikbaar is, en deze stap dus ook toendertijd niet uitgevoerd is.

Betreffende de LCC analyse voor de keuze van het type brug zou een aanvulling met een onzekerheidsanalyse aan te bevelen zijn. Ook betreffende de dimensionering van de asfaltdikte is uitvoering van een onzekerheidsanalyse aan te bevelen (met name betreffende de te verwachte verkeersintensiteit van zwaar vrachtvervoer).

4.8 Stap 6: Voorleggen van de kwalitatief en kwantitatief onderbouwde aanbevelingen

4.8.1 Variant

Uit het genomen besluit en de begeleidende brief (Doc2) bij de Nota Rw2 blijkt dat de mogelijkheid tot fasering van doorslaggevende betekenis is geweest.

4.8.2 Brug

Over het definitieve ontwerp van de brug is in 1994 (dat wil zeggen een aantal jaren nadat het besluit over variant genomen was) een afweging gemaakt tussen “esthetische meerwaarde” van een boogbrug versus een uitbouwbrug, de meerkosten (op basis van LCC) en het opnieuw starten van de procedure met de betrokken gemeente. Weging van de verschillende criteria is niet duidelijk. De oorspronkelijke keuze van een betonnen uitbouwbrug is gehandhaafd.

Opmerking:

Was deze studie in een eerder stadium uitgevoerd dan was een ander brugtype (betonnen boogbrug) gekozen vanwege de esthetiek en de relatief lage meerkosten.

4.8.3 Verhardingen

De verharding is vastgesteld met behulp van een standaard systematiek, dus zonder LCC overwegingen.

4.8.4 Geluidsschermen

Uit drie gevraagde ontwerpen is een keuze gemaakt. Dit ontwerp is gekozen op basis van aanlegkosten, onderhoud en vormgeving, waarbij de esthetische randvoorwaarden zwaarwegend waren. De levensduur en de onderhoudbaarheid zijn geen criterium geweest.

4.9 Huidige status Rw2

De uitbreiding van Rw2 tussen de aansluiting Nieuwegein/IJsselstein en knooppunt Everdingen is zoals voorgesteld gefaseerd uitgevoerd. De eerste fase in dit geheel (de aanleg van de 1^e nieuwe lekbrug) is afgerond en in mei 2000 zal de officiële opening plaats vinden. De aanleg van de 2^e lekbrug is geaccordeerd en zal in de komende jaren uitgevoerd gaan worden.

De overdracht van bouwer naar B&O (Beheer en Onderhoud) is momenteel gaande. Na afronding hiervan is de situatie zodanig, dat B&O het onderhoudsgeld beheert terwijl zij de Bouwdienst vragen voor advies voor onderhoud aan de kunstwerken en geluidsschermen. Op verzoek van B&O voert de Bouwdienst vervolgens het onderhoud uit. Betreffende inspectie van de verhardingen is er een samenwerking met de dienst Weg & Water bouwkunde (DWW).

Betreffende het huidige onderhoud kan opgemerkt worden dat het nu te vroeg is om een vergelijking te kunnen maken met de verwachte kosten. Het enige B&O wat momenteel uitgevoerd wordt, is het asfalt vervangen van een gedeelte van de busbaan vanaf Nieuwegein.

5 Conclusies en aanbevelingen

Volgens de opdrachtomschrijving dient het eindrapport duidelijk te maken in welke mate LCCM een nuttig instrument is om een bijdrage te leveren aan een optimale onderhoudsstrategie bij RWS. Het dient de volgende zaken te signaleren:

1. de mate waarin LCCM aanwezig is in de gemaakte afwegingen, zoals die uit documenten en interviews naar voren komen;
2. de mate waarin bij beslissingen rekening is gehouden met het instandhouden van de constructie (integratie ontwerp / beheer en onderhoud (B&O));
3. het belang om in de toekomst de consequenties van keuzes voor B&O expliciet te maken; welke disciplines domineren in de besluitvorming (vormgeving, kosten, milieueisen, ervaring beslisser, draagvlak voor project in regio enz.);
4. welke wijzigingen in het bestudeerde proces noodzakelijk zijn voor een succesvolle toepassing van LCCM.

In response hierop signaleert NRG het volgende:

1. Betreffende de keuze van het type brug is een LCC overweging aanwezig. Het tijdstip in het proces heeft er echter toe geleid dat de uitkomst geen invloed op het besluitvormingsproces heeft gehad. Verder worden puur op kwalitatieve en niet-gekwantificeerde ervaringsfeiten keuzes afgewogen.
2. Bij het ontwerp is, buiten het type brug, geen rekening gehouden met het instandhouden van de infrastructurale objecten. De levensduur van de objecten wordt (impliciet) als vast aangenomen.
3. Volgens B&O is een 1 op 1 betrokkenheid bij het ontwerp uitermate belangrijk voor het kunnen ontwerpen en beheersen van nieuwe projecten. Niet alleen een kostenmatige benadering dient hierbij betrokken te worden, maar ook het functionele gebruik (maatschappelijke acceptatie, verduurzaamheid e.d.). Een kwantitatieve optimalisatie is hiervoor aan te raden.
4. De informatie voor het uitvoeren van LCC overwegingen is over het algemeen ter dege beschikbaar, de vastlegging en kwantificering van zaken ontbreekt echter.

Voor Rw2 geldt specifiek dat het geometrische ontwerp door de randvoorwaarden (verkeersafwikkeling) al vrijwel vast ligt. De invloed van LCCM is daardoor beperkt tot de keuze van het type van het wegdek, de geluidsschermen en de brug/tunnel en het uitvoeringstijdstip. Het loslaten van een vaste lange levensduur en het toelaten van diverse levensduren voor de verschillende objecten kan leiden tot een meer flexibele benadering van de integratie van ontwerp en onderhoud. Dit vergt wel de mogelijkheid om tussen verschillende budgetten te kunnen schuiven.

De review laat zien dat met de huidige LCCM-inzichten wordt geconstateerd dat de opgelegde randvoorwaarden weinig tot geen ruimte bieden voor kostenoptimalisatie. Achteraf gezien wordt ook vastgesteld dat binnen de strakke projectuitvoering weinig gelegenheid is om serieuze alternatieven objectief af te wegen.

Een en ander leidt tot de volgende aanbevelingen:

- Tracht van tevoren aan te geven welk(e) aspect(en) van doorslaggevend belang zal zijn;
- De keuze van betonkwaliteit en dikte van de deklaag kan de onderhoudskosten beïnvloeden. Een LCC-analyse, waarbij rekening gehouden wordt met de gewenste leeftijd zou hierop toegepast kunnen worden. Hetzelfde geldt voor de conservering van stalen bruggen.
- Een LCC-analyse (type wegdek, begin dikte wegdek, onderhoudsfrequentie, ontwikkeling verkeersintensiteit) zou nuttig kunnen zijn.
- Gegeven het grote aantal onzekere variabelen is een probabilistische beslissingsanalyse een goed hulpmiddel bij de keuze van het wegdek en de geluidswallen..

Ten aanzien van de kernvragen, die door RWS zijn over de bruikbaarheid van LCCM zijn gesteld, is het volgende vast te stellen:

- LCCM is een nuttig instrument bij het realiseren van een optimale onderhoudsstrategie doordat:
 - LCCM als rode draad door het ontwerpproces loopt;
 - integratie van ontwerpdisciplines en instandhouding in een vroeg stadium wordt bevorderd.
- Uit de toetsing blijkt dat niet zozeer het gebrek aan kennis, maar het gebrek aan vermogen om met onzekerheden om te gaan en het gebrek aan integratie tussen ontwerp en B&O bedreigend is voor de toepassing van LCCM. De manier om dit te doorbreken is LCCM in de organisatie in te bedden en te laten zien dat deze aanpak tot levensduurkostenbesparingen leidt.
- Omdat met LCCM inzichtelijk wordt gemaakt waarom welke besluiten genomen worden, zijn de consequenties voor de behorende diensten bekend. De benodigde instandhoudingsmiddelen (en daarmee de budgetten) zijn gekoppeld aan het ontwerp en zijn een logisch gevolg van het besluitvormingsproces waarbij investeringen, kostenreductie en reserveringen voor de toekomstige instandhouding zijn gerelateerd. Bovendien zorgt LCCM tijdens de beheerfase er voor dat bijstelling van onderhoudsstrategieën via een goede uniforme onderbouwing mogelijk is.

Samenvattend kan de volgende algemene slotconclusie worden getrokken:

Het is van belang dat de verschillende partijen (Politiek, Principaal, Ontwerper, Instandhouder) consensus verkrijgen over het gebruik van LCCM. Het gevolg van het toepassen van LCCM is immers dat de (budgettaire) effecten van besluiten genomen in een bepaalde fase van de levensduurcyclus zichtbaar worden gemaakt voor de hele cyclus.. Belangrijk hierbij is dat de LCC-analyse als een rode draad door het totale proces (van idee tot sloop) loopt en zorgt voor integratie van ontwerp en B&O. Onderkend dient te worden dat LCCM een algemeen belang dient, waardoor suboptimalisatie wordt voorkomen.

Aanbevolen wordt de ideeën over LCCM te bespreken met belanghebbenden en belangstellenden in de vorm van een workshop met als doelstellingen:

- LCCM te accepteren als een wezenlijk aspect van ontwerp en beheer
- verantwoordelijkheden, bevoegdheden en belangen te verduidelijken
- consensus verkrijgen over een projectorganisatie waarbinnen een LCC-manager een significante rol kan spelen.

Aanbevolen wordt het LCCM instrument daadwerkelijk te gebruiken en met praktijktoepassingen concrete ervaring op te doen. Dit betekent dat het instrument tegelijkertijd bij verscheidene projecten in verschillende stadia zou moeten worden toegepast bij actuele besluitvormingsprocessen.

Referenties

- [1] P.J. Van Gestel et.al, "LCCM als beleidsinstrument – toetsing toepasbaarheid LCCM", NRG rapport 2030/00.54026, 24 januari 2000
- [2] J.L. Brinkman en P.J. Van Gestel, interview met dhr. W. Rietbergen (Bouwdienst RWS), d.d. 2-3-2000
- [3] P.J.T. Bakker, interview met dhr. Brevoord (Hoofd afdeling onderhoud en verbetering – dienstkring Utrecht), d.d. 20-3-2000

bijlage A Kwalitatieve analyses in de ontwerpfase

A.1	Inleiding	32
A.2	Organisatie deelprojecten FMECA, RCM, MTA, LORA	32
A.3	FMECA	33
A.3.1	Beschrijving	33
A.3.2	Doelstelling	34
A.3.3	Uitwerking	34
A.3.4	Relaties met andere analysetechnieken	38
A.3.5	Bronnen	38
A.3.6	Resultaten	38
A.4	RCM	38
A.4.1	Beschrijving	38
A.4.2	Doelstelling	39
A.4.3	Uitwerking	39
A.4.4	Relaties met andere analysetechnieken	41
A.4.5	Bronnen van gegevens	41
A.4.6	Resultaten	42
A.5	MTA	42
A.5.1	Beschrijving	42
A.5.2	Doelstelling	42
A.5.3	Uitwerking	42
A.5.4	Relaties met andere facetten ILS	43
A.5.5	Bronnen van gegevens	43
A.5.6	Resultaten	44
A.6	LORA	44
A.6.1	Beschrijving	44
A.6.2	Doelstelling	45
A.6.3	Uitwerking	45
A.6.4	Relaties met andere facetten ILS	46
A.6.5	Bronnen	47
A.6.6	Resultaten	47

A.1 Inleiding

Bij uitvoering van een ontwerpproces kunnen verscheidene gestandaardiseerde analysetechnieken toegepast worden. Voornamelijk in het deel van het proces dat zich afspeelt tijdens de exploitatievoorbereiding kunnen de Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA), de Reliability Centered Maintenance (RCM), de Maintenance Task Analysis (MTA) en de Level Of Repair Analysis (LORA) technieken worden ingezet om te komen tot een ontwerp met een onderbouwd instandhoudingsconcept en tegen minimale levensduurkosten.

Deze bijlage geeft in het kort een leidraad voor het gebruik van genoemde FMECA, RCM, MTA en LORA analysetechnieken. Aan ieder van de technieken is een apart hoofdstuk gewijd, beginnend met een korte beschrijving. Na positionering van de analysetechniek in het ontwerpproces wordt - mede aan de hand van schema's - besproken op welke wijze de techniek dient te worden toegepast. Hierbij is tevens aangegeven op welke wijze de resultaten van de verschillende stappen worden vastgelegd. Vervolgens worden de verbanden tussen de technieken beschreven. Nadat de overdracht van gegevens van de ene naar de andere techniek en andere bronnen van gegevens zijn aangegeven, eindigt ieder hoofdstuk met een beschrijving van de eindresultaten van de bewuste analysetechniek.

De FMECA wordt zo vroeg mogelijk uitgevoerd tijdens de ontwerpfase. Indien uit de analyse ongewenste afwijkingen naar voren komen dient het in principe mogelijk te zijn het ontwerp aan te passen. Zowel een aanzienlijk deel van de tussenresultaten als de eindresultaten van de FMECA kunnen gebruikt worden bij de RCM analyse. De RCM analyse dient uitgevoerd te worden in de eindfase van het ontwerp. RCM bepaalt de onderhoudsstrategie voor iedere component, maar kan in voorkomende gevallen ook aangeven dat door het ontwerp onoplosbare onderhoudsproblemen ontstaan. Een enkele ontwerpwijziging kan hieruit nog volgen. Nadat de RCM analyse is afgerond kan met behulp van een MTA vastgelegd worden wie de onderhoudsacties zal uitvoeren en welke middelen daarvoor benodigd zijn. Pas nadat alle correctieve onderhoudsactiviteiten zijn gedefinieerd is het mogelijk met de LORA analyse te bepalen waar en door wie het onderhoud uitgevoerd dient te worden. Deze analyse zal nog slechts in zeer uitzonderlijke gevallen invloed hebben op het uiteindelijke ontwerp. Nadat de LORA analyse is afgerond dienen mogelijk de in de MTA vastgelegde gegevens herzien te worden.

A.2 Organisatie deelprojecten FMECA, RCM, MTA, LORA

Indien in het ontwerptraject van een systeem de analysetechnieken worden gebruikt zal daartoe een geschikte organisatie in het leven geroepen dienen te worden. De basisaanpak voor alle technieken is als volgt:

- 1) Maak een planning voor de uitvoering van de analyse.
 - Maak een plan van aanpak, met daarin
 - Strategie
 - Tijdenplan
 - Benodigde mankracht voor de analyse
 - Programma voor periodieke terugkoppeling over het verloop van de analyse.

- Maak een plan van aanpak voor het uitvoeren van review-werkzaamheden, met daarin:
 - Methodiek,
 - Review team,
 - Resultaten review,
 - Tijdpad voor review uit te voeren door de klant.
- 2) Bereid het verzamelen en latere beheer van data voor.
 - Input Data: onder te verdelen in Economische en Niet-economische input data
- 3) Voer de analyse uit. Naast de analyse zelf dient rekening gehouden te worden met:
 - Evaluatie
 - Documentatie in een gemeenschappelijke databank
- 4) Implementeer de resultaten.

Bij deze aanpak wordt impliciet uitgegaan van verschillende taken voor de leveranciers en RWS. De analyses worden – met een grote hoeveelheid input van de Bouwdienst - voor het grootste deel uitgevoerd door de leverancier. Op meerdere duidelijk gemarkeerde punten tijdens de uitvoering van de analyse worden de review-werkzaamheden uitgevoerd, deels door de leverancier en deels door RWS. Hiermee wordt RWS de gelegenheid gegeven het verloop van de analyses tijdig bij te sturen.

A.3 FMECA

A.3.1 Beschrijving

De Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA) is een analysetechniek, ontworpen om alle mogelijke afwijkingen van het functioneren van componenten te bepalen. Hiertoe wordt een totaal systeem (bijvoorbeeld een compleet infrastructureel werk) eerst ontleed in deelsystemen, installaties en componenten. Van deze deelsystemen, installaties en componenten worden vervolgens de functies vastgelegd. Aan de hand van gidswoorden worden van de componenten de mogelijke afwijkingen (Failure Modes) bepaald en wordt vastgelegd welke effecten (Effects) die afwijkingen hebben op de functies van het (deel-)systeem. Samen met de kans van optreden kan het risico (de Criticality) van de afwijking bepaald worden.

Deze analyse kan zowel in de beheerfase als in de ontwerpfase van een project worden uitgevoerd. Door vroegtijdig de systemen, installaties en componenten met hun functies te definiëren wordt snel inzicht verkregen in de kritieke punten van het ontwerp. Aanpassing van de gevonden kritieke punten kan mogelijk leiden tot het op voorhand verbeteren van het ontwerp, waardoor kostbare modificaties achteraf kunnen worden voorkomen.

De FMECA analyse is een iteratief proces. In het begin van het ontwerpproces is weinig informatie aanwezig, maar kan de invloed van een FMECA groot zijn op het ontwerp. Naarmate het proces vordert wordt de informatie steeds concreter, maar de invloed van de FMECA steeds geringer totdat het ontwerp wordt bevroren. De FMECA geeft bij dit laatste ontwerp een relatie tussen de mogelijke functieafwijkingen op componentniveau, de gevolgen op installatie- of systeemniveau en de effecten die daarmee gepaard gaan.

A.3.2 Doelstelling

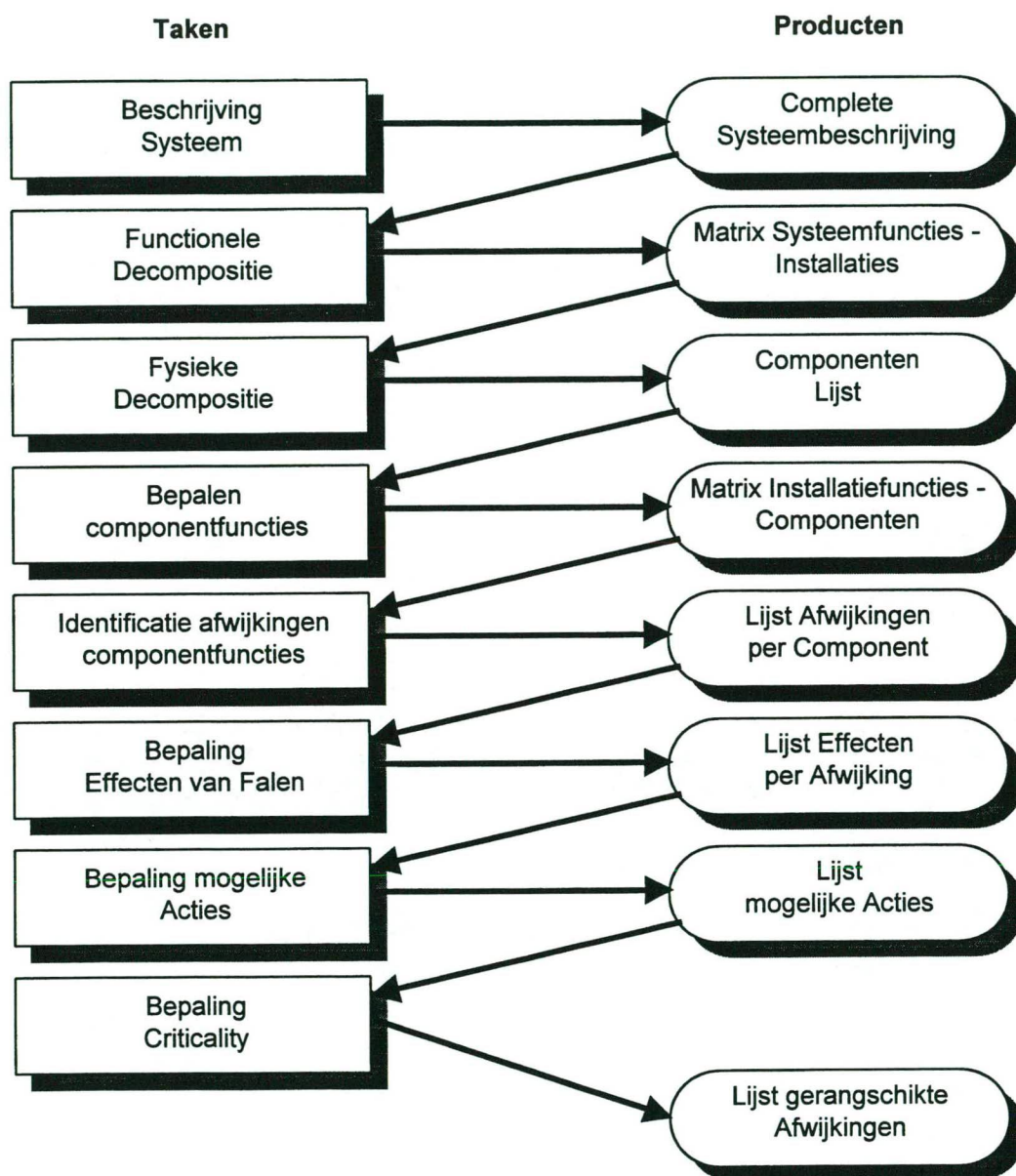
Het doel van de FMECA analyse in deze fase van het proces is tweeledig. In de beginfase van het ontwerpproces kan de FMECA gebruikt worden om zwakke plekken in het ontwerp op te sporen en verbeteringen aan te brengen. Nadat het ontwerp min of meer is vastgelegd geven de resultaten van de FMECA analyse de bij het ontwerp behorende relaties tussen de mogelijke afwijkingen van de componentfuncties en de gevolgen op installatie- of systeemniveau.

A.3.3 Uitwerking

De FMECA techniek gaat uit van mogelijke afwijkingen van componenten. Aan de hand van gidswoorden worden de afwijkingen bepaald. Vervolgens wordt de kans op optreden en de criticality vastgelegd.

In figuur A1 zijn de voor een FMECA benodigde stappen kort weergegeven:

- Een korte beschrijving van het systeem. Zo'n beschrijving zal gemaakt dienen te worden aan de hand van de aanwezige ontwerpgegevens. Naast korte beschrijvingen dienen deze schema's te bevatten, waarin de opbouw van het systeem is weergegeven. De kwaliteit van de gegevens – zowel in detail als in hoeveelheid -dient zodanig te zijn, dat het mogelijk is om de werking van het systeem en de functies van de componenten volledig te doorgronden.
De activiteiten van deze stap worden vastgelegd in een complete systeembeschrijving.
- Functionele decompositie. Door een functionele decompositie wordt vastgelegd welke hoofdfuncties een systeem heeft en welke installaties bijdragen aan die hoofdfuncties. Het resultaat van deze activiteiten is een overzicht van alle functies van het systeem en een matrix, waarin is aangegeven welke installaties bijdragen aan die systeemfuncties.



Figuur A1 Taken FMECA

- Fysieke decompositie. Door fysieke decompositie worden de installaties ontleed in belangrijke componenten. Aan de hand van de verzamelde ontwerpgegevens is het mogelijk om de verschillende componenten in de installaties te onderscheiden. Voor de verdere analyse is het van groot belang hierbij goed aan te geven waar de installatie- en componentgrenzen zich bevinden.

Als voorbeeld de component 'pomp'. Voor het bepalen van de mogelijke afwijkingen is het van belang te weten of de elektromotor die de pomp aandrijft, onderdeel uitmaakt van de component 'pomp' of zelf een aparte component is. Een mogelijke

componentbegrenzing zou kunnen zijn: 'Pomp met aandrijfmotor en bijbehorende leidingen vanaf de inlaatklep (inclusief), tot en met de terugslagklep in de afvoerleiding'.

De resultaten van deze activiteit wordt gedocumenteerd in de vorm van een componentenlijst.

- Bepalen componentfuncties. In deze taak wordt vastgelegd welke bijdrage de componenten hebben in het functioneren van de installatie. Per item dient vast gelegd te worden wat de hoofd- en wat de eventuele nevenfuncties zijn.
Het resultaat van deze activiteiten is een overzichtsmatrix functies – componenten.
- Bepaling van de mogelijke afwijkingen per component. Om op een gestructureerde wijze tot alle mogelijke afwijkingen te komen dient gebruik gemaakt te worden van een aantal gidswoorden. De gidswoorden in onderstaande lijst geven een compleet overzicht van alle mogelijke afwijkingen voor een technisch systeem:

- geen
- niet
- meer
- minder
- evenals
- gedeeltelijk
- omgekeerd
- anders dan

Deze methodiek kan het beste aan de hand van een voorbeeld verduidelijkt worden: Een pompstrang (pomp met kleppen) moet water verpompen van A (een put) naar B (een watertank). Een van zijn functies is “Verpompen”. Mogelijke afwijkingen van de functies van de pomp zijn:

- geen (geen water verpompen)
- niet verpompen (de pomp draait helemaal niet)
- meer verpompen (de pomp pompt te veel, de tank loopt over)
- minder verpompen (de pomp pompt onvoldoende)
- evenals (naast water ook lucht)
- gedeeltelijk (pompt een deel via de retourlijn terug)
- omgekeerd (voor de pomp zelf geen afwijking te bedenken)
- anders dan (voor de pomp zelf geen afwijking te bedenken)

Het resultaat van deze analyse activiteiten is een lijst met afwijkingen per component.

- Bepaling van de gevolgen per afwijking. De gevonden functie-afwijkingen van de componenten hebben gevolgen voor de installaties. Deze gevolgen kunnen onderverdeeld worden in verschillende categorieën. Voorbeelden hiervan zijn veiligheid, milieu, beschikbaarheid, duurzaamheid of prestatievermogen.
Als product van deze stap wordt de - in de voorgaande stap opgestelde – lijst van afwijkingen en oorzaken uitgebreid met de gevolgen.
- Bepaling van de mogelijke acties voor alle combinaties van afwijkingen en oorzaken. Afhankelijk van oorzaak en afwijking kan gezocht worden naar een actie om de oorzaak weg te nemen of een actie om de gevolgen van de afwijking weg te nemen of te verminderen.

Indien in bovenstaand voorbeeld de pompmotor defect is kan dit gevolg en de verdere gevolgen (lege tank) weggenomen worden door het plaatsen van een nieuwe motor. Indien dat niet mogelijk is kan het uiteindelijke gevolg van een lege tank ook weggenomen worden door de tank te vullen vanuit een andere put.

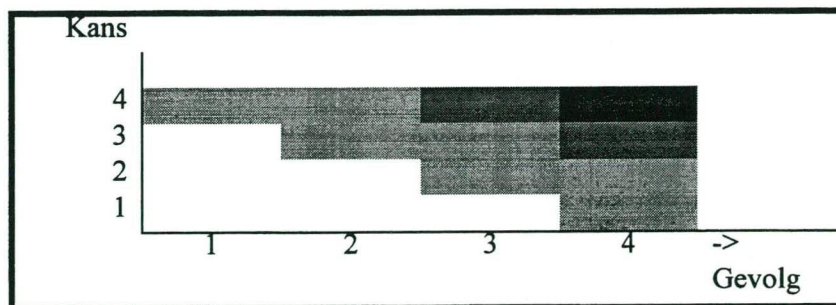
Het resultaat van deze activiteiten is een lijst met mogelijke preventieve of correctieve acties per combinatie van afwijking en oorzaak.

- **Rangschikking van de risico's (= bepaling Criticality)** De rangschikking wordt bepaald door twee parameters: de kans op het optreden van een afwijking en de ernst van het gevolg. Aangezien een exacte bepaling vaak niet mogelijk is wordt over het algemeen voor beide variabelen slechts een beperkt aantal gradaties (bijvoorbeeld 4) gegeven. Tabel 1 geeft hiervan een voorbeeld.

tabel A1 Criticality

Waardering	Kans	Gevolg
1	Nihil	Gering
2	Klein	Klein
3	Aanwezig	Groot
4	Groot	Ernstig

De criticality wordt vaak bepaald door de waardering voor de kans te vermenigvuldigen met de waardering van het gevolg. In dit voorbeeld, waar beide een waardering hebben die loopt van 1 tot en met 4 kan het risico variëren van 1 (Kans Nihil en Gevolg Gering) tot 16 (Kans Groot en Gevolg Ernstig). Vaak wordt dit ook grafisch weergegeven in een criticality-matrix (zie figuur A2).



Figuur A2 Criticality-matrix

Het grof afschatten van een kans is - ook in zo'n vroege fase - goed mogelijk. Het afschatten van de ernst van de gevolgen is wat moeilijker. Het best kan deze taak uitgevoerd worden door een groep van deskundigen.

A.3.4 Relaties met andere analysetechnieken

De FMECA wordt uitgevoerd in een fase waarbij het ontwerp zodanig duidelijk dient te zijn dat uitvoering van de taken van een FMECA (zie figuur A1) mogelijk is, maar waarbij het ontwerp nog niet zodanig vast ligt dat geen aanpassingen meer mogelijk zijn. De bij het nagenoeg definitieve ontwerp behorende inventarisatie van functieafwijkingen van componenten en de daarbij behorende effecten op het systeem worden als input gebruikt voor de vervolganalyses RCM, MTA en LORA.

A.3.5 Bronnen

Om een FMECA uit te kunnen voeren is een gedetailleerd inzicht in het functioneren van de systemen noodzakelijk. In de ontwerpfase van een project zal het moeite kosten om de hiervoor benodigde informatie boven tafel te krijgen. Mogelijke andere bronnen van informatie zijn:

- lessons learned uit vergelijkbare, reeds in beheer zijnde, ontwerpen (functies, afwijkingen, gevolgen)
- andere FMECA's (afwijkingen)
- deskundigen (afwijkingen, gevolgen)
- generieke faaldata (kansen)
- systeemhandboeken (systeembeschrijvingen).

A.3.6 Resultaten

De resultaten van de eerste FMECA kunnen leiden tot goed onderbouwde wijzigingen in het ontwerp. Nadat deze wijzigingen zijn aangebracht zal ook de FMECA worden aangepast. Deze stappen worden iteratief uitgevoerd, totdat de resultaten van de FMECA geen aanleiding meer geven tot ontwerpwijzigingen. Alle resultaten - ook die van de tussenliggende analyses - dienen duidelijk gedocumenteerd te worden. Zij maken deel uit van het ontwerpproces. De resultaten van de laatst uitgevoerde FMECA dienen als input voor de RCM analyse.

A.4 RCM

A.4.1 Beschrijving

Reliability Centered Maintenance (RCM) is een analysetechniek geïntroduceerd met de doelstelling om de uitvoering van onderhoudsactiviteiten te optimaliseren. Optimalisatie vindt plaats zowel in de zin van veiligheid en betrouwbaarheid als in de zin van onderhoudskosten.

De basisgedachte van RCM is dat de beschikbare middelen het beste toegewezen kunnen worden aan die componenten of installaties, waarvan het falen kan leiden tot serieuze gevolgen voor het gehele systeem. De onderhoudsactiviteiten aan componenten, die bij falen belangrijke gevolgen hebben voor het functioneren van het totale systeem, worden geïdentificeerd en geoptimaliseerd. Onderhoudsactiviteiten aan componenten, die bij falen slechts kleine – relatief onbelangrijke – afwijkingen veroorzaken kunnen correctief plaatsvinden.

RCM kan zowel in een bestaand systeem als aan het einde van de ontwerpfase van een nieuw systeem worden uitgevoerd. In het laatste geval is het mogelijk om al in een vroeg stadium te beginnen met optimalisatie van het onderhoud.

A.4.2 Doelstelling

De globale doelstelling van RCM is het optimaliseren van de uitvoering van onderhoudsactiviteiten. Meer in detail betekent dat voor een RCM analyse in de ontwerpfase onder andere:

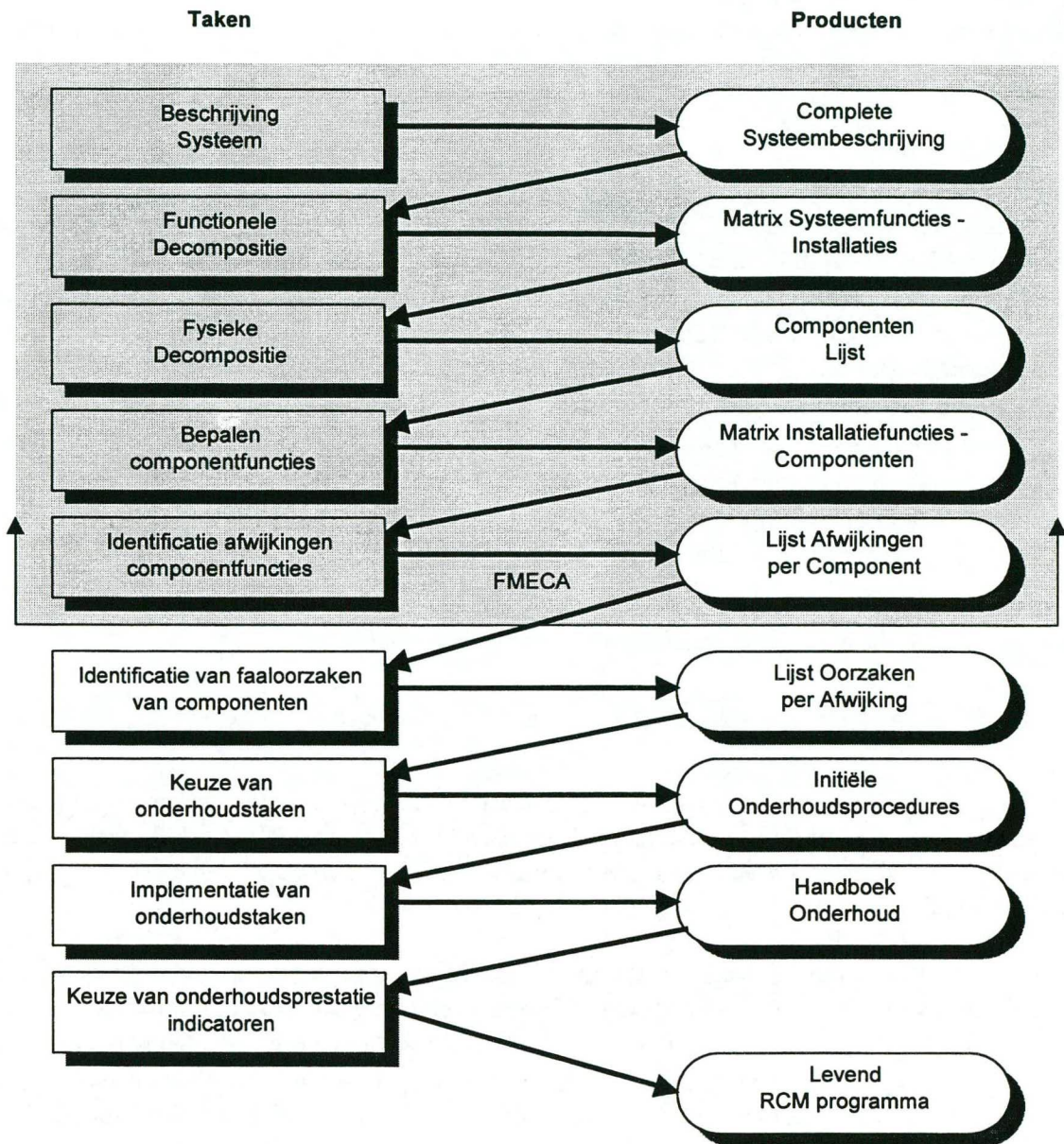
- Het op de juiste plaats toepassen van correctieve, preventieve of toestandafhankelijke onderhoudsactiviteiten, leidend tot een minimalisatie van de geplande en ongeplande niet beschikbaarheid.
- Optimalisatie van de onderhoudskosten..
- Het onderkennen van mogelijke ontwerpwijzigingen .
- Het verkrijgen van inzicht in optimalisatie van reserveonderdelen.
- Levensduurverlenging.
- Identificatie van de zoektaken naar verborgen fouten.
- Het onderkennen van de zwakke componenten in het systeem.
- Het onderkennen van de zwakke punten in de onderhoudsactiviteiten.

A.4.3 Uitwerking

In figuur A3 zijn de voor het uitvoeren van een RCM analyse benodigde taken weergegeven. Tevens is aangegeven welke producten geleverd worden bij de afronding van de verschillende taken. De eerste vijf stappen van een RCM programma komen overeen met de eerste vijf stappen van een FMECA.

Aangezien de doelstelling van een RCM analyse (het zoeken naar de optimale onderhoudstaken) duidelijk verschilt van die van een FMECA, zijn de stappen voor de verdere uitwerking:

- Bepaling van de oorzaken. Aan elke functieafwijking kunnen verschillende oorzaken ten grondslag liggen. Voor een goede instandhouding is het noodzakelijk te achterhalen welke oorzaken een rol spelen en van welk type oorzaak sprake is. Bijvoorbeeld: is de faaloorzaak technisch van aard of speelt menselijk handelen (mede) een rol? Is de storingsfrequentie afhankelijk van de kalendertijd, van de gebruiksintensiteit of juist random?
Als product van deze activiteit wordt de - in de voorgaande stap opgestelde - lijst van afwijkingen uitgebreid met oorzaken.



Figuur A3 Taken RCM

- Keuze van onderhoudstaken. Afhankelijk van het belang van de component en de mogelijke faalmoden kan bepaald worden welk type van onderhoud in principe op een component zal worden toegepast. De mogelijkheden zijn:
 - Correctief onderhoud (reparatie of vervanging na falen)
 - Gebruiksafhankelijk of tijdsafhankelijk onderhoud (vervanging, (visuele) inspecties, testen, preservering, calibratie na een vast aantal bedrijfsuren of na een vast tijdsverloop)

- Toestandsafhankelijk onderhoud (reparatie of vervanging indien de toestand van de component daar aanleiding toe geeft).

Het resultaat van deze activiteit is een lijst, waarin per component een initiële keuze is gemaakt voor een bepaald type onderhoud.

- Implementatie van onderhoudstaken. Indien in de vorige stap onderhoudstypen zijn gekozen en de onderhoudstaken per component zijn uitgewerkt dienen deze in een onderhoudsdatabase opgenomen te worden.

Het resultaat van deze activiteit is een document, waarin voor alle componenten de onderhoudstaken duidelijk zijn omschreven. Alle gegevens worden opgenomen in de LSAR databank.

- Keuze van onderhoudsprestatie-indicatoren. Een zeer wezenlijk onderdeel van de RCM analyse is de terugkoppeling van de resultaten van de gekozen onderhoudstaken. Een beoordeling kan alleen dan plaatsvinden indien al bij het opstellen van het onderhoudsconcept duidelijke keuzes worden gemaakt over de te bewaken parameters en over de grenzen die gesteld worden voor goed- of afkeur.

Een voorbeeld van zou parameter zou kunnen zijn: de niet beschikbaarheid van de installatie mag niet lager zijn dan X procent.

Het resultaat van deze activiteit is een lijst met de gekozen onderhoudsprestatie-indicatoren met daarin opgenomen de parameters die gemeten worden en de daarbij horende begrenzingen.

A.4.4 Relaties met andere analysetechnieken

In verband met de benodigde systeemgegevens kan de RCM analyse pas uitgevoerd worden nadat het ontwerp grotendeels is afgerond. Het is mogelijk dat uit de analyse blijkt dat onderhoud aan een aantal componenten zeer moeilijk of zelfs onmogelijk is. Hieruit zal dan het advies volgen om een ontwerpwijziging aan te brengen. Over het algemeen zullen de hieruit voortvloeiende ontwerpwijzigingen zeer beperkt zijn.

Na het uitvoeren van de RCM analyse dient een MTA uitgevoerd te worden om de onderhoudstaken duidelijker te specificeren en kan de LORA analyse gestart worden, waarin wordt bepaald op welk niveau het onderhoud plaats dient te vinden.

A.4.5 Bronnen van gegevens

Indien vóór de RCM analyse een FMECA is uitgevoerd komt een groot deel van de inputgegevens daar vandaan. Gegevens voor het concreet invullen van onderhoudsactiviteiten (inclusief de bijbehorende frequenties) zullen voor een deel van de toeleveranciers van de verschillende componenten dienen te komen. Voor een ander deel kan gebruik gemaakt worden van de bij de onderhoudsdiensten van RWS aanwezige kennis van identieke of vergelijkbare componenten. Een andere belangrijke bron van informatie is het gebruiksplan, waarin onder andere de RAM-eisen per installatie zijn aangegeven.

A.4.6 Resultaten

Het uitvoeren van een RCM analyse heeft als resultaat een duidelijk en goed gemotiveerd overzicht per component van de uit te voeren onderhoudstaken. Bovendien wordt een bewakingssystematiek ontworpen, om de effectiviteit van het gekozen onderhoudsplan door meetparameters periodiek te toetsen. De resultaten van de RCM analyse dienen bovendien als invoer voor de MTA en LORA.

A.5 MTA

A.5.1 Beschrijving

De Maintenance Task Analysis (MTA) wordt uitgevoerd, met als doel het in detail uitwerken van de onderhoudsactiviteiten, zoals die in de voorgaande analyses zijn gedefinieerd. Tijdens een MTA worden geen analyses uitgevoerd (zoals functionele en fysieke decompositie bij FMECA) en geen keuzes gemaakt (zoals bij RCM of LORA). MTA draagt er zorg voor, dat door een gestructureerde aanpak in de vorm van vragenlijsten in detail wordt vastgelegd door welke groepen binnen een organisatie de onderhoudsactiviteiten verricht dienen te worden en welke materialen en gereedschappen daarvoor benodigd zijn (Mankracht, Machines, Middelen, Materialen).

A.5.2 Doelstelling

De doelstelling van MTA is het in detail vastleggen van alle benodigdheden voor het uitvoeren van de gedefinieerde onderhoudstaken. Deze onderhoudstaken kunnen zowel preventief als correctief zijn. Meer in detail betekent dit het vastleggen van:

- de benodigde hoeveelheid mankracht
- de benodigde kennis en training van de in te zetten onderhoudsdiensten
- de benodigde tijd
- de benodigde machines en gereedschappen
- de benodigde testfaciliteiten
- de benodigde reserveonderdelen
- de benodigde verbruiksmaterialen (olie, afdichtingen e.d.).

A.5.3 Uitwerking

De MTA analyse kan opgesplitst worden in een vragenlijst voor preventief en een voor correctief onderhoud (zie ook paragraaf A.5.4). De vragenlijst voor preventief onderhoud bevat onder andere:

- Wie voert het onderhoud uit?
- Waar wordt het uitgevoerd?
- Is een aparte PO kaart noodzakelijk (werkwijze, veiligheidsvoorschriften, afregeling)?
- Is een specifieke opleiding noodzakelijk?
- Is speciaal gereedschap noodzakelijk?

- Moet er worden gekalibreerd?
- Zijn reservedelen noodzakelijk?
- Moeten procedures voor inbedrijfstelling worden opgesteld?

Voor correctief onderhoud is de vragenlijst:

- Is er al een LORA uitgevoerd?
- Op welk niveau kan de storing het meest effectief worden opgelost?
- Moet er een foutzoekprocedure worden gemaakt?
- Is testapparatuur / -software noodzakelijk?
- Zijn er speciale reparatievoorschriften noodzakelijk?
- Is speciaal gereedschap noodzakelijk?
- Zijn er speciale diagnosetechnieken noodzakelijk?
- Zijn er afregelprocedures noodzakelijk?
- Zijn reservedelen noodzakelijk?
- Is er voor het vervoer speciale aandacht nodig?

A.5.4 Relaties met andere facetten ILS

De MTA taak zal in eerste instantie worden uitgevoerd nadat de preventieve en correctieve onderhoudsacties bekend zijn uit de FMECA en RCM analyse. Indien MTA is afgerond kan de LORA taak worden uitgevoerd. LORA kan leiden tot verandering van inzicht voor wat betreft de benodigdheden, zodat hierin met behulp van MTA wijzigingen aangebracht dienen te worden. In beperkte mate is dit een iteratief proces.

A.5.5 Bronnen van gegevens

Een groot deel van de gegevens voor wat betreft de uit te voeren onderhoudstaken komen uit de FMECA en RCM analyses. Gegevens over de benodigdheden komen van leveranciers en ervaring van de eigen dienstkringen:

- mankracht
- kennis, training
- tijd
- machines, gereedschappen
- testfaciliteiten
- reserveonderdelen
- verbruiksmaterialen.

A.5.6 Resultaten

Na uitvoeren van de MTA zijn de behoeften voor iedere onderhoudstaak eenduidig en in detail bekend. Deze gegevens worden vastgelegd als onderdeel van het Onderhoudsconcept. Bovendien ontstaan de volgende inzichten:

- Welke onderhoudstaken horen in welk technisch handboek (een basis voor het schrijven van de verschillende technische handboeken).
- Welke reserve-onderdelen dienen op ieder niveau ter beschikking te staan (een basis voor het reservedelenbeheer).
- Welke gereedschappen en testfaciliteiten dienen op ieder niveau ter beschikking te staan (een basis voor de uitrustings-eisen van de verschillende werkplaatsen).
- Welk personeel is op ieder niveau noodzakelijk en welke training dient het personeel gevolgd te hebben (een overzicht van het benodigde personeel (aantal, niveau) en de benodigde opleidingen).
- Welke ondersteunende faciliteiten dienen ter beschikking te staan
- Wat zijn de effecten op de Life Cycle Costs (inzicht in de bijdrage van de reparatie-activiteiten aan de totale kosten).

A.6 LORA

A.6.1 Beschrijving

De Level of Repair Analysis (LORA) is een analysetechniek, met als doel te bepalen op welk niveau in de organisatie specifieke onderhoudstaken het beste uitgevoerd kunnen worden. De keuze wordt bepaald aan de hand van parameters als kosten, kennis en middelen.

LORA gaat er van uit dat onderhoud op vier verschillende niveaus uitgevoerd kan worden:

- O (organisational level): onderhoud of reparatie geschiedt bij de gebruiker en in het systeem zelf door het normale onderhoudspersoneel. De component wordt niet uitgebouwd. Deze variant heeft de voorkeur in verband met het ontbreken van extra taken als invoeren van specialisten of het demonteren en verzenden van de component. Of O-level mogelijk is wordt bepaald door de complexiteit van het gefaalde systeem, de bereikbaarheid van de component en de kennis en de technische mogelijkheden van het onderhoudspersoneel van de gebruiker. *(in het systeem)*
- I (Intermediate level): reparatie geschiedt bij de gebruiker zelf door gespecialiseerd onderhoudspersoneel. De keuze tussen I-level en D-level onderhoud zal afhangen van de technische vaardigheden van het personeel, de technische mogelijkheden en de kosten van beide varianten. *(aan het infrastructurele werk)*
- D (Depot level): reparatie geschiedt al dan niet bij de gebruiker zelf op een gecentraliseerd punt door sterk gespecialiseerd onderhoudspersoneel. Op dit niveau is in principe al het reparatiewerk uit te voeren. Bij deze variant zullen de extra kosten voor bijvoorbeeld het verzenden van de component een rol gaan spelen. *(bij de WED's)*
- C (Contractor maintenance): reparatie geschiedt door de leverancier van het object. Bij de leverancier is zeer gespecialiseerde basiskennis aanwezig. Naast de verzendkosten tellen hier ook de kosten voor het inzetten van het sterk gespecialiseerde personeel van de leverancier mee. *(bij de leverancier)*

Daarnaast bestaat de mogelijkheid van:

Discard: Er wordt geen reparatie uitgevoerd, het defecte object wordt vervangen door een nieuw. Soms is het goedkoper om een component niet te repareren, maar in zijn geheel te vervangen.

A.6.2 Doelstelling

Het doel van de LORA techniek is om - aan de hand van parameters als kosten, middelen en training en ervaring van het onderhoudspersoneel - te bepalen op welk niveau in de organisatie de correctieve taken het beste uitgevoerd kunnen worden.

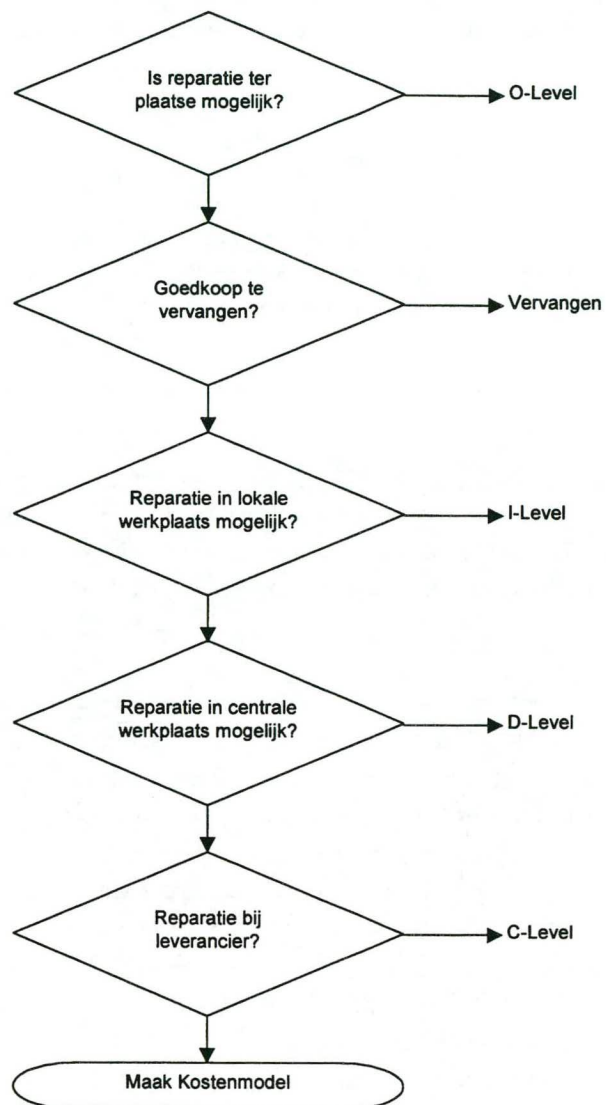
A.6.3 Uitwerking

Bij het doorlopen van onderstaand keuzediagram worden vragen gesteld. Als zo'n vraag niet eenduidig en zonder twijfel met JA beantwoord kan worden, is het antwoord NEE. Alleen dan is het mogelijk de juiste keuzes te maken. Indien geen van de vragen eenduidig beantwoord kan worden leidt dat automatisch tot een nadere analyse van de kostenaspecten van de verschillende opties.

De beslissingspunten zijn:

- Indien de component ter plaatse in het systeem eenvoudig gerepareerd kan worden wordt ter plekke (O-level) onderhoud gepleegd.
- Indien dat niet mogelijk is, maar de component eenvoudig en goedkoop te vervangen is door een nieuwe dan wordt tot vervanging overgegaan (Discard).
- Indien dat niet zinvol is, maar de component – in verband met de complexiteit of de aanwezigheid van hulpgereedschappen – centraal door sterk gespecialiseerd personeel gerepareerd moet worden, dan vindt reparatie in een centrale werkplaats (D-Level) plaats.
- Indien dat niet nodig is, maar de reparatie duidelijk door gespecialiseerd personeel op locatie kan worden uitgevoerd, dan vindt reparatie in een lokale werkplaats (bijvoorbeeld op het schip) onderhoud (I-level) plaats.
- Indien ook dat niet mogelijk is, kan het noodzakelijk zijn om de reparatie bij en door de leverancier te laten verrichten (C-level onderhoud).
- Indien op geen van alle voorgaande vragen EENDUIDIG antwoord gegeven kan worden dient een kostenmodel gemaakt te worden.

De LORA analyse is weer te geven in een keuzediagram:



Figuur A4 Stappen LORA analyse

A.6.4 Relaties met andere facetten ILS

De LORA analyse kan pas op zinvolle wijze worden uitgevoerd, indien de FMECA en RCM analyses zijn afgerond. De voor LORA benodigde gegevens over de uit te voeren onderhoudsactiviteiten zijn niet op een eerder tijdstip beschikbaar. Het resultaat van LORA is een duidelijke keuze voor de locaties waar ieder van de correctieve onderhoudsactiviteiten dient te worden uit gevoerd.

A.6.5 Bronnen

Een deel van de gegevens voor wat betreft de uit te voeren onderhoudstaken komen uit de FMECA en RCM analyses. Het grootste deel komt uit de MTA analyse. Hierin is immers gedetailleerd vastgelegd welke benodigdheden op de verschillende plaatsen aanwezig zijn (zie ook paragraaf A.4.5). Benodigde extra informatie dient te komen van leveranciers en eigen onderhoudsdiensten:

- *Locatie onderhoudsactiviteiten*
- *reparatieloonkosten*
- *vervangingskosten*
- *kosten machines, gereedschappen, testfaciliteiten)*
- *kosten reserveonderdelen*
- *overheadkosten D-level, I-level*
- *verzendkosten.*

A.6.6 Resultaten

Als resultaat van een LORA analyse ligt vast waar en door wie de verschillende correctieve onderhoudswerkzaamheden worden uitgevoerd. Bovendien ontstaan de volgende inzichten:

- Welke correctieve onderhoudstaken horen in welk technisch handboek (een basis voor het schrijven van de verschillende technische handboeken).
- Welke reserve-onderdelen dienen op ieder niveau ter beschikking te staan (een basis voor het reservedelenbeheer).
- Welke gereedschappen en testfaciliteiten dienen op ieder niveau ter beschikking te staan (een basis voor de uitrustingsisen van de verschillende werkplaatsen).
- Welk personeel is op ieder niveau noodzakelijk en welke training dient het personeel gevolgd te hebben (een overzicht van het benodigde personeel (aantal, niveau) en de benodigde opleidingen).
- Welke ondersteunende faciliteiten dienen ter beschikking te staan
- Wat zijn de effecten op de Life Cycle Costs (inzicht in de bijdrage van de reparatie-activiteiten aan de totale kosten).

bijlage B Waarderingstabel varianten

De tabel is afkomstig uit de RWS nota, "Projectstudie Rijksweg 2 - gedeelte aansluiting Nieuwegein/IJsselstein-Knooppunt Everdingen", 10 april 1989.

Achtergrond/verklaring van de waardering:

De effecten van de varianten worden zoveel mogelijk gekwantificeerd. Vervolgens zijn deze per (deel)aspect met elkaar vergeleken en gewaardeerd ten opzichte van de nulvariant.

De hiervoor gebruikte schaal heeft de volgende betekenis:

- ++ = zeer gunstig
- + = gunstig
- 0 = gelijk
- = ongunstig, respectievelijk schadelijk
- = zeer ongunstig, respectievelijk zeer schadelijk

Na de waardering van de effecten is per (deel)aspect een onderlinge rangorde aangegeven voor de varianten, waarbij rangnummer 1 de beste variant is.

Door een kwalitatieve onderbouwing van de effecten kan in de rangorde een nadere detaillering van de waardering (++, +, 0, -, --) van effecten op een (deel)aspect tot uitdrukking komen.

Warderingstabel Varianten

Waardering en rangorde	nul-variant	nulplus-variant	varianten						varianten						nul-variant	nulplus-variant	varianten						varianten					
Aspect			1	2	3	4	5	6	C1	C2	C3	C4	C5	C6			1	2	3	4	5	6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Ruimtelijke structuur																												
- bereikbaarheid	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
- ruimtelijke plannen	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Verkeer en vervoer																												
- verkeersafwikkeling	0	0	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	4	4	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2	2	
- verkeersveiligheid	0	0	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	4	4	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	
Economische aspecten																												
- kosten aanleg, onderhoud en exploitatie	0	0	-	-	-	-	-	--	-	-	-	-	-	--	1	1	3	3	7	7	5	9	2	2	6	6	4	8
- kosten van het wegverkeer																												
. kosten ongevallen	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	
. kosten filevorming	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
- economische ontwikkeling	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Woon- en leefmilieu																												
- vervoer gevaarlijke stoffen	0	0	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	5	5	4	4	2	2	2	2	3	3	1	1	1	1
- geluidhinder	0	0	-	-	-	-	-	+/-	0	0	0	0	0	+/-0	2	2	4	4	4	4	4	3	2	2	2	2	1	
- luchtverontreiniging																												
. NO ₂ -belasting	0	0	--	--	--	--	--	--	-	-	-	-	-	-	1	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	
. stank	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
. lood	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	
. stof	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	
Natuur- en landschap																												
- functioneel-ruimtelijke aspect	0	0	-	-	-	-	--	--	-	-	-	-	-	--	1	1	5	4	5	4	6	7	3	2	3	2	5	6
- visueel-ruimtelijk aspect	0	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	1	5	5	4	4	2	3	5	5	4	4	2	3
- ecologisch aspect	0	0	-	-	-	-	--	--	-	-	-	-	--	--	1	1	5	3	5	3	7	9	4	2	4	2	6	8

Aspect	Waardering en rangorde	nul-variant	nulplus-variant	varianten						varianten						nul-variant	nulplus-variant	varianten						varianten					
				1	2	3	4	5	6	C1	C2	C3	C4	C5	C6			1	2	3	4	5	6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Overig gebruik van het gebied																													
- landbouw	0	0	-	-	-	-	--	--		-	-	-	--	--		1	1	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	3	3
- waterwingebied	0	0	+	+	+	+	+	+		0	0	0	0	0	0	3	3	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
- recreatie	0	0	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	1	1	2	3	2	3	2	2	2	3	2	3	2	2
Grondstoffengebruik																													
- zand aardebaan	0	0	-	-	-	-	-	0								1	1	2	2	2	2	2	1						
- verhardingen	0	0	-	-	-	-	-	-								1	1	2	2	2	2	2	2						
- gewapend beton	0	0	-	-	-	-	-	--								1	1	2	2	2	2	3	4						
- constructiestaal	0	0	0	0	-	-	0	0								1	1	1	1	2	2	1	1						
Fasering en uitvoering																													
- faseerbaarheid	n.v.t.	n.v.t.	-	-	-	-	+	-		-	-	-	-	-	-			2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2
- uitvoering	n.v.t.	n.v.t.	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-														

Waarderingstabel Varianten (vervolg)

RW2 BRUG OVER DE LEK BIJ VIANEN

OVERZICHT RAMINGEN (versie 941003)

BRUGTYPE	RAMING IN MLJ.	M2 PRIJS IN f	BANDBREEDTE IN %	MINDER GRONDWERK IN MLJ.	ENGINEERINGS-KOSTEN AANPASSEN ALIGNEMENT IN MLJ.	TOTAAL IN MLJ.	ONDERHOUD IN MLJ.**
beton uitbouw	37,1	2430,-	-10 / +15	0,000	0,000	37,100	5,645
beton boogbrug	42,3	2850,-	-15 / +20	1,069	0,015	41,246*	5,645
beton tuibrug	47,9	3040,-	-10 / +15	0,850	0,015	47,065	5,645
staal vlak	46,3	3030,-	-10 / +15	0,115	0,015	46,200	8,511
staalbeton vlak	44,7	2930,-	-10 / +15	0,115	0,015	44,600	9,380
staal boog	45,4	3060,-	-10 / +15	0,911	0,015	44,504	8,221
staalbeton boog	46,9	3160,-	-10 / +15	0,735	0,015	46,180	7,815
staalbeton tui-asymm.	46,7	3160,-	-10 / +15	0,972	0,015	45,743	6,765
staalbeton tui-symm.	48,1	3250,-	-10 / +15	0,891	0,015	47,224	6,575

* Betonnen boogbrug met ter plaatse gestorte aanbruggen t.o.v. betonnen uitbouwbrug f3,5 MLJ. goedkoper.

** Onderhoudskosten betreffen de totale kosten gedurende 75 jaar.
Uit te geven bedragen in verschillende jaren teruggerekend naar jaar 0.
Gehanteerd rentepercentage 5%.

