

Title:	Inventory of Life Cycle Design for Hydraulic Structures		
Author:	Drs. M.B. van den Brink	Institute:	Rijkswaterstaat DWW
Author:	Drs. P.J. Baan	Institute:	WL Delft Hydraulics
Author:	Ir. H.J. Verheij	Institute:	WL Delft Hydraulics
Author:	Dr.ir. M. Kok	Institute:	HKV <u>LJN IN WATER</u>
Author:	Ir. A. Barendregt	Institute:	HKV <u>LJN IN WATER</u>
Author (ed.):	Ir. G.J. Akkerman	Institute:	Royal Haskoning
December 2002			
Number of pages	:	xxxx	
Keywords (3-5)	:	Life Cycle Design, Life Cycle Costing, LCC, LCCM	
DC-Publication-number	:	DC1-343-1	
Institute Publication-number (optional)	:		
Report Type	:	☐	Intermediary report or study
	:	☒	Final project report
DUP-publication Type	:	☒	DUP Standard
		☐	DUP-Science

Acknowledgement

This research has been sponsored by the Dutch Government through the ICES-2 programme.

Conditions of (re-)use of this publication

The full-text of this report may be re-used under the condition of an acknowledgement and a correct reference to this publication.

Abstract

The present report reflects the findings of an inventory of the application of Life Cycle Design principles for hydraulic structures. Life Cycle Design aims at a design process taking into account all phases of the life cycle of a structure, from the conception up to and including the removal or renovation of the structure and including all cost and benefits. Within the framework of Delft Cluster the project aimed at identifying knowledge gaps, relevant for further fundamental research.

The inventory showed that the principles of Life Cycle Design are widely understood, especially the cost evaluation for the whole life cycle and that many methods are available today for optimisation of operation & maintenance. Yet these principles are not widely applied, mainly due to separate budget allocations thus far by the government for construction cost and operation & maintenance cost (this situation may change in the near future). Another observation is that 'life cycle' usually is considered within a narrow framework, i.e. costs for removal/renovation, indirect social cost and benefits and 'adaptive' design (e.g. to adapt to changes in function, boundary conditions) tend not to be taken into account. A weak point in application of the optimisation models is a lack of knowledge of the ageing behaviour of structures.

Analysis of the design process of two types of structures (a storm surge barrier and environmental test sites of a riverbank) showed that the principles of Life Cycle Design had not been applied thoroughly. Partly, this may be improved in future by explicitly introducing the life cycle principles and partly by filling the knowledge gap of the ageing behaviour. The contractor's attitudes do seem to be rather positive, provided that the risks involved (e.g. inclusion of maintenance) is not shifted unilaterally towards the contractor's side.

PROJECT NAME:	Life Cycle Design	PROJECT CODE:	03.04.03
BASEPROJECT NAME:	Knowledge transfer end-users	BASEPROJECT CODE:	03.04
THEME NAME:	Coast and River	THEME CODE:	03

Executive Summary

The present report reflects the findings of the project: 'Verkenning Life Cycle Design Waterbouwkundige werken', or in English: 'Inventory of Life Cycle Design for Hydraulic Structures'. Life Cycle Design (LCD) aims at a design process that explicitly addresses all phases of the life cycle of a hydraulic structural project. The focus is particularly on operation & maintenance, but should also include social and indirect cost and benefits and the removal / renovation of the project at the end of the life cycle.

The present report treats two major issues:

- a review of the state-of-the-art of the application of LCD (Chapter 2)
- a review of the state-of-the-art of methods for maintenance optimisation (Chapter 3).

The Delft Cluster interest of the project was mainly to identify possible knowledge gaps, based on the present 'quick-scan', fitting in the long-term framework of the Delft Cluster fundamental research program.

To make things more practical, current practice is taken into account as well. Identified Pilot-projects (Chapters 4 and 5) serve to add to conclusions on the restrictions in applicability of LCD, as well as to conclusions on fundamental knowledge gaps (Chapter 6). To this, also the findings of interviews with two major contractor's on the LCD-issue, are incorporated. It should be noted that a representative of the Dutch contractor's union also participated in the project team.

From the state-of-the-art with respect to LCD it appeared that the principles of Life Cycle Design usually are quite well-known in the sense of how the cost during the life cycle should be accounted for. The following cost can be mentioned: the construction stage, maintenance and monitoring, it's functioning and the benefits, cost by loss of functions during failure and maintenance, cost of adaptations and cost of removal / renovation. Yet, in practice this is not implemented on a regular basis; this is mainly caused by the separated budget allocations by the government for construction cost on the one hand and operation and maintenance cost on the other hand. In the near future this separation will be removed and operation & maintenance will be fully taken into account in the integrated costs of the project.

The practical restrictions do generally seem to be more hampering than the lack of (fundamental) knowledge. As an example: the cost of the removal / renovation, as well as the indirect social cost and benefits are usually left aside; the latter are also not explicitly addressed in the new 'Bouwdienst-philosophy' of Appendix B). Likewise, the benefits of 'adaptive design' are not addressed as well.. Adaptive design is the design process that envisages possible changes in the functions of the structure (e.g. as a consequence of improved insight or future changes of boundary conditions).

The state-of-the-art of the instruments for optimisation of operation & maintenance shows that at present there are many methods available. Applications usually are quite specific, however. In spite of the increasing need for maintenance optimisation modelling for hydraulic structures, the application lacks behind due to these limitations.

An important knowledge gap in modelling the ageing behaviour is that too less information and /or knowledge is available of this behaviour.

Information systems as TISBO from the Bouwdienst will play an important role in future in sustaining the projection of operation & maintenance activities; the development and implementation of these systems is a long process, however.

In the pilot project of the Maeslantkering attention has been paid to maintenance aspects indeed, but it was not obvious to the manager in how far LCD had been explicitly addressed (the manager had not been involved in the Design & Construct contract activities). The final phase of removal or renewal had not been accounted for. Furthermore it seems that the mutual action of the components of the barrier has not thoroughly been analysed; the failure computations for the design phase on the one hand and the

operation & maintenance phase on the other hand do seem to be ‘separate worlds’.

In another pilot project, i.e. the test sites within the Sandmeuse project ‘environmental friendly banks’ full attention is given to erosion control of the banks. An environmentally desired situation is not specified. Therefore, maintenance cannot be defined properly as well. Hence, no cost-benefit analyses have been carried out for the bank lay-out and no alternatives have been analysed, e.g. the application of a ‘foreshore protection’. Apart from the desired change in thinking culture, a knowledge gap is that the prediction techniques for bank erosion still are too inaccurate. More insight is also needed into the risks, amongst others the damage in case of failures, and the way how monitoring may reduce these risks.

In view of the above the following major recommendations can be made:

- Continuation of the culture change by demonstrating the usefulness of a more integrated design procedure. To this, within the Rijkswaterstaat an extensive program has been initiated to introduce LCD within a few years as common practice; in appendix A and B the outline programme for implementation and philosophy are shown. Knowledge of the methods to be applied seems to be well available.
- A better insight in the ageing of hydraulic systems is very important to apply the available models for maintenance optimisation in an useful way. Especially in more or less natural systems like banks, beds, floodplains and coastal systems this implies that more knowledge is needed of the physics and the environmental interactions, as well as the mitigating measures to rehabilitate the functions of the systems, e.g. sand suppletion, riverbank adaptations, vegetation maintenance. This need for knowledge improvement is, for the major part, covered by the Delft Cluster core programs; further attention seems to be needed on ageing of hydraulic structures and mitigating measures, which by its nature may rather be embedded in practical research than in fundamental research.
- Whenever possible the indirect social cost en benefits should be taken into account and the government should take the lead in such an integrated approach. More attention should be paid as well to ‘adaptive’ design to cope with future changes in conditions, functions and rehabilitation or removal of hydraulic structures.
- For operation & maintenance procedures and descriptions should be made at the ‘lowest level’, i.e. in such a practical way that operation & maintenance can be translated directly into adequate actions.
- The contractor’s attitudes do seem to be rather positive, more and more they deal with innovative contracts, which also take into account sustainable solutions. Especially to mention, there are good possibilities in the detailing stage of the design process. When not too complex in its interaction, also turnkey designs might be included. However, the government should pay full attention not to shift the risks involved unilaterally towards the contractor’s side, for instance for a longer maintenance period of flexible hydraulic structures.

PROJECT NAAM:	Life Cycle Design	PROJECT CODE:	03.04.03
BASISPROJECT NAAM:	Knowledge transfer end-users	BASISPROJECT CODE:	03.04
THEMA NAAM:	Coast and River	THEMA CODE:	03

General Appendix: Delft Cluster Research Programme Information

This publication is a result of the Delft Cluster research-program 1999-2002 (ICES-KIS-II), that consists of 7 research themes:

- Soil and structures, ► Risks due to flooding, ► Coast and river , ► Urban infrastructure,
- Subsurface management, ► Integrated water resources management, ► Knowledge management.

This publication is part of:

Research Theme	:	Theme 3: Coast and River		
Baseproject name	:	Baseproject 4: Knowledge transfer end-users		
Project name	:	Inventory of Life Cycle Design for Hydraulic structures		
Projectleader/Institute		Ir. G.J. Akkerman		Royal Haskoning
Project number	:	03.04.03		
Projectduration	:	01-01-2002	-	31-12-2002
Financial sponsor(s)	:	Delft Cluster		
		Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde		
Projectparticipants	:	Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde		
		WL Delft Hydraulics		
		VBKO		
		HKV LIJN IN WATER		
		Royal Haskoning		
Total Project-budget	:	€ 62400		
Number of involved PhD-students	:	0		
Number of involved PostDocs	:	0		

Delft Cluster is an open knowledge network of five Delft-based institutes for long-term fundamental strategic research focussed on the sustainable development of densely populated delta areas.



Keverling Buismanweg 4
Postbus 69
2600 AB Delft
The Netherlands

Tel: +31-15-269 37 93
Fax: +31-15-269 37 99
info@delftcluster.nl
www.delftcluster.nl

Theme Managementteam: Coast and River

Name	Organisation
Prof.dr.ir. M.J.F. Stive (theme leader)	WL Delft Hydraulics
Dr. C. Laban (deputy theme leader)	TNO-NITG

Projectgroup

During the execution of the project the researchteam included:

Name	Organisation
ir. P.C. Janssen	Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde
drs. M.B. van den Brink:	Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde
drs. P.J.A. Baan	WL Delft Hydraulics
ir. H.J. Verheij	WL Delft Hydraulics
ir. H. Bijnsdorp	VBKO
dr. ir. M. Kok	HKV <u>LIJN IN WATER</u>
ir. G.J. Akkerman	Royal Haskoning

Other Involved personnel

The realisation of this report involved:

Name	Organisation
ir. A. Barendregt	HKV <u>LIJN IN WATER</u>
ir. Ch. Stolker	WL Delft Hydraulics

Management samenvatting

Title	Verkenning Life Cycle Design waterbouwkundige werken
Author(s)	P.J.A. Baan, H.J. Verheij, M.Kok, A. Barendregt, M.B. van den Brink, G.J. Akkerman (ed.)
Date	december 2002
Project number	03.04.03
Report number	1

Het voorliggende rapport vormt de weerslag van het project: 'Verkenning Life Cycle Design waterbouwkunde werken'. Life Cycle Design (LCD) duidt op een ontwerp waarbij expliciet rekening wordt gehouden met alle fasen in de levenscyclus van een waterbouwkundig infrastructureel project, met name met beheer en onderhoud (B&O), maar feitelijk ook met maatschappelijke en indirecte kosten en baten, alsmede met het opruimen/ renoveren van het werk.

Het rapport kent twee hoofdonderdelen:

- een overzicht van de stand van zaken met betrekking tot LCD (hoofdstuk 2);
- een overzicht van de stand van zaken met betrekking tot rationeel beheer en onderhoud (hoofdstuk 3).

Vanuit Delft Cluster heeft het project vooral ten doel aan de hand van deze 'quick-scan' eventuele (fundamentele) kennisleemtes te identificeren.

Om een en ander te concretiseren is ook naar de praktijk gekeken: via voorbeeldprojecten (hoofdstukken 4 en 5) wordt mede tot conclusies rond de kennisleemten en beperkingen bij de toepassing van LCD gekomen (hoofdstuk 6); daarbij zijn ook interviews met aannemers gehouden. Bovendien maakte een vertegenwoordiger van de aannemerij onderdeel uit van het projectteam.

Uit de stand van zaken met betrekking tot LCD komt naar voren dat de principes van Life Cycle Design doorgaans wel bekend zijn in termen van hoe met allerlei (directe) kosten rekening moet worden gehouden: aanleg, onderhoud en inspectie, functievervulling en baten, schade door functieverlies tijdens falen/onderhoud, kosten van aanpassingen en kosten van verwijdering/renovatie. Toch gebeurt dit nog weinig, onder meer door de gescheiden budgetten voor aanleg en B&O (kas-stelsel); in de toekomst zal de overheid dit systeem verlaten (introduktie baten-lasten stelsel), waardoor B&O integraal in de kostprijs van een werk kan worden meegenomen.

Het aanlopen tegen praktische begrenzungen lijkt in deze zin meer belemmerend te werken dan het gemis aan kennis. Als voorbeeld: de kosten van verwijdering/innovatie en indirecte maatschappelijke kosten en baten blijven vaak buiten beschouwing (de laatste worden ook in de nieuwe 'Bouwdienst-filosofie' niet expliciet meegenomen), alsmede de baten van 'adaptief ontwerp'. Adaptief ontwerp anticipeert op de mogelijkheid om in te spelen op functieveranderingen (bijvoorbeeld als gevolg van gewijzigde inzichten – zoals bij oeververdedigingen – of een bijstelling van de randvoorwaarden).

Ten aanzien van het instrumentarium voor rationeel beheer en onderhoud bestaan er meerdere methodieken. Toepassingen zijn vaak vrij specifiek. Ondanks dat de behoefte aan onderhoudsoptimalisatie-modellering in de waterbouwkunde toeneemt, blijft de toepassing ervan, mede door deze beperkingen, achter.

Een belangrijke kennisleemte bij het modelleren van verouderingsgedrag is dat er vaak te weinig informatie en/of kennis beschikbaar is van dit gedrag.

Informatiesystemen (zoals TISBO van de Bouwdienst) zullen in de toekomst een belangrijke rol gaan vervullen bij de ondersteuning en planning van beheer- en onderhoudsactiviteiten; de ontwikkeling en implementatie van deze systemen is echter een langdurig proces.

Bij het voorbeeldproject van de Maeslantkering is wel aandacht besteed aan onderhoudbaarheid, maar is de beheerder niet geheel duidelijk in hoeverre expliciet LCD heeft plaatsgevonden (de beheerder was niet betrokken bij het Design&Construct contract). Met de sloop- of herbouwphase is geen rekening gehouden. Verder lijkt de samengestelde werking van componenten niet volledig te zijn doordacht en lijken de faalkansbepalingen bij het ontwerp en bij het onderhoud teveel 'gescheiden werelden'.

Bij het natuurvriendelijke afslagoeverproject voor de Zandmaas wordt vooral aandacht gegeven aan de 'beheersing' van de oevererosie. Een streefbeeld voor de oevers is niet expliciet vastgesteld, en daarmee is het B&O ook niet goed te definiëren. Aldus zijn ook geen kosten-baten analyses uitgevoerd voor de oeverinrichting en geen mogelijke alternatieven beschouwd, zoals het al dan niet toepassen van een vooroeververdediging. Naast de benodigde cultuuromslag, is een belangrijke kennisleemte dat de voorspelmethode voor de oeverafslag nog te onnauwkeurig is. Ook is meer inzicht nodig in de risico's (waaronder de schade bij calamiteiten) en hoe inspectie deze risico's kan verminderen.

Het voorgaande overziende komen de volgende hoofdaanbevelingen in beeld:

- Voortgaan met de cultuuromslag in de zin van het inzien van het nut van een meer geïntegreerde wijze van ontwerpen. Bij Rijkswaterstaat is een omvangrijk programma opgestart om LCD binnen enkele jaren te introduceren: in de bijlagen wordt inzicht gegeven in de programma's en achterliggende filosofie. De kennis van de methoden lijkt overigens redelijk op peil.
- Beter inzicht in de toestandsbepaling (lees: verouderingsgedrag) van waterbouwkundige systemen is zeer belangrijk om de inzet van onderhouds-optimalisatie modellen met succes te kunnen inzetten. Bij waterbouwkundige systemen als oevers, bodembegrenzingsen, uiterwaarden en kustbegrenzingsen komt dit neer op méér fysieke kennis van de systemen en de omgevingsinteracties, alsmede de mitigerende maatregelen om de functionaliteit weer op peil te krijgen (vergelijk zandsuppleties, oevercorrecties, vegetatiebeheer); dit is bij uitstek het domein van het Delft Cluster programma.
- Waar mogelijk ook de indirecte maatschappelijke baten en lasten meenemen (de overheid zou hiertoe het voortouw moeten nemen); ook zou er meer aandacht moeten zijn voor 'adaptief' ontwerpen en voor de kosten gepaard gaande met verwijdering/hergebruik/renovatie van waterbouwkundige werken.
- Bij beheer en onderhoud is detaillering tot op het laagste niveau nodig, dat wil zeggen dat de beschrijving van beheer en onderhoud direct in 'handelingen' kan worden vertaald.

Inhoud

1	Inleiding.....	5
1.1	Achtergrond studie	5
1.2	Projectteam.....	5
1.3	Afbakening	6
1.4	Opdracht.....	6
1.5	Leeswijzer.....	7
2	Overzicht stand van zaken LCD	8
2.1	Kosten-batenanalyse.....	8
2.1.1	Leidraad Kosten-batenanalyse	8
2.1.2	Voorbeelden van kosten-baten analyses	10
2.2	Richtlijnen en aanbevelingen voor ontwerp	11
2.2.1	Nationaal Pakket Duurzaam Bouwen.....	11
2.2.2	TAW-Leidraad Kunstwerken.....	12
2.2.3	Richtlijn Waterkerings- en beschikbaarheidseisen.....	12
2.3	Richtlijnen en aanbevelingen voor beheer en onderhoud.....	13
2.3.1	BeheerPlan Nat.....	13
2.3.2	Handboek Onderhoud Kunstwerken NI.....	13
2.4	Life Cycle (Cost) Management.....	14
2.4.1	Synoniemen en verschillen tussen concepten.....	14
2.4.2	Werkwijze LCM.....	14
2.4.3	Beschikbaarheid gegevens.....	15
2.4.4	LCM in de praktijk	15
2.5	Conclusies en leerpunten.....	16
3	Overzicht stand van zaken rationeel beheer en onderhoud.....	19
3.1	Inleiding	19
3.2	Theoretische modellen om onderhoud te optimaliseren	20
3.2.1	Inleiding	20
3.2.2	Het LVO-model van Bouwdienst.....	21
3.2.3	Het TNO-FEL-model.....	22
3.2.4	Het TNO-Bouw-model	23
3.2.5	Het KEMA-model.....	23
3.2.6	SPARC	24
3.2.7	Samenvatting van de modellen	24
3.3	Instrumenten om onderhoud te optimaliseren in de praktijk	25
3.3.1	Inleiding	25
3.3.2	Leidraden.....	25
3.3.3	Informatiesystemen	26
3.3.4	Keuzemodel Kust- en Oeverwerken.....	27
3.3.5	Optimalisatiemodellen	28
3.3.6	Case-studies	29
3.4	Praktische beperkingen	31

4	IDENTIFICATIE LCD-VOORBEELDPROJECTEN.....	33
4.1	Criteria voorbeeldprojecten.....	33
4.2	Groslijst voorbeeldprojecten.....	33
4.3	Selectie voorbeeldprojecten.....	34
5	ANALYSE TOEPASSING LCD BIJ DE VOORBEELDPROJECTEN	36
5.1	Stormvloedkering Nieuwe Waterweg (Maeslantkering)	36
5.1.1	Inleiding	36
5.1.2	Antwoorden op de vragen	36
5.1.3	Faalkansen en onderhoud	37
5.1.4	Nevenuitkomsten.....	37
5.1.5	Conclusies.....	38
5.2	Natuurvriendelijke oevers	38
5.2.1	Inleiding	38
5.2.2	Historie	39
5.2.3	LCD bij natuurvriendelijke afslagoevers langs de Zandmaas	39
6	IDENTIFICATIE VAN HUIDIGE KENNISLEEMTES	45
6.1	Kennisleemtes uit LCD inventarisatie	45
6.2	Kennisleemtes uit het overzicht van methoden voor Rationeel Beheer en Onderhoud	45
6.3	Kennisleemtes geconstateerd bij de twee voorbeeldprojecten....	46
6.3.1	Maeslantkering.....	46
6.3.2	Natuurvriendelijke afslagoevers.....	46
6.4	Kennisleemtes bij de aannemers	47

1 Inleiding

1.1 Achtergrond studie

Eind 2001 werd op instigatie van Delft Cluster een aantal partijen benaderd ter voorbereiding van een project met betrekking tot 'kennisontwikkeling en overdracht van beheer en onderhoud', volgens een concept-voorstel van 16 oktober 2001 (DC, 2001). Dit voorstel diende te worden aangevuld op basis van een memo binnen Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) van ir. P.C.Janssen (Janssen, 2001a). Daarbij werd in eerste instantie gedacht aan een ruimer projectbudget dan uiteindelijk is toegekend. Dit project had een duidelijk raakvlak met de lopende activiteiten bij Rijkswaterstaat aangaande het project Life Cycle Cost Management, eveneens volgens een notitie van ir. P.C. Janssen (Janssen, 2001b). Het concept-voorstel dat gericht was op 'optimum ontwerp' is vervolgens door de inmiddels geformeerde projectgroep via verschillende concepten aangepast tot het definitieve voorstel. Daarbij bleek het budget steeds verder naar beneden te moeten worden bijgesteld. Het definitieve projectplan is pas op 14 augustus 2002 gereed gekomen, mede doordat er lange tijd onzekerheid was over de hoogte van de ICES-bijdrage en daarmee samenhangend de 'scope' van het project.

1.2 Projectteam

De volgende partijen namen deel aan dit project: RWS DWW (en via de DWW ook de Bouwdienst), WL|Delft Hydraulics als Delft Cluster instituut, VBKO, ONRI (Royal Haskoning en HKV).

Hierbij waren uiteindelijk de volgende personen betrokken:

ir. P.C. Janssen: RWS DWW
drs. M.B. van den Brink: RWS DWW (opvolger van ir. P.C. Janssen)
drs. M.A. Graafland RWS DWW
drs. P.J.A. Baan: WL|Delft Hydraulics
ir. H.J. Verheij: WL|Delft Hydraulics
ir. Ch. Stolker: WL|Delft Hydraulics
ir. H. Bijnsdorp: VBKO
dr. ir. M. Kok: HKV LJN IN WATER
ir. A. Barendregt HKV LJN IN WATER
ir. G.J. Akkerman: Royal Haskoning

De werkverdeling bij de uitvoering van het project was globaal als volgt:

- Rijkswaterstaat DWW reikt informatie aan t.a.v. de stand van zaken rond Life Cycle Costing (LCC), wat als belangrijk onderdeel van de verkenning kan worden gezien. Verder heeft DWW een belangrijke inbreng bij de identificatie en promotie van het project. Ook de afstemming met kennis bij de Bouwdienst loopt (grotendeels) via de DWW.
- WL|Delft Hydraulics levert een belangrijke bijdrage ten aanzien van de stand van zaken van LCD, levert een bijdrage bij de identificatie van LCD projecten en bij de uitwerking van de voorbeeldprojecten;
- VBKO functioneert als klankbord en biedt terugkoppeling van ervaring vanuit de aannemerij.
- HKV LJN IN WATER levert vooral een bijdrage op het gebied van rationeel beheer en onderhoud.
- Royal Haskoning levert de projectleider en verzorgt het penvoorderschap.

1.3 Afbakening

Het project was inmiddels omgedoopt tot ‘verkenning Life Cycle Design waterbouwkundige werken’ om de relatie aan te geven met Life Cycle Analysis en Life Cycle (Cost) Management. In het projectplan is de volgende hoofddoelstelling van de verkenning vermeld:
‘Hoofddoel is via een quick-scan inzicht te verkrijgen in de stand van zaken met betrekking tot Life Cycle Design (LCD) voor waterbouwkundige werken in Nederland en potentiële projecten voor toepassing van LCD te identificeren en tevens leemten in kennis en kunde te identificeren.

De verkenning omvat een beknopte inventarisatie van de stand van zaken en mogelijkheden voor verdere toepassing en ontwikkeling van LCD in de waterbouwkunde, met aandacht voor de huidige beperkingen en kennisleemtes. Daarbij zijn een viertal activiteiten voorzien:

- 1) een korte inventarisatie van de globale stand van zaken t.a.v. LCD in de waterbouwkunde;
In eerste instantie zal op hoofdlijnen de huidige stand van zaken geïnventariseerd ten aanzien van integraal ontwerpen bij waterbouwkundige werken; daarbij zal zijdelings ook aandacht worden gegeven aan de stand van zaken bij LCD bij de droge infra en eventuele andere relevante gebieden (bijvoorbeeld maritieme werken). Deze inventarisatie zal met name geschieden door consultatie van relevante personen bij overheid en bedrijfsleven en daarnaast door kennisname van bestaande LCD-methoden.
De uitkomsten van deze stap zullen beknopt worden gerapporteerd en dienen als tussenresultaat.
- 2) identificatie van reeds uitgevoerde en mogelijke LCD-projecten;
Als vervolg op en ten dele ook al parallel aan de eerste activiteit worden de in uitvoering zijnde of reeds uitgevoerde werken, waarbij integraal ontwerp een belangrijke rol speelt of heeft gespeeld, geïdentificeerd en geanalyseerd. Hierbij kunnen ook die projecten waarbij van ‘gemiste kansen’ sprake is worden geïdentificeerd. Verder zullen toekomstige, t.a.v. een integrale ontwerpbepijning veelbelovende, projecten worden getraceerd.
- 3) globale vergelijking van (denkbeeldige) op conventionele en LCD-wijze ontworpen voorbeeldprojecten;
Aan de hand van de vorige stap worden één of hooguit twee voorbeeldprojecten gekozen en wordt een fictief (bij een toekomstig project) dan wel een gereconstrueerd (bij een reeds uitgevoerd project) integraal ontwerpproces op hoofdlijnen doorlopen, inclusief een integrale kostenschatting. Doel is het vaststellen van mogelijke consequenties voor ontwerp en kosten wanneer een integrale ontwerpprocedure zou worden of zijn toegepast ten opzichte van de conventionele aanpak.
- 4) inventariseren van huidige beperkingen en kennisleemtes.
De verwachting is dat aan de hand van de voorgaande stap, alsmede aan de hand van de globale inventarisatie van de stand van zaken (stap 1) huidige beperkingen en kennisleemtes kunnen worden vastgesteld. Mogelijk zijn er ook aanwijzingen te geven, hoe LCD beter kan worden ingezet bij het ontwerp van waterbouwkundige werken.
Vervolgens zullen de uitkomsten van deze activiteiten worden vastgelegd in een rapport in DC-format.

Door de late start is de nadruk van de studie komen te liggen op het eerste onderzoekspunt, waarbij onderscheid gemaakt moet worden in: een overzicht van stand van zaken van LCD (vooral WL/Delft Hydraulics) en een overzicht van de stand van zaken van rationeel beheer en onderhoud (vooral HKV).

Tijdens de eerste afbakening kwam naar voren dat de kosten die gepaard gaan met beleidsvorming en dergelijke hier buiten beschouwing blijven, terwijl deze feitelijk ook meegenomen moeten worden bij de hele levenscyclus.

1.4 Opdracht

Op basis van het goedgekeurde projectplan van 14 augustus 2002, is door Delft Cluster aan Royal Haskoning (als penvoerder) opdracht verleend tot uitvoering van het onderzoek op 28 augustus 2002.

Vanwege de co-financiering van RWS DWW is ook formeel offerte uitgebracht aan DWW op basis van een offerte-aanvraag van 8 juli 2002, bij brief AB/023781; deze offerte is 15 augustus uitgebracht (na definitief worden van het DC-projectvoorstel) met kenmerk 4L2412.A0/L0001/GJA/IL/Nijm. Opdracht is door DWW verleend na ondertekening van de bijbehorende overeenkomsten op 26 september 2002 bij brief met kenmerk AB/025457.

1.5 Leeswijzer

Dit rapport is verder als volgt opgebouwd.

In hoofdstuk 2 wordt de inventarisatie van de stand van zaken van LCD, met de nadruk op de waterbouwkunde, weergegeven. Daarbij komen achtereenvolgens aan de orde: kosten-batenanalyses, richtlijnen en aanbevelingen voor ontwerp, richtlijnen en aanbevelingen voor beheer en onderhoud (dit is hier op een globaal niveau; details van technieken voor rationeel beheer en onderhoud worden in het volgende hoofdstuk behandeld), Life Cycle (Cost) Management, en hetgeen van de inventarisatie kan worden geleerd.

In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de stand van zaken ten aanzien van rationeel beheer en onderhoud, waarbij vooral wordt ingegaan op onderhoudsmodellen en andere instrumenten. Van de (theoretische) modellen worden behandeld: het BD/HKV model, het TNO-FEL-model, het TNO-Bouw-model, het KEMA-model en het SPARC-model; deze worden vervolgens qua hoedanigheid en functionaliteit met elkaar vergeleken.

Bij de 'instrumenten' wordt het gebruik van de theoretische modellen in de praktijk belicht en wordt ook ingegaan op andere instrumenten (leidraden en informatiesystemen). Een en ander wordt geïllustreerd aan de hand van case-studies. Tot slot worden praktische beperkingen vermeld, inclusief kennisleemtes.

Hoofdstuk 4 beschrijft vervolgens de identificatie van LCD-voorbeeldprojecten en de criteria waarom voor relevantie voor dit project. De twee gekozen voorbeeldprojecten worden in dit hoofdstuk gemotiveerd.

In hoofdstuk 5 worden de twee voorbeeldprojecten, de Maeslantkering en de (ontwikkeling) van natuurvriendelijke afslagoevers tegen het licht gehouden, in de zin van gehanteerde LCD-principes en eventuele kennisleemtes op LCD-gebied. Aansluitend wordt het thans beschikbare oeverafslagmodel beschreven en worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

In hoofdstuk 6 wordt een overzicht gegeven van de bij dit project getraceerde kennisleemtes. Dit wordt gedaan op basis van de uitkomsten van de inventarisaties voor LCD en rationeel beheer en onderhoud, alsmede op basis van een peiling bij de aanemerij.

Conclusies en aanbevelingen zijn deels reeds verwoord in hoofdstuk 6 bij de kennisleemtes. Bij de samenvatting, vooraan dit rapport, zijn de conclusies en aanbevelingen op hoofdlijnen aangegeven.

2 Overzicht stand van zaken LCD

Het navolgende hoofdstuk geeft een inventarisatie van de stand van zaken ten aanzien van LCD in de waterbouwkunde. Naast onderzoek naar kosten en baten worden de verschillende methoden kort besproken die momenteel gangbaar en in ontwikkeling zijn. De inventarisatie heeft plaatsgevonden door consultatie van relevante personen bij overheid en bedrijfsleven en door kennisname van bestaande LCD-methoden.

LCD houdt in dat rekening gehouden wordt met alle kosten en baten van een werk gedurende de gehele levensduur. Dat omvat zowel de aanleg, het beheer en onderhoud, als eventueel de afbraak/vervanging. Kosten-batenanalyse vormt daarom een belangrijk onderdeel van Life Cycle Design.

In de volgende paragrafen komen achtereenvolgens aan de orde:

- kosten-batenanalyse
- richtlijnen en aanbevelingen voor ontwerp
- richtlijnen en aanbevelingen voor beheer en onderhoud
- Life Cycle (Cost) Management
- conclusies en leerpunten

2.1 Kosten-batenanalyse

2.1.1 Leidraad Kosten-batenanalyse

Onderstaand komen een leidraad en visies aan de orde die voor het ontwerp van infrastructurele werken relevant zijn:

- de OEEI-leidraad;
- de Ontwerpfilosofie van de Bouwdienst;
- het toekomstbeeld voor LCCM bij de Bouwdienst en DWW.

OEEI-leidraad

Het Onderzoeksprogramma Economische Effecten van Infrastructuur (OEEI) had als doel overeenstemming te verkrijgen over het methodologische kader voor maatschappelijke evaluaties van grote infrastructurele projecten en het verschaffen van onderzoeksinstrumenten ter bepaling van de effecten en hun bijdragen aan de welvaart. OEEI leidt tot de aanbeveling bij grote infrastructuurprojecten een kosten-batenanalyse uit te voeren, als kader waarbinnen een integrale en transparante beschrijving van effecten mogelijk is. De resultaten van OEEI zijn weergegeven in een leidraad voor kosten-batenanalyses van infrastructuurprojecten (Eijgenraam e.a., 2000).

De leidraad beschrijft methoden voor het vaststellen van de kosten (aanleg, onderhoud en exploitatie) en het waarderen van effecten (directe en indirecte). Sommige effecten als verdelings-effecten tussen regio's en effecten op het landschap zijn moeilijk in geld uit te drukken. Die moeten worden afgewogen tegen het saldo van baten en kosten. De Leidraad geeft ook aan hoe om te gaan met risico's, zoals tegenvallende opbrengsten, en met het streven naar flexibiliteit (open houden van keuzemogelijkheden voor latere fasen).

Ontwerpfilosofie Bouwdienst

De OEEI-methodiek (Eijgenraam e.a., 2000) richt zich op de verkenningsfase van projecten. Aan de hand van een kosten-batenanalyse wordt de 'nut en noodzaak' discussie gevoerd van projecten en eventueel projectalternatieven. Na een positief besluit over het uitvoeren van een project en eventueel het uit te voeren alternatief komen we in de ontwerpfase. Dan speelt de vraag wat het beste ontwerp is. Daarvoor is de ontwerpfilosofie van de Bouwdienst (Van Manen, 2000)

ontwikkeld. Op basis van deze filosofie wordt bij de Bouwdienst momenteel een beoordelingskader ontwikkeld en tools gemaakt. De tools zullen worden uitgeprobeerd bij het ontwerp van een verkeersknooppunt bij Meppel (mededeling van dhr. L.A. van Geldermalsen van de Bouwdienst Rijkswaterstaat).

De ontwerpfilosofie richt zich op het zoeken naar een maatschappelijk optimum: het uiteindelijke ontwerp moet voldoen aan de functionele eisen en door de overheid gestelde randvoorwaarden (veiligheid, faalkansen, gezondheid, milieu) en dit alles tegen minimale kosten. Voor beeldbepalende objecten is de vormgeving ook een belangrijk aandachtspunt. Bij de kosten wordt rekening gehouden met alle kosten gedurende de levenscyclus, dus zowel investering, operatie en onderhoud als sloop aan het eind van de levensduur. Toekomstige kosten en baten worden verdisconteerd tegen de daarvoor geldende rentevoet. Met het oog daarop worden al tijdens het ontwerp beheer- en onderhoudsplannen opgesteld. Ook wordt bij het zoeken naar het maatschappelijk optimum rekening gehouden met maatschappelijke kosten door het uit bedrijf nemen van het ontwerp voor onderhoud tijdens de levensduur, met falen van het ontwerp, en met de ontwikkeling van de functionele vraag (trendanalyse). Ook zaken als verkeersveiligheid, flexibiliteit (mogelijkheid van aanpassing aan veranderende omstandigheden) spelen een rol. De Bouwdienst tekent daarbij aan dat het laatste lastig is mee te nemen en haaks staat op de filosofie van de Bouwdienst dat LCM zo eenvoudig mogelijk en hanteerbaar moet blijven. Wanneer aspecten strijdige eisen stellen werkt de Bouwdienst met prioritering. De veiligheidsrandvoorwaarden krijgen eerste prioriteit daarna de overige wettelijke randvoorwaarden. Daarna volgen de wensen met daarin vervat de functionele eisen van de opdrachtgever en vervolgens het nationale vigerende beleid en als laatste het eigen interen beleid van de Bouwdienst.

Toekomstbeeld Life-Cycle-Cost-Management

In het recent verschenen 'Toekomstbeeld Life-Cycle-Cost-Management' (Verlaan en Korteweg, 2002) wordt een tentatief toekomstbeeld geschetst, mede gebaseerd op interviews met betrokkenen van Rijkswaterstaat. Opmerkelijk bij de interviews is dat gemeld wordt dat in de civiele techniek soms een te 'magere' oplossing wordt gekozen (bij tunnels om de haalbaarheid ten opzichte van bruggen te vergroten, zie ook het betreffende artikel in het COB-magazine van juni 2002). Dit staat tegenover het beeld van waterbouwkundige werken dat er teveel voor de 'eeuwigheid' zou worden gebouwd. LCCM kan volgens Verlaan en Korteweg worden gedefinieerd als het *integraal beschouwen van kosten* op grond waarvan beheer en onderhoud beter gebudgetteerd kan worden, wat weer van belang is voor het agentschap Rijkswaterstaat. Gestreefd wordt naar het beschikbaar krijgen van eenvoudig toepasbare instrumenten, waarbij de implementatie moet worden gericht op:

- onderbouwing van benuttings- en onderhoudsbudgetten;
- optimaliseren van infrastructurele projecten;
- optimaliseren van algemene onderhoudsscenario's;
- waardebeoordeling van het bestaande net (hoofdwegen en hoofdvaarwegen)

Binnen LCM moeten ook indirecte kosten worden meegenomen, zoals die als gevolg van oponthoud; ook kan daarbij ons inziens gedacht worden aan tijdelijk niet-functioneren. Voor bepaling van maatschappelijke kosten wordt verwezen naar een andere methode (LCA, multi-criteria). Ook zijn kosten van verwijdering niet inbegrepen; hiervoor wordt verwezen naar richtlijnen in het kader van het Nationaal Pakket Duurzaam Bouwen (NPDuBo, zie verder). Het bij het ontwerp integraal meenemen van onderhoud is van belang bij constructies die sterk slijten en/of economisch verouderen. Ook toekomstige benutting (lees hier ons inziens ook: toekomstige functionaliteit) is van belang bij het ontwerp; wij zouden hier de term *adaptieve functionaliteit* willen introduceren, om de geschiktheid van de constructie voor afwijkende toekomstige belastingen, functies en gebruik aan te geven. In het toekomstbeeld wordt opgemerkt dat er voor de behoefte - kostenbepaling en optimalisatie – goede eenvoudige methoden beschikbaar zijn waarmee de totale Netto Contante Waarde kan worden berekend, maar dat dit binnen Rijkswaterstaat nog weinig wordt gedaan. Verlaan en Korteweg schetsen een uitgebreid implementatietraject binnen Rijkswaterstaat, uitmondend in een brede implementatie 2e helft 2004. Voor het vergroten van het

draagvlak en als bijdrage aan de ervaring zullen hieraan voorafgaande vele kleinere pilots worden uitgevoerd.

2.1.2 Voorbeelden van kosten-baten analyses

Bij de inventarisatie gaat het om LCD en niet zozeer om voorbeelden van kosten-batenanalyses. Toch is het nuttig om te zien hoe kosten-batenanalyses, die een belangrijke element vormen in LCD, bij water- en kustbeheer in de praktijk kunnen worden uitgewerkt. Een tweetal voorbeelden komen aan de orde:

- kosten en baten van kustbeheer; en
- kosten en baten van natuurvriendelijke oevers.

Kosten en baten van kustbeheer

KPMG Bureau voor Economische Argumentatie heeft voor de provincies Noord- en Zuid-Holland een analyse uitgevoerd van de financiële en maatschappelijke kosten en baten van het kustbeheer (NH-ZH, 2001). Uitgangspunt is dat een duurzame kustveiligheid nu en in de (verre) toekomst moet worden gegarandeerd.

Bij de mogelijke maatregelen is onderscheid gemaakt in een harde verdediging (dammen en dijken) en een zachte (zandsuppleties, voedingsbanken en duinverzwaringen) die zowel zeewaarts als landwaarts kunnen worden uitgevoerd voor verschillende kustvakken met elk hun eigen karakteristieken.

De kosten omvatten de investeringskosten, en de operationele en onderhoudskosten van het in stand houden van de zeewering. De kosten en baten van de alternatieven hebben een zeer lange tijdshorizon. Door disconteren verdwijnen kosten en baten na circa 50 jaar achter de 'economische horizon', ze tellen nauwelijks meer mee. Daarom heeft men er in deze analyse voor gekozen de kosten en baten over een periode van 200 jaar te sommeren en niet te disconteren. In sommige kustvakken blijken de kosten van landwaarts verdedigen dan hoger dan van zeewaarts verdedigen. In andere kustvakken is dat omgekeerd.

Piek (2002) zoekt voor het kustbeheer (zachte verdediging) naar het economisch optimum van het totaal aan investeringskosten, kosten van onderhoud en het restrisico. Daarbij wordt rekening gehouden met economische groei in de kustzone en worden contante waarden berekend van alle toekomstige kosten en baten (disconteringsvoet 0,04).

Een pilot is uitgevoerd voor Noordwijk. Uit de uitgevoerde berekeningen blijkt, dat als er geen economische groei is, niets doen het meest economisch is (met een tijdshorizon van 200 jaar). Met een economische groei van 2% per jaar is handhaven van de kustlijn gunstiger. Verhogen van het beschermingsniveau blijkt economisch niet aantrekkelijk.

Kosten en baten van natuurvriendelijke oevers

Meer en meer worden aan natuurvriendelijke oevers ook kosten en baten toegekend en worden methoden ontwikkeld om die te kunnen vaststellen. Hierna volgen een aantal voorbeelden van deze methoden.

Ruigrok en Vlaanderen (2001) hebben een onderzoek uitgevoerd naar de sociaal-economische waardering van natuurvriendelijke oevers. Daarvoor hebben zij gebruik gemaakt van de Contingent Valuation Methode (CVM), een survey-methode waarbij respondenten wordt gevraagd hoeveel zij bereid zijn te betalen voor het gebruik of het in stand houden van het betreffende goed. In totaal zijn acht verschillende typen natuurvriendelijke oevers langs rijkswateren bekeken. Wat de waardering betreft blijkt er verschil tussen de acht oertypen. Drie scores relatief laag (gemiddeld circa € 7 per huishouden per jaar) als het gaat om in stand houden en vijf anderen scores hoger (gemiddeld circa € 11 per huishouden per jaar). Gemiddeld komt dit uit op € 450.000 voor het in stand houden van

een km natuurvriendelijke oever per jaar. De recreatiewaarde (de daadwerkelijke beleving) van natuurvriendelijke oevers komt uit op gemiddeld € 0,60 per bezoek.

Ruijgrok en Burgers (2001) hebben in vervolg op het eerdere onderzoek een onderzoek uitgevoerd bij (proef)projecten naar de kosten van aanleg, instandhouding en monitoring van dezelfde acht verschillende natuurvriendelijke oevers. Slechts 17% van de aanlegkosten worden direct aan de natuurfunctie toegeschreven. Het merendeel van de kosten (60%) komt voor rekening van de vaarwegfunctie.

De kosten van de geïnventariseerde natuurvriendelijke oevers variëren sterk, vermoedelijk omdat de meeste geïnventariseerde oevers proefprojecten zijn. Vaak worden dan verschillende nieuwe materialen en technieken toegepast. Daarnaast is de lokale situatie van groot belang voor de kosten: o.a. het verschil in omgeving en het watersysteem en de verscheidenheid aan gewenste doelen kunnen bijdragen aan de verschillen in kosten. Er valt dus geen eenduidige richtlijn voor de kosten van natuurvriendelijke oevers op te stellen; wél kunnen de gevonden kosten als referentie gebruikt worden. De (gedisconteerde) kosten voor onderhoud en monitoring komen zeer hoog uit, waardoor de totale kosten tot 3 keer zo groot kunnen worden. Ook hierbij moet worden bedacht dat de geïnventariseerde projecten proefprojecten zijn; vanwege het leereffect is er een intensievere monitoring dan bij reguliere projecten het geval zal zijn.

Als de totale kosten van natuurvriendelijke oevers vergeleken worden met de totale baten blijken bij brede oevers de totale baten een veelvoud van de totale kosten te zijn. Voor smalle oevers zijn de kosten en baten ongeveer gelijk: aanleg van smalle oevers kan overigens wel plaatsvinden vanuit ecologisch belang.

Meer en Schurink (2001) hebben de kosten bepaald van zes typen kleinschalige natuurvriendelijke oevers (bijvoorbeeld voor stedelijk gebied). Voor 200 meter komen de kosten van aanleg uit op € 44 tot € 77 per strekkende meter. Bij twee typen oevers komen de jaarlijkse kosten van onderhoud uit op 8% van de aanlegkosten. Bij de vier andere typen komen de jaarlijkse onderhoudskosten uit op 23 - 24% van de aanlegkosten.

2.2 Richtlijnen en aanbevelingen voor ontwerp

Er bestaan verschillende leidraden c.q. richtlijnen voor het ontwerp van natte infrastructurele werken. In dit verband zijn met name relevant:

- Nationaal Pakket Duurzaam bouwen;
- de TAW-leidraad Kunstwerken;
- de Richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen.

2.2.1 Nationaal Pakket Duurzaam Bouwen

Het Nationaal Pakket Duurzaam Bouwen, afgekort NPDuBO, omvat een visie en maatregelenpakketten om de duurzaamheid van GWW werken te vergroten. Het pakket is gericht op een vijftal onderdelen:

- energie: beperken vraag, duurzamer energie
- materialen: beperken onnodig gebruik, schadelijke emissies en ongewenste restproducten; bevorderen gebruik sec. grondstoffen, hergebruik, vernieuwbare materialen, natuurvriendelijke materialen
- leefomgeving: beperken hinder en bevorderen leef- en ruimtelijke kwaliteit en veiligheid
- natuur en landschap: beperken verlies LNC-waarden en bodemkwaliteit en zo mogelijk bevorderen natuur- en landschapswaarden; beperken verlies ecologische verbindingzones en zo mogelijk bevorderen ervan

- water: bevorderen van vasthouden gebiedseigen water, beperken aantasting watersysteem en zo mogelijk verbeteren, behouden en zo mogelijk bevorderen waterkwaliteit.

Deze punten gaan dus over de directe, tastbare zaken: opvallend is dat er niet expliciet wordt ingegaan op het optimaliseren van de levenscyclus, op adaptieve functionaliteit, hergebruik van de constructie, beheer en onderhoud en demontage. In het Pakket wordt onderscheid gemaakt in toepassing op een viertal ‘werktypen’: nieuwbouw, reconstructie, B&O en demontage. Het pakket is vooral te beschouwen als een checklist voor duurzaamheidsaspecten, gericht op het feitelijke detailontwerp, uitvoerings- en implementatietraject, meer dan een methodiek ten behoeve van de planvorming voor het integraal ontwerp.

2.2.2 TAW-Leidraad Kunstwerken

De concept TAW-Leidraad (Beem, 2001) geeft aanbevelingen voor het ontwerp en beheer van waterkerende kunstwerken. Een kunstwerk moet voldoen aan functionele en constructieve uitgangspunten, eisen en randvoorwaarden. De Leidraad richt zich in detail op de eisen en randvoorwaarden die de functie waterkeren stelt. Faalmechanismen krijgen veel aandacht. Daarnaast geeft de Leidraad aan dat bij het ontwerp rekening moet worden gehouden met het toekomstige beheer en onderhoud (onderhoudsbewust ontwerp en onderhoudsplan), met eventueel later benodigde of gewenste aanpassingen, en met uit te voeren inspecties. Een onderhoudsbewust ontwerp wordt gemaakt aan de hand van een programma van eisen. Dit programma wordt opgesteld aan de hand van randvoorwaarden en technische eisen (betrouwbaarheid, en beschikbaarheid). Bij de randvoorwaarden gaat het om natuurlijke (hydraulica, meteorologie, morfologie), om de omgeving (bereikbaarheid, afstemmen op onderhoud van nabijgelegen kunstwerken), en wettelijke (milieu, Arbo, waarborgen van veiligheid tijdens onderhoudswerkzaamheden). Gestreefd moet worden naar een optimale combinatie van de kosten van aanleg plus onderhoud van de constructie en de baten van de constructie gedurende een langere periode voor de verschillende te vervullen functies. Een mogelijkheid daartoe is om de ontwerp- en bouwopdrachten te koppelen aan een onderhoudsverplichting voor bijvoorbeeld minstens 10 jaar.

Naast eisen inzake het technische ontwerp zijn er doorgaans ook eisen voor het ruimtelijke ontwerp. Zo moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid van aanpassingen aan veranderende randvoorwaarden (bijvoorbeeld versterking van de constructie bij hogere waterstanden) en/of functies. Daarvoor moet ruimte worden gereserveerd. Ook voor inspectie is ruimte nodig (bereikbaarheid).

De Leidraad geeft voorts geboden voor een onderhoudsbewust ontwerp. Een modulaire opgebouwde en eenvoudige constructie is gewenst met zo min mogelijk (gestandaardiseerde) onderdelen en beperking van het aantal bewegende delen. De onderdelen moeten voldoende toegankelijk zijn voor onderhoud en inspectie.

2.2.3 Richtlijn Waterkerings- en beschikbaarheidseisen

De Richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen beoogt een gestandaardiseerde en gestructureerde werkwijze te geven bij het vaststellen van betrouwbaarheidseisen en de verwerking daarvan in het (voor)ontwerp. Doel daarvan is een economische optimalisatie van het ontwerp, waarbij zowel stichtingskosten, kosten van beheer en onderhoud als de kosten van onbetrouwbaarheid (bijvoorbeeld scheepvaartstremmingen) worden betrokken.

Bij natte infrastructuur worden vier hoofdfuncties onderscheiden: (1) keren van water; (2) afwikkeling van de scheepvaart; (3) peilbeheer door middel van stuwen en/of spuien van water; en (4) oeververbinding voor landverkeer. Omdat schutsluizen deze vier hoofdfuncties in zich verenigen is de ontwikkeling van de richtlijn daarop afgestemd. Het huidige ontwerpproces is geïnventariseerd aan de hand van een bestaand ontwerp (Sluis Helmond). Een eerste aanzet van de richtlijn is getoetst

aan twee case studies (Zuidersluis IJmuiden en Tweede Sluis Lith). Vervolgens is de concept richtlijn getoetst door middel van toepassing in een uitgebreide case studie (Sluis Engelen).

De richtlijn bestaat uit twee belangrijke stappen:

1. Opstellen van betrouwbaarheidseisen in een programma van eisen. Daarbij wordt gekeken naar de randvoorwaarden, die bestaan uit wetten, normen, richtlijnen, natuurlijke randvoorwaarden (bergend vermogen in de polder, waterstanden, zeespiegelstijging, etc.), en omgevingsrandvoorwaarden (scheepvaart- en verkeersintensiteit en spreiding in de tijd, samenstelling vloot). De eisen van de opdrachtgever worden daarbij meegenomen. Vervolgens worden de betrouwbaarheidseisen voor de vier functies vertaald in concrete grootheden.
2. Vertalen van betrouwbaarheidseisen in het (voor)ontwerp. De dimensies van het ontwerp worden vastgesteld alsmede de faalmechanismen die van belang zijn voor de vier functies. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen niet-beschikbaarheid als gevolg van: (1) natuurlijke randvoorwaarden; (2) niet planbare oorzaken; en (3) planbare oorzaken. De verschillende ontwerpvarianten worden na controle op de functionaliteit beoordeeld op de levensduurkosten en de prijs/prestatieverhouding. Daarna kan een variant gekozen worden.

De richtlijn geeft formules voor de berekening van betrouwbaarheidsindices, berekening van wachttijden, filevorming, en wachtkosten. De Sluis Engelen wordt daarmee uitgewerkt en volledig doorgerekend.

2.3 Richtlijnen en aanbevelingen voor beheer en onderhoud

Ook voor het beheer en onderhoud van natte infrastructurele ontwerpen zijn er verschillende richtlijnen en aanbevelingen. In dit verband zijn met name relevant:

- het BeheerPlan Nat; en
- het Handboek Onderhoud Kunstwerken NI

2.3.1 BeheerPlan Nat

Van den Brink e.a. (2000) hebben het BeheerPlan Nat (BPN) geschreven. Actualisatie en aanvulling van het BPN gebeurt op het Intranet van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Op het Intranet van V&W staat altijd de laatste en meest actuele versie.

Het BPN gaat uit van de maatschappelijke functie van wat wordt beheerd en niet meer zozeer de technische staat van het beheerde object. Het BPN onderscheidt 17 functies. Onderhoud wordt pas gepleegd als het nodig is voor het goed functioneren van het object. Het komt er op neer dat goed gemotiveerd moet worden waarom beheer en onderhoud plaatsvindt en dat afwegingen moeten worden gemaakt. Het opstellen van een onderhouds- en inspectieplan gebeurt in tien stappen. De eerste vijf stappen zijn gericht op het vaststellen van streefbeelden en het vertalen daarvan naar functie-eisen voor het object. De tweede serie van vijf stappen richt zich op het vaststellen hoe met beheer en onderhoud de functie vervulling optimaal (tegen minimale kosten) kan worden gediend.

Bij het onderhoud wordt onderscheid gemaakt tussen vast en variabel. Bij vast onderhoud gaat het om exploitatie en onderhoud gericht op het voorkomen van storingen. Bij variabel onderhoud gaat het erom te voorkomen dat een interventieniveau wordt overschreden (met onacceptabel functie-verlies) en het object te upgraden, zodanig dat de functionele kwaliteit van het object weer te vergelijken is met die na oplevering van het object.

2.3.2 Handboek Onderhoud Kunstwerken NI

Het Handboek Onderhoud Kunstwerken NI heeft als doel richtlijnen te geven voor het opstellen van een onderbouwd onderhoudsconcept en onderhoudsplan voor een nieuw kunstwerk en daarmee de ontwerper te helpen bij het doen van onderhoudsbewuste keuzes in alle levensfasen van het project. Systeem- en faalkansanalyse krijgt veel aandacht.

Het handboek bespreekt onderhoudsactiviteiten als schoonmaken, functionele en technische inspecties, vast en variabel onderhoud. Tevens bevat het handboek verschillende onderhoudsmodellen voor civiele aspecten, damwanden, werktuigbouw/installaties, bewegingswerken, sluizen en sluisonderdelen.

2.4 Life Cycle (Cost) Management

2.4.1 Synoniemen en verschillen tussen concepten

LCD als begrip is min of meer synoniem met andere begrippen die ook het streven aanduiden om de kosten van een infrastructureel werk te minimaliseren rekening houdend met alle kosten¹ (en baten) gedurende de gehele levensduur. De term Life Cycle Design is hier geïntroduceerd om de breedte van het onderwerp aan te geven: niet alléén optimalisatie van kosten, maar ook aspecten als rationeel beheer en onderhoud en adaptief ontwerpen. Life Cycle Management (LCM) en het oudere begrip Whole Life Costing (WLC) beschouwen de relaties tussen de kosten (en baten) in de verschillende levensfasen van een object (INA, 1998). Anderen (Sanders, 2000) spreken van Life Cycle Cost Management (LCCM) en Life Cycle Costing (LCC). Hierna spreken we bij beide laatste begrippen kortweg van LCM.

LCM gaat minder ver dan de ontwerpfilosofie Bouwdienst. LCM richt zich alleen op de directe effecten, die zoveel mogelijk in geld worden uitgedrukt. De ontwerpfilosofie gaat verder en beschouwt in principe alle kosten en baten (mededeling van dhr. A.W.F. Reij van de Bouwdienst Rijkswaterstaat).

2.4.2 Werkwijze LCM

LCM begint met de planning- en ontwerpfasen van een object waarin alle belangrijke basisbesluiten worden genomen, daarna volgt de constructie van het object, de operatie en het onderhoud, en tenslotte de verwijdering. Aspecten die bekeken worden zijn de financiën, technische aspecten en de veiligheid. Bij LCM worden de kosten van de verschillende fasen tegen elkaar afgewogen. De kosten van de investeringen worden afgewogen tegen de kosten van (eventueel extra) onderhoud. Ook wordt bij het ontwerp en de kosten daarvan gekeken naar de kans op (gedeeltelijke) uitval van het object. De veiligheid is niet altijd in het geding bij gedeeltelijke uitval en dit leidt ook niet altijd tot grote schade. Als reparatie en herstel snel en relatief goedkoop kan plaatsvinden kunnen (besparingen op) de investeringskosten worden afgewogen tegen de gevolgen van de (toegenomen) kans op uitval. Als onderdeel van LCM wordt een informatiesysteem opgezet waarin alle relevante gegevens worden opgeslagen.

De hoogte van de disconteringsvoet is een belangrijke parameter voor het omrekenen van toekomstige kosten en baten naar een contante waarde. Naarmate de disconteringsvoet groter wordt, komt de 'economische horizon', het tijdstip waarachter kosten en baten nauwelijks nog meetellen, dichterbij. Daardoor kan het met een lage disconteringsvoet lonend zijn om extra te investeren om later te kunnen besparen op onderhoud, terwijl dit niet het geval is met een hoge disconteringsvoet.

¹ Opgemerkt wordt dat kosten meestal niet gelijk zijn aan uitgaven (door de overheid). Aan sommige kostenposten zijn geen uitgaven verbonden, bijvoorbeeld functieverlies, terwijl omgekeerd uitgaven niet altijd kosten zijn (denk aan overdracht van gelden zoals subsidies, BTW).

Volgens de Bouwdienst (Sanders, 2000) moet LCM ook worden toegepast in de gebruiksfase van infrastructuur. In die fase gaat het bijvoorbeeld om keuzes tussen onderhoudsscenario's of een afweging tussen vervangen en voortgezet onderhoud. Belangrijk bij LCM is dat de LCM-analyse als een rode draad door het totale proces loopt. Vanaf het begin bij de planstudie met uiteraard grote onzekerheden tot aan de gebruiksfase waarbij de onzekerheden aanzienlijk zullen zijn verkleind en vervolgens in de gebruiksfase zelf. Van belang is ook dat de consequenties van beslissingen in het kader van LCM inzichtelijk worden gemaakt. Indien bijvoorbeeld besparingen op de investeringen gepaard gaan met hogere onderhoudskosten in de toekomst, dan moeten daarvoor (extra) reserveringen worden gemaakt. In het voorstel van de Bouwdienst omvat LCM zes opeenvolgende stappen.

2.4.3 Beschikbaarheid gegevens

Voor onderhoudsarm ontwerpen is feedback over onderhoudsgegevens nodig. Een gestandaardiseerde aanpak van de informatie-uitwisselingen tussen ontwerpers en beheerders lijkt nuttig. Van der Ent (2002) stelt voor om de huidige praktijk van aanbesteding, waarbij doorgaans hooguit van 'design & construct' sprake is, uit te breiden naar 'design & construct & maintain' en de aannemer daarmee ook verantwoordelijk te maken voor een lange periode van onderhoud. Modellen kunnen helpen om de levensduur van onderdelen van projecten te bepalen.

Inmiddels beschikt de Bouwdienst over het instrument TISBO (Technische Informatie Systemen voor Beheer en Onderhoud). Met TISBO wordt het mogelijk helder te maken hoeveel geld nodig is voor beheer en onderhoud. Door het systematisch verzamelen en bewerken van gegevens over het instandhouden van objecten kan de onzekerheid in de schattingen van toekomstig beheer en onderhoud worden verminderd.

Het beheer en de ontwikkeling van de documenten ten behoeve van beheer en onderhoud van kunstwerken (waaronder TISBO) is bij de Bouwdienst ondergebracht in de projectorganisatie KuBOS (Kunstwerken Beheer en Onderhoudssystematiek). Handreikingen voor enerzijds Beheer- en Onderhoudsplannen en anderzijds voor Instandhoudingsplannen maken daar deel van uit (mededeling van dhr. L. Klatter van de Bouwdienst Rijkswaterstaat).

Dhr. J. Stavenuiter is aan de TU Delft gepromoveerd op de ontwikkeling van het Amico-model, een informatiesysteem dat het beheer van de levensduur van een kapitaalgoed integraal en digitaal aanpakt. Het systeem is toegepast op een troepentransportschip van de marine. Als alle gegevens zijn ingevoerd in het Amico-model en het model (on line) wordt geactualiseerd geeft dit model snel inzicht in de stand van zaken en te verwachten knelpunten (Schrauwen, 2002). Door zijn promotie-onderzoek is dhr. J. Stavenuiter voorstander geworden van het inzetten van één LCM-team voor de gehele levenscyclus van een kapitaalgoed en niet, zoals gebruikelijk aparte ontwerp-, gebruikers-, onderhouds- of wat voor teams dan ook. Een aardige stelling uit zijn proefschrift luidt: "Implementatie zonder inzicht in het systeem leidt tot exploitatie zonder uitzicht op het beoogde resultaat".

2.4.4 LCM in de praktijk

Praktijktoeepassingen van LCM zijn nog steeds beperkter dan zou kunnen worden verwacht op basis van de beschikbare methodieken. Een voorbeeld van LCM is dat voor de aanschaf van materieel het Ministerie van Defensie LCM-analyses laat uitvoeren door TNO-FEL (mededeling van dhr. R. Lanting van TNO-Bouw). Het hiervoor vermelde voorbeeld van het troepentransportschip is daar een voorbeeld van. Voorbeeldprojecten waarbij ook het ontwerp in eigen beheer is zijn niet bekend. Een ander voorbeeld is het uitwerken en evalueren door de Bouwdienst van Rijkswaterstaat van varianten voor baggerspeciedepots in het Hollands Diep en de Koegorspolder. De gehele levenscyclus wordt beschouwd en alle kosten worden contant gemaakt. De economische

optimalisatie is complex en wordt uitgevoerd door NEI. Na de keuze van een voorkeursvariant komt het ontwerp aan de orde; daarbij wordt bijvoorbeeld in detail gekeken naar het oeverontwerp. Bij de hierbij betrokken geïnterviewde medewerker van de Bouwdienst zijn verder geen concrete integrale toepassingen van LCM bij het ontwerp bekend.

Bij het Hoofdkantoor van Rijkswaterstaat bestaat het gevoel dat in het bedrijfsleven de ervaringen met LCM nog onderbelicht blijven (onze indruk is dat deze meer op de eigen bedrijfsprocessen zijn gericht).

Op detailniveau wordt LCM wel meer toegepast. Zo doet de Bouwdienst technisch onderzoek naar constructiematerialen om de integrale kosten omlaag te krijgen. Een voorbeeld is het vergelijken van de kosten van verven gedurende de levensduur van een project met de kosten van aluminiseren (Ros, 2002). De kosten van aluminiseren zijn per keer hoger dan die van verven, maar de levensduur is veel langer. Op moeilijk bereikbare plekken, waar de kosten van verven toenemen, kan aluminiseren goedkoper worden. Zo zijn de kosten van verven gemiddeld € 50,- per m², maar bij de schuiven van de stormvloedkering in de Oosterschelde lopen deze kosten op tot € 500,- per m².

Een opmerking van een medewerker van de Bouwdienst is verder dat aannemers waarschijnlijk niet onwillig zijn om LCM mee te nemen bij het ontwerp, maar dat het hen vaak ontbreekt aan de benodigde kennis en inzicht. Sanders (2000) concludeert daarentegen dat niet zozeer het gebrek aan kennis bedreigend is voor de toepassing van LCM, maar veeleer het gebrek aan vermogen om met onzekerheden om te gaan.

Van der Ent (2002) geeft aan dat LCM onlosmakelijk verbonden is met integraal ontwerpen. In de praktijk gebeurt dat lang niet altijd. Als eerder genoemd voorbeeld: tunnels worden bijvoorbeeld zo sober mogelijk ontworpen om de vergelijking met (goedkopere) bruggen te kunnen doorstaan. Als zo'n relatief goedkope tunnel er eenmaal ligt, blijkt die vervolgens te duur in onderhoud te zijn.

De noodzaak van continue beschikbaarheid van onze infrastructuur maakt het probleem van onderhoud en gebruik steeds urgenter. Het zou goed zijn om de kosten van een te geringe beschikbaarheid in de totale kosten te verdisconteren. Onze nieuwe, wél robuust ontworpen, tunnels zijn veel goedkoper in beheer en onderhoud. Ook de schade door verkeerscongestie neemt daardoor af. Dat is vooral het gevolg van toegenomen veiligheids eisen. Technische installaties bij tunnels worden officieel gebouwd voor een levensduur van 25 jaar. In de praktijk beperkt echter de snelle aanscherping van de veiligheidsnormen de levensduur sterk te beperken. Een afschrijvingstermijn van 10 jaar lijkt daardoor realistischer dan een afschrijvingstermijn van 25 jaar. Meer geld reserveren voor tussentijdse renovatie zou ook nuttig zijn.

2.5 Conclusies en leerpunten

Uit het voorgaande blijkt, dat de principes van LCM in grote lijnen wel bekend zijn. Er bestaan verschillende leidraden en handreikingen. Die komen in principe allemaal op hetzelfde neer: houd bij het ontwerp van een object rekening met alle kosten (en baten) gedurende de gehele levenscyclus:

- kosten van aanleg;
- kosten van onderhoud en eventueel renovatie, en van inspectie;
- gewenste functievervulling en baten daarvan;
- kosten (schade) door functieverlies tijdens falen (uitval) of onderhoud;
- kosten van eventueel benodigde aanpassingen aan veranderende omstandigheden;
- kosten van verwijderen van het object aan het eind van zijn levensduur.

Indirecte kosten en maatschappelijke kosten en baten blijven doorgaans verder buiten beeld.

Binnen de randvoorwaarden en uitgangspunten voor het ontwerp zijn keuzen mogelijk. Als de randvoorwaarden en/of uitgangspunten strijdig zijn met elkaar moet een prioritering (hiërarchie) worden vastgesteld en daarna worden toegepast bij de uitwerking. De ontwerpfilosofie van de Bouwdienst (Van Manen, 2000) geeft daarvoor een handreiking.

De verschillende kostenposten zijn niet onafhankelijk van elkaar. Vaak is sprake van enigszins communicerende vaten: bijvoorbeeld besparen op de kosten van aanleg kan leiden tot hogere kosten van onderhoud of meer schade door functieverlies bij uitval. Dan moet gezocht worden naar een economisch optimum. Een belangrijk element daarin is onderhoudsbewust ontwerpen (bij voorkeur een modulaire opbouw met gestandaardiseerde en makkelijk vervangbare onderdelen).

Voor het bepalen van het economische optimum is een kosten-batenanalyse nodig of als er geen baten bepaald worden een kosteneffectiviteitsanalyse. Bij een kosteneffectiviteitsanalyse gaat het er om de beoogde doelen tegen zo laag mogelijke kosten te realiseren. Voor een economische afweging moeten voor beide methoden de toekomstige kosten (en baten) worden omgerekend naar een Contante Waarde. Dat gebeurt door te disconteren. Voor overheidsinvesteringen schrijft het Ministerie van Financiën een disconteringsvoet voor van 0,04. Met deze disconteringsvoet wordt met een vast jaarlijkse bedrag (kost of baat) na 50 jaar al 86% van de Contante Waarde met een oneindige tijdshorizon bereikt. Kosten en baten na 50 jaar tellen dus nauwelijks meer mee. Bij private investeringen zijn de onzekerheden als regel groter. Daarom werkt de private sector met een risico-opslag op de disconteringsvoet. Het gevolg daarvan is dat de 'economische tijdshorizon' nog korter wordt en het lange-termijn onderhoud nog minder doortikt. Er is al veel aandacht besteed aan de invloed van de disconteringsvoet, maar de discussies hieromtrent dienen met kracht te worden voortgezet. Bekeken moet worden wat vanuit duurzaamheids- en milieu-optiek een optimale hoogte is voor de disconteringsvoet. Als dat zou leiden tot een lagere disconteringsvoet dan de nu voorgeschreven 4 % krijgt onderhoudsbewust ontwerpen vanzelf meer aandacht, omdat het lange-termijn onderhoud dan meer doortikt in de Contante Waarde.

Sommige relevante effecten of aspecten kunnen niet in geld worden uitgedrukt of zijn niet zinvol in geld uit te drukken: dit geldt met name voor veel maatschappelijke effecten. In dat geval kunnen deze effecten en aspecten bij een kosten-batenanalyse worden afgewogen tegen de netto contante waarde (baten minus de kosten) of kan men overgaan tot een multicriteria-analyse.

Bij het vaststellen van de functievervulling (de baten) moet rekening worden gehouden met de te verwachten ontwikkeling van de functies (behoeften) in de tijd. Door bevolkingsgroei en/of economische groei kunnen de baten in de tijd toenemen. Maar dat kan ook consequenties hebben voor het onderhoud en eventueel benodigde aanpassingen. Zelfs de functie van een waterbouwkundig werk kan veranderen (stormvloedkering wordt doorlaatkering, oeverbescherming wordt weggehaald of aangepast ten behoeve van de ecologie, etcetera): het is dan belangrijk dat het ontwerp voldoende 'adaptief' is.

De onzekerheden in kosten en baten en het verloop daarvan in de tijd zijn een belangrijk element in het vaststellen van het economische optimum. Een gevoeligheidsanalyse is nodig om te bepalen in welke mate het optimum zou verschuiven als uitgangspunten en/of aannamen veranderen. Onzekerheden over de ontwikkeling van de behoeften (vraag) kan bijvoorbeeld een reden zijn om investeringen gefaseerd in de tijd uit te voeren. De totale (nominale) kosten van de investering worden bij een gefaseerde aanpak meestal hoger, maar omdat een deel van de investeringskosten naar de toekomst wordt verschoven kan de Contante Waarde desondanks afnemen; dit laatste is overigens weer sterk afhankelijk van de disconteringsvoet.

Geconcludeerd wordt dat er ten aanzien van de methodieken voor LCM weinig leemten meer lijken te bestaan, uitgezonderd wellicht die voor rationalisatie van beheer en onderhoud. Maatschappelijke discussie is nodig voor de te hanteren disconteringsvoet, vanuit een visie voor duurzaamheid en milieu. De kwantificering van kosten van beheer en onderhoud, welke nu nog

vaak een probleem is, zal in de toekomst waarschijnlijk sterk verbeteren wanneer instrumenten als TISBO in ruime mate worden ingezet.

De beschikbare methoden lijken nog weinig aandacht te geven aan het meenemen van indirecte kosten, indirecte maatschappelijk effecten en adaptieve functionaliteit van de te bouwen en onderhouden werken. Het lijkt wenselijk dat deze aspecten in de toekomst toch op de een of andere wijze zullen worden meegewogen als tegenwicht tegen de meer beperkte reikwijdte van de B&O-filosofie die de Bouwdienst voor ogen staat.

3 Overzicht stand van zaken rationeel beheer en onderhoud

3.1 Inleiding

Kunstwerken, waterkeringen, watersystemen moeten worden aangelegd, beheerd, verbeterd en onderhouden. Zij vervullen over het algemeen meer dan één functie (bijvoorbeeld veiligheid, natuur, landschap, verkeer, scheepvaart, recreatie, landbouw en visserij). Het doel van beheer en onderhoud is nu om er voor te zorgen dat een constructie zodanig aan zijn functies voldoet dat de functionele kwaliteit ervan 'goed' is. Als een constructie niet meer of onvoldoende voldoet aan zijn belangrijkste functies, dan is er sprake van zogeheten falen².

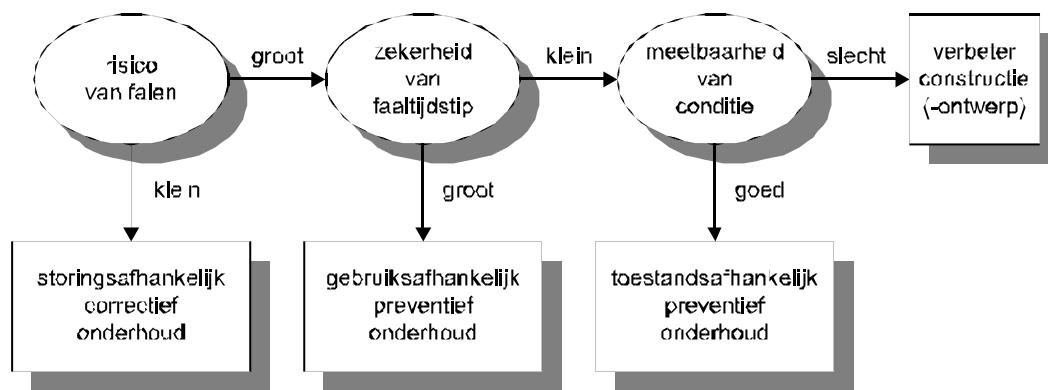
Beheer omvat het geheel van maatregelen in de sfeer van verbetering en onderhoud. Onderhoud wordt gedefinieerd als het geheel van activiteiten, waarmee de functionele kwaliteit van een onderdeel wordt teruggebracht tot het gewenste kwaliteitsniveau. Hierbij zijn inspecties, reparaties, vervangingen en levensduurverlengende maatregelen mogelijke onderhoudsacties. Levensduurverlengend onderhoud is een beschermende maatregel waarmee de veroudering van een objectonderdeel kan worden vertraagd, het falen kan worden uitgesteld en de levensduur kan worden verlengd (klein onderhoud). Door middel van vervanging wordt de conditie van een onderdeel teruggebracht tot de beginconditie (groot onderhoud). Groot onderhoud kan globaal worden onderscheiden in correctief onderhoud (ná falen) en preventief onderhoud (vóór falen). Preventief onderhoud verdient de voorkeur indien de kosten van falen hoog zijn (bijvoorbeeld het verhogen van een dijk om overstroming tegen te gaan). Correctief onderhoud is te prefereren boven preventief onderhoud in het geval van lage faalkosten (bijvoorbeeld het verwisselen van een gesprongen gloeilamp). Het beslissingsdiagram voor de keuze tussen preventief en correctief onderhoud is weergegeven in figuur 3.1 (Van Noortwijk en Westenberg, 1999).

Preventief onderhoud kan worden onderverdeeld in:

- *tijds-, gebruiks- of belastingsafhankelijk preventief onderhoud*, dat wordt uitgevoerd na een vaste leeftijd, gebruiksduur of belasting (bijvoorbeeld het ververset van olie bij elke 15.000 km-beurt van een auto);
- *toestandsafhankelijk preventief onderhoud*, dat wordt uitgevoerd op basis van het inspecteren van de toestand, conditie of functionele kwaliteit van het onderdeel (bijvoorbeeld het inspecteren van de bodemverdediging van de Oosterscheldekering).

Tijds-, gebruiks- of belastingsafhankelijk preventief onderhoud kan worden toegepast als het faaltijdstip redelijk nauwkeurig kan worden voorspeld, terwijl toestandsafhankelijk preventief onderhoud kan worden toegepast als de toestand van het te onderhouden onderdeel kan worden geïnspecteerd (zie Figuur 3.1).

² Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in normfalen en fysiek falen. Normfalen treedt op bij het overschrijden van een van te voren vastgestelde faal- of veiligheidsnorm. Fysiek falen treedt op bij het bezwijken of daadwerkelijk kapot gaan van een onderdeel.



Figuur 3-1 Beslissingsdiagram voor de keuze tussen preventief onderhoud en correctief onderhoud

Gedurende de levensduur van een object is het uitvoeren van beheer en onderhoud één van de belangrijke kostenposten. Niet alleen in de gebruiksfase, maar ook in de ontwerpfase kan rekening worden gehouden met de kosten die onderhoud met zich meebrengt. Het minimaliseren van de onderhoudskosten (zowel in de ontwerp- als gebruiksfase) is dan ook een belangrijk aspect. In dit hoofdstuk gaan we in op instrumenten die in de praktijk gebruikt worden om het beheer en onderhoud van waterbouwkundige werken te optimaliseren. Eerst worden een aantal onderhoudsoptimalisatiemodellen beschreven. Vervolgens wordt nagegaan welke instrumenten en modellen in de praktijk worden gebruikt voor het optimaliseren van onderhoud en op welke manier. Tot slot worden huidige beperkingen en kennisleemtes aangegeven.

3.2 Theoretische modellen om onderhoud te optimaliseren

3.2.1 Inleiding

In de waterbouwkunde wordt meestal uitgegaan van de functionele kwaliteit van een waterkering, welke in de loop der tijd door functieverlies of veroudering achteruit gaat. Om er voor te zorgen dat een constructie aan zijn functies blijft voldoen moet beheer en onderhoud worden uitgevoerd. Gezien hoge beheer- en onderhoudskosten kan optimalisatie een aanzienlijke kostenbesparing opleveren. Het minimaliseren van de kosten speelt een belangrijke rol in zowel de ontwerpfase als gebruiksfase van een object.

In de ontwerpfase komt het optimaliseren van onderhoud neer op het vinden van een optimale balans tussen de initiële aanlegkosten en de toekomstige beheer- en onderhoudskosten: hoe zwaarder een waterkering wordt gedimensioneerd, des te hoger de aanlegkosten, maar des te minder frequent hoeft onderhoud te worden uitgevoerd en des te lager zijn dan ook de onderhoudskosten.

In de gebruiksfase zullen de kosten van inspectie en preventief onderhoud moeten worden afgewogen tegen de kosten van correctief onderhoud en falen (het interventieniveau): hoe vaker immers preventief onderhoud wordt uitgevoerd, des te hoger de kosten van inspectie en preventief onderhoud, maar des te lager de kosten van correctief onderhoud en falen. Daarnaast moet de afweging worden gemaakt van het uitvoeren van klein onderhoud (levensduurverlengend onderhoud) en groot onderhoud (preventief of correctief onderhoud).

Onderhoudsoptimalisatiemodellen kunnen de beheerder ondersteunen bij het maken van bovengenoemde afwegingen. Onderhoudsoptimalisatiemodellen zijn wiskundige modellen die de kosten en baten van diverse onderhoudsstrategieën kwantificeren en een onderbouwing

geven over welk onderhoud de kosten minimaliseert, daarbij rekening houdend met gebruikseisen (functionele eisen). Deze modellen kunnen zowel in de ontwerpfase als in de gebruiksfase worden toegepast ter ondersteuning van de te nemen onderhoudsbeslissingen (te ondernemen onderhoudsmaatregelen en tijdstip).

Verschillende onderhoudsoptimalisatiemodellen worden in deze paragraaf nader beschreven.

3.2.2 Het LVO-model van Bouwdienst

In opdracht van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat te Utrecht is door HKV LIJN IN WATER het zogenoemde LevensduurVerlengendOnderhoudsmodel (LVO-model) ontwikkeld.

Het LVO-model kan worden gebruikt voor het optimaliseren van onderhoud in zowel de ontwerpfase als de gebruiksfase (Van Noortwijk en Westenberg, 1999):

- (1) In de ontwerpfase kan een optimale afweging worden gemaakt tussen de initiële investeringskosten (bereiken beginconditieniveau) enerzijds en de toekomstige onderhoudskosten (verlengen levensduur en vervangen) anderzijds (levenscyclusanalyse).
- (2) In de gebruiksfase kan een optimale balans worden gevonden tussen de kosten van preventief onderhoud (levensduurverlenging en preventieve vervanging) enerzijds en de kosten van correctief onderhoud (correctieve vervanging en falen) anderzijds.
- (3) Het kostencriterium van de verwachte gediscoteerde kosten (de Netto-Contante Waarde) wordt gebruikt om verschillende onderhoudsstrategieën met elkaar te vergelijken, waarin zowel groot onderhoud als klein onderhoud wordt meegenomen.
- (4) Met het LVO-model kunnen optimale onderhoudsbeslissingen worden onderbouwd rekening houdend met de onzekerheid in de veroudering (b.v. het verlies aan staaldikte ten gevolge van corrosie).

Kenmerkend voor het model is dat deze geschikt is voor levensduurcyclus-analyse. Dit houdt in dat rekening gehouden wordt met zowel de kosten van klein onderhoud (levensduurverlengend) en groot onderhoud (vervanging) gedurende het gebruik, de ontwerpkosten en de sloopkosten. Het model houdt hierbij rekening met de onzekerheid in de levensduur (het faaltijdstip) en met de tijds waarde van het geld.

De onzekerheid in de levensduur (het faaltijdstip) volgt uit de onzekerheid in de veroudering. Het model gaat uit van een onderdeel waarvan de conditie, functionele kwaliteit of sterkte achteruitgaat en wel van een beginconditie van zeg 100% tot een faalniveau van zeg 0%. Een onderdeel faalt als het conditieniveau beneden het faalniveau zakt. Het moment waarop dit gebeurt, is dan het faaltijdstip of de levensduur. Voor een onderhoudsoptimalisatie zijn de onzekerheden in het faaltijdstip en de veroudering of (kwaliteitsachteruitgang) van belang, waarbij de eerste onzekerheid kan worden afgeleid van de tweede. Omdat met name het verouderingsgedrag in de tijd erg onzeker is, is de veroudering in de modellen gerepresenteerd door middel van een kansverdeling.

Tevens wordt in het model rekening gehouden met de tijds waarde (contante waarde) van geld, aangezien vervangingsacties op verschillende tijdstippen worden uitgevoerd. Hiertoe worden toekomstige kosten van preventief en correctief vervangen met behulp van een discontovoet gediscoteerd (contant gemaakt) naar het basisjaar. Als discontovoet wordt de reële rentevoet genomen, dat wil zeggen de rentevoet minus de inflatie. Deze kan worden ingevoerd in het model. Binnen de overheid wordt op dit moment uitgegaan van een reële rentevoet van 4%.

De invoerparameters van het model zijn:

- het beginconditieniveau,
- de verwachte veroudering,

- de onzekerheid in de veroudering,
- het faalniveau,
- de discontovoet,
- de kosten van preventief vervangen en de kosten van correctief vervangen,
- de invloed van levensduurverlengend onderhoud op de conditie (bijvoorbeeld tijdsinterval waarin geen veroudering optreedt, conditieverbetering),
- de kosten van levensduurverlengend onderhoud.

De uitvoer van het LevensduurVerlengendOnderhoudsmodel is zowel het optimale interval van preventief vervangen als het optimale interval van levensduurverlengend onderhoud.

Uitbreiding van het model:

Indien het noodzakelijk is om ook inspecties in een kostenanalyse te betrekken moet een uitgebreider model van toestandsafhankelijk preventief onderhoud worden gebruikt. Bij het bepalen van het interventieinterval wordt geen rekening gehouden met inspectiekosten. Bij onderhoud op basis van interventieniveaus spelen eigenlijk twee beslissingsvariabelen een rol: (i) de inspectiefrequentie en (ii) het interventieniveau. Deze twee variabelen zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden: bij een hoge inspectiefrequentie kan worden volstaan met een interventieniveau dat dichtbij het faalniveau ligt, terwijl bij een lage inspectiefrequentie een interventieniveau hoort dat ver van het faalniveau verwijderd ligt. Verder zijn bij een kostenoptimalisatie niet alleen de kosten van een preventieve of correctieve vervanging van belang, maar ook de kosten van inspectie. Hoe vaker er immers wordt geïnspecteerd, des te hoger zijn uiteraard de inspectiekosten, maar des te beter kan het faaltijdstip worden voorspeld en des te lager zijn dan ook de verwachte faalkosten. Interventieniveaus, die zijn verkregen met behulp van het LVO-model, zijn dan ook slechts bij benadering kostenoptimaal. Indien het noodzakelijk is om ook inspecties in een kostenanalyse te betrekken, kan een uitgebreider model van toestandsafhankelijk preventief onderhoud worden gebruikt [zie hiertoe Van Noortwijk (1996a)]. Dit model heeft grotendeels dezelfde beslissingsvariabelen als het INSPEC-model van TNO-bouw, welke in paragraaf 3.24 wordt beschreven.

Er is een nieuwe versie van het LVO-model beschikbaar, in plaats van een spreadsheet is het model nu een zelfstandige module geworden (De Gooijer en van Noortwijk, 2001).

3.2.3 Het TNO-FEL-model

Bij een gegeven conditie van een onderdeel en de verwachting van en de onzekerheid in de veroudering kan worden uitgerekend wanneer de volgende inspectie moet worden uitgevoerd en wat het kostenoptimale interventieniveau is. De analyse kan worden gedaan voor meer dan één onderdeel met als kostencriterium de gemiddelde kosten per tijdseenheid. Het wiskundig onderhoudsmodel is een Markov-beslissingsmodel met drie mogelijke beslissingen: (i) inspecteren, (ii) vervangen en (iii) niets doen. (Van Noortwijk en Westenberg, 1999, blz 38).

Omdat er meerdere onderdelen in de analyse kunnen worden betrokken is het wiskundig model complex en kan de rekentijd toenemen. Andere nadelen zijn dat rente en inflatie niet in de analyse kunnen worden betrokken en dat periodieke inspectiefrequenties niet kunnen worden geëvalueerd (de optimale inspectiestrategie hangt in het TNO-FEL-model af van de van te voren onbekende veroudering). Voor de wiskundige details zij verwezen naar Hontelez, Burger en Wijnmalen (1996). Levensduurverlengend onderhoud kan niet met het inspectiemodel van TNO-FEL worden geoptimaliseerd.

Per onderdeel zijn de belangrijkste invoerparameters van het model (Van Noortwijk en Westenberg, 1999, blz 38): het beginconditieniveau, de verwachte veroudering, de onzekerheid in de veroudering, het faalniveau, de inspectiekosten, de preventieve onderhoudskosten en de

correctieve onderhoudskosten. De uitvoerparameters zijn: het optimale inspectie-interval als functie van de geïnspecteerde veroudering en het optimale interventieniveau.

3.2.4 Het TNO-Bouw-model

Het inspectiemodel van TNO-Bouw, INSPEC genaamd, gaat uit van één onderdeel [zie Gijsbers (1987)]. Bij een gegeven inspectiefrequentie, een stochastisch verouderingsproces en een bepaald interventieniveau kunnen de kosten over een eindige tijdshorizon worden uitgerekend. Afhankelijk van de gekozen iteratiemethode kan de rekentijd echter flink oplopen. De optimale inspectiefrequentie moet op basis van 'trial and error' worden bepaald, wat behoorlijk wat tijd kan vergen. De belangrijkste invoerparameters zijn: het beginconditieniveau, de verwachte veroudering, de onzekerheid in de veroudering, het interventieniveau, het faalniveau, de discontovoet, de inspectiekosten, de preventieve onderhoudskosten en de correctieve onderhoudskosten. Ook met behulp van het TNO-Bouw-model kunnen geen optimale frequenties van levensduurverlengend onderhoud worden bepaald. (Van Noortwijk en Westenberg, 1999, blz 38)

3.2.5 Het KEMA-model

De KEMA heeft in het verleden diverse wiskundige modellen ontwikkeld voor het optimaliseren van onderhoud van voornamelijk elektronische componenten (KMOSS: KEMA Maintenance Optimization Support System). In tegenstelling tot de modellen van TNO en Bouwdienst/HKV zijn deze modellen dan ook niet gebaseerd op een fysisch of functioneel verouderingsproces. De KEMA-modellen gaan uit van componenten die slechts in twee toestanden kunnen verkeren, namelijk "gefaald" en "niet gefaald", en dus geen conditieverloop kennen. Een nadeel hiervan is dat er bij het regelmatig uitvoeren van preventief onderhoud over het algemeen te weinig faalgegevens beschikbaar zijn om de benodigde probabilistische parameters goed te kunnen schatten. Verder wordt er in de waterbouwkunde meestal uitgegaan van een conditie of functionele kwaliteit van een waterkering, welke in de loop der tijd door functieverlies of veroudering achteruit gaat. Falen treedt dan op als het conditieniveau beneden een van te voren vastgesteld faalniveau zakt. Een ander nadeel van de KEMA-modellen is dat rente en inflatie niet in de kostenoptimalisatie kunnen worden betrokken; onderhoudsstrategieën worden vergeleken op basis van de gemiddelde kosten per tijdseenheid.

De belangrijkste invoerparameters zijn: het faaltempo, de inspectiekosten, de preventieve onderhoudskosten en de correctieve onderhoudskosten. Het faaltempo is gedefinieerd als de conditionele faalkans in een bepaald jaar, gegeven dat de component tot dat jaar nog niet gefaald is, en heeft vaak de vorm van een 'badkuipkromme'. Bij de 'badkuipkromme' kunnen drie fasen worden onderscheiden: (i) de inlooperperiode of de periode van kinderziekten (dalend faaltempo), (ii) de periode waarin geen veroudering optreedt (constant faaltempo) en (iii) de periode waarin wel veroudering optreedt (stijgend faaltempo). In tegenstelling tot fysische veroudering kunnen faaltempi echter niet worden gemeten of geïnspecteerd.

Eén van de KEMA-modellen betreft het zogenaamde preserveringsmodel. Hiermee kunnen de kosten en baten van preserverend onderhoud tegen elkaar worden afgewogen. Onder preserverend onderhoud worden die onderhoudsactiviteiten verstaan, waarmee de veroudering van een component wordt vertraagd. Voorbeelden van preserverend onderhoud zijn: schilderwerkzaamheden, wegdekverbetering en motorolieverversing. Het KEMA-model gaat er vanuit dat het tijdstip waarop de veroudering van een component aanvangt, kan worden uitgesteld. Dit is het tijdstip waarop het faaltempo verandert van constant (geen veroudering of kwaliteitsachteruitgang) naar stijgend (wel veroudering of kwaliteitsachteruitgang). Het preserveringsmodel van de KEMA is niet gebaseerd op een inspecteerbaar conditieverloop en de onderhouds- en faalkosten kunnen niet worden gedisconteerd.

3.2.6 SPARC

Het beslissingsondersteunend systeem SPARC (System for Production Availability and Resource Consumption) is een 'niet-beschikbaarheidsmodel' ontwikkeld door Shell. SPARC is een model waarmee de te verwachten beschikbaarheid, onderhoudslasten en kosten van systemen kunnen worden berekend. Met behulp van het model zijn ook de kritische systeemonderdelen en hun faalwijzen zichtbaar te maken en zijn verschillende onderhoudsstrategieën te evalueren (Van Leeuwen en van Rijn, 2002). Het model optimaliseert de afweging tussen de toekomstige kosten en de kosten als gevolg van het niet beschikbaar zijn van de installatie. Hierbij wordt de contante waarde niet meegenomen. De uitvoer van het model is de gemiddelde faalkans van het systeem en het faalgedrag in de tijd.

3.2.7 Samenvatting van de modellen

In tabel 3.1 is een overzicht weergegeven van de eerder beschreven onderhoudsoptimalisatie-modellen en enkele kenmerken hiervan. Hieruit volgt dat met behulp van alle modellen de afweging kan worden gemaakt tussen het uitvoeren van preventief onderhoud of correctief onderhoud. Met behulp van het LVO-model kan daarnaast ook het interval van levensduurverlengend onderhoud worden geoptimaliseerd. Een optimale balans kan worden gevonden tussen de kosten van levensduurverlenging en preventieve vervanging enerzijds en de kosten van correctief onderhoud (vervanging en falen) anderzijds.

In het LVO-model worden inspecties niet meegenomen in de kostenanalyse. Indien het noodzakelijk is om ook inspecties in een kostenanalyse te betrekken, kan een uitgebreider model van toestandsafhankelijk preventief onderhoud worden gebruikt [zie hiertoe Van Noortwijk (1996a)]. Daarnaast kan ook het TNO-Bouw-model INSPEC hiervoor worden gebruikt.

Het KEMA en SPARC model onderscheiden zich van de andere modellen door geen conditieverloop te kennen; een onderdeel kan slechts in twee toestanden verkeren, namelijk "gefaald" en "niet-gefaald". In de waterbouwkunde wordt meestal uitgegaan van een conditie of functionele kwaliteit van een waterkering, welke in de loop der tijd door functieverlies of veroudering achteruit gaat. Falen treedt dan op als het conditieniveau beneden een van te voren vastgesteld faalniveau zakt.

Een ander nadeel van de KEMA-modellen is dat rente en inflatie niet in de kostenoptimalisatie kunnen worden betrokken; onderhoudsstrategieën worden vergeleken op basis van de gemiddelde kosten per tijdseenheid. In het LVO-model en TNO-Bouw-model wordt wel rekening gehouden met de tijdswaarde (contante waarde) van geld. Deze modellen zijn dan ook goed te gebruiken in zowel de ontwerpfase als de gebruiksfase. zijn dan ook goed te gebruiken in zowel de ontwerpfase als de gebruiksfase.

	Bouwdienst/ HKV-model	TNO-FEL	TNO-Bouw	KEMA	SPARC
Onzekerheid	conditie	conditie	conditie	levensduur	levensduur
Contante Waarde	wel	niet	wel	niet	niet
Complexiteit	laag	hoog	laag	hoog	hoog
Aantal onderdelen	1	=1	1	=1	=1
Besluitvorming	optimalisatie	optimalisatie	evaluatie	evaluatie	evaluatie
Mogelijke onderhoudsacties	- levensduurverlenging - preventieve vervanging - correctieve vervanging	- inspectie - preventieve vervanging - correctieve vervanging	- inspectie - preventieve vervanging - correctieve vervanging	- preservering - inspectie - preventieve vervanging - correctieve vervanging	- preventieve vervanging - correctieve vervanging
Lifecycle-fase	ontwerp en gebruik	gebruik	ontwerp en gebruik	gebruik	gebruik
Beschikbaar voor gebruik	beschikbaar bij bouwdienst & HKV	onderzoeks-gereedschap	onderzoeks-gereedschap	commercieel	commercieel

Tabel 3-1 Onderhoudsoptimalisatiemodellen

3.3 Instrumenten om onderhoud te optimaliseren in de praktijk

3.3.1 Inleiding

In voorgaande paragraaf (3.2) zijn een aantal theoretische modellen om onderhoud te optimaliseren beschreven. In deze paragraaf wordt ingegaan op het gebruik van deze modellen in de praktijk. Hierbij wordt naast de modellen ook ingegaan op het gebruik van andere instrumenten (leidraden en informatiesystemen) in de praktijk voor het efficiënter beheren en onderhouden van waterbouwkundige werken.

3.3.2 Leidraden

Rijkswaterstaat is sinds enkele jaren bezig met het invoeren van een nieuwe beheer- en onderhoudsfilosofie. Het uitgangspunt bij deze filosofie is het centraal stellen van gebruiksfuncties van de infrastructuur. Deze ontwikkeling vindt plaats zowel binnen de natte infrastructuur (Beheer Op Peil) als binnen de droge infrastructuur (Wegbeheer 2000). De ontwikkeling krijgt al enkele jaren vorm door het opstellen van regionale en landelijke beheer en onderhoudsplannen. Hiervoor zijn diverse leidraden opgesteld die ingaan op de benodigde beheerinspanningen, zoals Beheer op Peil en Kustbalans 1995. Beheer op Peil gaat over het opstellen van zogenoemde regionale BeheerPlannen Nat (BPN) voor het beheren van de natte infrastructuur zoals bruggen, sluizen, stuwen, waterkeringen, bodems en oevers, alsmede het kwaliteitsbeheer van water en de inpassing van landschappelijke, natuur en cultuurhistorische waarden (LNC-waarden). Kustbalans 1995 gaat nader in op het dynamisch handhaven van de kustlijn door middel van voornamelijk zandsuppleties.

Het doel van het opstellen van deze beheer- en onderhoudsplannen is het onderbouwen van het uit te voeren beheer en onderhoud. Door deze op elkaar afgestemde beheerplannen ontstaat tevens meer inzicht en eenduidigheid op beheer- en onderhoudsgebied binnen Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat beoogt daarnaast ook aan de hand van deze beheerplannen een overzicht te

verkrijgen van de op termijn te bereiken doelen. Tevens verkrijgt men hierbij inzicht in de toekomstige bestedingen van gelden.

3.3.3 Informatiesystemen

Om beheer en onderhoud zo goed mogelijk te kunnen plannen en uitvoeren, spelen technische gegevens en kosten een belangrijke rol. De meetgegevens moeten gestructureerd worden opgeslagen in een technisch beheersregister. Er zijn dan ook verschillende informatiesystemen ontwikkeld die bijdragen aan het overzichtelijk maken van planning en budgettering van het onderhoud en een kostenbesparing op het onderhoud kan worden gerealiseerd.

TISBO

Binnen Rijkswaterstaat is men bezig met het ontwikkelen van een informatiesysteem voor zowel Droog als Nat ter ondersteuning van het opstellen van de B&O-plannen, TISBO (Technische Informatie Systeem Beheer en Onderhoud). TISBO sluit aan bij de door BPN en Wegbeheer gehanteerde beheer- en onderhoudscyclus. TISBO is een informatiesysteem dat bedoeld is om het beheer en onderhoud van kunstwerken, oevers en bodems te ondersteunen en de te ondernemen activiteiten in de toekomst inzichtelijk te maken. TISBO is het instrument om aard en noodzaak van maatregelen inzichtelijk te maken en op basis hiervan een begroting te maken. Daarnaast is men met dit systeem in staat de inspectiemaatregelen en de vaste en variabele maatregelen voor beheer en onderhoud te verwerken in een planning. Deze planning omvat alle activiteiten voor zowel de lange als de korte termijn. Het model dient ter ondersteuning van de medewerkers van Dienstkringen, WED's, Regionale Directies en Bouwdienst in hun werkzaamheden ten behoeve van het beheer en onderhoud van kunstwerken, oevers en bodems.

De eerste versie van TISBO is reeds ontwikkeld. Op dit moment is men bezig met het ontwikkelen van TISBO2 aan de hand van wijzigingsvoorstellen gedaan na TISBO1 om het systeem nog beter aan te laten sluiten op de werkwijze gevolgd door Rijkswaterstaat. Op dit moment wordt er bij de dienstkringen gebruik gemaakt van informatiesystemen DISK (Data Informatie Systeem Kunstwerken), MAATPLAN en TISBO1. De bedoeling is dat in 2003 de gegevens uit al deze bestanden worden omgezet naar TISBO2. Er zal een landelijke implementatie plaats vinden bij alle directies van TISBO2.

GISRATIO

Ook in de Waterschapswereld krijgt onderhoudsmanagement steeds meer aandacht vanwege het feit dat beheer en onderhoud van werken en objecten een steeds belangrijker kostenpost vormen. Door de Universiteit Delft is in opdracht van de STOWA het beslissingsondersteunend systeem GISRATIO (Geografisch Informatie Systeem voor het RATIOneel plannen en begroten van onderhoud in waterbeheer) ontwikkeld. Dit systeem maakt planning en kostencalculatie van onderhoud inzichtelijk en hiermee kan de gebruiker deze evalueren en bijsturen. (Ingenieursbureau BCC, 2002). Het biedt ondersteuning voor het efficiënt en economisch (rationeel) plannen, begroten en evalueren van het onderhoud aan watersystemen (beheer van waterpeilen en door het onderhoud van primaire en secundaire waterkeringen, gemalen, stuwen, sloten, kanalen en reservoirs).

GISRATIO is ontwikkeld met de volgende doelstellingen:

- Het opstellen van een breed gedragen toepasbare systematiek ten behoeve van onderhoudsplannen en –begrotingen.
- Het kunnen doorrekenen van alternatieve onderhoudsplannen.
- Het kunnen vergelijken van alternatieven in de ontwerpfase op basis van te verwachten onderhoudskosten.

Op dit moment wordt het beheer van het systeem uitgevoerd door Ingenieursbureau BCC. Voordat het systeem kan worden geïmplementeerd bij de waterschappen zijn ze op dit moment nog bezig met de laatste pilot. Daarnaast is BCC bezig met het maken van beheerplannen voor het rioolsysteem met GISRATIO voor gemeenten.

JARKUS

Voor de kustlijnhandhaving is er het zogenoemde JARKUS-bestand met daarin kustprofielmetingen die moeten worden vergeleken met de gewenste kustlijn (de zogenoemde Basiskustlijn). Indien er, naast de actuele toestand, ook informatie beschikbaar is over de in de toekomst te verwachten toestand, dan kan beheer en onderhoud zodanig worden gepland dat de bijbehorende kosten zo klein mogelijk zijn.

3.3.4 Keuzemodel Kust- en Oeverwerken³

Voor het ontwerpen van waterbouwkundige constructies heeft Rijkswaterstaat, in samenwerking met het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE), het Keuzemodel Kust- en Oeverwerken ontwikkeld. Het keuzemodel is een ontwerpondersteunendmodel voor de vergelijking van verschillende gelijkwaardige constructies langs en in zee, meren, rivieren, kanalen en kleine wateren. Het model beoordeelt naast de kosten over de gehele levenscyclus ook de milieubelasting van een ontwerpvariant en de landschappelijke, natuur- en cultuurhistorische waarden (LNC-waarden).

In het keuzemodel kunnen door de ontwerper maximaal vier ontwerpvarianten tegelijkertijd worden ingevoerd. Voor de beoordeling van milieueffecten maakt het model gebruik van de LCA-methode (levenscyclusanalyse). Effecten op LNC-waarden worden kwalitatief beoordeeld en kunnen bijvoorbeeld aangeleverd worden door een deskundige. Vervolgens bepaalt het model de effecten van elk van die varianten op het milieu, LNC-waarden, relevante overige aspecten en kosten. Door middel van weegfactoren kan de gebruiker van het model (ontwerper, beslisser, voorlichter) bepaalde accenten leggen op aspecten die relevant zijn bij de keuzen. Op deze wijze wordt op systematische wijze inzicht gegeven in ondermeer milieu-, landschap- en kostenconsequenties en krijgen overige argumenten een zichtbare plaats in het besluitvormingsproces.

De levenscyclusanalyse (LCA) is een gestandaardiseerde methode voor het bepalen van milieugevolgen van producten. Men bepaalt en beoordeelt alle ingrepen in het milieu die optreden bij de winning van grondstoffen, de productie van bouwmaterialen, de gebruiksfase en de afvalverwerking. Waardering van de uitkomsten vindt plaats met de Eco-Indicator '99, het resultaat van een Nederlands-Zwitsers onderzoeksproject. De LNC-aspecten en de door de gebruiker toegevoegde overige aspecten worden beoordeeld met multicriteria-analyse. Er zijn 15 vaste criteria, voor elk criterium wordt gescoord op een 7-puntschaal. De weging tussen de scores is aanpasbaar voor de gebruiker. De kostenaspecten worden bepaald op basis van default aanschaf- en aanlegkosten voor de gebruikte materialen. Eventueel extra materiaal dat gedurende de levensduur voor onderhoud nodig is wordt in de beoordeling meegenomen. Andere kosten voor onderhoud, sloopkosten van een huidige constructie, toekomstige sloopkosten en bijkomende kosten bijvoorbeeld bij de aanleg kunnen handmatig worden toegevoegd. Alle kosten worden vervolgens verrekend op basis van twee methoden: de netto contante waarde en afschrijven en reserveren.

De beoordeling van milieueffecten, die voortkomen uit het materiaalgebruik in de ontwerpvarianten, staat of valt met de juistheid van de gegevens die hiervoor worden gebruikt. Voor veel materialen zijn de beschikbare gegevens gebruikt uit openbare databases. Deze

³ Met name gebaseerd op <http://www.duborws.nl/kennissysteem/projecten/instrumentontwikkeling/>

gegevens zijn niet altijd van gelijke kwaliteit en representativiteit. Daarom worden producenten en leveranciers van materialen uitgenodigd om goede en representatieve gegevens van hun producten aan te leveren.

Het rekenmodel is eenvoudig toegankelijk en op gebouwd in het computerprogramma Excel 2000. Het model is ontworpen voor Directie Zeeland van Rijkswaterstaat. In 2000 en 2001 is het Keuzemodel getest op een tweetal cases: zeeweringen in Zeeland en kribben langs de grote rivieren. Daarnaast is het spreadsheetprogramma verder ontwikkeld en aangepast aan wensen van proef-gebruikers. In Zeeland wordt het model al gebruikt. Op dit moment is het model klaar voor landelijk gebruik en zal het model worden geïntroduceerd bij gebruikers bij de andere regionale directies en waterschappen.

3.3.5 Optimalisatiemodellen

Methodieken om onderhoudskosten te minimaliseren zijn reeds in het begin van de jaren zestig ontwikkeld voor het onderhoud van werktuigbouwkundige en elektrotechnische onderdelen van vliegtuigen, computers, raketten, enz. In deze gevallen werd en wordt er echter vaak vanuit gegaan dat een onderdeel slechts in twee toestanden kan verkeren, namelijk “gefaald” en “niet-gefaald”.

Van de genoemde algemene onderhoudsoptimalisatiemodellen worden, zover bekend, het LVO-model, het KEMA-model en het SPARC-model toegepast in de praktijk. Voor deze modellen is worden nagegaan op welke manier zij gebruikt worden in de praktijk. Opvallend is dat veel modellen die in de praktijk met succes worden gebruikt speciaal worden ontwikkeld voor een bepaalde situatie (casestudies). Hiervan worden in paragraaf 3.6 enkele voorbeelden genoemd.

Het LVO-model van Bouwdienst/HKV

Binnen Rijkswaterstaat wordt het LVO-model zowel gebruikt in de in de droge als in de natte infrastructuur. Voor de droge infrastructuur is het model van dienst bij het samenstellen van onderhoudsstrategieën zowel in de ontwerpfasen als in de gebruiksfase ter ondersteuning van onderhoudsbeslissingen. Voor de natte infrastructuur wordt het LVO-model onder meer gebruikt voor het plannen van onderhoud van kritieke onderdelen. Door Rijkswaterstaat wordt om het beleid te vertalen naar maatregelen het 10-stappenplan gehanteerd (Bouwdienst RWS, 1998). Het LVO-model dient als hulpmiddel bij de invulling van stap 7 en 8 van dit 10-stappenplan:

Stap 7 van het 10-stappenplan luidt: “bepaal het interventieniveau van de kritieke onderdelen”.

Stap 8 van het 10-stappenplan luidt: “ga op bedrijfseconomische overwegingen na wat de invloed van vast onderhoud is op de levensduur van de kritieke onderdelen”.

In de eerste versie van TISBO maakte een voorloper van het LVO-model onderdeel uit van het systeem. Omdat deze voorloper in eerste instantie bedoeld was als onderzoeksgereedschap (in de vorm van een Excel-spreadsheet), bleek dit gereedschap echter moeilijk te koppelen met TISBO1. Op dit moment is het LVO-spreadsheet echter omgezet naar een zelfstandige module, die in principe geschikt is om uiteindelijk in TISBO2 te kunnen worden opgenomen.

Binnen Rijkswaterstaat wordt het model verder toegepast in bepaalde casestudies. Zo is het model gebruikt bij het bepalen van de optimale onderhoudsstrategie van de Oosterscheldekering. Op dit moment wordt het model gebruikt om voor de schuiven van de Haringvlietsluizen voor de lange en korte termijn de beste onderhoudsstrategie te bepalen.

Voor de Dienst Weg- en Waterbouwkunde is het model gebruikt bij het bepalen van kritieke onderdelen van kribben. Onderzocht is of de Netto-Contante-Waarde-model (NCW-model)⁴ of het LVO-model geschikt zijn voor het bepalen van interventieniveaus van de kritiek onderdelen van kribben.

Daarnaast wordt er in opdracht van en in samenwerking met de Bouwdienst nog steeds onderzoek gedaan om de module verder te ontwikkelen. Op dit moment is HKV LIJN IN WATER bezig met het ontwikkelen van een methodiek waarmee een a priori geschat verouderingsproces kan worden gevalideerd en aangepast aan de hand van inspectieresultaten.

TNO-FEL-model

Het model wordt, voor zover bekend, niet binnen Rijkswaterstaat toegepast (volgens medewerkers TNO).

TNO-Bouw-model

Voor zover bekend wordt ook dit model niet toegepast in de praktijk. Wel is het gebruikt als uitgangspunt voor het inspectiemodel van Van Noortwijk, Kok en Cooke (1997).

KEMA-model

De KEMA-modellen worden met name toegepast in de werktuigbouwkundige en de elektrotechnische sectoren. Dit omdat het niet mogelijk is het conditieniveau aan te geven, een onderdeel kan slechts in twee toestanden verkeren, namelijk “gefaald” en “niet-gefaald”. Een voorbeeld van gebruik van het model bij Rijkswaterstaat is bij het maken van een Instandhoudingsplan voor de Oosterscheldekering. Ruim een jaar geleden is voor het elektrotechnische deel van de Oosterscheldekering gebruik gemaakt van een KEMA-model.

SPARC

Het model SPARC is ontwikkeld door SHELL. Het model wordt op dit moment toegepast in de werktuigbouwkundige en elektrotechnische sector. Binnen Rijkswaterstaat is het model toegepast op de werktuigbouwkundige installaties van de Westerschelde oeververbinding. Nog dit jaar (2002) zal de Bouwdienst van Rijkswaterstaat het SPARC-model aanschaffen en zal het model in meer projecten worden ingezet voor het optimaliseren van de werktuigbouwkundige en elektrotechnische installaties.

3.3.6 Case-studies

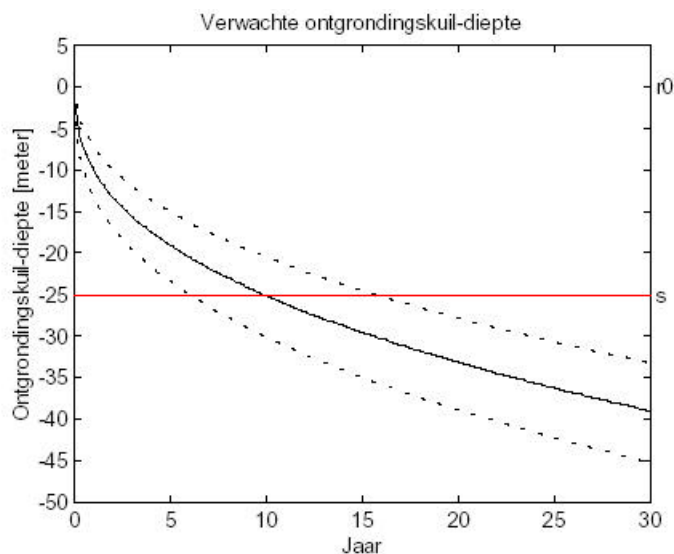
Uit voorgaande blijkt dat het niet altijd eenvoudig is om onderhoudsoptimalisatiemodellen toe te kunnen passen in de praktijk. Wel is het zo dat er modellen zijn ontwikkeld voor één specifieke situatie, een casestudie. De onzekerheid in de veroudering is in deze modellen analoog aan die toegepast in het LVO-model. In onderstaande worden een aantal casestudies kort beschreven.

Inspectie van de blokkenmatten van de Oosterscheldekering

Ten behoeve van het inspecteren van de blokkenmatten van de Oosterscheldekering is er een beslissingsmodel ontwikkeld door HKV LIJN IN WATER.

De blokkenmatten bevinden zich aan weerszijde van de Oosterscheldekering en hebben als doel de geotechnische stabiliteit van de kering te waarborgen door ontgronding te voorkomen. De blokkenmatten kunnen echter zodanig worden beschadigd, dat er toch zand wegspoelt en er ontgrondingskuilen ontstaan. Er moet dan ook regelmatig worden geïnspecteerd door middel van peilingen en SONAR-metingen.

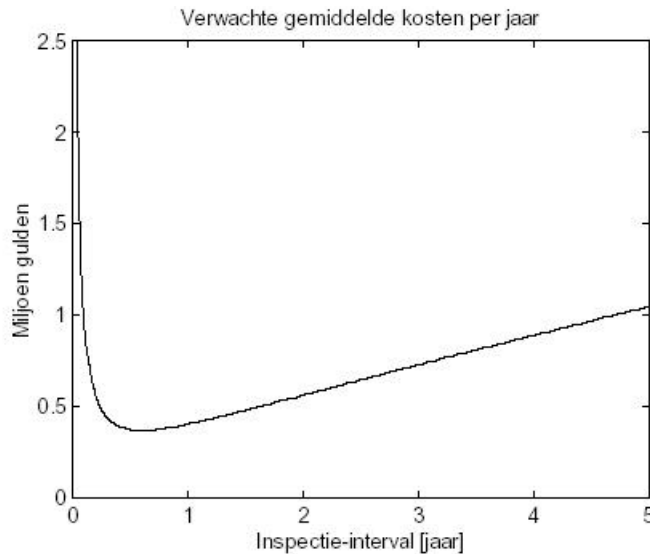
⁴ Het LVO-model is een uitbreiding van het NCW-model.



Figuur 3-2 Stochastisch proces van ontgrondingskuilontwikkeling.

Het bepalen van een kosten-optimale inspectiefrequentie komt neer op het vinden van een optimale balans tussen de kosten van inspectie enerzijds en de kosten van het bestorten van ontgrondingskuilen anderzijds. Hoe groter immers de inspectiefrequentie, des te eerder kunnen ontgrondingskuilen worden gedetecteerd en des te lager zijn de verwachte bestortingskosten, maar des te hoger zijn de inspectiekosten.

Voor het bepalen van een veilige en kosten-optimale inspectiefrequentie heeft HKV LIJN IN WATER een wiskundig model ontwikkeld. Dit inspectiemodel houdt rekening met de onzekerheden in zowel de frequentie van het ontstaan van ontgrondingskuilen als de snelheid waarmee een ontgrondingskuil zich ontwikkelt. Aanvankelijk gaat de ontgroning relatief snel, maar het tempo neemt steeds verder af totdat er een evenwicht is bereikt (zie Figuur 3-2). Vanuit het oogpunt van veiligheid mag een ontgrondingskuil niet dieper zijn dan de zogeheten faalgrens van 25 meter. De kans op het ontstaan van zo'n te diepe ontgrondingskuil in een bepaald tijdsinterval kan met behulp van het inspectiemodel worden uitgerekend en moet kleiner zijn dan de faalkansnorm.



Figuur 3-3 Verwachte gemiddelde inspectie- en bestortingskosten

Volgens het inspectiemodel zijn de inspectie- en bestortingskosten minimaal voor een interval van circa een half jaar (zie Figuur 3-). Mede op basis van dit resultaat heeft de beheerder van de Oosterscheldekering de inspectiefrequentie inmiddels verlaagd van vier maal per jaar naar twee maal per jaar.

Verdere toepassing van het model heeft niet plaats gevonden omdat het specifiek ontwikkeld is voor de blokkenmatten van de Oosterscheldekering.

Overige toepassingen zijn:

- *Onderhoudsmodel voor stranden:* optimale zandsuppletiesgroottes, waarvoor de verwachte gediscoteerde kosten minimaal zijn met betrekking tot de kansverdeling van de structurele achteruitgang van de kustlijn (van Noortwijk & Peerbolte, 2000).
- *Onderhoudsmodel voor dijken:* optimale dijkophogingen, waarvoor de verwachte gediscoteerde kosten minimaal zijn met betrekking tot de kansverdeling van de kruinhoogtedaling (combinatie van zetting, samendrukking van de ondergrond en relatieve zeespiegelstijging). (Jorissen & van Noortwijk (1998) en Speijker et al. (2000)).
- *Onderhoudsmodel voor dynamisch-stabiele golfbrekers:* optimale inspectie-intervallen voor dynamisch-stabiele golfbrekers, waarvoor de verwachte gediscoteerde kosten minimaal zijn met betrekking tot de kansverdeling van de snelheid van het verdwijnen van stenen (het zogenaamde 'langtransport' van stenen). (van Noortwijk & van Gelder (1996)).
- *Onderhoudsmodel voor de steenbestorting van de Oosterscheldekering:* optimale inspectie-intervallen voor de steenbegroting van de Oosterscheldekering, waarvoor de verwachte kosten minimaal zijn met betrekking tot de kansverdeling van de snelheid van het verplaatsen van stenen als gevolg van stroming (van Noortwijk, Kok & Cooke (1997)).

3.4 Praktische beperkingen

Het resultaat van het optimaliseren van beheer en onderhoud (met behulp van modellen en informatiesystemen) kan leiden tot het efficiënter toepassen van beheer en onderhoud. Toch is er nog verder ontwikkeling nodig. In deze paragraaf wordt aan de hand van de gedane inventarisatie beschreven in dit document ingegaan op beperkingen en kennisleemtes.

Informatiesystemen

De doelstelling van de informatiesystemen is de beheer- en onderhoudsactiviteiten te ondersteunen en planning en budgettering in de toekomst inzichtelijk te maken. Aan de ontwikkeling rond de informatiesystemen is te zien dat er steeds meer gezocht wordt naar een eenduidige aanpak. Dit om de gegevens op landelijk niveau met elkaar te kunnen vergelijken.

Nadelen hierbij zijn dat voordat een informatiesysteem als TISBO is ontwikkeld dit enkele jaren zal duren. Vervolgens moet de implementatie landelijk plaats vinden. Hiervoor moet draagvlak worden gecreëerd bij de gebruikers. Daarnaast zijn niet alle gegevens makkelijk te verkrijgen en treden er regionaal verschillen op die niet altijd eenvoudig te vertalen zijn naar de landelijk voorgestelde gegevensset.

Onderhoudsoptimalisatiemodellen

Uit voorgaande blijkt dat de theoretische modellen niet eenvoudig gebruikt worden in de praktijk. Voor specifieke situaties worden aparte modellen ontwikkeld. Daarnaast blijkt ook dat er in de praktijk (de waterbouwkunde) steeds meer interesse is en steeds meer noodzaak is naar het optimaliseren van beheer en onderhoud en het toepassen van modellen. Waarom bestaat er nu een gat tussen theorie en praktijk?

- Het ene onderhoudsprobleem is het andere niet; de vraag naar specifieke onderhoudsoptimalisatie modellen zal dan ook blijven bestaan.
- De concepten voor onderhoudsoptimalisatiemodellen zijn moeilijk te begrijpen voor de mensen uit de praktijk. Voor de gebruiker is het vaak niet duidelijk wanneer welke methode waarom gebruikt kan worden.
- Een van de redenen waarom de beschreven theoretische concepten voor onderhoudsoptimalisatiemodellen niet veel direct worden toegepast in de praktijk is dat deze modellen geen commerciële software zijn, behalve de KEMA-modellen.
- Gegevens benodigd voor het modelleren van het verouderingsgedrag zijn niet of weinig beschikbaar.
- Het uitvoeren van onderhoudsacties is budget gestuurd.

Kortom:

- Een verdere ontwikkelen van de theorie in samenhang met de praktijk is nodig, omdat aan de ene kant de praktische problemen lastiger zijn dat wat in de theorieboeken staat en aan de andere kant men in de praktijk niet weet hoeveel bespaard kan worden door het nemen van beter onderbouwde beslissingen.
- Er is een behoefte aan eenvoudige, praktisch snel bruikbare, maar wetenschappelijk gefundeerde methoden om onderhoud te optimaliseren; ofwel vuistregels moeten af te leiden zijn uit de uitkomsten van theoretische modellen voor gebruik in de praktijk.
- Ontwikkelde modellen/ software raakt snel in de vergetelheid. Binnen een bedrijf is een persoon nodig die deze kennis kan vasthouden.

4 IDENTIFICATIE LCD-VOORBEELDPROJECTEN

De identificatie van voorbeeldprojecten verliep minder systematisch dan was voorzien, enerzijds veroorzaakt door de tijdsdruk die inmiddels was ontstaan door de late opstart van het project en anderzijds door de grotere nadruk die op de onderwerpen uit hoofdstukken 2 en 3 was komen te liggen. Door de verschillende teamleden werd een inbreng geleverd, waarbij weinig tijd voor afstemming was.

Hierna volgt een min of meer integrale rapportage van de identificatie van de projecten.

4.1 Criteria voorbeeldprojecten

Alvorens projecten te selecteren die in de voorliggende studie als casus zouden kunnen worden gebruikt, werden criteria opgesteld.

Uiteindelijk kwamen de volgende criteria als belangrijk naar voren:

- Aansprekend en bij voorkeur actueel
- Eenvoudige wijze beschikbaar krijgen van data
- Niet te groot, dwz grote projecten mogen wel maar dan kiezen voor een deel van het project (of een hoger abstractieniveau kiezen)
- Keuze met gevolg voor beheer en onderhoud, dwz vergelijking tussen enerzijds aanleg en anderzijds beheer+onderhoud moet goed mogelijk zijn (alleen optimaliseren beheer+onderhoud niet voldoende)
- (oppervlakte)Watergerelateerde B&O (het gaat immers om het identificeren van kennisleemtes op watergebied)

Deze criteria kunnen als algemene criteria worden gezien.

Specifieke criteria voor deze studie zijn in volgorde van belangrijkheid:

1. een project waarbij tijdens het ontwerp niet of nauwelijks rekening is gehouden met de kosten van beheer en onderhoud en waarmee duidelijk kan worden aangetoond dat voordelen zijn te behalen met LCD;
2. een project waarbij het afstemmen van het ontwerp op beheer en onderhoud veel aandacht behoeft;
3. een project waarbij gezocht wordt naar alternatieven, waarbij ontwerp in relatie tot beheer en onderhoud sterk kunnen verschillen.

4.2 Groslijst voorbeeldprojecten

Van diverse zijden kwamen mogelijke interessante projecten naar voren. Deze zijn hierna aangegeven.

- ❖ bodemverdediging Stormvloedkering Oosterschelde
- ❖ afdekking leidingstraten Zandmaas
- ❖ afslagoevers versus gefixeerde oevers
- ❖ alternatieve kribben versus conventionele kribben
- ❖ natuurvriendelijke vooroevers Lek
- ❖ ‘verloederen’ oevers Noord-Hollands kanaal
- ❖ Eierlandsche Dam Texel
- ❖ Naviduct Enkhuizen
- ❖ 2e Sluis Lith / Sluis Engelen

- ❖ verbreding Twentekanalen
- ❖ rioolwaterzuivering (voor Den Haag in Harnaschpolder)
- ❖ slibdepots (Koegorspolder niet mogelijk in verband met besluitvormingsfase)
- ❖ dijkbescherming
- ❖ waterberging in landelijke gebieden versus versnelde afvoer
- ❖ rivierbedvergroting (afgraven uiterwaarden, aanleg nevengeulen) versus dijkverhoging
- ❖ baggeren
- ❖ de 'Overschelde' (alternatieve hoogwaterberging vanuit de Westerschelde naar de Oosterschelde)
- ❖ Stormvloedkering Nieuwe Waterweg (Maeslantkering)

4.3 Selectie voorbeeldprojecten

Deze voorgaande projecten zijn in meerdere of in mindere mate tegen het licht gehouden. Veel projecten vielen af doordat ze op een of meerdere criteria slecht of niet scoorden. De argumentatie is hierna kort vermeld.

- ❖ **bodemverdediging Stormvloedkering Oosterschelde**
Dit project is destijds een voorbeeldproject geweest van niet-onderhoudsvrij ontwerpen, waarbij enige schade aan de bodemverdediging werd toegelaten, welke indirect kon worden gemonitord (ontgrondingskuilen), welke vervolgens met breuksteen kunnen worden afgestort. Schade aan de bodemverdediging zou met name als gevolg van overschrijding van de stroomaanval of als gevolg van geotechnische instabiliteit optreden. Het project is echter zeker niet meer actueel.
- ❖ **afdekking leidingstraten Zandmaas**
Weinig maatschappelijk voordeel bij het toekomen van meer onderhoud (lees: toepassing van lichtere steenbestortingen) en daarom weinig actueel.
- ❖ **afslagoevers versus gefixeerde oevers**
Is mogelijk interessant en zeker actueel, gezien de veelheid aan oevers die nog natuurvriendelijk als afslagoever zullen moeten worden ingericht.
- ❖ **alternatieve kribben versus conventionele kribben**
Onderhoud speelt een grote rol bij kribben; kan dus interessant zijn. Er zijn echter onderzoeken op dit gebied gaande (waar onder naar functionele onderhoudsparameters), nog geen resultaten, dus moeilijke timing om dit project hierin mee te nemen.
- ❖ **natuurvriendelijke vooroevers Lek**
Het gaat hierbij om de afweging dat laten aanslibben van oevers met vervuild slib wellicht goedkoper is dan afgraven en elders storten. B&O aspect is hier niet erg eenduidig.
- ❖ **'verloederen' oevers Noord-Hollands kanaal**
Dit is een interessant project omdat hierbij het beheerst nalaten van onderhoud van de oevers tot een zekere gecontroleerde 'verloedering' leidt: daarbij wordt op basis van een risico-analyse nagegaan wanneer er moet worden ingegrepen en op welke wijze.
- ❖ **Eierlandsche Dam Texel**
Het gaat hier om een gefixeerde kust-constructie in plaats van zandsuppletie; dit is mogelijk interessant, maar er is twijfel of er voldoende gegevens zijn om de alternatieve zandsuppleties te onderzoeken; verder mogelijk lastig vergelijkbare 'impacts' (aanzanding boven- en benedenstroms) Is mogelijk een interessante case, mits ook het toepassen van zandsuppleties is onderzocht
- ❖ **Naviduct Enkhuizen**
Hier is het B&O vooral gericht op de W&E installaties, dus in die zin is niet een specifiek watergerelateerd project.
- ❖ **2e Sluis Lith / Sluis Engelen**

Voor damwanden en remmingwerken is aandacht besteed aan conservering. Verder is het B&O vooral gericht W&E installaties, dus niet specifiek watergerelateerd.

❖ **verbreding Twentekanal**

Geen beheer en onderhoud in voorontwerp; lijkt weinig nieuwwaarde aan B&O op te leveren.

❖ **rioolwaterzuivering (voor Den Haag in Harnaschpolder)**

Dit onderwerp is niet oppervlaktewater gerelateerd.

❖ **slibdepots (Koegorspolder niet mogelijk in verband met besluitvormingsfase)**

Dit project is eveneens niet oppervlaktewater gerelateerd..

❖ **dijkbescherming**

Dijkbescherming is zeer actueel; het gaat hierbij om dijkverhoging versus rivierverruiming/inunderen; is 'lopende trein' in kader Ruimte voor de Rivier.

❖ **waterberging in landelijke gebieden versus versnelde afvoer**

Dit project is zeer actueel, maar wordt vermoedelijk bij de LCD-analyse weinig concreet.

❖ **rivierbedvergroting (afgraven uiterwaarden, aanleg nevengeulen) versus dijkverhoging**

Is zeer actueel; is echter ook een 'lopende trein'.

❖ **baggeren**

Bij baggerprojecten is niet sprake van nieuwbouw, dus hier niet relevant.

❖ **de 'Overschelde' (alternatieve hoogwaterberging vanuit de Westerschelde naar de Oosterschelde)**

Hoewel interessant vanwege potentiële B&O aspecten (groene verbinding tussen Westerschelde en Oosterschelde) is dit project nog te hypothetisch en te weinig concreet voor een snelle analyse van de LCD status en potentie.

❖ **Stormvloedkering Nieuwe Waterweg (Maeslantkering)**

Dit project is een het boegbeeld als recent groot nederlands waterbouwkundig werk, waarbij naar verwachting ook ruime aandacht is geschonken aan B&O. Hoewel het B&O wellicht ook minder gericht is op het waterbouwkundige deel, is het toch interessant te zien hoe met LCD rekening is gehouden en hoe het is uitpakkt.

Op grond van deze argumentatie zijn twee projecten geselecteerd voor verdere analyse.

- 1) Stormvloedkering Nieuwe Waterweg (Maeslantkering)
- 2) Afslagoevers/natuurvriendelijke oevers

Voor wat betreft de Maeslantkering werd als bijkomend voordeel gezien dat van dit project voldoende kennis aanwezig zou moeten zijn, zodat op een relatief snelle wijze deze analyse zou kunnen worden gedaan.

Bij de afslagoevers werd gedacht aan concrete projecten voor de Zandmaas en het Noord-Hollands kanaal. Bij dit laatste project is via Geodelft navraag gedaan; hieruit bleek echter dat het niet zeker was of de opdrachtgever de gegevens beschikbaar zou willen stellen en verder bleek dat het project stilgelegd was. Daarom is verder gegaan met het project natuurvriendelijke oevers voor de Zandmaas. Voor dit project werd toestemming verkregen van de Directie Limburg om de gegevens voor het LCD-project te mogen gebruiken.

5 ANALYSE TOEPASSING LCD BIJ DE VOORBEELDPROJECTEN

5.1 Stormvloedkering Nieuwe Waterweg (Maeslantkering)

5.1.1 Inleiding

In het kader van het Delft Cluster project Life Cycle Design (LCD) is bekeken in welke mate LCD principes bij de stormvloedkering Nieuwe Waterweg (Maeslantkering) zijn toegepast, om te komen tot identificatie van kennisleemtes op het gebied van LCD.

Aan de beheerder van de stormvloedkering zijn vragen voorgelegd met het verzoek om korte, kernachtige antwoorden (in later stadium kunnen deze antwoorden alsnog worden uitgediept). Deze vragen zijn:

- 1) wat is de *rol* van Beheer & Onderhoud geweest bij het ontwerp
- 2) meer in het bijzonder: wat voor *methoden* zijn toegepast op die punten waarbij de afweging tussen aangepast ontwerp en Beheer&Onderhoud een rol speelde
- 3) werd ook rekening gehouden met *andere zaken in het levensproces* van een object
- 4) tegen welke *typische problemen* is men in dit project aangelopen; of anders geformuleerd: wat waren de *kennisleemtes* in het project.

5.1.2 Antwoorden op de vragen

1) wat is de *rol* van Beheer & Onderhoud geweest bij het ontwerp

Bij de initiële keuze tussen meerdere mogelijke ontwerpen van de stormvloedkering heeft onderhoudbaarheid wel degelijk een rol gespeeld.

In hoeverre Beheer en Onderhoud bij de uitwerking van het gekozen ontwerp een rol heeft gespeeld is de beheerder echter niet bekend, omdat het ontwerp door de aannemerij is uitgevoerd via een Design&Construct contract. Later is het onderhoudscontract hieraan toegevoegd.

De beheerder vindt wel dat beheer en onderhoud een belangrijke rol moeten spelen bij het ontwerp en dat mist hij bij meerdere ontwerpen die gemaakt worden.

2) wat voor *methoden* zijn toegepast op die punten waarbij de afweging tussen aangepast ontwerp en Beheer&Onderhoud een rol speelde

Bij het maken van het onderhoudsdocument is men uitgegaan van de traditionele onderhoudsmethodiek met in het achterhoofd de faalkans.

De bekende onderhoudsmethoden van storingsafhankelijk onderhoud (SAO), toestandsafhankelijk onderhoud (TAO) en gebruiksaafhankelijk onderhoud (GAO) zijn hierop losgelaten.

De onderhoudshandelingen van de componenten zijn gespiegeld aan de onderhoudshandelingen van de leveranciers.

3) werd ook rekening gehouden met *andere zaken in het levensproces* van een object

Met de sloopfase is geen rekening gehouden.

Met vervanging van onderdelen (systemen) is in het onderhoudsplan (ook wel instandhoudingsplan genoemd) rekening gehouden.

4) **tegen welke typische problemen is men in dit project aangelopen; of anders geformuleerd: wat waren de kennisleemtes in het project (ook op te vatten als: 'waar had je eigenlijk meer van af willen weten, maar was dat om de een of andere reden toen niet goed mogelijk)**

De volgende kennisleemtes zijn met name naar voren gekomen bij de overdracht van bouwer naar beheerder.

- De specifieke kennis van de **samenwerking van systemen onderling** maken het moeilijk om een oordeel te vellen over handelingen die met de keringen te maken hebben.
- De **niet-eenduidigheid** van ontwerp en onderhoud in faalkans gerelateerde keringen, maakt het moeilijk beslissingen te nemen die door iedereen gedragen worden.
- De **cultuuromslag** die nodig is om met faalkans gerelateerde keringen te kunnen werken is een groot probleem.

5.1.3 Faalkansen en onderhoud

In een nadere verkenning met de beheerder is getracht nader in te zoomen op de niet-eenduidigheid van ontwerp en onderhoud waar het faalkansbenadering betreft. Een en ander wordt concreter bij de navolgende uitwerking.

Zowel bij ontwerp als bij onderhoud staat de risico-analyse centraal. In de ontwerpfase is de invalshoek top-down gericht. Op hoog niveau wordt een faalkans gedefinieerd welke vervolgens doorvertaald wordt naar verschillende onderdelen, en die weer naar het componentenniveau. Dit leidt tot allerlei betrouwbaarheidseisen en (drie)dubbele uitvoering van onderdelen en componenten.

Het onderhoud daarentegen is veel meer bottom-up gericht. Monitoring vindt veelal op gedetailleerd (componenten-)niveau plaats, waarvan de frequentie o.a. is gebaseerd op de risico-analyse. Bij constatering dat ingrijpen gewenst dan wel noodzakelijk is, zijn de risico's voor het bepalen van het daadwerkelijke ingrijpmoment echter nauwelijks terug te vertalen naar faalkansen op hogere niveaus. Want, waarbij in de ontwerpfase wordt gerekend met een faalkans van een onderdeel of component van bijvoorbeeld 0,1%, is die gedurende het onderhoudsinterval gewoon 100%.

Daarnaast speelt een belangrijke rol dat de ontwerpers specialisten zijn die het ontwerp en de faalkanstheorie door en door kennen. Vanuit die gedachtenwereld is dan ook een *basisdocument faalkansbeheer* voor de beheerder opgesteld. Dit dikke document wordt door de beheerder als 'niet-praktisch' bestempeld. Er wordt niet in aangegeven hoe vaak onderhoud nodig is, hoe langdurig onderhoud mag plaatsvinden in de verschillende jaarseizoenen, en hoe de afweging tussen onderhoud aan componenten moet worden gemaakt om binnen de marges van de faalkansen te blijven. Gevolg is dat de beheerder snel zal terugvallen op allerlei vuistregels over faalkansen die niet overeenkomen met de aannames bij het ontwerp.

Er lijkt hier dus sprake te zijn van een 'gat' in de doorvertaling van de faalkansen naar het concrete onderhoudsbeheer, waarbij afwijkende situaties door de beheerder niet goed kunnen worden terugvertaald naar consequenties voor faalkansen.

5.1.4 Nevenuitkomsten

Door een betrokken deskundige (ir. E. Berendsen) werd er op gewezen dat op een heel ander terrein ook het kostenaspect van belang was bij de stormvloedkering Nieuwe Waterweg. Dit betrof namelijk het sluitpeil van de kering (zie bijlage: potentiële schade als gevolg van overstroming?).

Voor het vaststellen van het sluitpeil van de kering is namelijk ook een kosten-baten analyse uitgevoerd. Deze zoomt dus met name in op het deel “gewenste functievervulling en baten daarvan”, wat ook is onderkend als onderdeel van LCD.

Ten aanzien van dit onderdeel zijn echter nog geen kennisleemtes vastgesteld. Het staat ter discussie of dit wel een interessegebied is in het kader van LCD.

5.1.5 Conclusies

- a) Meer betrokkenheid van de uiteindelijk beheerder in de ontwerpfase zal er waarschijnlijk toe leiden dat vanuit LCD gezien niet de ‘verkeerde’ ad-hoc afwegingen worden genomen in de B&O-fase, maar dat B&O afwegingen geplaatst worden in een LCD-kader;
- b) De afweging tussen verschillende typen onderhoud met in achtneming van de faalkansen duidt erop dat voor de onderhoudsfase alle gevolgkosten worden meegenomen (dus toepassing van het LCD onderdeel: “kosten (schade) door functieverlies tijdens falen (uitval) of onderhoud”);
- c) LCD lijkt niet volledig te zijn toegepast doordat de sloopfase niet is meegenomen;
- d) De onderlinge invloed van systemen (componenten) op elkaar maakt afwegingen op gebied van beheer en onderhoud lastig. Dit zal waarschijnlijk nog sterker spelen als ook de variatie in mogelijke ontwerpen moet worden meegenomen zoals bij toepassing van LCD;
- e) Bij ontwerp lijkt op een andere manier met faalkansen te worden omgesprongen dan bij onderhoud;
- f) Er is ook een cultuuromslag nodig om op een andere manier tegen ontwerpen en beheren aan te kijken (of het nu gaat om faalkansen zoals in het voorbeeld, of om LCD meer in het algemeen).

5.2 Natuurvriendelijke oevers

5.2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het (ontwerp)proces behandeld dat de laatste jaren bij Rijkswaterstaat Directie Limburg is gevolgd om te komen tot realisatie van natuurvriendelijke afslagoevers langs de Zandmaas. Dit proces houden we tegen het licht van de Life Cycle Design (LCD) methode en op basis hiervan bekijken we in welke mate LCD principes in het verleden zijn toegepast. Op basis daarvan identificeren we de kennisleemtes en komen we tot aanbevelingen voor LCD-toepassingen.



Figuur 5-1 karakteristieke steilranden

Achtereenvolgens gaan we in op de volgende zaken:

- Historische beschrijving. Een globale beschrijving van het proces tot de uiteindelijke realisering van de natuurvriendelijke afslagoevers.
- Relevante aspecten van LCD in relatie tot de natuurvriendelijke afslagoevers. In dit onderdeel wordt ook ingegaan op kennisleemtes.
- Tenslotte conclusies en aanbevelingen.

Een belangrijk hulpmiddel bij de beschrijving van het afslagproces is een (eenvoudig) oeverafslagmodel dat WL |Delft Hydraulics voor de Directie Limburg heeft ontwikkeld. Bijlage D geeft een beschrijving van dit model.

5.2.2 Historie

jaren voor '60

De oevers van de Zandmaas zijn veelal onverdedigd. Waarnemingen langs de Maas (Brink & Rovers, 1999) tonen aan dat oeverdegradatie optreedt. Bij zandige oevers blijkt dit soms zelfs meer dan 3 m/jaar te bedragen. De toename van de scheepvaart en het beschermen van landseigendommen noodzaakt tot het verdedigen van de Maasoevers. Uit onderzoek (Brink & Rovers, 1999) is naar voren gekomen dat het garanderen van een veilige vaargeul en een profiel dat voldeed aan het rivierverbeteringsplan hoofdmotief was voor het aanbrengen van de oeververdedigingen.

Om de Maas het hele jaar door geschikt te maken voor de scheepvaart zijn in de jaren '20 stuwen aangelegd. Hierdoor verdween de natuurlijke dynamiek van de Maas en nam oevererosie, met name bij hoogwaters, grote(re) vormen aan.

jaren '60 - '90

Oeverbeschermingen worden aangelegd. Veelal wordt hiervoor breuksteen gebruikt met daaronder een grindlaag. Op een aantal locaties zijn ook puin, slakken, beton en dergelijke als beschermingsmateriaal toegepast. Benedenstrooms van stuwen is door hogere stroomsnelheden de verdediging zwaarder uitgevoerd dan bovenstrooms van de stuwen.

jaren '90 - '00

Het belangrijker worden van milieu en ecologische aspecten enerzijds, en het meer aan zich zelf overlaten van het riviersysteem, leidt er toe dat in Limburg oeververdedigingen worden verwijderd of specifiek natuurvriendelijke oevers worden aangelegd.

Een onderscheid wordt gemaakt tussen natuurvriendelijke en natuurlijke afslagoevers. De natuurvriendelijke afslagoevers worden afgegraven en gedeeltelijk beschermd. Ze zijn herkenbaar aan de flauwe helling richting maaiveld. Bij natuurlijke afslagoevers wordt niet afgegraven en door natuurlijke oeverafslag ontstaan, voor de Maas karakteristieke, steilranden. De huidige vooroeverbescherming wordt weggehaald maar verder is de mens terughoudend. Beide typen oevers kennen hun eigen specifieke flora en fauna.

Voor de Zandmaas is als streefbeeld (waar mogelijk) de oude natuurlijke situatie gekozen. Via vrije erosie van de oevers zal de rivier zich geleidelijk en op een natuurlijke wijze verruimen. Anders gezegd wordt de riviervddieping geleidelijk omgezet in riviervbreiding. Er zal zich een flauw(er) vooroeverstrand ontwikkelen waarbij er een geleidelijke overgang van aquatische naar terrestische leefvormen kunnen gaan ontwikkelen. Anderzijds ontstaan bij vrij eroderende oevers specifieke steilranden.

Naast het feit dat door natuurlijke afslagoevers meer ruimte aan de rivier wordt gegeven, en het dus bijdraagt aan hoogwaterbescherming, wordt in eerste instantie met de natuurlijke afslagoevers beoogd ecologische verbindingzones te creëren, d.i. een aaneengesloten lint van oevers die uitwisseling van planten en dieren mogelijk maakt. In de visie van de Maaswerken streeft men via de ontwikkeling van de oeverstroken de volgende doelen na:

- Creëren van een ecologische corridor en oeverhabitat
- Riviervddieping op natuurlijke wijze om zetten in verbreding
- Creëren van ruimte voor toekomstige toename van rivierafvoeren
- Mitigatie van het verlies aan rivierdynamiek door verdieping van de Zandmaas.

Om vrije erosie mogelijk te maken zijn (of worden) oeverstroken aangekocht.

Binnen het project de Maaswerken vormen de natuurvriendelijke afslagoevers een onderdeel van het basisalternatief 1 en 2 als het Meest Milieuvriendelijk alternatief van Maaswerken. De natuurlijke afslagoevers zijn opgenomen in het Combinatiealternatief. Keuze van een alternatief houdt derhalve ook keuze van een oevertype in.

5.2.3 LCD bij natuurvriendelijke afslagoevers langs de Zandmaas

In principe komt LCD neer op het bij ontwerp rekening houden met alle kosten en baten gedurende de gehele levenscyclus (zie hoofdstuk 2), te weten:

- kosten van aanleg en eventueel grondaankoop;
- kosten van onderhoud en eventueel renovatie, en van inspectie;
- gewenste functievervulling en baten daarvan;
- kosten (schade) door functieverlies tijdens falen (uitval) of onderhoud;
- kosten van eventueel benodigde aanpassingen aan veranderende omstandigheden;
- kosten van verwijderen van het object aan het eind van zijn levensduur.

Hierdoor kunnen zowel verschillende ontwerpen tegen elkaar worden afgewogen als investeringen optimaal aan bepaalde levensfasen worden toebedeeld.

Voor natuurvriendelijke afslagoevers spelen hier voornamelijk investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten. Anderzijds kan sprake zijn van baten in termen van hogere ecologische waarden, hogere belevingswaarden en grotere veiligheid (rivierverruiming).

5.2.4 Ontwerp en relatie met onderhoud en beheer

In het kader van de trajectnota MER is onderzoek uitgevoerd naar het ontwerp van natuurvriendelijke afslagoevers. In IWACO (1998) worden voor twee locaties een viertal

basisontwerpen natuurvriendelijke afslagoevers tegen elkaar afgewogen in termen van ecologische, hydraulische en morfologische effecten. Dit zijn:

1. Een steilrand oever met taludverdediging tot ca. 1 m onder stuwpeil.
2. Een steilrand/zandstrand oever met aanliggende oeeververdediging net boven stuwpeil (volgens WNF/natuurmonumenten).
3. Een verlaagde weerd (ca. 2 m onder stuwpeil) zonder vooroeeververdediging en vrij erodeerbaar.
4. Een verlaagde weerd (ca. 2 m onder stuwpeil) met maximale strookbreedte van 100 m inclusief vooroeeververdediging.

De oevers in bovenstaande ontwerpen zullen alle in meerdere of mindere mate eroderen. Het rapport spreekt hierover geen waardeoordeel uit, maar duidelijk blijkt dat de voorspelling van de mate van oeevererosie een zeer bepalende factor is en dat de oeeverafslagvoorspelling met zeer veel onzekerheden is omkleed. Verder wordt geen melding c.q. gebruik gemaakt van een kosten-baten afweging.

In zijn algemeenheid is de relatie tussen ontwerp en beheer en onderhoud bij afslagoevers complex:

- Natuurvriendelijke en natuurlijke afslagoevers worden aangelegd om de ecologische kwaliteit van water en oevers te verbeteren. Soms worden er ook andere doelen mee gediend. De streefbeelden, die voor de ecologische kwaliteit worden gehanteerd, zijn evenwel niet eenduidig. De streefbeelden veranderen in de tijd als gevolg van toenemend eco-hydro-morfologisch inzicht en veranderende maatschappelijke voorkeuren.
- Bij een bepaald streefbeeld past een ontwerp. Na uitvoering van het ontwerp is beheer nodig. Als het streefbeeld direct met het ontwerp wordt bereikt kan beheer/onderhoud nodig zijn om het streefbeeld vast te houden. Als de aanleg niet meer betekent dan een start voor het bereiken van het streefbeeld moet beheer/onderhoud ertoe bijdragen dat dit streefbeeld in de loop van de tijd wordt bereikt.
- De ecologische ontwikkeling bij natuurvriendelijke en natuurlijke afslagoevers is sterk afhankelijk van de lokale condities. Het streefbeeld moet op deze condities worden afgestemd. Gebrek aan kennis over het (natuurlijke) gedrag van deze oevers, de betekenis daarvan voor de ontwikkeling van de gewenste ecologische kwaliteit en veranderende maatschappelijke voorkeuren leiden ertoe dat (nog) geen eenduidige relatie kan worden vastgesteld tussen enerzijds het ontwerp en anderzijds beheer en onderhoud. Afwegen van meer/minder kosten bij het ontwerp tegen minder/meer kosten van beheer en onderhoud is daardoor soms niet goed mogelijk.

5.2.5 Kosten-baten analyse

De kosten van het ontwerp van natuurvriendelijke en natuurlijke afslagoevers zijn niet eenduidig te bepalen. Dat bemoeilijkt het uitvoeren van een kosten-batenanalyse en het afwegen van de kosten van aanleg tegen die van beheer en onderhoud:

- Afgezien van de kosten van aanleg van de oevers en de kosten van verwijderen van vooroevers en oeeververdediging moet grond worden aangekocht. Omdat het afslaggedrag van de oever niet goed bekend is is ook niet precies aan te geven hoe breed de strook grond is die moet worden aangekocht. Verder behoudt grond langs oevers die niet afslaet zijn waarde. Deze grond kan worden gebruikt voor nuttige toepassingen of eventueel weer worden verkocht als de afslag minder ver of snel gaat dan eerst was ingeschat. In dit soort gevallen vormen de uitgaven voor de aankoop van grond geen goede maatstaf voor de kosten.
- Oeverafslag kunnen we tegengaan door maatregelen (vooroeverbescherming). Daardoor nemen de aanlegkosten toe. Maar dan hoeft minder grond te worden aangekocht. Dit heeft ook gevolgen voor (de kosten van) het beheer en onderhoud. Dus biedt dit mogelijkheden

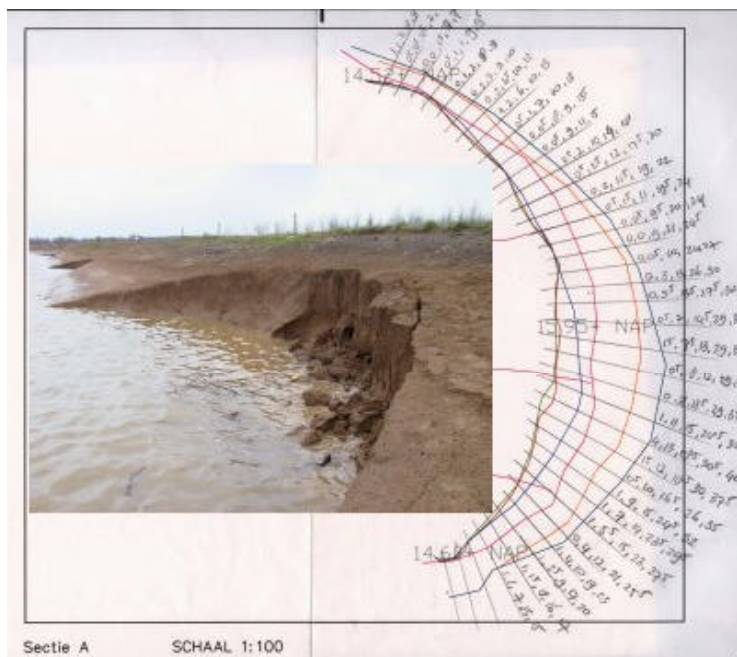
tot kostenoptimalisatie. Maar dit soort maatregelen heeft tevens gevolgen voor de ecologische kwaliteit die (op termijn) kan worden gerealiseerd. Een eventueel mindere ecologische kwaliteit moet worden afgewogen tegen de kostenbesparingen.

- Het uitvoeren van goede (maatschappelijke) kosten-batenanalyse is vooralsnog moeilijk. Enerzijds zijn de (maatschappelijke) kosten niet altijd eenduidig te bepalen en anderzijds zijn de baten niet goed vast te stellen. De baten zijn afhankelijk van het te realiseren streefbeeld, en de kennis ontbreekt (nog) om de ecologische waarde van de verschillende streefbeelden in geld uit te drukken.

5.2.6 Proefprojecten

Om beter zicht te krijgen op effecten van vrij eroderende oevers zijn bij 7 proeftrajecten de harde oeververdedigingen verwijderd en is circa 1,5 jaar oevererosie toegestaan. In deze periode is gemonitord. De proeftrajecten zijn geselecteerd op basis van de locatiemogelijkheden, m.a.w. daar waar door oevererosie zo min mogelijk negatieve invloed wordt uitgeoefend op aanwezige oeverwerken, kabels en leidingen en archeologische en natuurwaarden. Los daarvan is bij de keuze van proefprojecten aspecten rekening gehouden met:

- de breedte van de oever. Hoe breder de oever is des te aantrekkelijker de corridor voor flora en fauna;
- de (verdere) inrichting van de oever;
- de afstanden tussen de natuurlijke afslagoevers, c.q. natuurgebieden onderling; en
- de toelaatbare verstoring van nabijgelegen bebouwing, wegen en recreatie.



Figuur 5.2: proeftraject vrij eroderende oevers bij Swalmen (baggerbestek 2)

Beheer en onderhoud bij proefprojecten

Aangezien het voorspellen van oeverafslag moeilijk is en gepaard gaat met onzekerheid brengt het verwijderen van de oeververdedigingen risico's met zich mee, doordat op de oever gelegen objecten (bebouwing, wegen, kade, dijken e.d.) worden bedreigd.

Per locatie c.q. traject waar vrije oevererosie wordt toegestaan *zijn veiligheidsmarges en interventieniveaus* vastgesteld. Veiligheidsmarges zijn afstanden tot objecten die vrij moeten blijven als het gaat om oevererosie. Er wordt ingegrepen als een object binnen de veiligheidsmarge (30 m) komt of als de perceelgrens tot op 5 m is genaderd. Het interventieniveau is de mate van oevererosie die toelaatbaar is per traject.

Omdat de grootste oeverafkalving geschiedt bij hoogwater moet er in ieder geval na ieder hoogwater een *inspectie* worden uitgevoerd. De definitie (of de overschrijdingskans) van deze afvoer is niet vermeld. Mogelijk dat dit per hoogwater wordt beslist. Extra inspectie kan worden uitgevoerd daar waar sterke erosie wordt vastgesteld. Als er geen bijzonderheden zijn kan met een maandelijkse inspecties worden volstaan. Inspectie geschiedt door met peilstokken de oeverlijn in te meten. Voorts is voor de eerste 5 jaar een monitoringsplan vastgesteld dat tot doel heeft het proces van afkalving vast te leggen voor wetenschappelijk onderzoek.

De volgende *interventiemaatregelen* zijn mogelijk (opsomming in volgorde van voorkeur):

- (extra) grondaankoop;
- slapende bescherming (ingraven schanskorf op de interventielijn);
- aanbrengen vooroeververdediging; en
- aanbrengen harde oeverbescherming.

Aanleg van een nieuwe verdedigende constructie dient uiterlijk binnen 14 dagen te worden gerealiseerd. Voor noodsituaties kan dit zelfs binnen 2 dagen gebeuren. Hiervoor zou het goed zijn dat er voldoende stortsteen voorradig is.

Kostenafwegingen voor beheer en onderhoud hebben, zoals het nu lijkt, niet plaatsgevonden.

5.2.7 Conclusies en leemtes in kennis

Conclusies

De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- LCD speelde nauwelijks tot geen rol bij realisatie van natuurvriendelijke afslagoevers.
- Afwegingen werden grotendeels gedaan op basis van hydraulische, ecologische of morfologische aspecten.
- Beslissingen ten aanzien van kosten werden veelal gedaan op basis van “dit is te duur”.
- Beheer en onderhoud speelt een belangrijke rol bij natuurlijke afslagoevers.

Voor toepassen van LCD dient het doel (streefbeeld) duidelijk te zijn, alsmede de ontwikkeling van het doel in de tijd. Beheer en onderhoud is nodig om het streefbeeld vast te houden of er toe bij te dragen dat het streefbeeld in de loop van de tijd wordt bereikt.

LCD zou specifiek voor natuurlijke afslagoevers kunnen worden toegepast om uitspraken te kunnen doen over aanleg en beheersaspecten. Zo zou hiermee een (kosten-)afweging gemaakt kunnen worden of en wanneer vooroeververdedigingen worden aangelegd om de oeverafslag te matigen. Hierbij dient dan tevens de inspectiefrequentie te worden meegenomen. Immers afname in de oeverafslag leidt tot een afname van de inspectiebehoefte. Aanlegkosten van een vooroeververdediging zullen dan worden afgewogen tegen de kostenbesparingen op het vlak van de minder benodigde oeverstrookbreedte en de minder frequente inspectie.

Kennisleemtes

De volgende kennisleemtes zijn vastgesteld:

- Het gedrag van oeversystemen is afhankelijk van de lokale eco-hydro-morfologische condities. De kennis is onvoldoende om dit gedrag goed te kunnen voorspellen en de consequenties daarvan (benodigde aankoop van grond, beheer en onderhoud) aan te geven.

Weliswaar is een model beschikbaar, maar de onzekerheden en onduidelijkheden zijn nog groot. Verdere ontwikkeling van het model lijkt gewenst (zie bijlage C).

- De kennis over de ontwikkeling van de ecologische kwaliteit in de tijd (mate van bereiken van het streefbeeld) afhankelijk van de lokale condities is eveneens onvoldoende.
- Niet goed bekend is wat het effect is van mogelijke oeverbeschermingsmaatregelen op de te bereiken ecologische kwaliteit in de tijd. In situaties waarin een bepaald streefbeeld in de tijd niet haalbaar blijkt, weten we niet goed hoe we kunnen overschakelen naar een ander (meestal minder waardevol) streefbeeld en wat daarvan het resultaat zal zijn.
- De kosten van afslagoevers zijn niet eenduidig te bepalen en de relatie tussen ontwerp en beheer en onderhoud is niet helemaal duidelijk.
- Er is weinig inzicht in de relatie tussen inspectiefrequentie en de risico's.
- Er is weinig inzicht in de (schade bij) calamiteiten.

Aanbevelingen

- Uitvoeren van een specifieke toepassing van LCD voor een (eventueel uitgevoerde) natuurvriendelijke afslagoever langs de Maas.

6 IDENTIFICATIE VAN HUIDIGE KENNISLEEMTES

6.1 Kennisleemtes uit LCD inventarisatie

Kennis rondom kosten

Uit de inventarisatie, hoofdstuk 2, blijkt dat de principes van Life Cycle Design wel bekend zijn.

Gedurende de levenscyclus wordt onderkend dat met allerlei (directe) kosten rekening moet worden gehouden (aanleg, onderhoud en inspectie, functieervulling en baten, schade door functieverlies tijdens falen/onderhoud, kosten van aanpassingen, kosten van verwijdering/renovatie).

Daarbij zijn de volgende kanttekeningen te plaatsen:

- In de praktijk worden de kosten van verwijdering/renovatie doorgaans niet impliciet in beschouwing genomen.
- Indirecte kosten en maatschappelijke kosten en baten blijven vaak buiten beeld.
- Voor het volwaardig meetellen van de onderhoudskosten op langere termijn, is de wettelijk voorgeschreven disconteringsvoet (thans 4%) te hoog, omdat buiten 50 jaar het onderhoud nagenoeg buiten 'de horizon' komt te liggen.
- Bij het bepalen van het economisch optimum is van belang de gevoeligheid voor verschuiving van uitgangspunten en randvoorwaarden na te gaan door middel van een gevoeligheidsanalyse.
- Kwantificering van kosten is thans nog vaak een probleem; in de toekomst zal dit met onderhouds-informatiesystemen als TISBO waarschijnlijk sterk verbeteren.

Kennis rondom hulpmiddelen

Ten aanzien van de kennis en hulpmiddelen voor Life Cycle Design lijken er weinig leemten meer te bestaan (uitgezonderd de modellering van rationeel beheer en onderhoud, zie hierna). Wel zou meer aandacht moeten worden gegeven aan de hier vermelde kanttekeningen; hiervoor zal veeleer een cultuurverschuiving nodig zijn dan dat hiervoor aanvullende fundamentele kennis moet worden ontwikkeld. Het vaststellen van een 'sustainable' disconteringsvoet is vooral een politiek issue: het gaat hierbij vooral om de mate van afwenteling van onderhoud en bijvoorbeeld milieu-effecten op komende generaties.

6.2 Kennisleemtes uit het overzicht van methoden voor Rationeel Beheer en Onderhoud

Informatiesystemen en onderhoudsoptimalisatiemodellen voor Rationeel Beheer en Onderhoud worden ingezet voor het efficiënter toepassen van beheer en onderhoud en het ondersteunen van de planning en budgettering ervan (zie hoofdstuk 3).

Bij de informatiesystemen is er een tendens tot meer geüniformeerde systemen, zodat gegevens landelijk kunnen worden vergeleken. De keerzijde is dat dit een langdurig proces is (bijvoorbeeld TISBO) en dat er soms onvoldoende rekening kan worden gehouden met specifieke regionale verschillen.

Geconstateerd wordt dat er een 'gat' zit tussen de toenemende behoefte voor onderhoudsoptimalisatie-modellen (ook in de waterbouwkunde) en de toepassing ervan. De indruk bestaat dat dit vooral wordt veroorzaakt door de volgende beperkingen: problemen zijn vaak heel

specifiek, voor de praktijk zijn de optimalisatiemodellen niet gemakkelijk te begrijpen, de modellen zijn doorgaans niet (commercieel) verkrijgbaar.

Een verbetering van deze situatie zou kunnen worden bewerkstelligd door:

- Verdere ontwikkeling van de theoretische modellen *in samenhang met de praktijk*;
- Betere onderhoudbaarheid en beschikbaarstelling van ontwikkelde modellen;
- Voor de praktijk zouden vuistregels, gebaseerd op wetenschappelijk gefundeerde methoden, moeten worden ontwikkeld;

Dit wordt tijdens de afweging van alternatieven wel meegenomen als kostenpost, dus volgens mij kan deze weg worden gelaten

Een belangrijke kennisleemte zit in het feit dat gegevens benodigd voor het modelleren van het verouderingsgedrag doorgaans niet beschikbaar zijn of niet goed kunnen worden voorspeld. Het blijft daarmee van groot belang dat de kennis van de toestandsverandering van waterbouwkundige systemen verder wordt ontwikkeld.

6.3 Kennisleemtes geconstateerd bij de twee voorbeeldprojecten

6.3.1 Maeslantkering

Bij de Maeslantkering (stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg) kan worden geconstateerd dat de onderhoudbaarheid wel is meegenomen in het ontwerp, maar dat bij de beheerder niet geheel duidelijk is hoe en in welke mate. Dit komt voort uit het niet betrokken zijn geweest van de beheerder bij het ontwerp (op de markt gezet als een Design&Construct contract). Het onderhoudsdocument is gebaseerd op de bekende onderhoudsmethodieken (SAO, TAO en GAO) en lijkt vooral geënt te zijn op de electro-mechanische en harde constructie-onderdelen. Daarmee is een instandhoudingsplan opgesteld, waarin vervanging van systemen is geregeld. In hoeverre de waterbouwkundige componenten, zoals de verdedigingen, de bodemplaten (aanzanding!) en dergelijke zijn meegenomen is niet duidelijk.

Met de sloopfase is geen rekening gehouden

Door de beheerder worden de volgende kennisleemten genoemd:

- Handelingen die met de kering te maken hebben en de doorwerking ervan zijn niet altijd duidelijk als gevolg van het ontbreken van kennis t.a.v. het samenwerken van componenten;
- Er lijkt een 'gat' te zitten in de doorvertaling van de faalkansen naar het concrete onderhoudsbeheer ingeval van afwijkende situaties en omgekeerd;
- er moet nog een cultuuromslag plaatsvinden.

Opgemerkt wordt dat er wel een andere LCD-optimalisatie heeft plaatsgevonden, namelijk die voor het vaststellen van het optimaal sluitpeil voor de kering, met het oog op stremming van scheepvaart enerzijds en wateroverlast in het Rotterdamse havengebied anderzijds.

6.3.2 Natuurvriendelijke afslagoevers

De ontwikkeling van natuurvriendelijke oevers is in hoge mate interessant omdat hierbij een zekere mate van dynamiek van de oevers wordt toegelaten, waardoor het beheer en onderhoud (sedimentatiebeheer, vegetatiebeheer en dergelijke) toeneemt ten opzichte van conventionele harde oeververdedingen. Hierop wordt in hoofdstuk 2, bij de voorbeelden van kosten-baten analyses, nader ingegaan.

Bij het voorbeeldproject van de natuurvriendelijke oevers langs de Zandmaas, waarbij in het kader van de uitgevoerde baggerbestekken een 7 tal proeftrajecten waren ingericht, is de ontwikkeling van de oever gemonitored gedurende circa 1,5 jaar.

Bij het beheer en onderhoud is vooral sprake van ‘beheersing van de oevererosie’. Daartoe zijn veiligheidsmarges en interventieniveaus afgesproken, afhankelijk van de aanwezigheid van objecten en perceelsgrenzen, inspectie-intervallen (na hoogwaters, periodiek per maand en extra inspecties indien gewenst). Eventuele interventie-maatregelen, zoals extra grondaankoop, slapende bescherming, vooroeververdedigingen en harde oeverbescherming worden achter de hand gehouden, maar zijn niet verder uitgewerkt.

Opmerkelijk is dat kostenoverwegingen voor beheer en onderhoud tot dusverre niet in beschouwing zijn genomen.

Het toepassen van LCD is mede onderbelicht gebleven doordat er feitelijk *geen streefbeeld is gedefinieerd*. Daarom kan B&O daar ook niet op worden gericht.

Opgemerkt wordt dat LCD een rol zou moeten spelen bij de afweging van de alternatieven, zoals bij het al dan niet aanleggen van vooroeververdedigingen.

Het voorgaande wordt mogelijk deels veroorzaakt door gebrek aan kennis (zie hierna), maar ten dele is er ook sprake van het eenvoudigweg nog niet in de werkwijze opgenomen zijn van LCD.

Als kennisleemtes kunnen de volgende punten worden genoemd:

- De voorspelling van oeverafslag is nog met veel onzekerheden omgeven; deze toestandsmodellering dient verder te worden verbeterd (hiervoor worden in par. 5.2.4 veel aanbevelingen gedaan);
- Behalve kwalitatieve afwegingen tussen alternatieve oevertypen zijn kosten-baten analyses niet uitgevoerd, mogelijk als gevolg van te weinig inzicht in de kosten;
- B&O wordt te weinig bij het ontwerp meegenomen; toch is dit met name bij natuurvriendelijke oevers van belang omdat hiertussen een sterke interactie bestaat;
- Er is weinig inzicht in de relatie tussen inspectiefrequenties en de risico's;
- Er is tevens weinig inzicht in de (gevolg)schade bij calamiteiten.

6.4 Kennisleemtes bij de aannemers

Bij de aannemerij is door middel van een tweetal interviews een peiling gehouden in hoeverre LCD bekend is en actief wordt benaderd, te weten met de firma Hakkers Werkendam B.V. en Boskalis B.V. (Hydronamic).

Een korte weergave van de interviews is in Bijlage D opgenomen.

Daarbij zijn de volgende conclusies te trekken t.a.v. kennisleemten bij de toepassing van LCD. Deze kennisleemten zijn ter indicatie: aan de hand van de twee interviews kan niet een ‘dekkend’ overzicht van de kennisleemten bij de aannemers worden verkregen.

Beide aannemers geven een verschillende visie geven op de mate waarin LCD wordt toegepast. Dit heeft vooral te maken met het werkgebied van de aannemers: de ene werkt voornamelijk in Nederland, de andere heeft projecten met ‘veel LCD’ vooral in het buitenland.

Beide aannemers geven aan dat rekening houden met de hele levenscyclus bij een project, een logische gang van zaken is. De aannemers geven daar bij aan dat er daarbij geen fundamentele kennisleemten lijken te zijn. Dit komt mogelijk ten dele voort uit een zekere onbekendheid met het gehele levenscyclus-proces, mede omdat de tijdshorizon van onderhoudscontracten doorgaans erg kort is. Bovendien moet deze conclusie mogelijk worden gezien tegen de achtergrond van de ‘natuurlijke houding’ van aannemers dat feitelijk alles kan worden gebouwd. Wél wordt onderkend dat ter aanzien van de praktische uitdetaillering van het onderhoud nog veel onbekend is. Dit laatste veroorzaakt mogelijk een groot risico voor de aannemers dat wordt gelopen wanneer onderhoud ‘over de schutting’ wordt geworpen richting de markt.

Overigens onderschrijven de aannemers de stelling dat meer kennis van de toestand van natuurlijke systemen de haalbaarheid van een uitbesteding van onderhoud doet toenemen en de risico's kan doen afnemen.

De volgende mogelijkheid wordt aangegeven om in Nederland tot aanvaardbare risico's voor onderhoudscontracten van waterbouwkunde systemen te komen: ingeval van Design&Construct&Maintenance zou kunnen worden uitgegaan van een gedegen voorontwerp, waarin bijvoorbeeld maatschappelijke afwegingen en onzekerheden in randvoorwaarden zijn afgekaart. Vervolgens kan de aannemerij, al dan niet geholpen door adviesbureau's, worden betrokken bij de verdere detaillering van het ontwerp via een integrale levenscyclus benadering en een Design&Construct&Maintenance aanbestedingstraject.

Ook kunnen andere aanbestedingsvormen nuttig zijn, zoals 'alliantiecontracten', waarbij expliciete afspraken tussen de deelnemende partijen (inclusief opdrachtgever) over de te nemen risico's worden gemaakt.

REFERENTIES

Referenties bij hoofdstuk 2: Overzicht stand van zaken LCD

Beem, R.C.A. (2001), *Concept TAW-leidraad Kunstwerken, Leidraad voor het ontwerpen van kunstwerken en bijzonfere constructies in waterkeringen*, Bouwdienst Rijkswaterstaat, 19 december 2001

Beem, R.C.A. e.a. (1998), *Richtlijn Waterkerings- en beschikbaarheidseisen, consequenties van eisen aan waterkering, spuien en verkeer te land en te water voor het ontwerp van kunstwerken in de natte infrastructuur*, Bouwdienst RWS & Fugro b.v. & Grondmechanica Delft, september 1998

Bouwdienst Rijkswaterstaat (1995), *Handboek Onderhoud Kunstwerken NI, Waarborgen voor een onderhoudsbewust ontwerp*, juni 1995

Brink, M.B. van den, W.P. Hoogenboom & S.M. Visser (2000), *Wegwijzer Beheerplan Nat*, Rijkswaterstaat Dienst Weg en Waterbouwkunde, publicatienummer P-DWW-2000-026, april 2000

Ent, L. van der (2002), *Integraal ontwerpen en life cycle costing*, COB nieuws, juni 2002, p. 13 - 15

Eijgenraam, C.J.J., C.C. Koopmans, P.J.G. Tang en A.C.P. Verster (2000), *Evaluatie van infrastructuurprojecten, Leidraad voor kosten-batenanalyse*, CPB en NEI

International Navigation Association (INA, 1998), *Life cycle management of port structures general principles*, report of Working Group No. 31 of the Permanent Technical Committee II

Manen, S.E. van (2000), *Ontwerpfilosofie Bouwdienst*, versie 5 van 4 februari 2000, rapport OF-R-00001 van Bouwdienst

Provincies Noord-Holland en Zuid-Holland (NH-ZH, 2001), *Economie van zand en water, Economische aspecten van de Strategische Visie Hollandse Kust*, projectnr. 3137, 8 augustus 2001

Meer, R.W. en W. Schurink (2001), *Natuurvriendelijke oevers: naar een bloeiende toekomst of gaan we nat?*, *Onderzoek naar de kosten van diverse natuurvriendelijke oevertypen*, LEI rapport 4.01.07, november 2001

Nationaal Pakket Duurzaam Bouwen GWW (jaarlijkse update), Nationaal Dubo Centrum, Groothandelsgebouw, Rotterdam.

Piek, R. (2002), *Pilot Noordwijk, Berekening economisch risico*, Provincie Zuid-Holland, februari 2002

Ros, D. (2002), *Verfspuiten of aluminiseren?, keuze uit conserveringssystemen op basis van de netto contante integrale kosten*, Bouwdienst rapport NIO-A-N-200211, versie van 30 augustus 2002

Ruijgrok, E. en B. Burgers (2001), *Kostenanalyse voor acht natuurvriendelijke oevertypen, Studie in het kader van de kosten-baten vergelijking van natuurvriendelijke oevers*, DWW, november 2001

Ruijgrok, E. en N. Vlaanderen (2001), *Sociaal-economische waardering van natuurvriendelijke oevers, Een CVM-studie in het kader van het Beheer Plan Nat*, DWW, juli 2001

Sanders, C.A. (2000), *Life Cycle Costing*, Bouwdienst RWS, oktober 2000

Schrauwers, A. (2002), *Wat kost me zo'n boot . . . ?*, *Een nieuw concept voor wie afhankelijk is van kapitaalintensieve goederen*, Delft Integraal 2002.3 van TU delft, p. 22 - 25

Verlaan, J. en A. Korteweg (2002), *Toekomstbeeld Life-Cycle-Cost Management*, Rijkswaterstaat Bouwdienst en Dienst Weg-en Waterbouwkunde, versie 19 juli 2002. (inclusief achterliggende interviews, opgesteld 4 juli 2002).

Referenties bij hoofdstuk 3: Overzicht stand van zaken rationeel beheer en onderhoud

- Ariëns, E.E., en J.M. van Noortwijk. Nieuwe beheer- en onderhoudsfilosofie Rijkswaterstaat; Multifunctionele benadering als uitgangspunt, *Land + Water*, 38(10):26-29, 1998.
- CUR (Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving) en Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat (Dienst Weg- en Waterbouwkunde en Bouwdienst). Kansen in de civiele techniek; Deel 2: Voorbeelden uit de praktijk, CUR-Publicatie 209, Gouda, 2002.
- De Gooijer, K. en J.M. van Noortwijk. Module Levensduur Verlengend Onderhoud. Functioneel ontwerp. HKV LIJN IN WATER. Lelystad, 2001.
- Dekker, R. en J. M. van Noortwijk. Modellen voor het optimaliseren van onderhoud. *Risicoanalyse en bedrijfszekerheid*, blz. 16-21, Nederlandse Vereniging voor Risicoanalyse en Bedrijfszekerheid (NVRB), 2000.
- Dekker, R. en J.M. van Noortwijk. Beslissingsondersteuning voor civiel onderhoud. *Bedrijfskunde*, 73(2):6-17, 2001.
- Ingenieursbureau BCC. GISRATIO. Een beslissingsondersteunend systeem voor onderhoud. *Het Waterschap*, (5): 250-251, 2002.
- Jorissen, R.E., & J.M. van Noortwijk. Instrumenten voor optimaal beheer van waterkeringen, *Het Waterschap*, 83(1):6-12 & 83(2):42-47, 1998.
- Speijker, L.J.P., J.M. van Noortwijk, M. Kok en R.M. Cooke. Optimal maintenance decisions for dikes. *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, 14:101-121, 2000.
- Van der Loos, R.M.M.. Keuzemodel geeft meer inzicht in milieueffecten, *Land + Water*, 4:42-45, 2002.
- Van Leeuwen, D. en C. van Rijn. Meer aandacht voor onderhoud in het ontwerp biedt veel kansen. *OnderhoudsTechniek & -Management*, 3(5):24-26, 2002.
- Van Noortwijk, J. M. Optimal Maintenance Decisions for Hydraulic Structures under Isotropic Deterioration. Proefschrift, Faculteit der Technische Wiskunde & Informatica, Technische Universiteit Delft, Mei 1996a.
- Van Noortwijk, J. M. Het inspecteren van de blokkenmatten van de Oosterscheldekering, Technisch Rapport BPN3.WM-1-96003. HKV LIJN IN WATER & Bouwdienst Rijkswaterstaat, ProjectBureau Onderhoud Kunstwerken, Utrecht, December 1996b.
- Van Noortwijk, J.M., M. Kok en R.M. Cooke. Optimal maintenance decisions for the sea-bed protection of the Eastern-Scheldt barrier. In R. Cooke, M. Mendel en H. Vrijling, editors, *Engineering Probabilistic Design and Maintenance for Flood Protection*, blz. 25-56. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- Van Noortwijk, J.M. en E.B. Peerbolte. Optimal sand nourishment decisions. *Journal of Waterway, Port, Coastal & Ocean Engineering*, 126 (1):30-38, 2000.
- Van Noortwijk, J.M. en K.D.F. Westenberg. Het LVO-model: achtergronden van een model voor het optimaliseren van levensduurverlengend onderhoud en preventief vervangen. Technisch Rapport PR161.10. HKV LIJN IN WATER & Bouwdienst Rijkswaterstaat, ProjectBureau Onderhoud Kunstwerken. Utrecht, April 1999.

http://www.Ingbcc.nl/html/body_gisratio.html

<http://www.duborws.nl/kennissysteem/projecten/instrumentontwikkeling/>

Referenties bij hoofdstuk 5: Natuurvriendelijke afslagoevers

CUR (1999). Natuurvriendelijke oevers; Belasting en sterkte, Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Directoraat-generaal Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, report 201, Gouda

DWW (2001), Proefprojecten vrij eroderende oevers Zandmaas, W-DWW-2000-070.

Brink, B en I. Rovers (1999), Voorspelling oevererosie Zandmaas. Afstudeerverslag. Hogeschool 's-Hertogenbosch, Utrecht.

IWACO (1998), Trajectnota/MER Zandmaas-Maasroute, Ontwerp natuurvriendelijke oevers, rapport 3361070, januari 1998

Klok, P. e.a. (1999). memo : visie op oevers in het kader van ORB, onderbouwing keuze concentratie oeverstroken, reg. nr. OTB.RIV.NVO-D-99017

Ruijgrok, E. en N. Vlaanderen (2001), Sociaal economische waardering van natuurvriendelijke oevers, Witteveen+Bos, uitgevoerd voor Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, juli 2001

Ruijgrok, E. en B. Burgers (2001). Kostenanalyse voor acht natuurvriendelijke oevertypen, Witteveen+Bos, uitgevoerd voor Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, oktober 2001

Maaswerken (1999), Natuurvriendelijke en natuurlijke oevers, brochure nummer Z-1, februari 1999

Verheij H.J. et al (1994). Oevers begroeid met riet en mattenbies; wisselwerking belastingen en vegetatie, WL | Delft Hydraulics, verslag Q632, Delft

BIJLAGE A: Toekomstbeeld Life-Cycle-Cost-Management

BIJLAGE B: Ontwerpfilosofie Bouwdienst

BIJLAGE C: beschrijving oevertafslagmodel

BIJLAGE C: Beschrijving oeverafslagmodel

In het voorgaande is reeds beschreven dat naast gebrek aan inzicht of toepassing van kosten-baten afwegingen bij toepassing van natuurvriendelijke afslagoevers ook de voorspelling van de mate van oeverafslag bij verschillende typen oevers een zeer belangrijk maar nog moeilijk aspect is.

Dit onderdeel beschrijft globaal de stand van zaken met betrekking tot de huidige (eenvoudige) oeverafslagmodellering.

Tijdpad

Onderstaande tabel geeft een tijdpad met omschrijving van de ontwikkelingen rond het oeverafslagmodel sinds 1994.

tijdstip	Omschrijving	referentie
1994	Onderzoek naar verwijdering harde oeververdediging Maas. Hier wordt al een aanzet gegeven voor het BEM (Bank Erosion Model).	Meulen, T. van der en H.J. Verheij (1994), Verwijdering harde oeververdediging Maas , 1994, WL Q1907, Delft.
1999 – 2000	Samenwerkingsproject WL en RWS-DWW naar de modellering van oeverafslag. Uit deze samenwerking is een formulering voor oeverafslag voortgekomen, die de horizontale oeverachteruitgang koppelt aan de golfaanval (veelal veroorzaakt door schepen).	Verheij, H.J. (2000). Samenwerkingsproject modellering afslagoevers , voortgangsrapportage 1999, WL Q2529, Delft.
2000	Toepassing van de oeverafslagformulering op een traject voor de Maas in het kader van de stage van Gerben de Boer bij RWS-DWW. Hiervoor is een MATLAB model ontwikkeld, waarbij inkomende scheepsgolven, de vooroever bereiken, deels dempen en uiteindelijk de oever aanvallen, hetgeen oeverdegradatie tot gevolg heeft. Afgeslagen materiaal wordt door de rivier afgevoerd.	Boer, G.J. de (2000). Vrij eroderende oevers; De uitwerking van een nieuwe modellering , TU-Delft, Faculteit Civiele Techniek, stageverslag, Delft.
2000	Ontwikkeling van een sediment-balansmodel voor kribvakken langs de Lek (getijinvloed), waarbij het MATLAB model van de Boer (aanvoer van materiaal vanaf de oevers) een belangrijk onderdeel vormde.	Stolker, C. en H.J. Verheij (2000). Gevoeligheidsonderzoek sedimentatie en erosie in kribvakken langs de Lek , WL delft hydraulics, Delft.
2001	Het MATLAB model van de Boer (2000) is enigszins aangepast en gekalibreerd op basis van oeverafslagmetingen langs de Maas (baggerbestek 2).	Stolker, C. en H.J. Verheij (2001). Calibratie van een oeverafslagmodel voor de Zandmaas , WL delft hydraulics, Delft.

Korte beschrijving oeverafslagmodel na Stolker en Verheij (2001)

Met het oeverafslagmodel kan de oeverachteruitgang worden voorspeld als gevolg van de aanval door inkomende scheepsgeïnduceerde golven (zie figuur C-1).

Het oeverafslagmodel bevat de volgende componenten:

A invoergegevens

De gebruiker dient een x-aantal gegevens aan te leveren met betrekking tot karakteristieke waarden van de grond en afkalfsterkte, de afmetingen en kenmerken van de oever en vooroever, eventuele gegevens van aanwezige vooroeverbeschermingen en de lokale afvoer en waterstanden en enkele andere lokale rivierkarakteristieken. Tevens dient de gebruiker de rekenduur (in jaren) aan te geven. Er worden thans tijdstappen van een week gehanteerd.

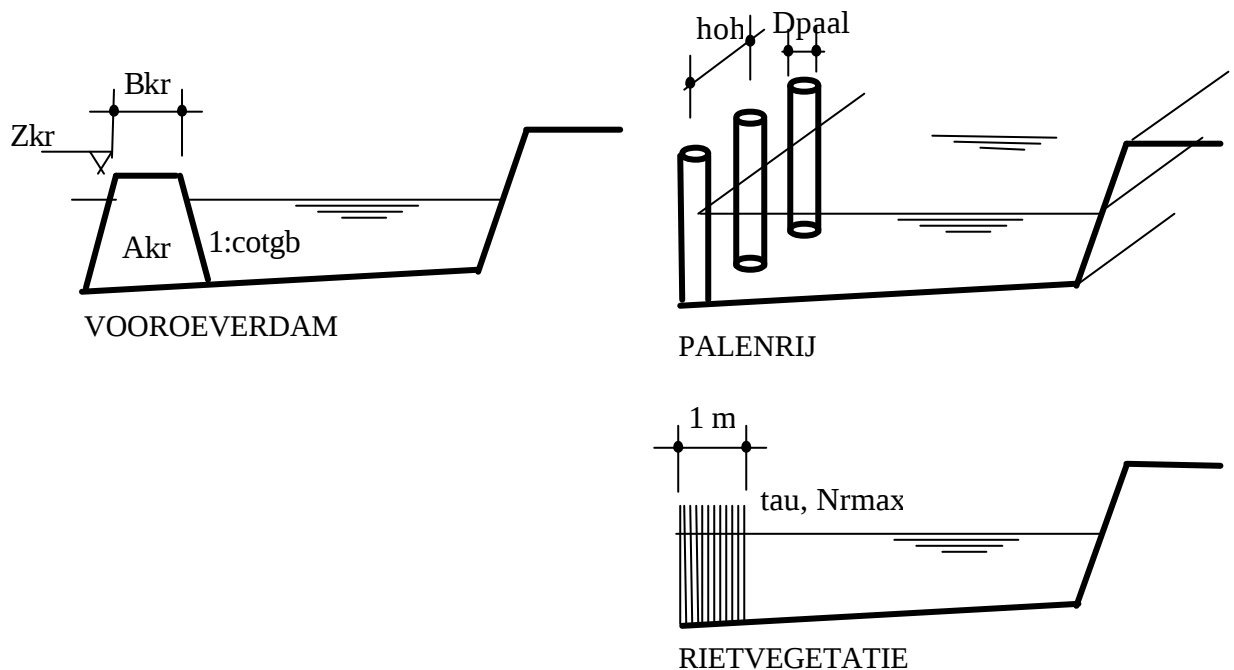


Het model rekent de stroomsnelheid in de hoofdgeul uit, alsmede de waterdiepte op de vooroever.

- Aantal schepen per jaar (1/jaar);
- Aantal representatieve golven per passage (-)
- Representatieve golfhoogte (m)
- Representatieve scheeps lengte (m)

Al naar gelang de door de gebruiker ingezette vooroeververdedigingen zullen de inkomende (scheepsgolven) in meer of mindere mate dempen op de vooroever zelf, door rietbegroeiing, een open (palen) of gesloten (bestorting) vooroeverdam of op kleibrokken die eerder reeds van de oever zijn afgeslagen en op de vooroever waren afgezet. Alle transmissies worden geacht serie-geschakeld te zijn. Thans beschikbare vooroeververdedigingen zijn i) rietkraag ii) vooroeverdam iii) palenrij, zie figuur C-2.

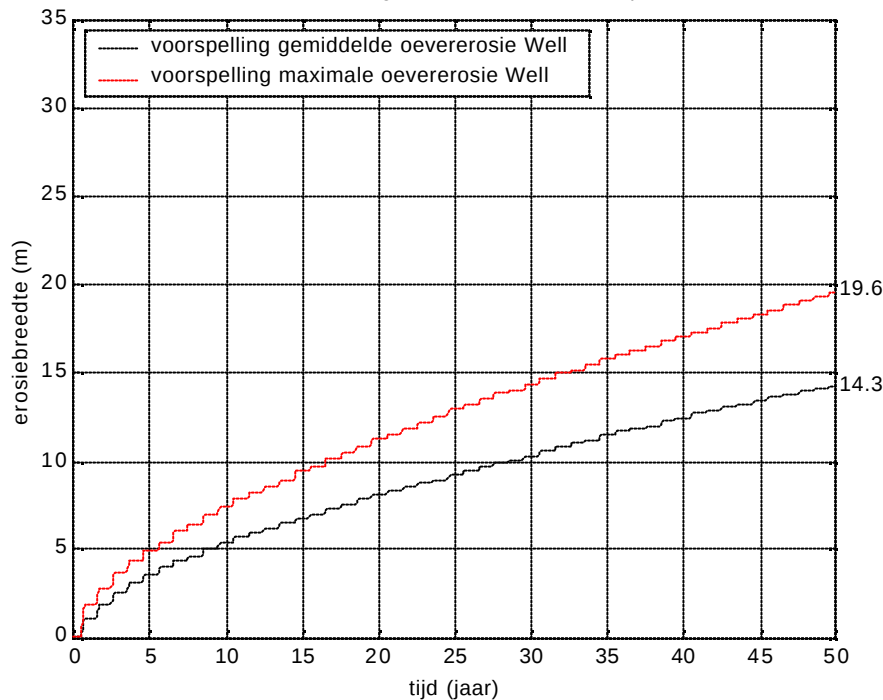
De golven (golfhoogtes) die uiteindelijk de vooroever bereiken slaan tegen de oevers aan en zorgen van afslag van oevermateriaal en een horizontale achteruitgang van de oeverlijn.



Figuur C-2 Beschikbare vooroeververdedigingen in het model

- F Afslag en verspreiding van afgeslagen materiaal over de (ontwikkende) vooroever*
Middels een zgn. washloadfactor wordt bepaald hoeveel materiaal via uitwassing aan de oever wordt onttrokken en hoeveel materiaal cohesief is en als zodanig als brokken op de vooroever terecht komt. Het uitgewassen materiaal wordt gelijkmatig over de aanwezige vooroever verdeeld.
- G afvoer van vooroevermateriaal door stroming*
Op basis van de gemiddelde stroomsnelheid in de hoofdgeul wordt een stroomsnelheid op de vooroever benaderd. Per scheepspassage wordt het op de vooroever afgezette materiaal afgevoerd. Tevens vindt continu transport plaats door stroming langs de vooroever.
- H afvoer brokken*
De op de vooroever liggende cohesieve brokken wordt geleidelijk weggespoeld via een op basis van de snelheid in de hoofdgeul afgeleide afkalfsnelheid.
- I Nieuwe vooroever*
Op basis van het voorgaande wordt het nieuwe vooroeverniveau bepaald, zie ook figuur C-3.

CHlgem=1.7 CHlmax=2.85 cE=0.00015 tga=1:10 Tc=1.5 # schepen=24000 Zvo min=7.4 Zz=10.1



Figuur C-3 Berekende oeverafslag met het model voor een oever bij Well

Verbeterpunten

- Uitgaande scheepsgolfhoogte berekenen i.p.v. hard opgeven
- Bij golftransmissie door de bodem wordt uitgegaan van het bodemniveau aan het begin van de vooroever, terwijl in wezen de hele vooroever in ogenschouw genomen moet worden.
- Bij de transmissie voor riet wordt uitgegaan van een rietstrook van 1 m, waarbij de formulering geen goede breedteindicatie toelaat. Beter is het hierbij over te stappen op de formulering voor rietkraagdemping uit Verheij et. al. 1994.
- De dempingsformule bij vooroeververdedigingen is ontleend aan het CUR-201 handboek (CUR, 1999). Deze formule heeft toepassingsbeperkingen die nog niet goed in het model worden ondervangen.
- De gemiddelde stroomsnelheid in de hoofdgeul wordt vertaald naar een snelheid langs en op de vooroever en langs de steilrand. De vraag in hoeverre deze vergelijkingen adequaat zijn dient te worden onderzocht.
- Het transport van cohesief materiaal wordt geregeld via transportformules voor niet-cohesief materiaal. De vraag is of geen slibtransportformules (lees : andere) toegepast dienen te worden.

Het model bevat ook een merkwaardigheid:

- een op een bepaald niveau vastgelegde vooroever. Er is in het model sprake van een maximale gradiënt in transport. M.a.w. er komt bovenstrooms geen materiaal binnen. Daardoor is dit proces een bron van (bodem) instabiliteit. M.a.w. het proces van sedimentafvoer kan oneindig ver doorlopen, wat uiteraard irreëel is. Dit wordt thans mede gecompenseerd door de vooroever op een bepaald niveau vast te leggen waaronder erosie niet meer mogelijk is.

Tenslotte

- dienen alle gebruikte vergelijkingen nog eens aan een kritische blik onderworpen te worden
- en dient er een gedegen beschrijving van het model te worden gemaakt.

Aanbevelingen voor uitbreiding

Het model bevat bijvoorbeeld nog niet:

- horizontale oeverachteruitgang door afschuring van oevermateriaal door langsstromend water;
- de ontwikkeling c.q. geleidelijk verflauwing van een vooroevertalud tot een evenwicht. M.a.w. het vooroevertalud wordt hard opgegeven en is constant in de tijd.

Verdere mogelijke verbeterpunten

- naast korte golven lange golven in het model laten meetellen (primaire golven (spiegeldaling e.d.) en hoogwatergolven)
- betere beschrijving van het uitgaande transport c.q. een betere beschrijving van de transportgradiënten

Resumé aanbevelingen

- Verbeteren van het oeverafslagmodel met als prioritering:
 - Een gedegen beschrijving van het model.
 - Een betere beschrijving van het uitgaande transport (inbouwen transportgradiënten) c.q. het niet meer hoeven te definiëren van een niveau waaronder geen erosie meer kan plaatsvinden.
 - Horizontale oeverachteruitgang inbouwen door afschuring van oevermateriaal door langsstromend water;
 - De ontwikkeling c.q. geleidelijk verflauwing van een vooroevertalud tot een evenwicht inbrengen.
 - Overstappen op de formulering voor rietkraagdemping uit Verheij et. al. 1994.
 - Ondervangen van de toepassingsbeperkingen van de dempingsformule voor vooroeververdedigingen.
 - Uitgaande scheepsgolven (hoogte, aantal) berekenen
 - Rekening houden met het totale bodemprofiel bij het bepalen van de golftransmissie.
 - Onderzoeken of wijze waarop stroomsnelheid langs en op de vooroever en langs de steilrand thans wordt bepaald juist is.
 - Alle gebruikte vergelijkingen kritisch bekijken.
 - Onderzoek naar de mogelijkheid om voor sommige elementen slibtransportformules toe te passen.
 - Naast korte golven ook lange golven in het model laten meetellen (primaire golven (spiegeldaling e.d.) en hoogwatergolven).

BIJLAGE D: Interviews aannemers

BIJLAGE D: Interviews aannemers

Bij de aannemerij is door middel van een tweetal interviews een peiling gehouden in hoeverre LCD bekend is en actief wordt benaderd.

Hierna volgt de weerslag van deze interviews (met specifieke projecten en vertrouwelijke informatie is dienovereenkomstig omgegaan; het hier gerapporteerde geeft dan ook meer de lijn van het gesprek aan dan dat een feitelijke weergave van het gesprek wordt gegeven).

Interview met ir. A. Hakkers, directeur van Hakkers Werkendam BV

Het interview is gehouden op 12 november 2002 en is afgenomen door ir. G.J. Akkerman.

Aspecten die aan de orde kwamen zijn:

1 Wat is tot dusverre de rol van LCD (B&O) geweest en wat zou het potentieel kunnen zijn

Aangegeven wordt dat B&O heel gangbaar is en kortetermijn-onderhoud is ook een bekend gebied. LCD hóórt feitelijk gewoon meegenomen te worden. Dat het niet altijd gebeurt ligt veeleer aan de vorm van aanbesteding, waar vaak een strikte scheiding ligt tussen bouw en beheer en onderhoud. Thans wel nieuwere vormen waarbij bij de aanbesteding bijvoorbeeld een schatting van de langjarige onderhoudskosten moet worden opgegeven; deze schatting telt dan bijvoorbeeld niet in de prijsvorming mee, maar wel in de kwaliteit van de aanbidding. Nieuwere vormen van B&O, waarbij ook een 'Maintenance-contract' wordt gesloten, zijn nog schaars en ook voor de opdrachtgever vaak nog onwennig (zie verder).

Beheer dient overigens altijd een overheidstaak te blijven waar het primaire en vitale onderdelen van het waterhuishoudkundig systeem betreft (bijvoorbeeld dijken).

2 Is de kennis van Life Cycle Design methoden voldoende

De indruk is dat de kennis op zich voldoende is of zou kunnen zijn; wel is de ene aannemer hier meer op gericht dan de andere. Het volledig door-exerceren van optimaal B&O tot in alle details wordt vaak niet gevraagd en de aannemers worden daar dan ook niet op uitgedaagd. Vaak weet de opdrachtgever niet goed hoe het onderhoud moet worden gekwantificeerd: wat is bijvoorbeeld een 'schoon' en 'vlak' oppervlak: hoever gaat dit? Meer in zijn algemeenheid: voor onderhoud kan een theoretisch model opgezet worden, maar de vraag is hoe je dat in de praktijk kan toetsen. Het gaat vooral om de anticipeerbaarheid van het onderhoud, inclusief vervanging. Het globale beeld is daarbij niet voldoende; belangrijk is vooral de volledige uitdetaillering van het onderhoud. Verder is het bij functioneel onderhoud bijvoorbeeld van belang of er bij het ontwerp is overgedimensioneerd of niet.

3 Is vervanging van het waterbouwkundig werk wel integraal meegenomen

Als voorbeeld dient het volgende voorval. Ten behoeve van een aanbesteding voor een onderhoudscontract voor een kanaal-infrastructuurproject (aanstorten oevers, onderhoud meerstoelen, onderhoud bruggen, onderhoud beschoeiingen, baggeren, vrijhouden van vuil) is als alternatief door de aannemer voorgesteld om een minimaal onderhoudsniveau te garanderen waarbij ook de vervanging van de natte infrastructuur (het ging hierbij om niet-vitale infrastructuur) geheel aan de aannemer zou worden overgelaten. De overheidsdienst wilde dit echter niet aan omdat als principe gold dat het besluit over vervanging bij de dienst zelf zou moeten blijven. Het gevolg is dat een onderhoudscontract in de markt is gezet, waarbij een *minimaal onderhoudsniveau* niet wordt gegarandeerd en zo kan het gebeuren dat bijvoorbeeld meerpalen nog worden geschilderd terwijl ze nagenoeg volledig verrot zijn.

4 Wat zijn typische problemen

Er zijn twee belangrijke problemen:

- Het eerste probleem zit in de mogelijke **risico-afwenteling** vanuit de overheid naar de markt; met name bij een integraal ontwerp- en aanbestedingstraject is dit een punt van aandacht en moet ervoor worden gewaakt dat de overheid de risico's eenvoudig 'over de schutting' gooit. De overheid heeft zijn eigen verantwoordelijkheid ten aanzien van de (politiek-maatschappelijke) randvoorwaarden en dergelijke. Praktisch gezien kan de 'knip' vaak worden gelegd bij het *voorlopig ontwerp*, dat door of onder regie van de overheid tot stand moet zijn gekomen: met het voorlopig ontwerp kunnen de risico's (bijvoorbeeld ten aanzien van uitgangspunten en randvoorwaarden) goed zijn afgedekt. Het voorlopig ontwerp geeft ook het raamwerk aan voor maatschappelijke wenselijkheid, haalbaarheid, milieu-interactie, en dergelijke. Het detailontwerp kan vervolgens op de markt worden gezet in de vorm van bijvoorbeeld een Design&Construct, al dan niet met (verlengde) onderhoudstermijn.
- Een ander probleem is de **tijdshorizon**: het is voor waterbouwkundige werken doorgaans niet reëel om verder te kijken dan een termijn van circa 5 jaar voor een onderhoudscontract. Dit komt voort uit enkele praktische beperkingen: 5 jaar is al lang met het oog op de *continuïteit van het bedrijf* dat het contract is aangegaan; in 5 jaar kan de *regelgeving* zeer sterk veranderen (bijvoorbeeld bouwstoffenbesluit), de *normen* kunnen veranderen (bijvoorbeeld normafvoer) en in 5 jaar kunnen de *maatschappelijke 'issues'* sterk zijn verschoven. Daarmee wordt het risico van het in de markt uitzetten van langetermijn-onderhoud, zowel voor de maatschappij als voor de uitvoerende marktpartij erg groot. De echte onderhouds-problemen komen overigens vaak pas veel later: deze kunnen op deze wijze dus niet goed worden ondervangen en de rol van de overheid blijft hier onverminderd belangrijk.

Samengevat kunnen aan de hand van het interview de volgende punten worden uitgelicht:

- Beheer van vitale infrastructuur dient doorgaans niet te worden uitbesteed, dan wel dient altijd onder regie van de overheid te blijven.
- Bij onderhoudsuitbesteding is er vaak onwennigheid 'aan beide zijden', mede door onduidelijke kwantificering en anticipeerbaarheid van het onderhoud; het handhaven van een minimaal onderhoudsniveau en daarbij het uitbesteden van vervanging van infrastructuur is nog geen gewoengoed.
- Bij vitale infrastructuur dienen de risico's voor de maatschappij en bij aanbesteding voor de markt beperkt te blijven; dit kan bijvoorbeeld door het maken van een voorlopig ontwerp aan de overheid over te laten (dan wel die de regie daarover te laten voeren).
- De grootste beperking bij uitbesteding van onderhoud zit waarschijnlijk in de korte tijdshorizon die voor de markt relevant is: hooguit orde 5 jaar voor waterbouwkundige werken.

Opgemerkt wordt dat het voorgaande vooral de nederlandse markt betreft en dat de bouwfraude zijn schaduwen vooruit werpt: minder mogelijkheid voor intensieve samenwerking, voor innovatieve contracten en voor PPS? In elk geval veroorzaakt de nasleep van de bouwfraude een situatie waarin contacten tussen overheid en markt geminimaliseerd lijken te worden (aanschaffen oplevering en dergelijke).

Interview met ir. S.G. van Keulen, directeur van Hydronamic

Het interview is gehouden op 19 november 2002 en is afgenomen door ir. G.J. Akkerman.

1 Wat is tot dusverre de rol van LCD (B&O) geweest en wat zou het potentieel kunnen zijn

Dit is een bekend aspect. Zo is in Nederland sprake van een 10-jarig onderhoudscontract voor de HSL en zijn wegenprojecten eveneens in PPS-verband uitgevoerd met een 10-jarig contract.

Voor waterbouwkundige werken is het in Nederland nog niet erg bekend. In het buitenland wél: bijvoorbeeld bij de bouw en het onderhoud van golfbrekers en havens. Verder is er sprake van langdurige onderhoudscontracten van kusten (zie verder). Ook voor Nederland zouden hier goede mogelijkheden kunnen liggen in de sfeer van kustlijn-onderhoud, maar de vraag is of de overheid dit uit handen wil geven.

2 Is de kennis van Life Cycle Design methoden voldoende

Dit hangt af van het type constructie. Voor golfbrekers bijvoorbeeld is dit wel het geval, omdat daar heel veel kennis van aanwezig is en schade in zekere mate zelfremmend is. Door een bepaalde vorm van de golfbreker na te streven kan dit zelfremmende vermogen bovendien verder worden versterkt en kunnen daarmee de onderhoudsrisico's worden beperkt. Een ander voorbeeld is kustonderhoud: in Engeland is het onderhoud van een stuk kust in de markt gezet in het kader van een PPS voor een periode van 25 jaar! De kennis van het systeem en van de toestand ervan (goed meetbaar) én de flexibiliteit van het onderhoud (zandsuppletie en beperkte strandhoofdverdediging) is dusdanig dat dit goed werkt.

Voor de nederlandse markt is er geen goed beeld, waarschijnlijk omdat dergelijke uitbestedingen hier niet of weinig worden gedaan.

In het buitenland wordt vaak risico-dragend deelgenomen in het voortraject van bijvoorbeeld een havenproject. Omdat hier altijd financiering aan vast zit, wordt hier bijvoorbeeld een m.e.r.-traject aan gekoppeld. Vervolgens kan het project als een turn-key project worden uitgevoerd. Ook komen daarbij onderhoudscontracten voor (instandhouden standzekerheid, onderhoud fendering en afmeervoorzieningen etcetera). De kennis van LCD lijkt wel voldoende; het gaat veel meer om het klimaat waarin de aannemerij de kans krijgt dit toe te passen.

3 Is vervanging van het waterbouwkundig werk wel integraal meegenomen

Bij kustonderhoud is hier geen sprake van, omdat het, net als bij baggeren, niet om nieuwbouw gaat. Bij golfbrekers speelt dit niet binnen de bouw- en onderhoudstermijn.

4 Wat zijn typische problemen

Een typisch (nederlands) probleem is het keurslijf van wetgeving en vergunningen; zo kan als voorbeeld tijdens een tracébesluit nog heel veel worden afgedwongen, zoals de verdiepte ligging van de HSL.

In het buitenland speelt dit vaak veel minder.

Een ander probleem is dat de partij die ontwerpt (dat kan de markt zijn) de toestands-achteruitgang (die vaak door de overheid wordt gemeten) niet krijgt teruggekoppeld. Een voorbeeld is het meten van zakkingen aan wegen, waar niet de terugkoppeling komt van de langjarige meetdata (die overigens ook niet systematisch zijn geanalyseerd) naar de ontwerpers en hun rekenmethoden.

Een interessante uitbestedingsvorm is het 'alliantiecontract' zoals tussen Boskalis en NS is gesloten voor een spoortraject in Nederland. Daarbij worden afspraken gemaakt over de risico-beheersing en is optimaal ontwerp mogelijk. Een dergelijke 'contract op maat' zou ook interessant kunnen zijn voor de overheid, waarbij deze toch een stukje sturing kan overhouden.