

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat Bouwdienst

**Module**  
**Levensduur Verlengend Onderhoud**  
**Functioneel ontwerp**

Auteurs: Kees de Gooijer  
Jan van Noortwijk



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1-1</b>
1.1	Achtergrond .....	1-1
1.2	Nieuw LVO-model .....	1-2
1.3	Opbouw van het functioneel ontwerp .....	1-2
<b>2</b>	<b>Rekenfuncties</b> .....	<b>2-1</b>
2.1	Bestaande functionaliteit .....	2-1
2.1.1	Model voor vervanging en levensduurverlengend onderhoud .....	2-1
2.1.2	Vervangen zonder levensduurverlenging .....	2-2
2.1.3	Vervangen met levensduurverlenging .....	2-3
2.2	Nieuwe functionaliteit .....	2-6
2.2.1	Intervallen levensduurverlengend onderhoud .....	2-6
2.2.2	Kosten levensduurverlenging als functie van conditie bij ingrijpen .....	2-7
2.2.3	Conditieverbetering als functie van conditie bij ingrijpen .....	2-7
2.2.4	Relatie tussen onzekerheid in veroudering en inspectiefrequentie .....	2-8
<b>3</b>	<b>Invoergegevens en berekeningsresultaten</b> .....	<b>3-1</b>
3.1	Invoer .....	3-1
3.1.1	Opbouw van de schermen .....	3-1
3.1.2	Controles en foutafhandeling .....	3-9
3.2	Berekeningsresultaten .....	3-10
3.3	Uitvoer naar printer .....	3-11
3.4	Bestanden .....	3-12
3.4.1	Programma-instellingen .....	3-12
3.4.2	Invoergegevens .....	3-12
<b>4</b>	<b>Programma-opbouw</b> .....	<b>4-1</b>
4.1	Uitgangspunten .....	4-1
4.2	Communicatie met de gebruiker .....	4-1
4.2.1	Windows-standaard .....	4-1
4.2.2	Help-functie .....	4-1
4.3	Menustructuur .....	4-2
4.3.1	Bestand .....	4-3
4.3.2	Levensduurverlenging .....	4-4
4.3.3	Rekenen .....	4-4
4.3.4	Grafieken .....	4-5
4.3.5	Rapporten .....	4-10
4.3.6	Opties .....	4-11
4.3.7	Help .....	4-11
<b>5</b>	<b>Installatie</b> .....	<b>5-1</b>
<b>6</b>	<b>Technische randvoorwaarden</b> .....	<b>6-1</b>
<b>7</b>	<b>Referenties</b> .....	<b>7-1</b>
<b>Bijlage A:</b>	<b>Opbouw invoerbestand</b> .....	<b>A-1</b>

**Bijlage B: Foutmeldingen .....B-1**

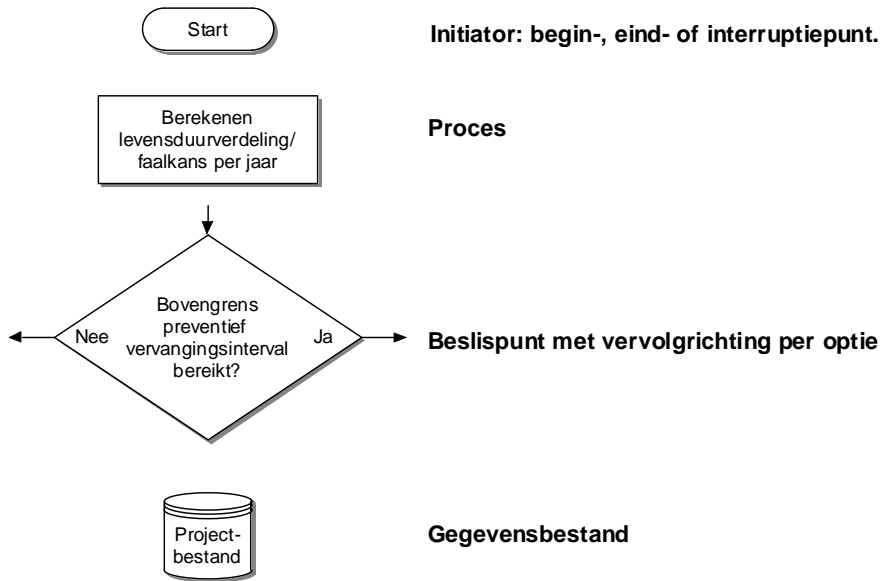
## Lijst van figuren

Figuur 2-1	: Conditie van een onderdeel met preventief interventieniveau en faalniveau.	2-1
Figuur 2-2	: Stroomdiagram voor model zonder levensduurverlenging (NCW-model).	2-3
Figuur 2-3	: Stroomdiagram voor model met levensduurverlenging (LVO-model).	2-4
Figuur 3-1	: Optie voor levensduurverlenging.	3-1
Figuur 3-2	: Het gekozen model.	3-1
Figuur 3-3	: Scherm voor het invullen van gegevens, tabblad ' <i>Algemeen</i> '.	3-2
Figuur 3-4	: Scherm voor het invullen van gegevens, tabblad ' <i>Conditie</i> '.	3-3
Figuur 3-5	: Scherm voor het invullen van gegevens, tabblad ' <i>Kosten</i> '.	3-5
Figuur 3-6	: Extra invoergegevens bij keuze voor model met levensduurverlenging en conditieverbetering onafhankelijk van conditie bij ingrijpen.	3-7
Figuur 3-7	: Extra invoergegevens bij keuze voor model met levensduurverlenging en conditieverbetering afhankelijk van conditie bij ingrijpen.	3-8
Figuur 3-8	: Scherm met berekeningsresultaten (berekening zonder faalkanseis en zonder levensduurverlenging).	3-11
Figuur 3-9	: Scherm met berekeningsresultaten (berekening met faalkanseis en zonder levensduurverlenging).	3-11
Figuur 4-1	: Knoppen voor verkleinen, vergroten en sluiten van een venster.	4-1
Figuur 4-2	: Knoppen voor accepteren en annuleren van informatie.	4-1
Figuur 4-3	: Deel van een invoerscherm met een ' <i>Tooltip</i> '.	4-2
Figuur 4-4	: Help-venster.	4-2
Figuur 4-5	: Menu-indeling.	4-3
Figuur 4-6	: Scherm voor opgeven van directory en bestandsnaam bij opslaan van gegevens.	4-4
Figuur 4-7	: Dialoogvenster bij beëindigen programma.	4-5
Figuur 4-8	: Scherm voor wijzigen van afdrukinstellingen.	4-5
Figuur 4-9	: Verwacht verouderings- en conditieverloop.	4-6
Figuur 4-10	: Kansfunctie.	4-6
Figuur 4-11	: Jaarlijkse en cumulatieve faalkans.	4-7
Figuur 4-12	: Cumulatieve faalkans als functie van de conditie.	4-7
Figuur 4-13	: Faaltempo.	4-8
Figuur 4-14	: Netto-Contante Waarde (zonder levensduurverlengend onderhoud).	4-8
Figuur 4-15	: 3D-plot Netto-Contante Waarde.	4-9
Figuur 4-16	: Contourplot Netto-Contante Waarde.	4-9
Figuur 4-17	: Verwachte conditie bij optimaal levensduurverlengingsinterval.	4-10
Figuur 4-18	: Ondergrens, stapgrootte en bovengrens van de NCW-tabel.	4-11
Figuur 4-19	: Dialoogvenster wijzigen standaardtijdshorizon.	4-11
Figuur 4-20	: Informatievenster.	4-12

## Lijst van tabellen

Tabel 3-1	: Overzicht van algemene gegevens.	3-2
Tabel 3-2	: Overzicht van conditiegegevens.	3-4
Tabel 3-3	: Overzicht van kostengegevens.	3-6
Tabel 3-4	: Overzicht van gegevens voor levensduurverlenging.	3-9
Tabel 3-5	: Overzicht van berekeningsresultaten.	3-10

# Legenda stroomschema's



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

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 de 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 beheerplannen. In deze plannen wordt veel aandacht besteed aan de onderbouwing van het uit te voeren beheer en onderhoud. Hierin wordt het te voeren beleid en de bijbehorende programmering van de maatregelen beschreven. Om het beleid te vertalen naar maatregelen wordt het 10-stappenplan gehanteerd (zie bijvoorbeeld Bouwdienst RWS, 1998).

Als hulpmiddel bij het invullen van het 10-stappenplan is in de periode 1996-1999 in opdracht van het toenmalige ProjectBureau Onderhoud Kunstwerken (PBOK) van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat te Utrecht door HKV LIJN IN WATER het zogenoemde LevensduurVerlengend-Onderhoudsmodel (LVO-model) ontwikkeld. Dit model kan worden gebruikt voor het optimaliseren van zowel levensduurverlengend onderhoud als preventief vervangen. 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. Door middel van vervanging wordt de conditie van een onderdeel teruggebracht tot de beginconditie.

Het LVO-model geeft een nadere invulling aan twee stappen van het 10-stappenplan, te weten Stap 7 en Stap 8. Stap 7 van het 10-stappenplan luidt: "Bepaal het interventieniveau van de kritieke onderdelen". Kritieke onderdelen hebben een grote invloed op het functioneren van het object waar het deel van uit maakt of op de onderhoudsuitgaven. 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".

Het LVO-model is een uitbreiding van het NCW-model. Het eerste model representeert vervanging *met* levensduurverlengend onderhoud, het tweede model vervanging *zonder* levensduurverlengend onderhoud. De onderhoudskosten kunnen in beide modellen met behulp van de Netto-Contante-Waarde-methode (NCW-methode) worden geminimaliseerd. Omdat met name het verouderingsgedrag in de tijd erg onzeker is, is de veroudering in de modellen gerepresenteerd door middel van een kansverdeling.

Ten behoeve van het ontwerp kan met het LVO-model een optimale afweging worden gemaakt tussen investeringskosten (bereiken beginconditieniveau) enerzijds en onderhoudskosten (verlengen levensduur en vervangen) anderzijds. Het onderhoudsmodel is bedoeld voor het definiëren van onderhoudsstrategieën ten behoeve van ondermeer de referentiedocumenten. Verder kan het toegepast worden ter ondersteuning van onderhoudsbeslissingen in het ontwerpstadium, alsmede het opstellen van een Instandhoudingsplan (IHP). Voor de natte infrastructuur wordt het LVO-model ondermeer gebruikt voor het plannen van onderhoud van kritieke onderdelen<sup>1</sup>. Voor de droge

---

<sup>1</sup> Kritieke onderdelen hebben een grote invloed op het functioneren van het object waar ze deel van uit maken of op de onderhoudsuitgaven.

infrastructuur is het model van dienst bij het samenstellen van onderhoudsstrategieën. De doelgroep bestaat voornamelijk uit ontwerpers en beheerders van de Regionale Directies, de Dienstkringen, de Werktuigbouwkundige en Elektronische Diensten van Rijkswaterstaat, alsmede de Bouwdienst en de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat.

## 1.2 Nieuw LVO-model

Het LVO-model is reeds geprogrammeerd in het spreadsheet-programma Excel 5.0. Dit document is het functioneel ontwerp voor het omzetten van het LVO-model van het Excel-spreadsheet (hierna te noemen het LVO-spreadsheet) naar een zelfstandige module (hierna te noemen de LVO-module). De LVO-module zal worden ontwikkeld in Visual Basic 6.0. Deze module zal tenminste over dezelfde functionaliteit beschikken als het LVO-spreadsheet. De potentiële gebruikers van het nieuwe model zijn naast adviseurs ook onderzoekers van de Bouwdienst en DWW. Bij de structuur, opbouw, vormgeving en indeling van het model is hier rekening meegehouden. Dit functioneel ontwerp is opgesteld door C. de Gooijer en J.M. van Noortwijk.

## 1.3 Opbouw van het functioneel ontwerp

Dit functioneel ontwerp beschrijft de te ontwikkelen applicatie '*LevensduurVerlengend Onderhoud*' (LVO). Beginnend met de methodiek wordt per hoofdstuk steeds gedetailleerder weergegeven hoe deze wordt geïmplementeerd in de applicatie.

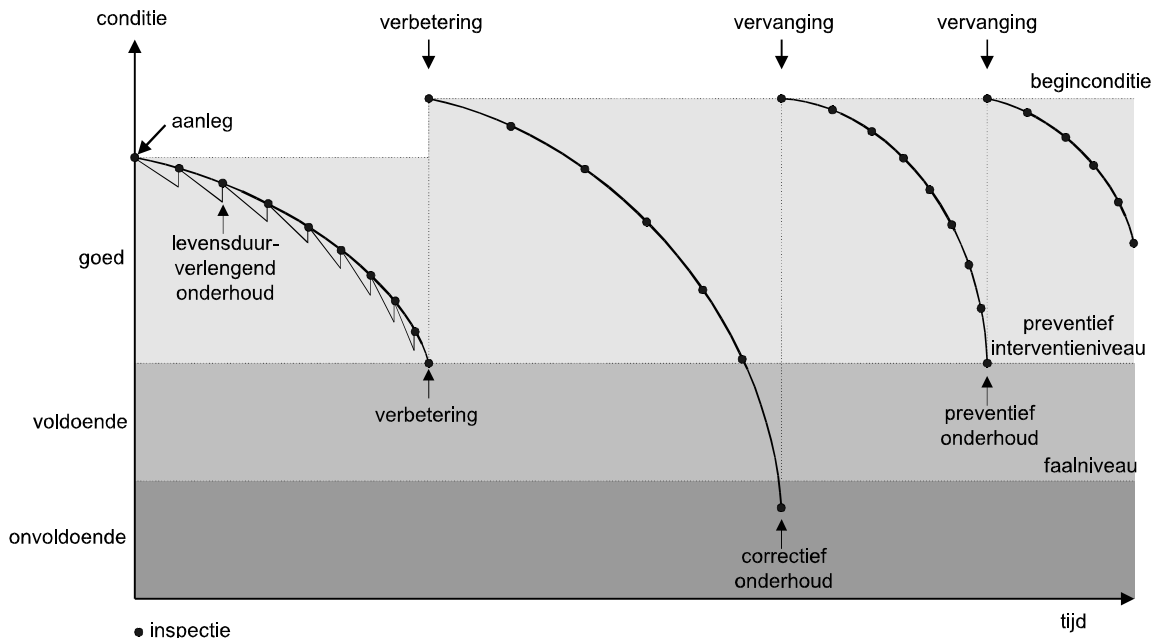
In hoofdstuk 2 is de methodiek van het LVO-model beschreven. Er wordt aandacht besteed aan de bestaande functionaliteit (met en zonder levensduurverlengend onderhoud) en de nieuwe functionaliteiten. Hoofdstuk 3 beschrijft de benodigde invoergegevens met de bijbehorende schermen, de uitvoer en de gegevensbestanden. Hoofdstuk 4 behandelt de structuur van de applicatie. Alle menu-opties worden beschreven. In hoofdstuk 5 wordt aandacht besteed aan de installatie en in hoofdstuk 6 worden meer technische aspecten beschreven.

## 2 Rekenfuncties

### 2.1 Bestaande functionaliteit

#### 2.1.1 Model voor vervanging en levensduurverlengend onderhoud

Met behulp van het LVO-model kan zowel het interval van preventief vervangen als het interval van levensduurverlengend onderhoud worden geoptimaliseerd. Door middel van levensduurverlenging kan de veroudering worden vertraagd en kan de levensduur van een onderdeel worden verlengd. Het smeren van mechanische objectonderdelen en het bijwerken van roestplekjes bij geconserveerde sluisdeuren vallen in de categorie levensduurverlengend onderhoud. Vervanging en levensduurverlenging verschillen in die zin, dat de conditie van een onderdeel bij een vervanging *wel* wordt teruggebracht tot het gewenste beginniveau, terwijl de conditie van een onderdeel bij een levensduurverlenging weliswaar ietwat kan worden verhoogd maar *niet* volledig wordt teruggebracht tot het gewenste beginniveau (zie Figuur 2-1).



**Figuur 2-1 : Conditie van een onderdeel met preventief interventieniveau en faalniveau.**

Het LVO-model kan worden gebruikt voor het optimaliseren van onderhoud in zowel de ontwerpfase als de gebruiksfase. In de ontwerpfase kan een optimale afweging worden gemaakt tussen de initiële investeringskosten enerzijds en de toekomstige onderhoudskosten anderzijds (levenscyclusanalyse). 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. Het kostencriterium van de verwachte gediscoteerde kosten (de Netto-Contante Waarde) wordt gebruikt om verschillende onderhoudsstrategieën met elkaar te vergelijken. Met het LVO-model kunnen optimale onderhoudsbeslissingen worden genomen rekening houdend met de onzekerheid in de veroudering (b.v. het verlies aan staaldikte ten gevolge van corrosie). Het LVO-model is reeds uitgebreid gedocumenteerd in een viertal achtergrondrapporten [van Noortwijk (1996abc) en van Noortwijk & Westenberg (1999)], een

technische documentatie met wiskundige formules [van Noortwijk (1997)], een handleiding [Vrisou van Eck & van Noortwijk (1999)] en een tweetal wetenschappelijke publicaties [van Noortwijk (1998) en Bakker et al. (1999)].

In dit hoofdstuk wordt allereerst ingegaan op de twee belangrijkste rekenfuncties van het bestaande LVO-spreadsheet, te weten 'vervangen zonder levensduurverlenging' en 'vervangen met levensduurverlenging'. Het model met alleen de eerste rekenfunctie wordt ook wel het NCW-model genoemd. Deze twee rekenfunctionaliteiten zullen in zijn geheel worden overgenomen in de nieuw te ontwikkelen LVO-module. Daarnaast zal de LVO-module een viertal nieuwe functionaliteiten bevatten, die aan bod komen in het tweede deel van dit hoofdstuk.

### 2.1.2 Vervangen zonder levensduurverlenging

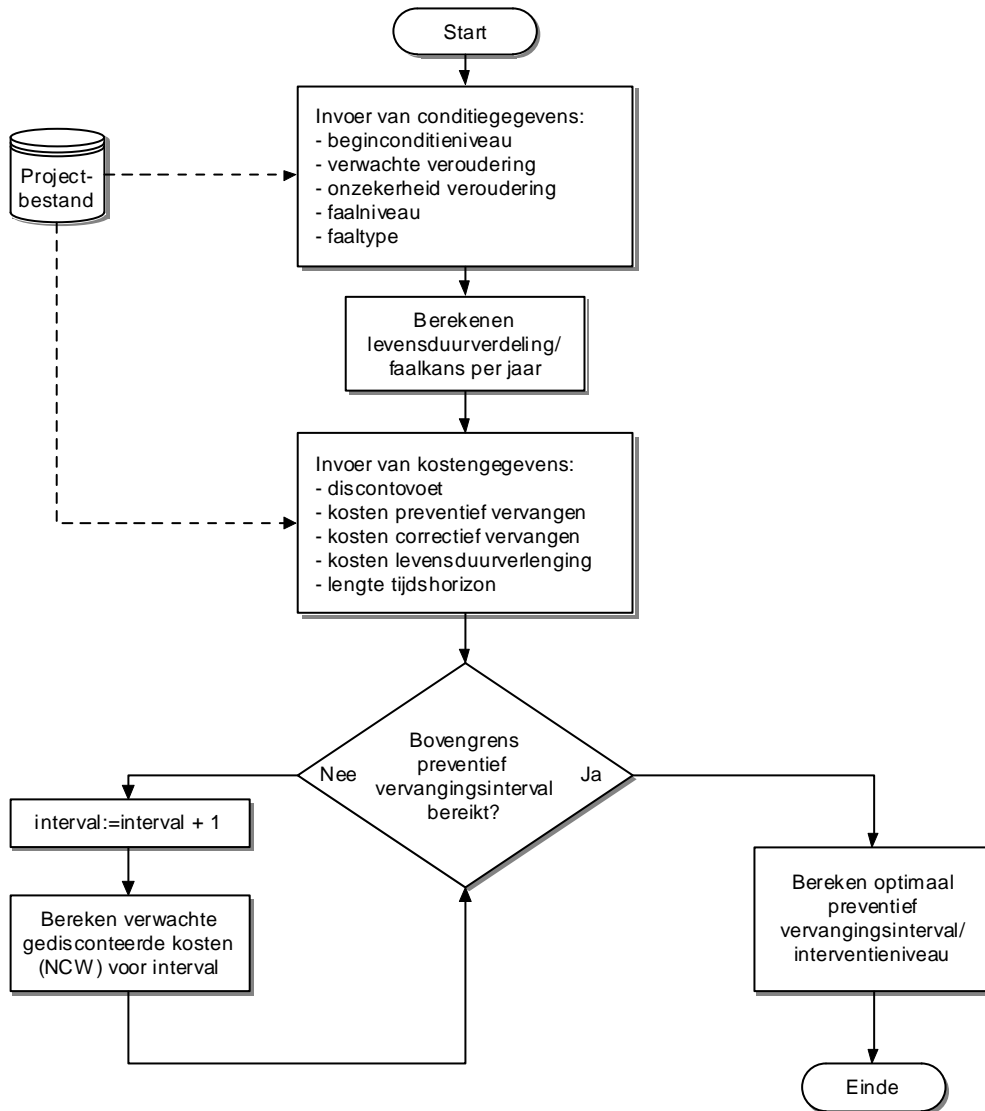
Het rekenhart van het model zonder levensduurverlenging (NCW-model) bestaat in wezen uit het levensduur- en conditiemodel, waarbij het laatstgenoemde model het eerstgenoemde model omvat. Het levensduurmodel is gebaseerd op de onzekerheid in de levensduur (het faaltijdstip), terwijl het conditiemodel is gebaseerd op de onzekerheid in de conditie/veroudering. Hierbij maakt het conditiemodel gebruik van de resultaten van het levensduurmodel in die zin dat in het conditiemodel de onzekerheid in de conditie eerst wordt omgerekend naar de onzekerheid in de levensduur, vervolgens het levensduurmodel wordt toegepast en ten slotte de resultaten van het levensduurmodel weer worden getransformeerd van levensduren naar conditieniveaus (zie stroomdiagram in Figuur 2-2).

Het conditiemodel 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 van belang, waarbij – zoals reeds eerder beschreven – de eerste onzekerheid kan worden afgeleid van de tweede.

Aangezien vervangingen op verschillende tijdstippen kunnen worden uitgevoerd, dient in het model tevens rekening te worden gehouden met de tijdswaarde (contante waarde) van geld. 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. De bovengrens in de diagram is het einde van de tijdshorizon.

Resumerend zijn de invoerparameters van het NCW-model: het beginconditieniveau  $r_0$ , de verwachte veroudering (in de vorm van een machtsrelatie tussen veroudering en tijd:  $c = r_0 - at^b$  met  $c$  de conditie en  $t$  de tijd), de onzekerheid in de veroudering (variatioecoëfficiënt), het faalniveau, de discontovoet, de kosten van preventief vervangen en de kosten van correctief vervangen. De uitvoer van het levensduurmodel is het interventietijdstip waarop preventief moet worden vervangen en waarvoor de verwachte gediscoteerde kosten minimaal zijn. Dit kostenoptimale interventietijdstip kan vervolgens worden omgerekend naar het kostenoptimale interventieniveau. De uitvoer van het conditiemodel is het optimale interventieniveau. Een stroomdiagram van het model zonder levensduurverlenging is weergegeven in Figuur 2-2.

In tegenstelling tot het LVO-model, kan het NCW-model rekenen met zowel een eindige als een oneindige tijdshorizon. Het gebruik van een eindige horizon heeft bij een gangbare discontovoet van 4 à 5% alleen zin als de tijdshorizon kleiner is dan 50 jaar. Bij een langere tijdshorizon worden de kosten goed benaderd met een oneindige horizon; dit komt door de toepassing van de discontofactor. Hoe verder in de toekomst bepaalde kosten worden gemaakt, des te minder tellen ze mee in het totaal van de kosten. Omdat er bij een eindige tijdshorizon rekening moet worden gehouden met een langere rekentijd, zal er (indien nodig) zichtbaar zijn hoe ver de berekeningen gevorderd zijn. Een eventuele eindige tijdshorizon kan worden ingevoerd in het tabblad 'Kosten', zie Figuur 3-5).

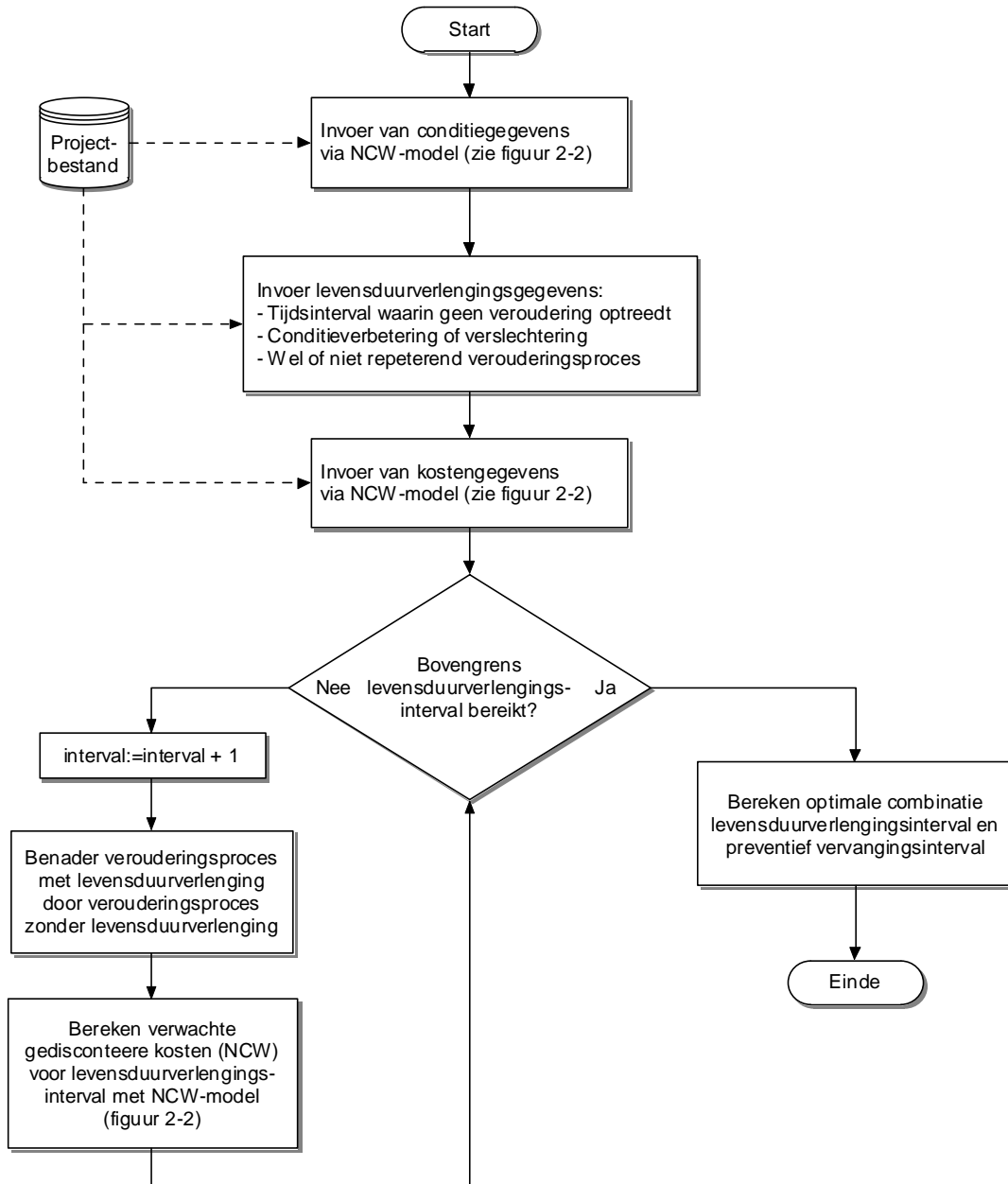


Figuur 2-2 : Stroomdiagram voor model zonder levensduurverlenging (NCW-model).

### 2.1.3 Vervangen met levensduurverlenging

Zoals hierboven reeds aan de orde is gekomen, kan naast preventief onderhoud in de vorm van een preventieve vervanging ook levensduurverlengend onderhoud worden onderscheiden. De vraag is welke frequentie en omvang van levensduurverlengend onderhoud en welke frequentie van preventieve vervanging moeten worden gekozen opdat de verwachte gedisconteerde kosten minimaal zijn? Er dient zo een afweging te worden gemaakt tussen de kosten van levensduurverlengende maatregelen enerzijds en de kosten van vervangingen

anderzijds. Tevens zullen de kosten van preventief vervangen moeten worden afgewogen tegen de kosten van correctief vervangen. Hoe vaker er immers levensduurverlengend onderhoud wordt gepleegd, des te langer wordt falen uitgesteld en des te minder vaak behoeft te worden vervangen. Ook kunnen correctieve vervangingen worden voorkomen door regelmatig levensduurverlengend onderhoud uit te voeren en preventief te vervangen. Voor de gebruiker zijn er dus twee beslissingsvariabelen, namelijk het interval van levensduurverlengend onderhoud en het interval van preventieve vervanging.



**Figuur 2-3 : Stroomdiagram voor model met levensduurverlenging (LVO-model).**

De omvang van een levensduurverlenging is in het LVO-model gekarakteriseerd door een tijdelijke vertraging in de veroudering in de vorm van een tijdsinterval waarin geen veroudering optreedt en/of een conditieverbetering. Daarnaast kan onderscheid worden gemaakt tussen levensduurverlengend onderhoud waarbij de levensduurverlengende maatregel wel of niet van invloed is op de verouderingssnelheid. Zo kan de verouderingssnelheid volledig worden

bepaald door de conditie vlak ná uitvoering van een levensduurverlengende maatregel (“niet-repeterende verouderingssnelheid”) of juist gelijk zijn aan de verouderingssnelheid bij het beginconditieniveau (“repeterende verouderingssnelheid”).

Bij het model met levensduurverlenging (LVO-model) zijn er ten opzichte van het model zonder levensduurverlenging dus drie extra invoerparameters:

- *Tijdsinterval waarin geen veroudering optreedt*: Dit tijdsinterval is de initiatietijd, waarin de conditie gelijk blijft aan de conditie na vervanging of levensduurverlenging. Na het uitvoeren van levensduurverlengend onderhoud, na een vervanging en na de aanvang van de levensduur kan de conditie tijdelijk constant zijn; deze periode is de initiatietijd. Dit treedt op als het betreffende onderdeel een zekere weerstand heeft tegen de conditieafname of als het onderdeel tijdelijk 100% beschermd is tegen conditieafname.
- *Conditieverbetering*: De conditie kan behalve verbeteren ook verslechteren door het uitvoeren van levensduurverlengend onderhoud. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de afname van de staaldikte door het afstralen ten behoeve van het aanbrengen van een nieuwe coating. De levensduur wordt dan verlengd door de invloed van bijvoorbeeld het tijdsinterval waarin geen veroudering optreedt na het uitvoeren van levensduurverlengend onderhoud.
- *Repeterend verouderingsproces*: Als het verouderingsproces repeterend is, is de conditieafname na het uitvoeren van levensduurverlengend onderhoud gelijk aan de conditieafname zoals optreedt vlak na aanvang levensduur of na vervanging. Als dit niet het geval is, dan wordt de verouderingssnelheid volledig bepaald door de conditie vlak ná uitvoering van een levensduurverlengende maatregel (“niet-repeterende verouderingssnelheid”). In het laatste geval is de veroudering gelijk aan het verouderingsverloop zonder levensduurverlenging startend bij de conditie vlak ná uitvoering van een levensduurverlengende maatregel.

Het model voor het bepalen van optimale preventieve interventieniveaus is zodoende uitgebreid met de mogelijkheid van levensduurverlengend onderhoud. Het uitgangspunt is hierbij dat levensduurverlengend onderhoud rechtstreeks ingrijpt op het verouderingsproces van het onderdeel. Hoe vaker levensduurverlengend onderhoud wordt gepleegd, des te langzamer gaat de veroudering en des te kleiner is de verouderingssnelheid. Uiteraard zijn er aan het levensduurverlengend onderhoud ook kosten verbonden, die voor elke levensduurverlenging gelijk worden verondersteld (deze kosten moeten worden ingevoerd in het tabblad ‘Kosten’, zie Figuur 3-4).

Indien er voor levensduurverlenging wordt gekozen zijn er verder nog twee keuzemogelijkheden:

- NCW eenmalig – berekenen van het effect van levensduurverlengend onderhoud op de conditie bij één levensduurverlengingsinterval,
- NCW matrix – berekenen van het effect van levensduurverlengend onderhoud op de conditie bij meer dan één levensduurverlengingsinterval.

Een stroomdiagram van het model met levensduurverlenging, waarbij gekozen is voor de optie ‘NCW matrix’, is weergegeven in Figuur 2-3. De bovengrens voor levensduurverlengingsintervallen wordt nader uitgelegd in paragraaf 2.2.1. Indien de optie ‘NCW eenmalig’ zou zijn gekozen dan moet de programmalus in Figuur 2-3 worden vervangen door een enkele berekening voor precies één levensduurverlengingsinterval. Met betrekking tot de optie ‘NCW matrix’ zij opgemerkt dat het benaderen van het verouderingsproces met levensduurverlenging

door een verouderingsproces zonder levensduurverlenging (in de vorm van een machtsrelatie tussen veroudering en tijd:  $at^b$ ), in principe wordt uitgevoerd door middel van de kleinste-kwadratenmethode<sup>2</sup>. In een beperkt aantal gevallen is deze benadering zelfs exact (bijvoorbeeld bij een repeterend verouderingsproces en bij een niet-repeterend verouderingsproces met levensduurverlenging enkel in de vorm van tijdsintervallen waarin geen veroudering optreedt). Voor de details zij verwezen naar de technische documentatie (van Noortwijk, 1997). De onderhoudsoptimalisatie inclusief levensduurverlengend onderhoud kan alleen worden uitgevoerd bij een oneindige tijdshorizon.

## 2.2 Nieuwe functionaliteit

Ten opzichte van het bestaande LVO-spreadsheet zal de LVO-module de volgende drie nieuwe functionaliteiten bevatten:

- uitbreiding van het aantal mogelijke intervallen van levensduurverlengend onderhoud,
- kosten van levensduurverlengend onderhoud als functie van de conditie bij ingrijpen,
- conditieverbetering bij levensduurverlenging als functie van de conditie bij ingrijpen.

Verder is er onderzocht of het mogelijk is om een eenvoudige relatie te leggen tussen de onzekerheid in de voorspelde veroudering en de inspectiefrequentie. Dit bleek helaas niet mogelijk.

### 2.2.1 Intervallen levensduurverlengend onderhoud

Om de rekentijd niet te veel te laten oplopen is bij de bouw van het LVO-spreadsheet besloten om slechts een beperkt aantal levensduurverlengingsintervallen (namelijk acht) door te rekenen.

De lengte van een levensduurverlengingsinterval wordt als volgt bepaald. De ondergrens is het tijdsinterval waarin geen veroudering optreedt plus het tijdstip waarop de verwachte veroudering gelijk is aan de verbetering door levensduurverlenging (bij een kleiner levensduurverlengingsinterval zal er immers helemaal geen veroudering optreden). De bovengrens is het tijdsinterval waarin geen veroudering optreedt plus het tijdstip waarop de verwachte conditie gelijk is aan het faalniveau (bij een groter levensduurverlengingsinterval heeft levensduurverlenging immers toch geen invloed: het onderdeel is toch al gefaald).

In de te ontwikkelen LVO-module zullen alle levensduurverlengingsintervallen groter dan de ondergrens en kleiner dan de bovengrens met stapgrootte van tenminste één jaar doorgerekend moeten kunnen worden (dat wil zeggen tenminste voor ondergrens + 1, ondergrens + 2, ..., bovengrens-2, bovengrens-1). Omdat de rekentijd van de nieuwe LVO-module naar verwachting aanzienlijk kleiner is dan de rekentijd van het oude LVO-spreadsheet is ervoor gekozen om de verwachte gediscoteerde kosten uit te rekenen voor alle mogelijke levensduurverlengingsintervallen met een stapgrootte van precies één jaar. Via de gebruikersinterface is de stapgrootte van levensduurverlengingsintervallen waarvoor uitvoer beschikbaar is instelbaar. De frequentie van levensduurverlengend onderhoud blijft periodiek.

---

<sup>2</sup> Bij de kleinste-kwadratenmethode wordt de som van de kwadraten van de verschillen van het benaderde en "exacte" verouderingsverloop geminimaliseerd. Op deze wijze komt de benadering zo goed mogelijk overeen met het "exacte" verloop. Als er slechts één punt beschikbaar is om de fit te bepalen dan wordt de parameter  $b$  gelijkgenomen aan de veroudering zonder levensduurverlenging, terwijl de parameter  $a$  wordt opgelost uit de resterende wiskundige vergelijking.

## 2.2.2 Kosten levensduurverlenging als functie van conditie bij ingrijpen

In het LVO-spreadsheet zijn de kosten van levensduurverlenging niet afhankelijk van de conditie bij ingrijpen. In de te ontwikkelen LVO-module zal het in het vervolg mogelijk zijn om deze afhankelijkheid wel te specificeren. De afhankelijkheid tussen de kosten van conditieverbetering en de conditie bij ingrijpen zal worden gespecificeerd op dezelfde wijze als voor de kosten van preventief en correctief vervangen. Deze afhankelijkheid wordt dan gerepresenteerd door middel van een machtsrelatie tussen kosten en conditie:

$K_0 + a(c_{\text{nieuw}} - c_{\text{nu}})^b$  met  $K_0$  de vaste beheerderskosten en  $c$  de conditie.

## 2.2.3 Conditieverbetering als functie van conditie bij ingrijpen

In het LVO-spreadsheet is de conditieverbetering niet afhankelijk van de conditie bij ingrijpen. Net als bij de kosten van levensduurverlenging, zal het in de LVO-module in het vervolg mogelijk zijn om deze afhankelijkheid wel te specificeren. Deze paragraaf geeft antwoord op de vraag welk (eenvoudig) functioneel verband het meest geschikt is voor het kwantificeren van het verband tussen conditieverbetering en de conditie bij ingrijpen.

Stel een onderdeel heeft beginconditie  $r_0$ , faalniveau  $s$  en de conditie is op dit moment gelijk aan  $r_0 - x$  met  $x$  de cumulatieve veroudering tot nu toe. In het kader van levensduurverlengend onderhoud vindt er nu conditieverbetering plaats. Een eenvoudige manier om de conditieverbetering te laten afhangen van de conditie vlak voor ingrijpen is om een vast percentage te nemen van de opgetreden veroudering (het beginconditieniveau minus de huidige conditie). Duiden we dit vaste percentage aan met  $\kappa$ , dan luidt de wiskundige relatie voor de conditieverbetering eenvoudigweg als volgt:

$$(\kappa/100) \cdot x = (\kappa/100) \cdot [r_0 - (r_0 - x)], \quad 0 < \kappa < 100. \quad (1)$$

Met dit model nemen de conditieverbeteringen toe naarmate de conditie bij ingrijpen afneemt.

Met betrekking tot de implementatie van de relatie tussen conditieverbetering bij levensduurverlenging en de conditie bij ingrijpen wordt het volgende voorgesteld:

- Met behulp van vergelijking (1) is het mogelijk om een eenvoudige relatie te leggen tussen de conditieverbetering bij levensduurverlenging enerzijds en de conditie bij ingrijpen anderzijds. Deze relatie gaat ervan uit dat de conditieverbetering te schrijven is als een vast percentage van de veroudering (beginconditieniveau minus conditie bij ingrijpen).
- De optie van het vastleggen van de relatie tussen conditieverbetering bij levensduurverlenging en de conditie bij ingrijpen wordt in de gebruikersinterface opgenomen in het tabblad '*Levensduurverlenging*'. Hiertoe moet een extra keuzeschakelaar worden ingebouwd met als mogelijke keuzes:
  - '*Conditieverbetering onafhankelijk van conditie bij ingrijpen*': er moet dan een vaste conditieverbetering worden ingevoerd;
  - '*Conditieverbetering afhankelijk van conditie bij ingrijpen*': er moet dan een vast percentage worden ingevoerd.

*Opmerking:* De optie '*Conditieverbetering afhankelijk van conditie bij ingrijpen*' werkt alleen als het verouderingsproces bij levensduurverlenging niet repeterend is. Bij een conditieverbetering die afhangt van de conditie van ingrijpen kan er immers geen sprake zijn van een repeterend verouderingsverloop.

## 2.2.4 Relatie tussen onzekerheid in veroudering en inspectiefrequentie

De inspectiefrequentie maakt geen deel uit van het LVO-spreadsheet. Deze frequentie is eigenlijk alleen impliciet verwerkt in de onzekerheid van de voorspelde veroudering. Er geldt in wezen dat hoe groter de inspectiefrequentie, des te kleiner is de onzekerheid in de voorspelde veroudering. Om dit verband te kwantificeren is een model nodig waarin de frequentie van inspecteren expliciet is opgenomen. Zo'n model is het inspectiemodel voor de steenbestorting van de Oosterscheldekering dat uitgebreid is beschreven in van Noordwijk, Cooke & Kok (1995) en van Noordwijk, Kok & Cooke (1997). Dit model gaat uit van een verwachte veroudering die lineair is in de tijd en een veroudering waarvan de onzekerheid is gerepresenteerd door middel van een gammaverdeling. Ook zijn de uitkomsten van het inspectiemodel vergeleken met de uitkomsten van het NCW-model in van Noordwijk (1996b). Met dit inspectiemodel kan een kostenoptimale combinatie van inspectie-interval en interventieniveau worden gevonden.

Omdat bovenstaand inspectiemodel de implementatie van een geheel nieuw model vereist, is er onderzocht of er eventueel met een benadering kan worden volstaan. De resultaten van dit onderzoek zijn vastgelegd in een tweetal memoranda getiteld:

- "Relatie tussen onzekerheid in veroudering en inspectiefrequentie" (22 oktober 2001);
- "Inspectiemodel versus leeftijdvervangingsmodel" (7 november 2001).

Op basis van deze memoranda is geconcludeerd dat het helaas niet mogelijk is om een eenvoudige wiskundige relatie te vinden tussen de voorspelde onzekerheid in de veroudering en het inspectie-interval. Er is dan ook besloten om de inspectiefrequentie niet in de LVO-module te implementeren. Wel zou in de toekomst het inspectiemodel van van Noordwijk, Kok & Cooke (1997) kunnen worden geprogrammeerd. Hiertoe moet dit inspectiemodel wel worden uitgebreid van een lineaire naar een niet-lineaire veroudering.

## 3 Invoergegevens en berekeningsresultaten

### 3.1 Invoer

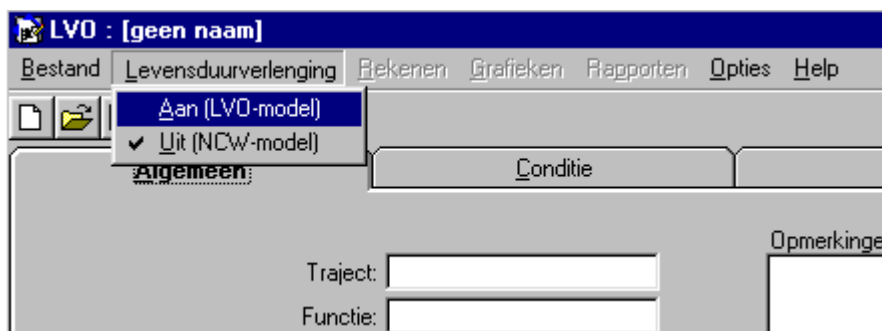
#### 3.1.1 Opbouw van de schermen

Het invoerscherm van het te ontwikkelen programma bestaat uit vier tabbladen: 'Algemeen', 'Conditie', 'Kosten' en 'Levensduurverlenging'. De gegevens die in de tabbladen kunnen worden ingevuld zijn gebaseerd op het Excel-spreadsheet van het LVO-model. De gebruiker kan de invoergegevens opslaan in een tekstbestand.

In de tabbladen kunnen gegevens worden ingevoerd in de velden met een witte achtergrondkleur. Met deze gegevens worden soms direct (eenvoudige) berekeningen uitgevoerd waarvan de resultaten in de tabbladen worden getoond in velden met een grijze achtergrondkleur.

#### Modelkeuze

In het hoofdvenster kan gekozen worden voor het model zonder levensduurverlenging (NCW-model) of voor het model met levensduurverlenging (LVO-model), zie Figuur 3-1.



Figuur 3-1 : Optie voor levensduurverlenging.

Onderaan in het hoofdvenster is de gemaakte keuze te zien (zie Figuur 3-2).



Figuur 3-2 : Het gekozen model.

Wanneer voor het NCW-model wordt gekozen zijn het tabblad 'Levensduurverlenging' en de kolom voor de kosten 'Levensduurverlenging' in het tabblad 'Kosten' niet beschikbaar.

#### Algemeen

Het tabblad met de algemene gegevens is weergegeven in onderstaande figuur. Tabel 3-2 geeft een beknopte beschrijving van de gegevens die in het tabblad kunnen worden ingevuld. De menu-opties 'Rekenen', 'Grafieken' en 'Rapporten' zijn nog niet beschikbaar (grijs in het menu weergegeven) omdat de invoer nog niet volledig is.

Figuur 3-3 : Scherm voor het invullen van gegevens, tabblad 'Algemeen'.

Invoergegevens in het tabblad 'Algemeen' zijn:

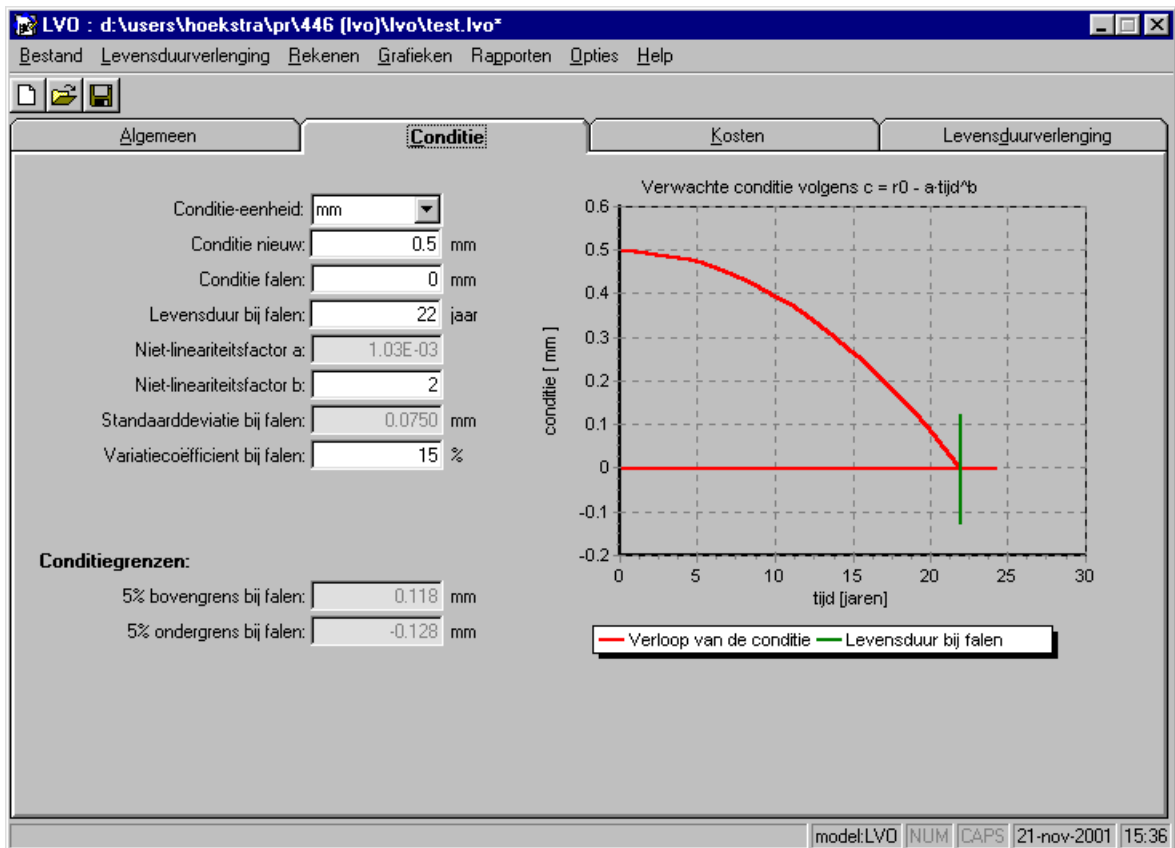
Invoergegeven	valide waarden	Beschrijving
Traject	n.v.t.	Traject waarin het object is gesitueerd
Functie	n.v.t.	Door beheerder aan het object toegekende functie
Object	n.v.t.	Naam van het object
Instandhoudingsonderdeel	n.v.t.	Onderdeel van het object
Inspectieonderdeel	n.v.t.	Subonderdeel van het object, waarvoor de onderhoudsoptimalisatie wordt uitgevoerd
Jaar van opmaak	$\geq 1900$ en $\leq 3000$	Jaar waarin gegevens zijn ingevoerd
Opmerkingen	n.v.t.	Vrij tekstveld voor het ingeven van een toelichting en/of opmerkingen m.b.t. het doel van het projectbestand.

Tabel 3-1 : Overzicht van algemene gegevens.

### Conditie

Het tabblad met de conditiegegevens is weergegeven in onderstaande figuur. De grafiek in het venster wordt tijdens het invoeren van gegevens online samengesteld en gepresenteerd. Ook nu zijn de menu-opties 'Rekenen', 'Grafieken' en 'Rapporten' nog niet beschikbaar (grijs in het menu weergegeven) omdat de invoer nog niet volledig is.

Bij het invulveld 'Eis opgelegd aan faalkans' kan ervoor worden gekozen om een maximaal acceptabele faalkans op te leggen. Alleen als 'Eis opgelegd aan faalkans' is aangevinkt is het invulveld 'Opgelegde faalkans per jaar' beschikbaar. Het opleggen van een eis aan de faalkans werkt alleen als in het hoofdvenster gekozen is voor het model zonder levensduurverlenging (NCW-model).



Figuur 3-4 : Scherm voor het invullen van gegevens, tabblad 'Conditie'.

Invoergegevens voor de conditiegegevens zijn:

Invoergegeven	valide waarden	Beschrijving
Conditie-eenheid	n.v.t.	Eenheid waarin de conditie van het onderdeel wordt uitgedrukt (bijvoorbeeld mm)
Conditie nieuw	> conditie falen	Conditie van het onderdeel op $t = 0$
Conditie falen	< conditie nieuw	Conditie van het onderdeel bij falen (faalniveau)
Levensduur bij falen	> 0	Het tijdstip waarop de verwachte conditie gelijk is aan het faalniveau (nagenoeg gelijk aan de verwachte levensduur)
Niet-lineariteitsfactor b	> 0	Factor die het verloop van de conditieafname beschrijft: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Waarde &gt; 1: toename van de conditieafname, 'bol' conditieverloop</li> <li>- Waarde = 1: lineaire conditieafname</li> <li>- Waarde &lt; 1: afname van de conditieafname, 'hol' conditieverloop</li> </ul>
Variatiecoëfficiënt bij falen	> 0	Mate van onzekerheid van de conditie op het verwachte faaltijdstip (in %)
Eis opgelegd aan faalkans	n.v.t.	Eis van maximaal acceptabele faalkans
Opgelegde faalkans per jaar	> 0 en $\leq 1$	De maximaal acceptabele conditionele faalkans in een jaar

**Tabel 3-2 : Overzicht van conditiegegevens.**

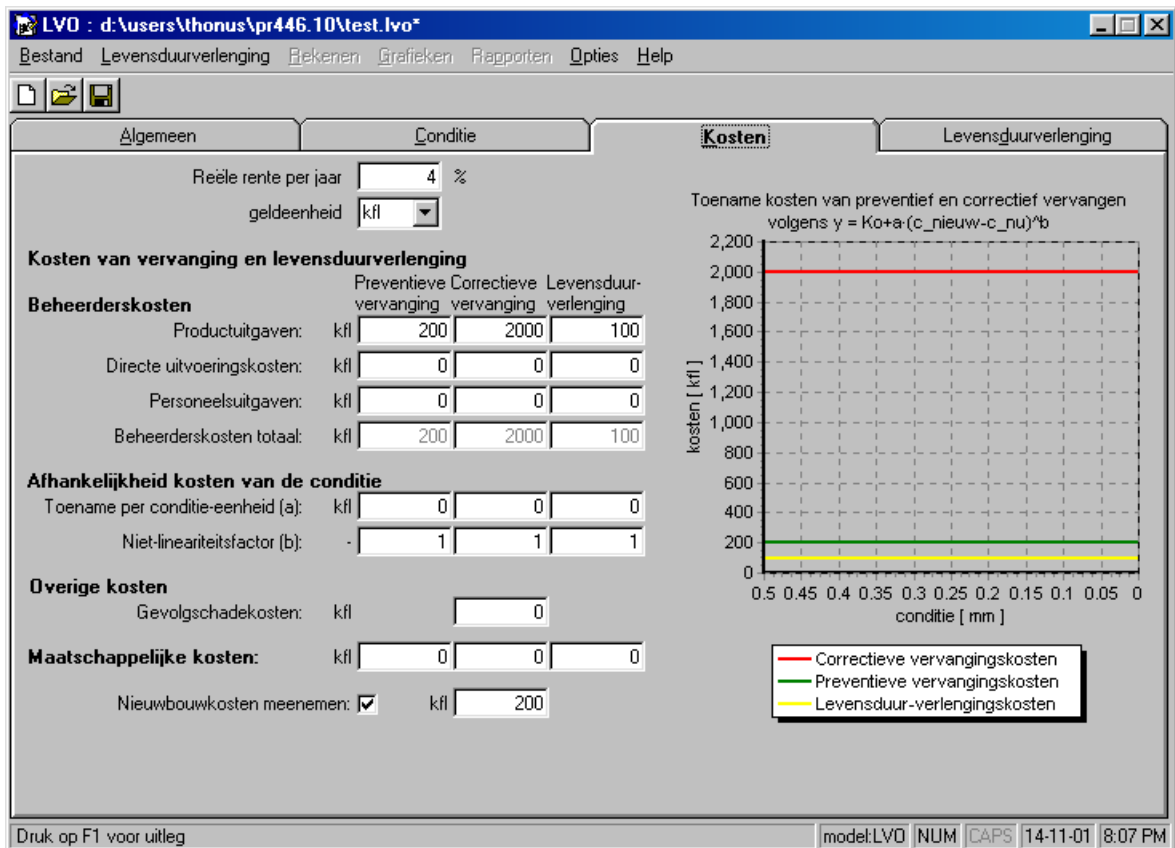
De op het scherm getoonde gegevens '*Niet-lineariteitsfactor a*', '*Standaarddeviatie bij falen*', '*5% bovengrens bij falen*' en '*5% ondergrens bij falen*' worden door het programma berekend en automatisch op het scherm getoond.

Door het programma worden de volgende controles op de invoer uitgevoerd (zie ook Bijlage B):

- Conditie falen moet kleiner zijn dan conditie nieuw;
- Opgelegde faalkans per jaar moet groter dan nul en kleiner dan of gelijk zijn aan 1.

### Kosten

Het tabblad met de kostengegevens is weergegeven in onderstaande figuur. Ook de grafiek in dit venster wordt tijdens het invoeren van gegevens online samengesteld en getoond. De menu-opties '*Rekenen*', '*Grafieken*' en '*Rapporten*' zijn nog niet beschikbaar (grijs in het menu weergegeven) omdat de invoer nog niet volledig is.



Figuur 3-5 : Scherm voor het invullen van gegevens, tabblad 'Kosten'.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de gegevens die in het tabblad kunnen worden ingevuld:

Invoergegeven	Valide waarden	Beschrijving
Reële rente per jaar	> 0	Verschil tussen rente en inflatie
Geldeenheid	n.v.t.	Eenheid waarin de verwachte kosten worden uitgedrukt. Deze wordt voor een aantal kolommen in dit tabblad en in de uitvoer weergegeven.
<b>Beheerderskosten (correctieve en preventieve vervanging en levensduurverlenging)</b>		
Productuitgaven	$\geq 0$	Kosten van materiaal
Directe uitvoeringskosten	$\geq 0$	Kosten voor de uitvoering
Personeelsuitgaven	$\geq 0$	Kosten van eigen personeel
<b>Afhankelijkheid kosten van de conditie</b>		
Toename per conditie-eenheid (a)	$\geq 0$	Factor voor het instellen van de verandering van de beheerderskosten per conditie-eenheid
Niet-lineariteitsfactor (b)	> 0	Factor voor het instellen van de exponentiële verandering van de beheerderskosten per conditie-eenheid

Invoergegeven	Valide waarden	Beschrijving
<b>Overige beheerderskosten</b>		
Gevolgschadekosten	$\geq 0$	Kosten ten gevolge van gevolgschade
<b>Overige kosten (correctieve en preventieve vervanging en levensduurverlenging)</b>		
Maatschappelijke kosten	$\geq 0$	Kosten ontstaan door het (gedeeltelijk) functieverlies bij falen of vervanging
<b>Overige gegevens</b>		
Nieuwbouwkosten meenemen	$\geq 0$	Nieuwbouwkosten van het object (die mogelijk afwijken van de preventieve vervangingskosten)
Eindige tijdshorizon	$> 0$ en $\leq$ standaard tijdshorizon	Lengte van de tijdshorizon

**Tabel 3-3 : Overzicht van kostengegevens.**

De op het scherm getoonde gegevens '*Totale beheerderskosten*' voor correctieve vervanging, preventieve vervanging en levensduurverlenging worden door het programma bepaald en automatisch op het scherm getoond.

Een eindige tijdshorizon kan alleen worden gekozen voor het model zonder levensduurverlenging (NCW-model).

Door het programma worden de volgende controles op de invoer uitgevoerd (zie ook Bijlage B):

- De eindige tijdshorizon moet kleiner dan of gelijk zijn aan de standaardtijdshorizon (zie paragraaf 4.3.6);
- De reële rente moet groter zijn dan 0% voor een oneindige tijdshorizon en groter dan of gelijk aan 0% voor een eindige tijdshorizon;
- De kosten van preventief vervangen moeten kleiner dan of gelijk zijn aan de kosten van correctief vervangen.

### Levensduurverlenging

Wanneer in het hoofdvenster gekozen is voor het model met levensduurverlenging (LVO-model) verschijnt in het tabblad ook de invulmogelijkheid voor de daarbij behorende gegevens (zie Figuur 3-6). Wanneer voor één levensduurverlengingsinterval wordt gekozen wordt de mogelijkheid geboden om de lengte van het levensduurverlengingsinterval in jaren in te vullen.

Bestand Levensduurverlenging Rekenen Grafieken Rapporten Opties Help

Algemeen Conditie Kosten **Levensduurverlenging**

Levensduurverlengingsinterval

Bereken van het effect van levensduur-verlengend onderhoud op de conditie bij één levensduurverlengingsinterval

Bereken van het effect van levensduur-verlengend onderhoud op de conditie bij meer dan één levensduurverlengingsinterval

Levensduurverlengingsinterval:  jaar

Tijdsinterval waarin geen veroudering optreedt:  jaar

Conditieverbetering afhankelijk van conditie bij ingrijpen:

Conditieverbetering door levensduurverlenging:  mm

Verouderingsproces bij levensduurverlenging is repeterend:

model:LVO NUM CAPS 21-nov-2001 17:59

**Figuur 3-6 : Extra invoergegevens bij keuze voor model met levensduurverlenging en conditieverbetering onafhankelijk van conditie bij ingrijpen.**

Het tabblad '*Levensduurverlenging*' bevat de optie van het vastleggen van de relatie tussen conditieverbetering bij levensduurverlenging en de conditie bij ingrijpen. Het betreft een schakelaar met als keuzemogelijkheden: '*Conditieverbetering onafhankelijk van conditie bij ingrijpen*' (zie Figuur 3-6) en '*Conditieverbetering afhankelijk van conditie bij ingrijpen*' (zie Figuur 3-7). De invoer is in het eerste geval een vaste conditieverbetering en in het tweede geval een vast percentage (van de veroudering). De optie '*Conditieverbetering afhankelijk van conditie bij ingrijpen*' werkt overigens alleen als het verouderingsproces bij levensduurverlenging niet repeterend is.

LVO : d:\users\hoekstra\pr446 (lvo)\lvo\test.lvo\*

Bestand Levensduurverlenging Rekenen Grafieken Rapporten Opties Help

Algemeen Conditie Kosten **Levensduurverlenging**

Levensduurverlengingsinterval

Berekenen van het effect van levensduur-verlengend onderhoud op de conditie bij één levensduurverlengingsinterval

Berekenen van het effect van levensduur-verlengend onderhoud op de conditie bij meer dan één levensduurverlengingsinterval

Levensduurverlengingsinterval:  jaar

Tijsinterval waarin geen veroudering optreedt:  jaar

Conditieverbetering afhankelijk van conditie bij ingrijpen:

Conditieverbetering door levensduurverlenging:  %

model:LVO NUM CAPS 21-nov-2001 18:02

**Figuur 3-7 : Extra invoergegevens bij keuze voor model met levensduurverlenging en conditieverbetering afhankelijk van conditie bij ingrijpen.**

Invoergegevens voor het berekenen van de effecten voor levensduurverlenging zijn:

Invoergegeven	Valide waarden	Beschrijving
Een of meer levensduurverlengingsintervallen	n.v.t.	Keuze-optie of met één of meerdere levensduurverlengingsintervallen gerekend moet worden
Levensduurverlengingsinterval	> tijsinterval waar geen veroudering optreedt	Interval tussen het uit te voeren levensduurverlengend onderhoud aan het onderdeel
Tijsinterval waarin geen veroudering optreedt	$\geq 0$ en $<$ levensduurverlengingsinterval	Na het uitvoeren van levensduurverlengend onderhoud en na een vervanging kan de conditie tijdelijk constant zijn; deze periode is de initiatietijd
Conditieverbetering afhankelijk van conditie bij ingrijpen	n.v.t.	Is de conditieverbetering onafhankelijk van de conditie bij ingrijpen dan moet een (vaste) conditieverbetering worden ingevoerd. Is de conditieverbetering afhankelijk van de conditie bij ingrijpen dan moet er een (vast) percentage worden

Invoergegeven	Valide waarden	Beschrijving
		ingevoerd.
Conditieverbetering (onafhankelijk van conditie bij ingrijpen)	reëel getal	De conditie kan behalve verbeteren ook verslechteren door het uitvoeren van levensduurverlengend onderhoud. De levensduur wordt dan verlengd door de invloed van bijvoorbeeld het tijdsinterval waarin geen veroudering optreedt na het uitvoeren van levensduurverlengend onderhoud (initiatietijd).
Conditieverbetering (afhankelijk van conditie bij ingrijpen)	$0 < \text{percentage} < 100$	Percentage van de veroudering (beginconditieniveau minus conditie bij ingrijpen) waarmee de conditie verbeterd.
Wel of niet repeterend verouderingsproces	n.v.t.	Als het verouderingsproces repeterend is, is de conditieafname na het uitvoeren van levensduurverlengend onderhoud gelijk aan de conditieafname zoals optreedt vlak na aanvang levensduur (met andere woorden vlak na een vervanging). Als dit niet het geval is, is de conditieafname na de uitvoering van levensduurverlengend onderhoud gelijk aan de conditieafname die optreedt in de situatie zonder levensduurverlengend onderhoud

**Tabel 3-4 : Overzicht van gegevens voor levensduurverlenging.**

### 3.1.2 Controles en foutafhandeling

Waar mogelijk wordt de invoer tijdens het invullen gecontroleerd op het type informatie en validiteit. Invoervelden voor numerieke informatie zijn geblokkeerd voor alfanumerieke informatie en omgekeerd. Invoervelden met een beperkt numeriek bereik zijn geblokkeerd voor buiten dit bereik liggende waarden zoals gespecificeerd in Tabel 3-3 en Tabel 3-4.

Door het programma wordt de volgende controle op de invoer uitgevoerd (zie ook Bijlage B):

- Kosten van levensduurverlenging moeten kleiner dan of gelijk zijn aan kosten van correctief vervangen.
- Het tijdsinterval waarin geen veroudering optreedt moet kleiner zijn dan het levensduurverlengingsinterval.
- Conditie na levensduurverlenging moet kleiner zijn dan conditie nieuw.
- Conditieverbetering door levensduurverlenging moet kleiner zijn dan 100 en groter dan 0.

- Verwachte levensduur is te groot (dit kan voornamelijk optreden bij conditieverbetering afhankelijk van de conditie bij ingrijpen).

## 3.2 Berekeningsresultaten

De (tussen)resultaten van berekeningen die in de invoerschermen zijn opgenomen worden automatisch tijdens het invoeren berekend en op het scherm getoond. Het programma herkent of er voldoende gegevens zijn ingevoerd en voert dan de berekening uit.

Na het activeren van een berekening met de optie '*Rekenen*' uit het hoofdmenu worden de bijbehorende berekeningen uitgevoerd en de onderstaande berekende resultaten op het scherm getoond (zie Figuur 3-8 en Figuur 3-9). Hierbij wordt automatisch onderscheid gemaakt tussen resultaten van berekeningen met en zonder levensduurverlenging en of eisen gesteld zijn aan de faalkans.

Met levensduurverlenging	Zonder levensduurverlenging
- optimaal levensduurverlengingsinterval (LVO-interval)	- optimaal interventieniveau
- optimaal vervangingsinterval	- optimaal vervangingsinterval
- optimaal interventieniveau	- verwachte levensduur/faaltijdstip
- tijdstip waarop de verwachte conditie gelijk is aan faalniveau	- NCW preventief vervangen (vóór falen)
- benaderde niet-lineariteitsfactor a met levensduurverlenging	- NCW correctief vervangen (ná falen)
- benaderde niet-lineariteitsfactor b met levensduurverlenging	- Nieuwbouwkosten
- NCW preventief vervangen (vóór falen)	- NCW totaal bij optimaal vervangingsinterval
- NCW correctief vervangen (ná falen)	- grootste faalkans in interval
- NCW levensduurverlenging	- opgelegde faalkans per jaar
- Nieuwbouwkosten	
- NCW totaal bij optimaal LVO-interval en vervangingsinterval	
- NCW bij optimaal LVO-interval en vervangingsinterval gelijk aan faaltijdstip	

Tabel 3-5 : Overzicht van berekeningsresultaten.

LVO Geprint om 20:47 op 14/11/01

**Resultaten (eindige tijdhorizon van 10 jaar):**

	Kosten optimaal
Optimaal interventieniveau	0,40 mm
Optimaal vervangingsinterval	10 jaar
Verwachte levensduur/faaltijdstip	23 jaar
NCW preventief vervangen (voor falen)	135 kfl
NCW correctief vervangen (na falen)	0 kfl
Nieuwbouwkosten	200 kfl
NCW totaal bij optimaal vervangingsinterval	335 kfl

Onderhoudsstrategie TAO op kosten

Bij ToestandsAfhankelijk Onderhoud (TAO) moeten inspecties worden uitgevoerd om de toestand te bepalen.

**Figuur 3-8 : Scherm met berekeningsresultaten (berekening zonder faalkanseis en zonder levensduurverlenging).**

LVO Geprint om 15:36 op 28-nov-2001

**Resultaten (oneindige tijdhorizon):**

	Kosten optimaal	Conform faalkanseis
Optimaal interventieniveau	0,17	0,09 mm
Optimaal vervangingsinterval	18	20 jaar
Verwachte levensduur/faaltijdstip	23	23 jaar
NCW preventief vervangen (voor falen)	1011	814 fl
NCW correctief vervangen (na falen)	83	970 fl
Nieuwbouwkosten	200	200 fl
NCW totaal bij optimaal vervangingsinterval	1294	1983 fl
Grootste faalkans in interval	6,6E-03	7,5E-02 1 / jaar
Opgelegde faalkans per jaar:		1,0E-01 1 / jaar

Onderhoudsstrategie TAO op kosten

Bij ToestandsAfhankelijk Onderhoud (TAO) moeten inspecties worden uitgevoerd om de toestand te bepalen.

**Figuur 3-9 : Scherm met berekeningsresultaten (berekening met faalkanseis en zonder levensduurverlenging).**

### 3.3 Uitvoer naar printer

Via de optie 'Rapporten' uit het hoofdmenu kan een volledig rapport worden afgedrukt (zie hoofdstuk 4-10). Er zijn twee typen rapporten: met en zonder levensduurverlengend

onderhoud. Het programma herkent welke moet worden afgedrukt. Het rapport bevat de invoergegevens, de rekenresultaten en alle relevante grafieken. De inhoud en lay-out van de rapporten zijn grotendeels gelijk aan de rapporten uit het LVO-spreadsheet in Microsoft Excel. Voor de duidelijkheid zijn de figuren groter dan bij de uitvoer van het LVO-spreadsheet.

## **3.4 Bestanden**

### **3.4.1 Programma-instellingen**

Voor de goede werking van de applicatie wordt een aantal programma-instellingen op het werkstation vastgelegd. De standaardinstellingen worden al tijdens de installatie opgeslagen. De instellingen die afhankelijk zijn van de installatie, het werkstation en het besturingssysteem worden opgeslagen in het register van het werkstation. De gebruiker hoeft zich hier niet om te bekommeren en deze instellingen kunnen niet handmatig met het programma worden gewijzigd. Instellingen die afhankelijk zijn van het gebruik van de applicatie en met het programma kunnen worden gewijzigd (zie paragraaf 4.3.6), worden vastgelegd in een initialisatiebestand. Dit INI-bestand staat in de directory waar het programma is geïnstalleerd.

### **3.4.2 Invoergegevens**

De invoergegevens kunnen per case in een tekstbestand (ASCII) worden opgeslagen. Als extensie van de bestandsnaam wordt door het programma altijd '.lvo' aan de naam toegevoegd.

De opbouw van het invoerbestand is gelijk aan de structuur die in INI-bestanden wordt gebruikt. Dit houdt in dat gegevens kunnen worden gegroepeerd in secties. Deze secties zijn herkenbaar middels een label. Voor de herkenning van de informatie begint een regel altijd met een omschrijving waarachter de waarde van het betreffende gegeven komt te staan. Deze bestanden kunnen ook buiten het LVO-model worden ingezien en gemuteerd. Wanneer een gegeven niet in het bestand wordt gevonden wordt aan het betreffende gegeven een standaardwaarde toegekend. Deze standaardwaarde is gelijk aan de waarde die wordt toegekend bij een nieuw bestand.

De structuur van het bestand staat beschreven in Bijlage A. Het bevat ondermeer de taal, de standaarddirectory voor projectbestanden en de lengte van de standaardtijdshorizon

## 4 Programma-opbouw

### 4.1 Uitgangspunten

Het programma is tweetalig. Middels een menu-optie (zie hoofdstuk 4.3.6) kan gekozen worden tussen Nederlands en Engels. De gebruikte taal in de dialoogschermen, de uitvoer, de helpinformatie en het menu zijn hiermee in te stellen.

De opbouw van het programma en de functionaliteit van de grafische gebruikersinterface is gebaseerd op de geldende Windows-standaard. Voor een aantal functies worden standaard Windowsdialoogschermen gebruikt. De taal in deze schermen is afhankelijk van de taal van de geïnstalleerde Windows-versie. Waar relevant zijn in dit document engelstalige voorbeelden van vensters opgenomen.

### 4.2 Communicatie met de gebruiker

#### 4.2.1 Windows-standaard

De indeling en opbouw van de vensters zijn volgens de Windows-standaard. Dat betekent dat de vensters op het scherm kunnen worden verplaatst en bij de meeste vensters de standaardknoppen voor het vergroten, verkleinen en sluiten van vensters aanwezig zijn (zie Figuur 4-1 en Figuur 4-2).



Figuur 4-1 : Knoppen voor verkleinen, vergroten en sluiten van een venster.



Figuur 4-2 : Knoppen voor accepteren en annuleren van informatie.

Onderaan ieder venster bevindt zich een statusbalk. Deze geeft de gebruiker informatie over de in te vullen gegevens of de bewerking die via het betreffende venster wordt uitgevoerd. Daar een venster meestal op maat is gemaakt voor de informatie die in het venster wordt getoond kunnen de vensters niet worden vergroot of verkleind.

#### 4.2.2 Help-functie

De applicatie LVO beschikt niet over een online contextgevoelige helpfunctie. In de invoerschermen zal de gebruiker worden ondersteund met:

- Tooltips Dit is een informatief blokje met tekst over het onderdeel dat door de muis wordt aangewezen. Dit blokje verschijnt op het beeldscherm wanneer de muis stil staat op het betreffende onderdeel (zie Figuur 4-3). De teksten voor deze tooltips worden overgenomen uit het LVO-spreadsheet.

Figuur 4-3 : Deel van een invoerscherm met een 'Tooltip'.

- Help-knop Via de functietoets F1 wordt een venster op het beeldscherm geplaatst waarin toelichtende tekst voor het betreffende invoerscherm wordt gepresenteerd (zie Figuur 4-4). Deze tekst wordt overgenomen uit de invoerschermen van het LVO-spreadsheet.



Figuur 4-4 : Help-venster.

### 4.3 Menustructuur

Het programma wordt gestart in een hoofdvenster. Dit venster bevat het hoofdmenu. Vanuit het hoofdmenu kunnen diverse submenu's worden geactiveerd, die de verschillende functies van de LVO-module bevatten. Niet alle functies kunnen op elk moment worden aangeroepen. Alle te activeren functies zijn in het menu zwart, terwijl alle niet te activeren functies in grijs worden getoond. Wanneer op een 'grijze' menu-optie wordt geklikt gebeurt er dus niets. De menu-opties kunnen met behulp van de muis, pijltjes-toetsen of sneltoest (Alt-knop in combinatie met de onderstreepte letter van de menu-optie) worden gekozen.

Om de primaire functies met zo min mogelijk handelingen te kunnen activeren is de structuur van het menu zo plat mogelijk gehouden (zie Figuur 4-5).

Bestand	Levensduurverlenging	Rekenen	Grafieken	Rapporten	Opties	Help
Nieuw	Aan (LVO-model)		Verouderingsverloop	NCW-model	Kies Taal	
Openen	Uit (NCW-model)		Kansfunctie	NCW-tabel	Tijdhorizon	
Opslaan			Jaarlijkse en cumulatieve faalkans	LVO-model		
Opslaan als			Cumulatieve faalkans als functie van conditie			
Afsluiten			Faaltempo			
			Netto-Contante Waarde			
			3D-plot Netto-Contante waarde			
			Contourplot Netto-Contante waarde			
			Verwachte conditie bij levensduurverlenging			

**Figuur 4-5 : Menu-indeling.**

Een menu-optie is alleen beschikbaar als de benodigde informatie voor het uitvoeren van de programmafunctie beschikbaar is. Middels de opties uit het submenu 'Bestand' kan een nieuw invoerscherm worden opgevraagd en kunnen invoergegevens worden opgeslagen en ingelezen. Vervolgens kan de berekening worden geactiveerd waarna van de resultaten grafieken en rapporten kunnen worden samengesteld. Programma-instellingen kunnen worden gewijzigd met de functie 'Opties'. De functie 'Help' geeft informatie over de versie van de applicatie. Er is geen online-help beschikbaar. De menu-optie worden in de volgende paragrafen gedetailleerd besproken.

### 4.3.1 Bestand

#### Nieuw

Met deze functie kan een nieuw invoerbestand worden samengesteld. Een leeg invoerscherm voor het invullen van de gegevens wordt gepresenteerd (zie Figuur 3-4 en Figuur 3-5). Wanneer op het beeldscherm nog een invulscherm staat vraagt het programma eerst of deze gegevens moeten worden opgeslagen. Deze menu-optie is altijd actief.

#### Openen

Met deze functie kan een bestaand invoerbestand worden geopend. Met een standaard-Windows-dialogscherm vraagt het programma in welke directory welk bestand (met extensie 'lvo') moet worden geopend.

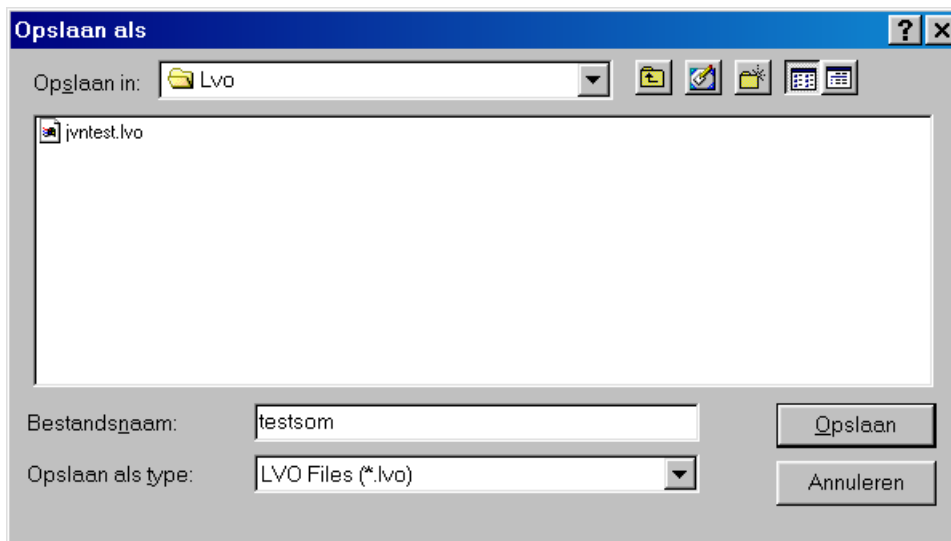
#### Opslaan

De gegevens uit het invoerscherm worden direct opgeslagen in het bestand waaruit deze zijn ingelezen of reeds eerder in zijn bewaard. De gegevens in het bestand worden vervangen door de gegevens uit het invoerscherm. Deze menu-optie is actief wanneer een invoerscherm openstaat met gegevens die uit een invoerbestand zijn ingelezen of reeds een keer in een invoerbestand zijn opgeslagen met de menu-optie 'Opslaan als ....'. Er mogen geen vensters met grafieken en/of rapporten zijn gepresenteerd.

#### Opslaan als ....

De gegevens van beide tabbladen van het invoerscherm worden in het bestand opgeslagen. Met een standaard-Windows-dialogscherm vraagt het programma in welke directory en onder welke naam (met extensie 'lvo') de gegevens moeten worden opgeslagen (zie Figuur 4-6). Deze menu-optie is actief wanneer een invoerscherm openstaat en geen vensters met

grafieken en/of rapporten zijn gepresenteerd. De directorynaam waar het laatst een bestand in opgeslagen is, wordt onthouden en fungeert vervolgens als standaarddirectory. De naam van deze standaarddirectory wordt opgeslagen in het INI-bestand.



Figuur 4-6 : Scherm voor opgeven van directory en bestandsnaam bij opslaan van gegevens.

## Afsluiten

Het invoerscherm voor het invullen van gegevens wordt gesloten. De ingevulde gegevens worden niet opgeslagen. Deze optie is actief wanneer een invulscherm open staat en geen vensters met grafieken en/of rapporten zijn gepresenteerd. Wanneer de gegevens uit het invoerscherm nog niet zijn opgeslagen in een bestand verschijnt een dialoogvenster die de gebruiker deze mogelijkheid biedt (zie Figuur 4-7).

## 4.3.2 Levensduurverlenging

### Aan (LVO-model)

Er wordt gekozen voor het model *met* levensduurverlenging (LVO-model).

### Uit (NCW-model)

Er wordt gekozen voor het model *zonder* levensduurverlenging (NCW-model).

## 4.3.3 Rekenen

Nadat de invoergegevens zijn ingevuld of zijn ingelezen kan met de optie '*Rekenen*' direct de berekening worden gestart. Het uitvoeren van de berekeningen is overigens ook mogelijk met de functietoets F5. Er zijn twee typen berekeningen: zonder en met levensduurverlenging. Aan de hand van de invoergegevens herkent het programma welke berekening moet worden uitgevoerd.

Afhankelijk van de verwachte rekentijd wordt tijdens het rekenen een venster met een voortgangsdialoog op het beeldscherm geplaatst.



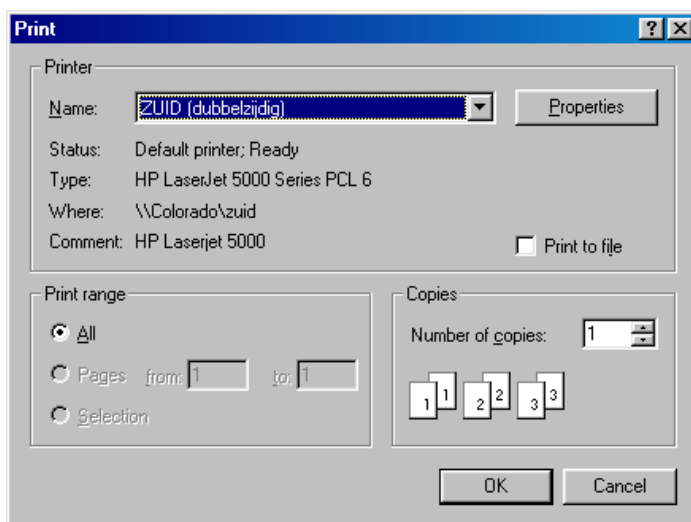
Figuur 4-7 : Dialoogvenster bij beëindigen programma.

#### 4.3.4 Grafieken

Met de opties uit het menu '*Grafieken*' worden de bijbehorende grafieken in een venster op het beeldscherm weergegeven. Middels een '*Sluiten*'-knop kan dit venster worden gesloten (zie bijvoorbeeld Figuur 4-9).

De afbeelding kan naar een ander document, bijvoorbeeld Microsoft Word, worden gekopieerd door de optie '*Kopiëren*' rechts onderaan de grafiek te kiezen. De gebruikte kleuren en lijntypen in de grafieken zullen zodanig worden gekozen dat ook bij zwart/wit-weergave duidelijk onderscheid tussen de vlakken en lijnen zichtbaar is.

De afbeelding kan op een printer worden afgedrukt door eerst de optie '*Afdrukvoorbeeld*' rechts onderaan de grafiek te kiezen. Met deze optie wordt de grafiek in een venster op het beeldscherm gepresenteerd waarvan de inhoud vervolgens door middel van '*Afdrukken*' op een printer kan worden afgedrukt. Er wordt een dialoogvenster geopend waarmee een printer kan worden gekozen en instellingen kunnen worden gewijzigd (zie Figuur 4-8). Vervolgens wordt de afdruk samengesteld en naar de printer gestuurd. Dit kan iedere printer zijn die op een werkstation is geïnstalleerd, lokaal of aan een netwerk.

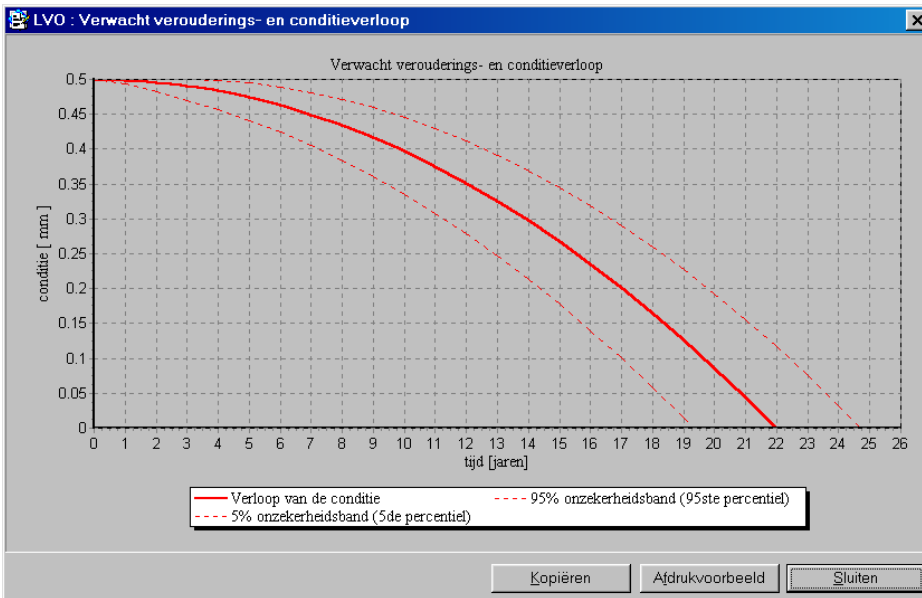


Figuur 4-8 : Scherm voor wijzigen van afdrukinstellingen.

De standaardtijdshorizon in de grafieken '*Kansfunctie*', '*Jaarlijkse en cumulatieve faalkans*', '*Faaltempo*', '*Netto-Contante Waarde*', '*3D-plot Netto-Contante Waarde*', '*Contourplot Netto-Contante Waarde*' en '*Verwachte conditie bij levensduurverlenging*' is instelbaar met de menu-optie '*Optie*'. Indien deze standaardtijdshorizon wordt gewijzigd moeten de berekeningen wel opnieuw worden uitgevoerd.

### Verouderingsverloop

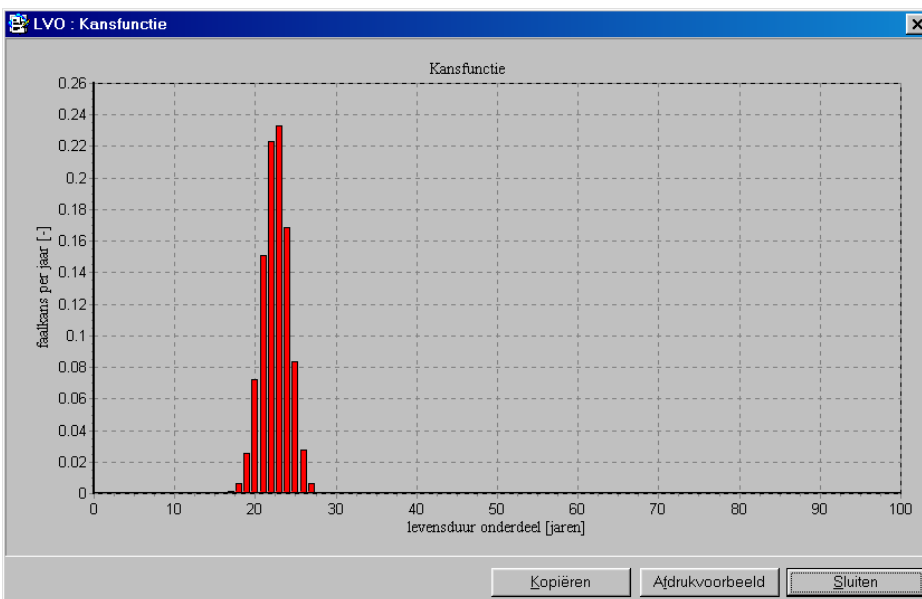
Lijnfiguur waarin het verwachte verloop van de conditie in de tijd is weergegeven. Tevens worden de 5%- en 95%-onzekerheidsbanden rond de verwachte conditie in de grafiek weergegeven. In 90% van de gevallen bevindt de conditie zich tussen deze 5%- en 95%-onzekerheidsbanden (zie Figuur 4-9). Op de X-as wordt de tijd in jaren en op de Y-as de conditie weergegeven.



Figuur 4-9 : Verwacht verouderings- en conditieverloop.

### Kansfunctie

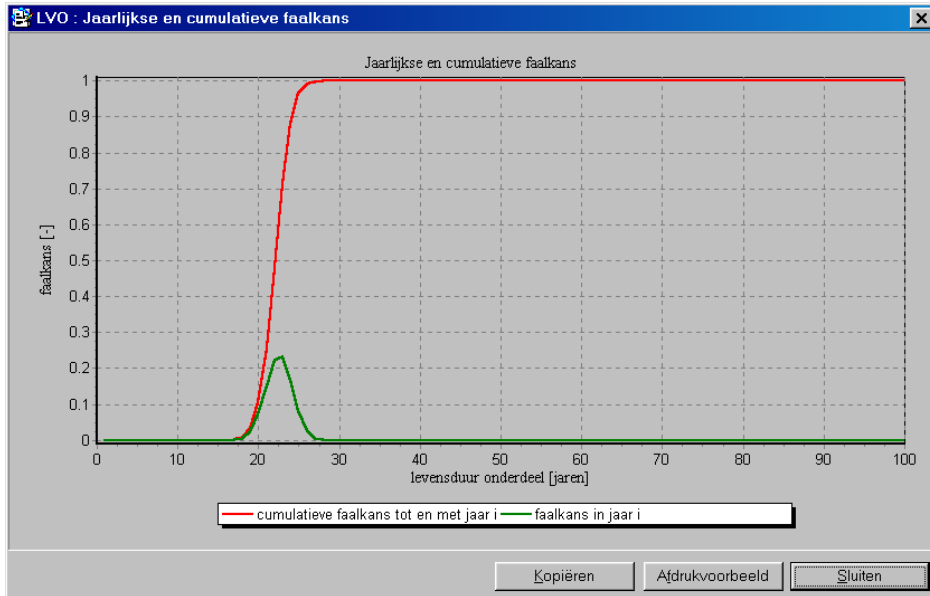
Staafdiagram waarin de kansfunctie per jaar van het betreffende beheerobject is weergegeven (zie Figuur 4-10). Op de X-as staat de levensduur van het beheerobject en op de Y-as de faalkans per jaar.



Figuur 4-10 : Kansfunctie.

### Jaarlijkse en cumulatieve faalkans

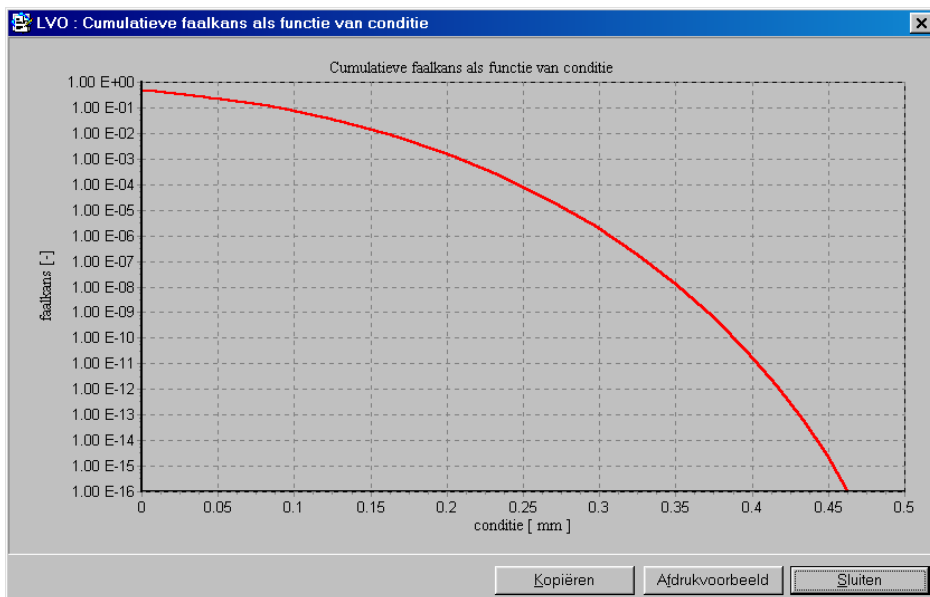
Lijnfiguur met de jaarlijkse faalkans, die gelijk is aan de faalkans uit de grafiek 'Kansfunctie' en de cumulatieve faalkans. Hierbij is de cumulatieve faalkans weergegeven die aan het eind van de levensduur gelijk is aan 1 (zie Figuur 4-11). Op de X-as is de levensduur van het beheerobject in jaren weergegeven en op de Y-as de faalkans.



Figuur 4-11 : Jaarlijkse en cumulatieve faalkans.

### Cumulatieve faalkans als functie van de conditie

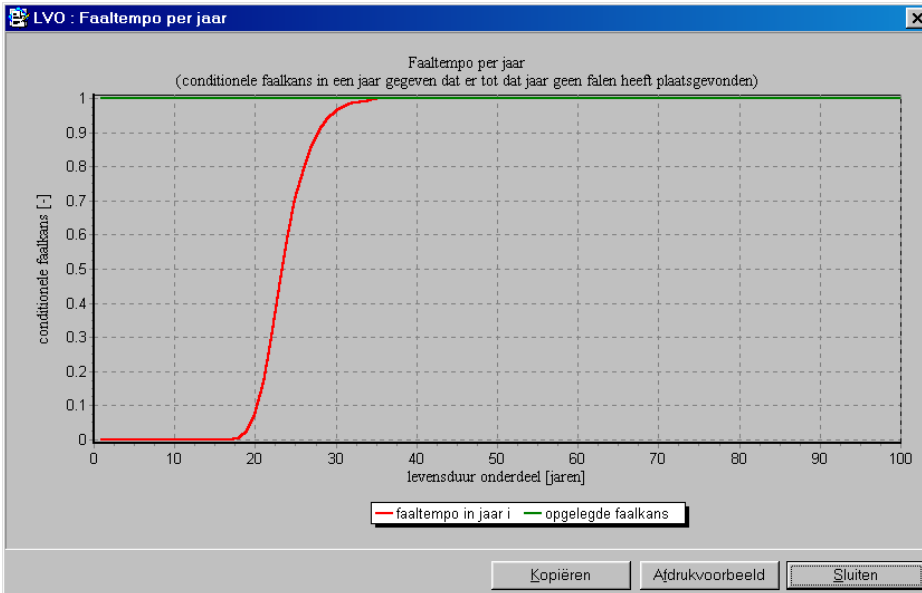
Lijnfiguur met de cumulatieve faalkans als functie van de conditie. De faalkans is het kleinst bij de conditie op het tijdstip nul en bij een slechtere conditie neemt de faalkans toe tot maximaal 1 (zie Figuur 4-12). De X-as geeft de conditie weer en de Y-as op logaritmische schaal de faalkans.



Figuur 4-12 : Cumulatieve faalkans als functie van de conditie.

### Faaltempo

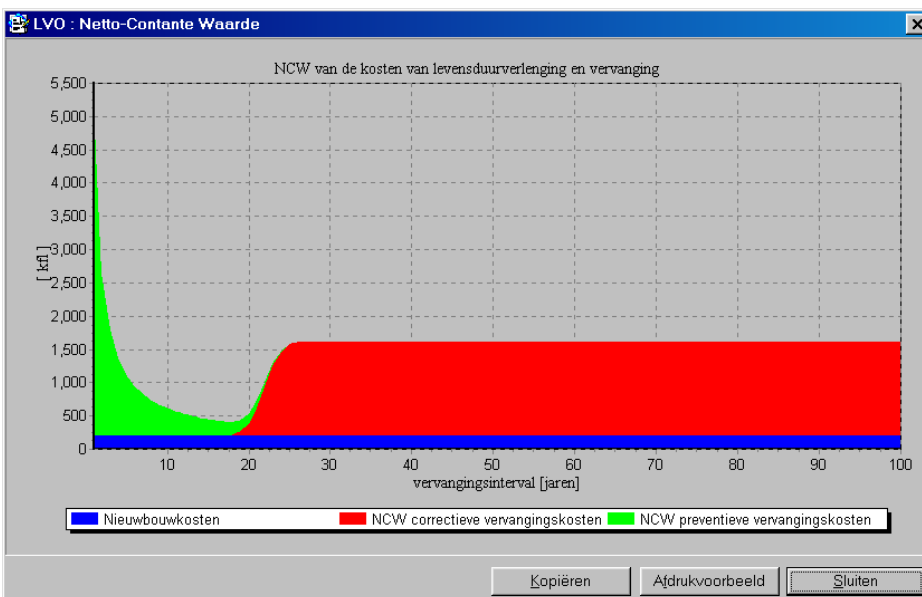
Lijnfiguur waarin is weergegeven de conditionele faalkans in een jaar gegeven dat er tot dat jaar geen falen heeft plaats gevonden en de maximaal acceptabele faalkans (zie Figuur 4-13). Op de X-as staat de levensduur van het beheerobject in jaren en op de Y-as de conditionele faalkans.



Figuur 4-13 : Faaltempo.

### Netto-Contante Waarde

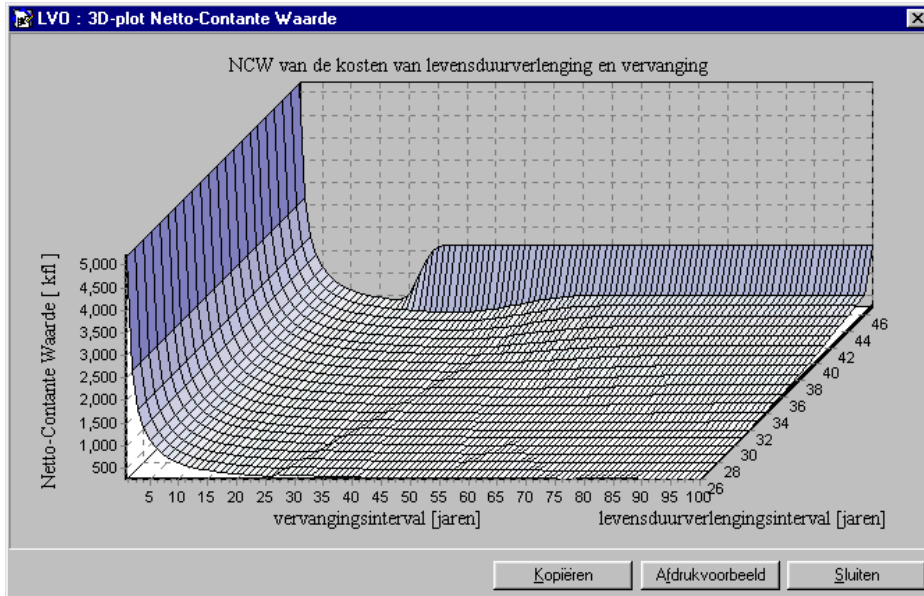
In één figuur zijn de NCW-kosten weergegeven over een oneindige tijdshorizon bij verschillende preventieve vervangingsintervallen (met of zonder levensduurverlengend onderhoud) tussen 0 en 100 jaar. Het optimale preventieve vervangingsinterval is het interval waarbij de Netto-Contante Waarde van de kosten minimaal zijn (zie Figuur 4-14). Op de X-as staat het preventieve vervangingsinterval in jaren en op de Y-as de Netto-Contante Waarde.



Figuur 4-14 : Netto-Contante Waarde (zonder levensduurverlengend onderhoud).

### 3D-plot Netto-Contante Waarde

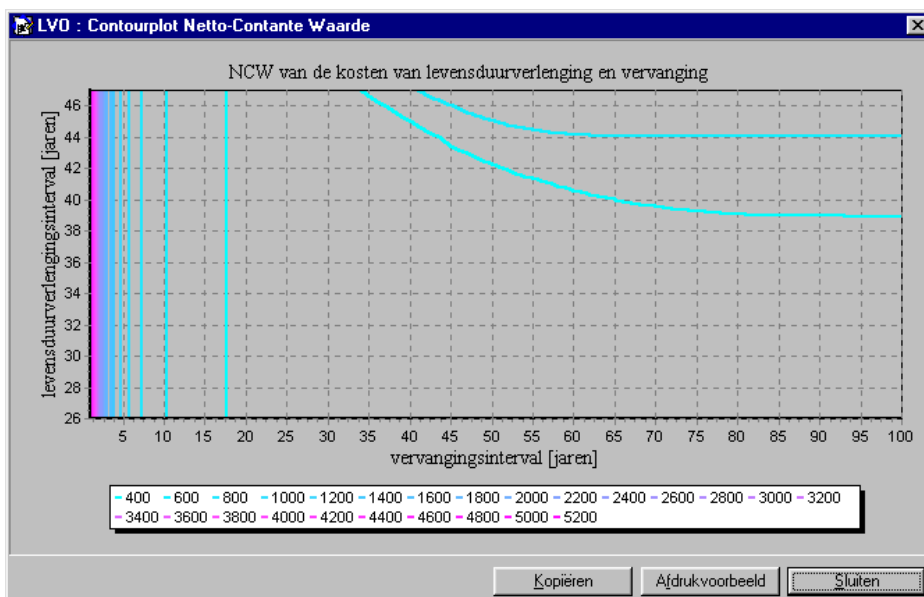
Drie dimensionale grafiek van de Netto-Contante Waarde bij verschillende combinaties van het vervangingsinterval en het levensduurverlengingsinterval (zie Figuur 4-14). Op de X-as staat het vervangingsinterval in jaren, op de Y-as het levensduurverlengingsinterval in jaren en op de Z-as de Netto-Contante Waarde. De Netto-Contante Waarde is per stap in een andere kleur weergegeven. De situatie zonder levensduurverlenging is achterin weergegeven.



Figuur 4-15 : 3D-plot Netto-Contante Waarde.

### Contourplot Netto-Contante Waarde

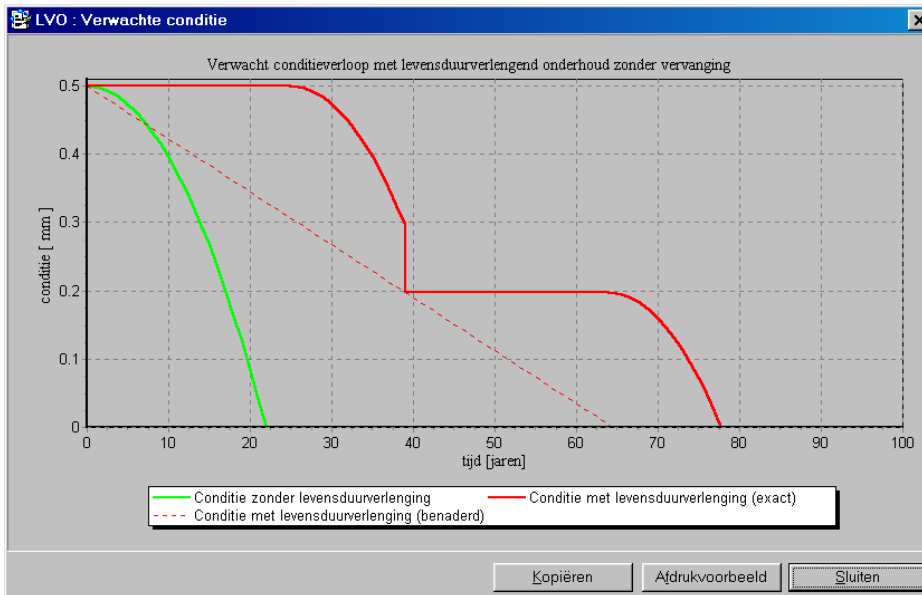
Grafiek met de Netto-Contante Waarde bij de verschillende combinaties van het vervangingsinterval en het levensduurverlengingsinterval. Op de X-as staat het vervangingsinterval in jaren en op de Y-as het levensduurverlengingsinterval (beide in jaren). De kleur van de vlakken in de grafiek geven de hoogte van de Netto-Contante Waarde weer (zie Figuur 4-16). Dit is een bovenaanzicht van de 3D-plot Netto-Contante Waarde.



Figuur 4-16 : Contourplot Netto-Contante Waarde.

## Verwachte conditie bij levensduurverlenging

Lijnfiguur met het verwachte conditieverloop bij het optimale levensduurverlengingsinterval (zie Figuur 4-16). Op de X-as staat de tijd in jaren en op de Y-as de conditie. In de grafiek zijn het conditieniveau met levensduurverlenging (exact en benaderd) en zonder levensduurverlenging weergegeven.



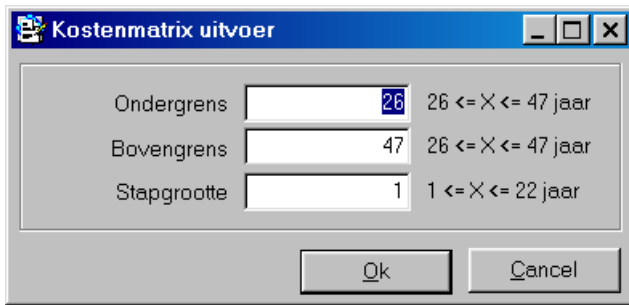
Figuur 4-17 : Verwachte conditie bij optimaal levensduurverlengingsinterval.

### 4.3.5 Rapporten

Via de optie '*Rapporten*' uit het hoofdmenu kan een volledig rapport worden afgedrukt. Er zijn drie type rapporten: NCW-model (zonder levensduurverlengend onderhoud), NCW-tabel en LVO-model (beiden met levensduurverlengend onderhoud). Het programma herkent welk rapport kan worden afgedrukt. De rapporten '*NCW-model*' en '*LVO-model*' bevatten de invoergegevens, de rekenresultaten en relevante grafieken.

De rapporten kunnen op dezelfde wijze worden afgedrukt als de grafieken (zie paragraaf 4.3.4).

De keuze '*NCW-tabel*' zorgt ervoor dat de matrix met Netto-Contante Waarden worden opgeslagen voor een op te geven tijdrange en tijdsinterval (zie Figuur 4-18). Na het uitvoeren van een berekening met levensduurverlengend onderhoud heeft het programma namelijk een tabel berekend met de Netto-Contante Waarde van de onderhoudskosten afhankelijk van het vervangingsinterval en het levensduurverlengingsinterval (beide in hele jaren). Deze tabel wordt opgeslagen in een CSV-bestand (Comma Separated Value) waarna dit bestand ondermeer in Microsoft Excel kan worden ingelezen. De naam van het opgeslagen bestand is "LVOmatrix.csv".

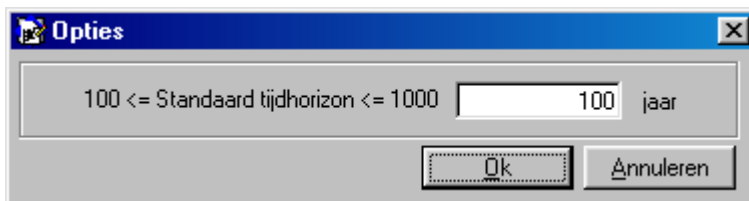


Figuur 4-18 : Ondergrens, stapgrootte en bovengrens van de NCW-tabel.

### 4.3.6 Opties

Een aantal programma-instellingen kunnen met de menu-optie '*Opties*' worden ingegeven en kunnen worden opgeslagen in het invoerbestand (LVO-bestand). Hieronder wordt een overzicht gegeven van de betreffende instellingen:

- Taal  
Voor de invoer- en uitvoervensters, de tooltips, de dialoogvensters (die niet-standaard Windows zijn) en de foutmeldingen kan worden ingesteld of deze nederlands- of engels-talig zijn.
- Standaardtijdshorizon  
De lengte van de standaardtijdshorizon (in jaren) van de Netto-Contante-Waarde-tabel kan worden ingegeven.



Figuur 4-19 : Dialoogvenster wijzigen standaardtijdshorizon.

### 4.3.7 Help

Op het beeldscherm wordt een venster geplaatst met informatie over de eigenaar, versie en ondersteuning van de applicatie LVO (zie Figuur 4-20).



Figuur 4-20 : Informatievenster.

## 5 Installatie

De installatie van LVO vindt plaats vanaf CD-ROM met behulp van het standaard Windows installatieprogramma 'Install Shield'. Dit programma installeert LVO op een workstation. De plaats van de programma-directory en het programma-icoon in het startmenu kan worden aangegeven. Op de CD staan naast de applicatie ook registratie-instellingen, een standaard INI-bestand en informatie over de versie van het programma. In het INI-bestand staat onder meer een standaarddirectory genoemd voor het opslaan van project-bestanden.

Voor de installatie op een server in een netwerk dient een uitgebreidere installatieprocedure te worden gevolgd. Deze procedure is mede afhankelijk van het besturingssystemen op de server en de workstations. Installatie servers met Windows 2000 of NT 4.0 Server in combinatie met workstations met Windows 95, 98, 2000 of NT 4.0 Workstation zal mogelijk zijn.



## 6 Technische randvoorwaarden

Voor het ontwerpen en ontwikkelen van de applicatie LVO wordt uitgegaan van de volgende criteria en randvoorwaarden:

- De applicatie wordt ontwikkeld in Microsoft Visual Basic 6.0. De rekencapaciteit van Visual Basic is zodanig dat een goede performance kan worden verwacht. Voor het weergeven van grafieken wordt gebruik gemaakt van de programmabibliotheek TeeChart Pro 4.
- De applicatie wordt modulair opgezet. De structuur is dusdanig dat de functies voor rekenen en grafische presentatie van resultaten in afzonderlijke modules zijn ondergebracht. Hergebruik van deze modules in andere applicaties behoort hierdoor tot de mogelijkheden.
- De applicatie LVO kan worden gedraaid vanaf een werkstation en vanaf een netwerkserver. Voor het gebruik vanaf een netwerkserver dient een afwijkende installatieprocedure te worden gevolgd die afhankelijk is van het type netwerkserver en de besturingssystemen op de server en de werkstations. Een voorbeeldprocedure voor de netwerkinstallatie wordt in de handleiding opgenomen.
- LVO wordt ontwikkeld als single-user applicatie. Bestanden kunnen tussen gebruikers worden uitgewisseld maar er wordt geen functionaliteit ingebouwd ter bescherming tegen het gelijktijdig gebruik van bestanden.
- De applicatie vereist een werkstation met de minimale configuratieeisen:
  - Pentium-processor met een snelheid van 300 MHz
  - 2 Mb vrije schijfcapaciteit
  - 16 Mb intern werkgeheugen
  - Kleurenbeeldscherm
  - Besturingssystemen Windows 95, 98, 2000 en NT 4.0

Voor afdrukken dient een printer beschikbaar te zijn (lokaal of via het netwerk).

Bij gebruik van een netwerk (voor installatie of printen) dient het werkstation aangesloten te zijn op het netwerk.



## 7 Referenties

- Bakker, J.D., H.J. van der Graaf, and J.M. van Noortwijk. Model of Lifetime-Extending Maintenance. In M.C. Forde, editor, *Proceedings of the 8th International Conference on Structural Faults and Repair, London, United Kingdom, 1999*. Edinburgh: Engineering Technics Press, 1999.
- Bouwdienst RWS. Beheer op Peil (BOP 1997); Landelijk Beheerplan Nat planperiode 1999-2003. Technisch Rapport BPN4.PGG-4-98007, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Bouwdienst, Projectbureau Onderhoud Kunstwerken, 1998.
- van Noortwijk, J.M. Onderhoudsmoellering. Technisch Rapport BPN2.WM-1-96017, HKV LIJN IN WATER & Bouwdienst Rijkswaterstaat, ProjectBureau Onderhoud Kunstwerken, Utrecht, Februari 1996a.
- van Noortwijk, J.M. Het modelleren van falen en veroudering. Technisch Rapport BPN2.WM-1-96070, HKV LIJN IN WATER & Bouwdienst Rijkswaterstaat, ProjectBureau Onderhoud Kunstwerken, Utrecht, Juli 1996b.
- van Noortwijk, J.M. De bepaling van interventieniveaus; een onderhoudsmodel op basis van de onzekerheid in het conditieverloop en de Netto-Contante Waarde van de kosten, Technisch Rapport BPN3.WM-1-96002. HKV LIJN IN WATER & Bouwdienst Rijkswaterstaat, ProjectBureau Onderhoud Kunstwerken, Utrecht, December 1996c.
- van Noortwijk, J.M. *Optimal Maintenance Decisions for Hydraulic Structures under Isotropic Deterioration*. Proefschrift, Faculteit der Technische Wiskunde & Informatica, Technische Universiteit Delft, Mei 1996d.
- van Noortwijk, J.M. Het uitgebreide conditiemodel; technische documentatie, Technisch Rapport PR054, HKV LIJN IN WATER & Bouwdienst Rijkswaterstaat, ProjectBureau Onderhoud Kunstwerken, Utrecht, Augustus 1997.
- van Noortwijk, J.M. Optimal replacement decisions for stuctures under stochastic deterioration. In Andrzej S. Nowak, editor, *Proceedings of the Eighth IFIP WG 7.5 Working Conference on Reliability and Optimization of Structural Systems, Kraków, Poland, 1998*, paginas 273-280. Ann Arbor: University of Michigan, 1998.
- van Noortwijk, J.M., R.M. Cooke & M. Kok. A Bayesian failure model based on isotropic deterioration. *European Journal of Operational Research*, 82(2):270-282, 1995.
- van Noortwijk, J.M., M. Kok en R.M. Cooke. Optimal maintenance decisions for the sea-bed protection of the Eastern-Scheldt barrier. In Roger Cooke, Max Mendel, and Han Vrijling, editors, *Engineering Probabilistic Design and Maintenance for Flood Protection*, pages 25-56. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- 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 PR161.20. HKV LIJN IN WATER & Bouwdienst Rijkswaterstaat, ProjectBureau Onderhoud Kunstwerken, Utrecht, April 1999.
- Vrisou van Eck, N., en J.M. van Noortwijk. Handleiding Levensduur Verlengend Onderhoudsmodel; Versie 2.0, Technisch Rapport PR161.30, HKV LIJN IN WATER & Bouwdienst Rijkswaterstaat, ProjectBureau Onderhoud Kunstwerken, Utrecht, Juni 1999.



## **Bijlagen**



## Bijlage A: Opbouw invoerbestand

```
[LVO]
Versie=1.0.0
Language=31
Tijdhorizon=100
Model=LVO

[ALGEMEEN]
Traject=Waal
Functie=Hoofdtransportas
Object=Schutsluis
Instandhoudingsonderdeel=Sluisdeur
Inspectieonderdeel=Grote vlakken
Jaar=2001
Opmerkingen=

[CONDITIE]
Eenheid=mm
EenheidItems=%;cm;dm;m;mm;;
Nieuw=0.5
Falen=0
Levensduur=22
NietLinFactB=2
VarCoef=15
Faalkanseis=0
NormFaalkans=0.1

[LEVENSDUURVERLENGING]
Optie0=True
Interval=35
VerouderingsInterval=25
Conditieverbetering=-0.1
ConditieverbeteringPerc=10
Repeterend=1
Afhankelijk=1

[KOSTEN]
Eenheid=kfl
EenheidItems=f;$;kfl;k$;;
ReeleRente=4
Productuitgaven.0=200
Productuitgaven.1=2000
Productuitgaven.2=100
DirecteUitvoering.0=0
DirecteUitvoering.1=0
DirecteUitvoering.2=0
PersoneelsUitgaven.0=0
```

```
PersoneelsUitgaven.1=0
PersoneelsUitgaven.2=0
ToenamePerConditieEenheid.0=0
ToenamePerConditieEenheid.1=0
ToenamePerConditieEenheid.2=0
NietLineariteitsfactor.0=1
NietLineariteitsfactor.1=1
NietLineariteitsfactor.2=1
Vervolgschade=0
MaatschappelijkeKosten.0=0
MaatschappelijkeKosten.1=0
MaatschappelijkeKosten.2=0
Nieuwbouwkostenyn=1
Nieuwbouwkosten=200
EindigeTijshorizonyn=0
EindigeTijshorizon=10
```

## Bijlage B: Foutmeldingen

Nummer	Melding
0001	Schermresolutie te klein, moet minimaal 800*600 zijn
0002	Conditie falen moet kleiner zijn dan conditie nieuw
0003	Eindige tijdhorizon moet kleiner dan of gelijk zijn aan standaardtijdhorizon (%1 jaar)
0004	Aantal schermkleuren te klein, moet minimaal 256 zijn
0005	Tijdsinterval waarin geen veroudering optreedt moet kleiner zijn dan levensduurverlengingsinterval
0006	Kosten van preventieve vervanging moeten kleiner dan of gelijk zijn aan kosten van correctieve vervanging
0007	Bestand %1 vrij zeker geen LVO-bestand
0008	Fout tijdens schrijven van bestand %1
0009	Fout in aanroep van functie %1
0010	Er dient minimaal één printer te zijn geïnstalleerd
0011	Conditie na levensduurverlenging moet kleiner zijn dan conditie nieuw
0013	Kosten van levensduurverlenging moeten kleiner dan of gelijk zijn aan kosten van correctief vervangen
0014	Verwachte levensduur is te groot (%1 jaar)