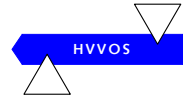


Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



BDN 7858

Projectcode : 8140

Renovatie systemen sluiscomplexen Haringvliet en Volkerak

Document: **Bijlage 3; RA- & PBO-kader**

Versie: **Baseline 4**

Status: **Versie t/m WvO 00161**

Datum: **11-04-2012**

Dok. nr.: **8140-05-030**

© Copyright Rijkswaterstaat.

Dit document en alle daartoe behorende modellen, tekeningen, etc. zijn eigendom van Rijkswaterstaat. Verveelvoudiging, in welke vorm ook, behoeft voorafgaande schriftelijke toestemming van Rijkswaterstaat.

Vorbereid door: H.W. Aldewereld	Geautoriseerd door: B.J.M. Vermaas (Contractmanager)	Geaccordeerd door: H.C. van Ommen (Projectmanager)
Datum:	Datum:	Datum:

Contact: hwvos@rws.nl

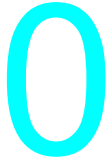
PROJECTIDENTIFICATIE

Project:

- Naam : Renovatie systemen sluizencomplexen Haringvliet en Volkerak
BDN-nummer : BDN 7858
Projectcode : 8140
Prognose aankondiging project : 1 maart 2006
Prognose einde Meerjarig Onderhoud : De volgens art. 2 lid 2 van de basisovereenkomst overeengekomen MJO periode vanaf datum Oplevering van het Werk (15 juni 2010)
Looptijd Werkzaamheden : Vanaf de datum van Aanvang Werk t/m datum einde van het integraal gecontracteerde Meerjarig Onderhoud.

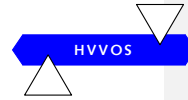
DOCUMENTHISTORIE

Versie	Status	Datum	Auteur	Opmerkingen
1.0	Definitief			
2.0	Definitief	20-09-2006		
2.0 + nota 5	Concept	10-05-2007	H. Leunk	Wijzigingen verwerkt uit nota 5
2.0 + nota 5 + nota 7	Concept	21-05-2007	H. Leunk	Wijzigingen verwerkt uit nota 7
3.0	Definitief	29-05-2007	A.C. van der Loos	Vaststelling als onderdeel van "Baseline 4" door projectteam
4.0	Definitief	08-03-2011	H. Aldewereld	Wijzigingen van Overeenkomst t/m WvO 105 verwerkt
5.0	Definitief	01-04-2011	H. Aldewereld	Wijzigingen van Overeenkomst t/m WvO 114 verwerkt
6.0	Definitief	18-05-2011	H. Aldewereld	Wijzigingen van Overeenkomst t/m WvO 129 verwerkt
7.0	Definitief	15-11-2011	H. Aldewereld	Wijzigingen van Overeenkomst t/m WvO 151 verwerkt
8.0	Definitief	11-04-2012	H. Aldewereld	Wijzigingen van Overeenkomst t/m WvO 161 verwerkt



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



BDN 7858

Projectcode : 8140

Renovatie systemen sluizencomplexen Haringvliet en Volkerak

Document: **Bijlage 3; RA- & PBO-kader**

Versie: **Baseline 4**

Status: **Definitief**

Datum: **11-04-2012**

Dok. nr.: **8140-05-030**

© Copyright Rijkswaterstaat.

Dit document en alle daartoe behorende modellen, tekeningen, etc. zijn eigendom van Rijkswaterstaat. Verveelvoudiging, in welke vorm ook, behoeft voorafgaande schriftelijke toestemming van Rijkswaterstaat.

Inhoudsopgave

i	Referentiedocumenten	4
i.i	Bindende Documenten	4
i.ii	Informatieve Documenten	4
ii	Inleiding	5
ii.i	Doelstelling document	5
ii.ii	Leeswijzer	5
ii.iii	Lijst met afkortingen	5
1	Risicoanalyse (RA)	7
1.1	Algemeen	7
1.2	Modelvoorbereiding	8
1.2.1	Systeem- en functieanalyse	8
1.2.2	Failure Mode & Effect Analysis (FMEA)	8
1.2.3	Analyse Externe Gebeurtenissen	9
1.2.4	Analyse Menselijk Falen	10
1.3	Kwalitatieve model	11
1.3.1	Foutenboomanalyses	11
1.4	Kwantitatieve model	12
1.4.1	Formules	12
1.4.2	Software	14
1.4.3	Externe gebeurtenissen	17
1.4.4	Menselijk Falen	17
1.5	Overige	18
1.5.1	Algemeen	18
1.5.2	Toetsing	18
1.5.3	Beheer van de Risicoanalyse	18
2	Probabilistisch Beheer en Onderhoudsplan	20
2.1	Algemeen	20
2.2	Vastlegging Probabilistisch Beheer- en Onderhoudsplan	21
2.3	Instandhouden van en voldoen aan de RAM-eisen	21
2.4	Vaststellen van de onderhoudsactiviteiten	22
2.5	Vaststellen van de frequentie van onderhoudsactiviteiten en het effect op de RAM-prestaties	23
2.6	Monitoring	24
2.7	Evaluatie	25

2.8 Eisen aan de inspecties	25
3 Veiligheden - model voor classificatie.....	26
4 Aanvullende informatie	29
4.1 Aanvullende informatie bij het opzetten van het PBO.....	29
4.2 Principe van Bayes.....	31

i Referentiedocumenten

i.i Bindende Documenten

Onderstaande Documenten zijn *normatief* en derhalve bindend.

[1] RWS Opschepmodel, doc. nr. 8140-05-241

i.ii Informatieve Documenten

Onderstaande Documenten zijn *indicatief* en derhalve niet bindend.

(1) RWS Faalkansmodel voor menselijk handelen, doc.nr. 8140-06-062

ii Inleiding

ii.i Doelstelling document

De Renovatie van en het Meerjarig Onderhoud aan de objecten dienen op een aantoonbaar juiste manier te voldoen aan de in de Wet op de Waterkering gestelde eisen ten aanzien van de veiligheid tegen overstromingen en de gewenste beschikbaarheid voor de overige functies.

ii.ii Leeswijzer

Het Document bevat de eisen Risicoanalyse (hoofdstuk 1) en Probabilistisch Beheer en Onderhoud (hoofdstuk 2) ten aanzien van de Werkzaamheden die uitgevoerd dienen te worden om het Werk te realiseren en in stand te houden. Voor de zgn. vergrendelingen van de scheepvaartsluizen is gekozen voor een alternatieve aanpak (zie hoofdstuk 3).

IDENTIFICATIE EISEN

De eisen zijn aan de linker kantlijn genummerd volgens het volgende formaat:

[Document]-[Eisencategorie]-[Onderdeel]-[volnummer]

waarbij:

Document	→	"A" = PvE algemeen
Eisencategorie	→	"P" = producteis "Q" = proceseis
Onderdeel	→	"R" (van RA&PBO) met hoofdstuknummer
Volnummer	→	volnummer binnen het werkpakket

Voorbeeld: **A-Q-R2-6**

Uitleg: Proceseis uit hoofdstuk 2 van dit RA&PBO Document, met volnummer 6.

ii.iii Lijst met afkortingen

BFR	Binomial Failure Rate
CCF	Common Cause Failure (vorm van afhankelijke falen)
CO	Correctief Onderhoud / correctieve vervanging
FMEA	Failure Mode & Effect Analysis
FT	Functionele test
FT+	Fault Tree+ programmatuur
GAO	Gebruiksafhankelijk Onderhoud
I/O	Input en output van besturingssystemen
IN	Inspectie
M-prestatie	Maintainability prestatie (te verwachten doorlooptijd / hersteltijd)
P-F interval	Interval tussen potentieel falen en functioneel falen
PBO	Probabilistisch Beheer & Onderhoud
PBS	Product Breakdown Structure (fysieke decompositie)
PBS-element	Component uit de fysieke decompositie
PO	Periodiek en preserverend / conserverend onderhoud
PV	Preventieve vervanging
RA	RA(MS) analyse

RAM	Reliability, Availability, Maintainability (Betrouwbaarheid, Beschikbaarheid, Onderhoudbaarheid)
R&A-prestatie	Reliability & Availability prestatie (te verwachten betrouwbaarheid en beschikbaarheid)
SAO	Storingsafhankelijk Onderhoud
SVG	Storingsvoorspellende Grootheid
TAO	Toestandsafhankelijk Onderhoud
TDT waarde	Waardering kwaliteit software Toepassingsdichtheid • Dynamisch gedrag • Totstandkoming

1 Risicoanalyse (RA)

1.1 Algemeen

De begrippen Betrouwbaarheid en Beschikbaarheid

Definitie Betrouwbaarheid:

De kans dat een systeem gedurende een bepaalde periode zonder falen zijn functie vervult. Het systeem werkt en de betrouwbaarheid is de kans dat het na een vooraf gedefinieerde tijdspanne nog steeds werkt. Het complement van betrouwbaarheid is faalkans. De eenheid is kans [-], dimensieloos. De faalkans is een functie van de frequentie waarmee een systeem faalt. In de praktijk wordt vaak gewerkt met de grootheid faalfrequentie. De eenheid is per jaar [-/j] of per uur [-/h].

Bij het bepalen van de faalfrequentie dient onderscheid te worden gemaakt tussen:

1. faalfrequentie als gevolg van niet-planbare oorzaken (bv. technische storingen, menselijk falen)
2. faalfrequentie als gevolg van externe gebeurtenissen ⁱ(bv. brand, bliksem)

Definitie Beschikbaarheid

2 definities worden gehanteerd:

1. De verwachte fractie van de totale tijd dat een systeem functioneert
 2. De kans dat een systeem functioneert wanneer het op een willekeurig tijdstip wordt aangesproken
- Het complement van de beschikbaarheid is niet-beschikbaarheid. De eenheid bij definitie 1 is fractie [%] en de eenheid bij definitie 2 is kans [-], dimensieloos.

Bij het bepalen van de niet-beschikbaarheid dient onderscheid te worden gemaakt tussen:

1. niet-beschikbaarheid als gevolg van niet-planbare oorzaken (bv. technische storingen, menselijk falen)
2. niet-beschikbaarheid als gevolg van planbare oorzaken (bv. gepland onderhoud)
3. niet-beschikbaarheid als gevolg van externe gebeurtenissen (bv. brand, bliksem)

Voor het bepalen van zowel de betrouwbaarheid (faalfrequentie) als de beschikbaarheid (niet-beschikbaarheid) dient het onderliggende Risicoanalysekader te worden gehanteerd.

A-Q- R1-1	Er dient een Risicoanalyse (RA) gemaakt te worden, waarmee de Betrouwbaarheid en de Beschikbaarheid van het Systeem kan worden bepaald.
A-P- R1-1	De Risicoanalyse dient zo gebruiksvriendelijk en transparant opgezet te worden, dat zij ook door derden gebruikt kan worden.
A-Q- R1-2	Aan de hand van de Risicoanalyse dient het mogelijk te zijn de evenwichtigheid van het betreffende ontwerp te toetsen. Met evenwichtigheid wordt bedoeld dat de risicobudgetten in beginsel gelijkmatig over de deelsystemen / Componenten verdeeld dienen te zijn.
A-Q- R1-3	Aan de hand van de Risicoanalyse dient het mogelijk te zijn het betreffende ontwerp te toetsen aan de gestelde betrouwbaarheids- en/of beschikbaarheidseisen.

ⁱ Onder een Externe Gebeurtenis dient men te verstaan een gebeurtenis die optreedt van buiten de normale bedrijfssystemen.

- A-Q- R1-4 | De volgende stappen dienen t.b.v. de Risicoanalyse te worden doorlopen:
- modelvoorbereiding (zie sub 1.2)
 - Systeem- en functieanalyse
 - Failure Mode & Effect Analysis (FMEA)
 - Risicoanalyse Externe Gebeurtenissen
 - Risicoanalyse Menselijk Falen
 - kwalitatieve modellering (zie sub 1.3)
 - Foutenboomanalyses
 - kwantitatieve modellering (zie sub 1.4)
 - Formules
 - Software
 - Externe gebeurtenissen
 - Menselijk Falen
 - overige (zie sub 1.5)
 - Algemeen
 - Toetsing
 - Beheer van de Risicoanalyse

1.2 Modelvoorbereiding

1.2.1 Systeem- en functieanalyse

- A-Q- R1-5 | Als uitgangspunt dient de decompositie van het Systeem zoals neergelegd in de Product Breakdown Structure (PBS) te worden gekozen.
- A-P- R1-2 | Er dient eenduidig weergegeven te worden hoe de onderdelen binnen het gehele Systeem fysiek samenhangen.
- A-P- R1-3 | Voor elk van de PBS-elementen dient de functie te worden gedefinieerd. De functionele samenhang tussen de verschillende PBS-elementen moet eenduidig worden weergegeven door middel van blokdiagrammen of blokschema's, waarmee tevens globaal de samenstelling en werking wordt verklaard. De in- en uitvoer van de verschillende blokken dient duidelijk te worden aangegeven. Speciale aandacht dient te worden besteed aan de koppelingen tussen verschillende blokschema's (interfaces van het systeem).
- A-P- R1-4 | In de Risicoanalyse dienen de aspecten op PBS-1 niveau als ongewenste topgebeurtenissen te worden gedefinieerd. Voorbeelden zijn: niet-openen op vraag, niet sluiten op vraag (en de variant onterecht openen of sluiten), het niet-beschikbaar zijn van andere functies (kier, zoutspoelen, etc.), niet-beschikbaar zijn voor het schutten van schepen.

1.2.2 Failure Mode & Effect Analysis (FMEA)

- A-Q- R1-6 | Op basis van de systeem- en functieanalyse, waarin een opdeling is gemaakt van het Systeem in PBS-elementen met bijbehorende functies, dient een Failure Mode & Effect Analysis (FMEA) te worden opgesteld.
- A-P- R1-5 | De FMEA dient zowel hardware als software te bevatten. Externe gebeurtenissen (1.2.3) en menselijk falen (1.2.4) worden apart beschouwd.

A-P- R1-6	Hardware dient t.b.v. de FMEA tot op het niveau van een Component te worden uitgewerkt.
A-P- R1-7	Software dient t.b.v. de FMEA tot op het niveau van een Softwaremodule te worden uitgewerkt.
A-P- R1-8	<p>De FMEA dient de volgende informatie te bevatten:</p> <ul style="list-style-type: none">• Systeemopdeling• Component / Softwaremodule• Componentcode• Functie• Faalmode(s) <i>Hierbij dient gebruik te worden gemaakt van de volgende gidswoorden:</i><ul style="list-style-type: none">- Wel / niet- Minder / meer- Anders / evenzo• Oorzaak• Afhankelijk falen (bij redundantie) <i>Zijn er andere Componenten die nagenoeg gelijktijdig kunnen falen door deze oorzaak? Indien dit het geval is, dient te worden aangegeven welke Componenten en Softwaremodules (met bijbehorende componentcode) het hier betreft.</i>• Gevolg voor het bovenliggende PBS-element• Gevolg in relatie tot de gedefinieerde ongewenste topgebeurtenissen• Type falen <i>Hierbij dient aangegeven te worden welke van de volgende typen falen het betreft: niet-merkbaar falen/merkbaar falen/falen per vraag/falen tijdens missie</i>• Faalgedrag <i>Hierbij dient te worden aangegeven welke van de volgende opties het betreft: spontaan falen / veroudering / falen als gevolg van een externe oorzaak.</i>
A-P- R1-9	Aan elk van de combinaties 'Component', 'faalmode' en 'oorzaak' in de FMEA dient een unieke codering te worden toegekend, nader te noemen <i>faalcode</i> . Deze faalcode dient als volgt te worden opgebouwd: <componentcode>.<code faalmode>.<code oorzaak>.
A-P- R1-10	Op basis van de totale FMEA en de gevolgen in relatie tot de ongewenste topgebeurtenissen moet onderbouwd worden welke faalmoden wel, respectievelijk niet worden opgenomen in de foutenbomen.

1.2.3 Analyse Externe Gebeurtenissen

A-Q- R1-7	Een afzonderlijke analyse dient uitgevoerd te worden om een overzicht te genereren van Externe Gebeurtenissen, die kunnen leiden tot het falen of het niet-beschikbaar zijn van PBS-elementen. Onder een Externe Gebeurtenis dient men te verstaan een gebeurtenis die optreedt van buiten de normale bedrijfssystemen.
A-P- R1-11	<p>In de analyse dienen de volgende Externe Gebeurtenissen in beschouwing te worden genomen:</p> <p>Brand (zowel interne als externe oorzaak)</p> <p>Langdurige stroomuitval (externe net)</p>
A-P- R1-12	<p>De volgende Externe Gebeurtenissen mogen als niet relevant worden aangemerkt:</p> <p>Terrorisme</p> <p>Falen waterleiding door Haringvlietssluzen mits, in het bijzonder bij de ombouw, voldoende maatregelen tegen beschadiging worden genomen en er geen ongewenste elektrische en/of magnetische beïnvloeding plaatsvindt</p>

	De Externe Gebeurtenis bliksem behoeft niet te worden geanalyseerd mits bij het ontwerp (en bouw en exploitatie) wordt voldaan aan het programma van eisen en de onderliggende normen.
A-P- R1-13	Voor elk van de relevante Externe Gebeurtenissen dient een kwalitatieve analyse uitgevoerd te worden waarbij ondermeer de oorzaak en het effect op de PBS-elementen, met bijbehorende componentcode, in kaart worden gebracht. Ook dient hierbij aangegeven te worden of het merkbaar of niet-merkbaar falen van een PBS-element tot gevolg heeft.
A-P- R1-14	Aan elk van de relevante Externe Gebeurtenissen dient, overeenkomstig de FMEA, een unieke <i>faalcode</i> te worden toegekend. Deze faalcode dient als volgt te worden opgebouwd: <componentcode>.<code faalmode>.<code Externe Gebeurtenis als oorzaak>.

1.2.4 Analyse Menselijk Falen

A-Q- R1-8	Een afzonderlijke analyse dient uitgevoerd te worden om een overzicht te genereren van de beheer- en onderhoudsactiviteiten, die door foutief menselijk handelen (Menselijk Falen) kunnen leiden tot het niet beschikbaar zijn van PBS-elementen. Hierbij moet expliciet onderscheid worden gemaakt tussen het bedienen van het object en het plegen van onderhoud.
A-P- R1-15	Per onderhoudsactiviteit, respectievelijk bedieningshandeling, dient te worden aangegeven welke menselijke fouten op welke wijze tot het falen of niet-beschikbaar zijn van een PBS-element kunnen leiden.
A-P- R1-16	Hierbij dient expliciet onderscheid te worden gemaakt tussen de volgende typen fouten: <ul style="list-style-type: none">• Verzuimfout, dat wil zeggen het niet uitvoeren van een gewenste actie (binnen de beschikbare tijd)• Uitvoeringsfout, dat wil zeggen het verkeerd uitvoeren van een gewenste actie (keuzefout, bedienfout etc.)• Het niet herstellen van menselijke fouten. Voor dit laatste dient te worden nagegaan, of het falen:<ul style="list-style-type: none">o waarneembaar iso het gevolg reversibel iso er voldoende tijd is tot herstel
A-P- R1-17	Aangegeven dient te worden in hoeverre de betreffende menselijke fout kan leiden tot het gelijktijdig falen of niet-beschikbaar zijn van verschillende PBS-elementen.
A-P- R1-18	Aangegeven dient te worden of het falen van een PBS-element als gevolg van foutief menselijk handelen merkbaar of niet-merkbaar is.
A-P- R1-19	Aan elk van de in kaart gebrachte menselijke fouten dient, overeenkomstig de FMEA, een unieke <i>faalcode</i> te worden toegekend. Deze faalcode dient als volgt te worden opgebouwd: <componentcode>.<code faalmode>.<code menselijke fout als oorzaak>.
A-P- R1-20	Beargumenterd dient te worden of de betreffende faalmode als gevolg van menselijk falen wel, respectievelijk niet in de foutenboom zal worden opgenomen.

Opmerking [TvdL1]:

0

1.3 Kwalitatieve model

1.3.1 Foutenboomanalyses

A-Q- R1-9	<p>De relevante faalmodes dienen met een foutenboom te worden gemodelleerd. Dat wil zeggen, alle afhankelijke (CCF) en onafhankelijke faalmodes van de FMEA, Analyse Externe Gebeurtenissen en Analyse Menselijk Falen, waarvoor is beargumenteerd dat deze in de foutenboom moeten worden opgenomen, dienen onderdeel te zijn van de foutenboom.</p> <p>I.v.m. de beperking van FT + mag worden gezocht tot minimaal 2 cutsets, mits CCF goed is meegenomen en de som waarbij "alles faalt" meerdere cutsets meeneemt.</p>
A-P- R1-21	<p>Voor het modelleren van de foutenboom dient gebruik te worden gemaakt van het programma Fault Tree+ van Isograph.</p>
A-Q- R1-10	<p>De foutenboomtechniek dient dusdanig gehanteerd te worden dat alle minimale deelverzamelingen, die in de praktijk mogelijk zijn, daadwerkelijk onderdeel uitmaken van de analyse.</p>
A-Q- R1-11	<p>Bij het bepalen van een faalkans per vraag dient onderscheid gemaakt te worden tussen de volgende vormen van falen:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Niet-beschikbaarheid door niet-merkbaar falen buiten missie2. Niet-beschikbaarheid door merkbaar falen buiten missie3. Falen bij vraag4. Falen tijdens missie
A-Q- R1-12	<p>Afhankelijk falen dient traceerbaar te worden gemodelleerd. Er zijn verschillende modellen voorhanden om Common Cause Falen (CCF) te analyseren bijvoorbeeld: beta-factor, alpha-factor en Binomial Failure Rate (BFR) model. Het is toegestaan verschillende typen CCF modellen toe te passen mits hiervoor onderbouwde argumenten worden aangedragen.</p>
A-Q- R1-13	<p>Alle Componenten, waarbij afhankelijk falen (CCF) van toepassing kan zijn, dienen expliciet toegewezen te worden aan CCF-groepen. Hierbij geldt als toewijzingscriterium dat alle Componenten, behorende tot een CCF-groep, nagenoeg gelijktijdig kunnen falen als gevolg van een gemeenschappelijke oorzaak. Elk van de CCF-groepen dient een unieke codering te hebben.</p>
A-Q- R1-14	<p>Software falen dient expliciet in de vorm van een aparte basisgebeurtenissen gemodelleerd te worden.</p>
A-Q- R1-50	<p>Deze basisgebeurtenissen beschrijven het falen van de gedefinieerde Softwaremodules en dienen gekoppeld te worden aan het PBS-element, dat faalt als gevolg van het falen van de desbetreffende Softwaremodule.</p>
A-P- R1-22	<p>Eis is vervallen!</p>
A-Q- R1-16	<p>Menselijk Falen dient expliciet als aparte basisgebeurtenissen gemodelleerd te worden en gekoppeld te worden aan het PBS-element dat faalt als gevolg van de desbetreffende menselijke fout.</p>
A-Q- R1-17	<p>Indien het herstel door de mens van storingen aan PBS-elementen zinvol wordt geacht, gegeven de faalkanseisen, dient dit expliciet gemodelleerd te worden.</p>

- A-Q- R1-18 | Indien menselijk herstel is toegepast, dient dit op een traceerbare en dusdanige wijze in het model te zijn opgenomen, dat de Risicoanalyse naar wens resultaten met en zonder herstelacties kan leveren. Dit betekent dat herstelacties op dusdanige wijze dienen te worden gemodelleerd, dat hun invloed op de ongewenste topgebeurtenissen op eenvoudige wijze geneutraliseerd en geactiveerd kan worden.
- A-Q- R1-23 | Indien menselijk herstel is toegepast, dient ook het mogelijk falen van deze menselijke herstelacties expliciet in beschouwing te worden genomen (zie ook 1.4.4).
- A-Q- R1-24 | De gebeurtenissen en/of logische poorten in de foutenbomen dienen zowel van een codering als van een (uitgebreidere) beschrijving te worden voorzien.
- A-Q- R1-19 | Deze coderingen en beschrijvingen van basisgebeurtenissen dienen zodanig te zijn dat de faalmode eenduidig hieruit is af te leiden.
- A-Q- R1-20 | Deze coderingen en beschrijvingen dienen eenduidig en consistent te zijn.
- A-Q- R1-21 | De codering van gebeurtenissen dient gebaseerd te zijn op de faalcodes zoals toegepast bij de FMEA, Analyse Externe Gebeurtenissen en de Analyse Menselijk Falen, zodanig dat een eenduidige en traceerbare koppeling bestaat tussen de componentcodes en de basisgebeurtenissen die het falen van de corresponderende Componenten beschrijven.
- A-Q- R1-22 | De foutenbomen dienen zodanig gestructureerd te zijn, dat toekomstig meerjarig onderhoud van de foutenbomen eenvoudig door derden is uit te voeren.

De opdrachtnemer dient, bij voorkeur per deelsysteem, de modellering in de foutenboom te beschrijven. Derden dienen daarmee in staat te zijn de modellering en de daarbij gehanteerde uitgangspunten en aannamen te doorgronden.

1.4 Kwantitatieve model

1.4.1 Formules

- A-Q- R1-51 | Het kwantificeren van de foutenboom, dat wil zeggen het genereren van de minimale deelverzamelingen en het berekenen van de kans op de ongewenste topgebeurtenis aan de hand van Booleaanse algebra, dient met hetzelfde programma (Fault Tree+) plaats te vinden.
- A-Q- R1-52 | Voor de kwantificering dient uitgegaan te worden van de faaldata zoals opgenomen in de bijgeleverde database (zie bijlage bij dit document) Indien Componenten niet in deze database voorkomen, dient een kwantitatieve onderbouwing van de aangenomen faalkansen en/of faalfrequenties aan de opdrachtgever ter goedkeuring overlegd te worden. Hetzelfde geldt voor wel in de database voorkomende data indien de opdrachtnemer van mening is dat de voorgeschreven data niet passend is op de toe te passen Componenten.

Bij gebruik van afwijkende data ten opzichte van de bijgeleverde database dient de opdrachtnemer het effect op de faalkans en niet-beschikbaarheid aan te geven.

A-Q- R1-25	Voor de kwantificering van reparatieduren mogen reparatie- en responstijden vrij gekozen worden onder voorwaarde van eis A-Q-R1-26.
A-Q- R1-26	De gemodelleerde reparatieduren gelden als taakstellend voor de probabilistische beheer- en onderhoudsplannen en dienen derhalve realistisch te zijn gegeven onder meer aanrijtijden, diagnose, onderhoudsovereenkomsten, de aanwezigheid van reservedelen etc.
A-Q- R1-27	<p>Voor de kwantificering van afhankelijk falen dient men gebruik te maken van de CCF-modellen.</p> <p>Hierbij dienen de Componenten uit de eerder gedefinieerde CCF-groepen in beschouwing te worden genomen. Naast het onafhankelijk falen van elk van deze Componenten, dient het optreden van een gebeurtenis, waardoor één of meer Componenten nagenoeg gelijktijdig kunnen falen, gekwantificeerd te worden.</p> <p>Bij gebruik van het BFR-model dient de opdrachtnemer – buiten Fault Tree+ om – onderstaande formules te hanteren.</p> <p>Onderscheid dient te worden gemaakt tussen twee typen CCF-gebeurtenissen, namelijk <i>niet-letale</i> (niet alle Componenten uit de CCF-groep falen) en <i>letale</i> (alle Componenten uit de CCF-groep falen tegelijkertijd).</p> <p>Bij het optreden van een niet-letale gebeurtenis wordt verondersteld dat elke Component in de CCF-groep een constante en onafhankelijke kans (p) heeft te falen. Voor het beschrijven van het falen van verschillende Componenten wordt de binomiale verdeling gebruikt, waarbij m gelijk is aan het aantal Componenten in de CCF-groep.</p> <p>De faalfrequentie van precies i Componenten met betrekking tot niet letaal CCF is:</p> $\lambda_i = \mu \cdot p^i \cdot (1-p)^{m-i}$ <p>De faalfrequentie als gevolg van letaal falen is ω.</p> <p>De faalfrequentie van alle m Componenten, λ_m, uit de CCF-groep is:</p> $\lambda_m = \mu \cdot p^m + \omega$ <p>De faalfrequentie van tenminste k ($m \geq k > 1$) Componenten, λ_{k+}, uit de CCF-groep is:</p> $\lambda_{k+} = \sum_{i=k}^m \binom{m}{i} \lambda_i + \omega$ <p>Gebruikt dient te worden: $p = 0,333$ $\mu = 0,405 \cdot \lambda_t$ $\omega = 0,005 \cdot \lambda_t$ met λ_t is de faalfrequentie van de Component uit de generieke database</p>

1.4.2 Software

Voor de kwantificering van software falen dient de volgende aanpak te worden gehanteerd.

A-Q- R1-29

Voor elk van de Softwaremodules dienen de volgende aspecten ingedeeld te worden in categorieën 1, 2, 3 of 4:

- **TOEPASSING (toepassingsdichtheid)**
Een Softwaremodule die op veel verschillende plaatsen reeds lang ten behoeve van veel verschillende processen wordt toegepast zal aanzienlijk betrouwbaarder zijn dan een Softwaremodule die uniek is en alleen in het desbetreffende systeem wordt toegepast.
- **DYNAMISCH GEDRAG (de complexiteit van de Softwaremodule)**
Zijn er veel verschillende paden die afhankelijk van de grootte van de input bewandeld kunnen worden? Zijn er veel input grootheden? Zijn er veel verschillende outputs mogelijk?
- **TOTSTANDKOMING (Onder welk kwaliteitsregiem is de Softwaremodule totstandgekomen)**
Heeft dat regiem in veel verschillende betrouwbaarheidstesten voorzien? Dit zal van invloed zijn op de Betrouwbaarheid van de Softwaremodule.

A-Q- R1-30

Voor de categorisering gelden de volgende criteria:

TOEPASSINGSDICHTHEID

Categorie

Omschrijving

1

Wordt breed toegepast
Vindt ook toepassing in gelijksoortige situaties

2

Wordt breed toegepast
Maar niet in deze situatie

3

Wordt binnen de watersector op meer plaatsen toegepast
Is speciaal voor het object gemaakt

4

Is speciaal voor het object gemaakt
Wordt nergens anders toegepast

DYNAMISCH GEDRAG

Omschrijving

Categorie

Eenvoudig systeem

1

<4 I/O

1,25

<8 I/O

1,5

<12 I/O

1,75

<16 I/O

2

<20 I/O

Redelijke complexiteit

3

Meer dan 20 I/O's

4

Meer dan 20 I/O's
Complex model

Toelichting: Met I/O's wordt input en output bedoeld

TOTSTANDKOMING

Categorie

Omschrijving

1

Professionele software-ontwikkeling
 Werkt volgens een gedegen kwaliteitssysteem, toegespitst op de ontwikkeling van zeer betrouwbare software.

Gestructureerde methoden, formele methoden
 Case tools en onafhankelijke testteams

2

Professionele software-ontwikkeling
 Werkt volgens een gedegen kwaliteitssysteem

3

Professionele software-ontwikkeling
 Weinig tot geen standaarden

4

Is binnen een niet in software-ontwerp gespecialiseerd team ontworpen
 Weinig tests en hoge tijdsdruk

A-Q- R1-31 | Van de door de Opdrachtnemer toegepaste Softwaremodules wordt geëist dat de ontwikkeling ervan op professionele wijze plaatsvindt of heeft plaatsgevonden. Voor de kwantificering van de faalkans van software betekent dit dat Softwaremodules, die qua totstandkoming tot categorie 4 behoren, niet zijn toegestaan.

A-Q- R1-32 | Vervolgens dient voor de Softwaremodules een zogeheten TDT waarde bepaald te worden:

$$TDT = \text{Toepassingsdichtheid} \cdot \text{Dynamisch gedrag} \cdot \text{Totstandkoming}$$
 Het resultaat van deze formule levert een waarde voor TDT welke correspondeert met een kans op falen van de betreffende Softwaremodule.

A-Q- R1-33 | De relatie tussen TDT en faalkans die dient te worden gehanteerd is aangegeven in de volgende tabel:

TDT	Faalkans / vraag
1-2	$1 \cdot 10^{-5}$
3-12	$1 \cdot 10^{-4}$
16-30	$1 \cdot 10^{-3}$
32-48	$1 \cdot 10^{-2}$

1.4.3 Externe gebeurtenissen

- A-Q- R1-34 | Voor de kwantificering van de kans van voorkomen van (de effecten) Externe Gebeurtenissen, anders dan door de opdrachtgever aangeleverd, dient een kwantitatieve onderbouwing van de aangenomen kansen aan de Opdrachtgever ter goedkeuring overlegd te worden.

1.4.4 Menselijk Falen

- A-Q- R1-35 | Voor de kwantificering van zowel Menselijk Falen tijdens:
- het uitvoeren van noodzakelijke bedienhandelingen zowel regulier als in het geval dat de automatisering is uitgevallen
 - het herstellen van opgetreden storingen
 - onderhoud en testen
 -
- Voor de kwantificering dient de volgende indeling van typen fouten met bijbehorende kansen P1 t/m P6 te worden toegepast:
- P1
Het niet detecteren van de noodzaak tot actie of het maken van een foute diagnose in een dynamische situatie
- P2
Het maken van een verzuimfout, dat wil zeggen het niet uitvoeren van een gewenste actie (binnen de beschikbare tijd)
- P3
Het maken van een uitvoeringsfout (keuzefout, bedienfout, etc.)
- P4
Het niet formuleren van een correcte respons op een ongewenste situatie
- P5
Geen correcte uitvoering van een herstelactie waarbij stress een rol kan spelen
- P6
Het niet herstellen van (latente) fouten
- A-Q- R1-36 | De kwantificering van bovenstaande kansen P1 t/m P6. alsmede de specifieke combinatie hiervan voor respectievelijk menselijk falen tijdens onderhoud en tijdens herstellen dient via het RWS Opschepmodel ref [1] te worden bepaald. De kwantificering voor Menselijk Falen bij operationele (bedien) handelingen dient met behulp van het document ref(1) te worden bepaald. Het doorrekenen van de afzonderlijke bijdragen is wel mogelijk met het Opschepmodel.

1.5 Overige

1.5.1 Algemeen

- A-Q- R1-37 | Voor elk van de foutenbomen dient een overzicht te worden gegenereerd van de belangrijkste minimale deelverzamelingen, waarvan de opgetelde faalkansbijdragen minimaal 99% van de kans op de topgebeurtenis van de foutenboom bevatten.
- A-Q- R1-38 | De Risicoanalyse dient de basis te zijn voor de onderhouds- en beheerplannen.
- A-Q- R1-39 | eis is vervallen
- A-Q- R1-40 | Er dient een kwaliteitsborgingsysteem opgezet te worden dat meerjarig onderhoud van de Risicoanalyse en het onderhoudsplan bewaakt op onder andere vigerende documenten, onjuistheden, versieverschillen en consistentie.

1.5.2 Toetsing

- A-Q- R1-41 | De Risicoanalyse moet op de juiste uitgangspunten worden gebaseerd.
- A-Q- R1-42 | De uitgangspunten uit de relevante ontwerpdocumenten dienen te worden aangepast op basis van de operationele ervaring en het actuele gebruik van het object.
- A-Q- R1-43 | Omdat dit soort Risicoanalyses veelomvattend is en van essentieel belang voor het functioneren van het systeem dient veel aandacht gegeven te worden aan het vastleggen van de uitgangspunten van de Risicoanalyse.
- A-Q- R1-44 | Daar de uitgangspunten van de Risicoanalyse buiten toedoen van het object zouden kunnen wijzigen, dienen zij periodiek gecontroleerd te kunnen worden.
- A-Q- R1-45 | Waar nodig dient de Risicoanalyse op de veranderde uitgangspunten te worden aangepast.

1.5.3 Beheer van de Risicoanalyse

- A-Q- R1-46 | De Risicoanalyse dient als basis te dienen voor een onderhoudsplan dat faalkansen en faalcriteria respecteert.
De Risicoanalyse dient bij voortduring actueel en operationeel te worden gehouden
Indien de Risicoanalyse door verschillende opdrachtnemers (bv. als gevolg van verschillende contractperioden) wordt uitgevoerd, dan dienen de Opdrachtnemers te zorgen voor een zorgvuldige overdracht, waarbij geen informatie verloren gaat.
- A-Q- R1-47 | De modellering van de Risicoanalyse dient dusdanig te zijn opgebouwd dat:
• Veranderingen in Systemen eenduidig, eenvoudig en op gebruikersvriendelijke wijze in de Risicoanalyse aangebracht kunnen worden.

- Verschillende versies van de Risicoanalyse opgeslagen kunnen worden.
- A-Q- R1-48 | Het versiebeheer van de Risicoanalyse dient geformaliseerd te worden en dusdanig in de organisatie van het onderhoud te worden opgenomen, dat van elke wijziging en mutatie de onderbouwing en de betreffende documenten traceerbaar zijn.
- A-Q- R1-49 | Voorts moet het versiebeheer van de Risicoanalyse, het beschikbaar zijn en het werken met vigerende documenten waarborgen.

2 Probabilistisch Beheer en Onderhoudsplan

2.1 Algemeen

A-Q- R2-1	Er dient een Probabilistisch Beheer- en Onderhoudsplan (PBO) gemaakt te worden, dat uitgaat van de vraagspecificatie van het object.
A-Q- R2-2	Er zal meerjarig onderhoud worden uitgevoerd op basis van probabilistische methodieken zodanig dat tegen zo laag mogelijke kosten aantoonbaar aan de gestelde RAM-eisen (Betrouwbaarheid, Beschikbaarheid en Onderhoudbaarheid) zal worden voldaan.
A-Q- R2-3	De beheer- en onderhoudsmethodieken en activiteiten alsmede de daaruit voortvloeiende benodigde middelen dienen concreet vastgesteld te worden.
A-Q- R2-4	De implementatie van inspectie en onderhoud op basis van kwantitatieve onderhoudsoptimalisatie modellen dient zodanig te gebeuren dat de toelaatbare faalfrequenties gerespecteerd blijven.
A-Q- R2-5	De testintervallen uit de Risicoanalyse dienen geïmplementeerd te worden, waardoor het niet merkbaar falen wordt beheerst.
A-Q- R2-6	Er dienen perioden beschreven te worden waarin het onderhavige object niet volledig beschikbaar is vanwege uit te voeren beheer- en onderhoudswerkzaamheden. Tevens dient de impact op de RAM-prestatie te worden aangegeven.
A-Q- R2-7	Met behulp van de Risicoanalyse moet vastgesteld worden wat het effect is van het geplande onderhoud (frequentie en duur) op de RAM-prestatie als gevolg van het buitendienst stellen van delen van het onderhavige object.
A-Q- R2-8	De reparatietijden die in de Risicoanalyse worden gehanteerd dienen te worden gerespecteerd.
A-Q- R2-9	Storingen dienen te worden gesignaleerd en op storingen dient te worden gereageerd. Deze eis heeft een directe relatie met het respecteren van reparatietijden (eis A-Q-R2-8)
A-Q- R2-10	Reservedelen en onderhoudsmiddelen dienen te worden beheerd.
A-Q- R2-11	Responstijden als onderdeel van de reparatietijden dienen te worden geoptimaliseerd.
A-Q- R2-12	Onderhoudsprocedures, werkopdrachten en bijbehorende beschrijvingen dienen passend in het gehanteerde kwaliteitssysteem te worden geïmplementeerd. Waar nodig dienen de beschrijvingen rekening te houden met het reduceren van de kans op menselijke onderhoudsfouten of het faciliteren van herstelacties. Beschrijvingen dienen ook gericht te zijn op het reduceren van de kans op afhankelijk falen door onderhoudsfouten.
A-Q- R2-13	De benodigde kennis (opleidingsniveau, vaardigheden) dient vastgelegd te worden.

A-Q- R2-14	De bemensing van de Beheer- en Onderhoudorganisatie dient over de benodigde kennis te beschikken.
A-Q- R2-15	Storings- en ander relevant gedrag dient getoetst te worden aan de uitgangspunten van de Risicoanalyse.
A-Q- R2-16	Iteratief dient het onderhoud in relatie met de Risicoanalyse aangepast te worden op de geprognoseerde levensduurverwachting van de verschillende onderdelen. Naar verwachting zal de faalfrequentie van Componenten toenemen naarmate het einde van de levensduur nadert.

2.2 Vastlegging Probabilistisch Beheer- en Onderhoudsplan

A-Q- R2-17	Het PBO dient een database te bevatten met een gebruikersdialoog. Doel is om de gegevens via een gebruikersvriendelijke interface te kunnen raadplegen en indien nodig te muteren.
A-Q- R2-18	Het PBO moet gericht zijn op het voortdurend en duurzaam voldoen aan de gestelde RAM-eisen.
A-Q- R2-19	Het PBO dient tevens gericht te zijn op het optimaliseren van de onderhoudskosten.
A-Q- R2-20	Het PBO dient een tijdshorizon te bevatten van tenminste 20 jaar. Op basis hiervan kan inzicht worden verkregen in de te verwachten activiteiten en kosten over een meerjarige periode.
A-Q- R2-21	De programmatuur die ten behoeve van het PBO wordt gebruikt, zoals databases, onderhoudsanalyses en optimalisatieprogramma's dient op elkaar afgestemd te zijn en te kunnen communiceren met de programmatuur ten behoeve van de Risicoanalyse.
A-Q- R2-22	De programmatuur dient geschikt te zijn om gedurende de gehele levensfase het verloop van de RAM-prestatie en de levensduurkosten te kunnen bepalen en presenteren (zie voor de tijdshorizon eis A-Q-R2-20).
A-Q- R2-23	Bij de start van het opstellen van een PBO dient de scope vastgesteld te worden. Dit betekent dat de fysieke systeemgrenzen, de Componenten met bijbehorende codering bekend moeten zijn.
A-Q- R2-24	Er dient een goede referentie te zijn tussen het actuele PBO, de gebruikte software, de analysesresultaten, de taakstellende procedures, werkopdrachten en de bijbehorende beschrijvingen. Aanpassingen dienen onderdeel te zijn van het Configuratiebeheer in de vorm van traceerbare versie nummers en relevante documentatie

2.3 Instandhouden van en voldoen aan de RAM-eisen

A-Q- R2-25	Het meerjarig onderhoud dient een relatie te hebben met de RAM-eisen die aan het object zijn gesteld. Rekening dient gehouden te worden met de RAM-eisen voor het gehele onderhavige object en voor de onderliggende PBS-elementen. De taakstellende RAM-eisen betreffen: <ul style="list-style-type: none">• Toelaatbare faalfrequentie• Testinterval
------------	---

	<ul style="list-style-type: none">• Reparatie tijd• Doorlooptijd inspectie• Doorlooptijd preventief onderhoud
A-Q- R2-26	Onderscheid wordt gemaakt in: <ul style="list-style-type: none">• Hardware• Software• Afhankelijk falen• Menselijk Falen<ul style="list-style-type: none">○ Als bediener tijdens bedrijf○ Als hersteller tijdens bedrijf○ Als onderhouder buiten bedrijf
A-Q- R2-27	De kans op afhankelijk falen dient zonodig op operationeel niveau te worden beperkt door het toepassen van gestaffeld onderhoud en door gebruik te maken van wisselende onderhoudsmonteurs. Indien afhankelijk falen van toepassing is, dient aangegeven te worden welke voorzorgsmaatregelen genomen worden.
A-Q- R2-28	Eis vervalt
A-Q- R2-29	De procedures dienen een dwingend karakter te hebben (taakstellend).
A-Q- R2-30	Men dient regelmatig te trainen waarbij aandacht geschonken wordt aan het denken en handelen bij meerjarig onderhoud om de beschikbaarheid van het object prioriteit te geven.
A-Q- R2-31	De wijze van handelen in het meerjarig onderhoud dient getoetst en geëvalueerd te worden.
A-Q- R2-32	Er dienen pro-actief maatregelen genomen te worden om de gevolgen van storingen te beperken en de kans op toekomstige storingen te beperken.
A-Q- R2-33	Tevens dienen deze maatregelen onderdeel te vormen van de dagelijkse werkzaamheden. Voorbeelden zijn: <ul style="list-style-type: none">• het zorgvuldig uitvoeren van onderhoud en inspectie• het adequaat verwerken/verzamen en digitaal opslaan van de gegevens• het terugkoppelen / melden van potentiële storingen• het juist achterlaten van de Componenten
A-Q- R2-34	De frequenties en doorlooptijden van inspecties en preventief onderhoud dienen de totaal geplande niet-beschikbaarheid niet te overschrijden.

2.4 Vaststellen van de onderhoudsactiviteiten

A-Q- R2-35	Met behulp van een gedetailleerde onderhoudsanalyse, zoals die binnen de systematiek van RCM bekend is, dienen de effectieve inspectie- en onderhoudsactiviteiten te worden vastgesteld. Onderscheid wordt gemaakt in: <ul style="list-style-type: none">• FT (Functionele test; overeenkomstig de Risicoanalyse en de bedienschenario's)• IN (Inspectie)• PO (periodiek en preserverend / conserverend onderhoud)• PV (preventieve vervanging)
------------	--

	<ul style="list-style-type: none">○ naar aanleiding van test of inspectie○ als GAO-strategie; op basis van aantal aanspraken, gebruikstijd of kalendertijd○ vervanging kan ook betekenen: 'weer zo goed als nieuw'● CO (correctieve vervanging)<ul style="list-style-type: none">○ naar aanleiding van test of inspectie○ als SAO-strategie.
	<p>De aldus vastgestelde onderhoudsactiviteiten dienen te worden aangevuld met activiteiten die kunnen worden aangeduid als "goed huisvaderschap". Daarnaast dient het door leveranciers voorgeschreven onderhoud te worden gerespecteerd tenzij er overtuigende argumenten zijn om hiervan af te wijken.</p>
A-Q- R2-36	<p>Prioriteren binnen de onderhoudsanalyse dient plaats te vinden op basis van een lijst van 'availability killers'. De onderhoudsanalyse van deze Componenten is gericht op het continu verbeteren van de beschikbaarheid door het nemen van pro-actieve maatregelen zoals het uitvoeren van periodiek onderhoud en het optimaliseren van reservedelen.</p>
A-Q- R2-37	<p>Componenten, die geen 'availability killer' zijn, maar die bij functioneel falen een relatief sterke verhoging van de faalkans van het object veroorzaken moeten geprioriteerd worden op basis van Birnbaum of Fussell-Vesely importance. Bij deze Componenten ligt het accent niet zo zeer op het continu verbeteren van de beschikbaarheid als wel het voortdurend monitoren dat aan de veronderstelde RAM-prestatie kan worden voldaan.</p>
A-Q- R2-38	<p>De basisgebeurtenissen uit de Risicoanalyse dienen gekoppeld te worden aan een dominante faaloorzaak die of een stijgende of een constante faalfrequentie hebben, om een vertaling te kunnen maken naar het benodigde onderhoud.</p> <p>Toelichting: de invloed van het beheer en onderhoud op de veronderstelde RAM-prestatie van het object moet aan de hand van de basisgebeurtenissen kunnen worden vastgesteld.</p>
A-Q- R2-39	<p>Nagegaan dient te worden dat bij SAO de verwachte faalfrequentie voldoet aan de Betrouwbaarheidseis van de desbetreffende Component. Indien dit niet het geval is, zal een modificatie moeten volgen waardoor de faalfrequentie wordt verlaagd of zullen maatregelen genomen moeten worden om de Onderhoudbaarheid (repareerbaarheid) te verbeteren waardoor de beschikbaarheid toeneemt en als gevolg daarvan alsnog aan de RAM-eisen wordt voldaan. Theoretisch is het ook mogelijk faalkansbudgetten te herverdelen over de faalmechanismen.</p>
A-Q- R2-40	<p>Indien een Storingvoorspellende Grootheid (SVG) bekend is en het P-F-interval is groot genoeg om te kunnen ingrijpen, dan dient Toestandsafhankelijk Onderhoud (TAO) een optie te zijn. In sommige gevallen is de spreiding zo groot of het P-F-interval zo klein dat geen praktisch inspectie-interval gevonden kan worden. In dat geval dient voor een alternatieve modificatie gekozen te worden hetzij van de Component hetzij van de detectiemethodiek.</p>

2.5 Vaststellen van de frequentie van onderhoudsactiviteiten en het effect op de RAM-prestaties

A-Q- R2-41	<p>Na de kwalitatieve onderhoudsanalyse dienen de frequenties van de inspectie- en onderhoudsactiviteiten te worden vastgesteld. Dit betekent dat de verwachte RA-prestatie van elk PBS-element moet worden berekend en de M-prestatie moet worden bepaald op basis van het uitgevoerde meerjarig onderhoud (preventief en correctief) en moet worden vergeleken met de RAM-eisen. De M-prestatie moet worden gezien als de prestatie van het onderhoud op vlakken als onderhoudsintervallen en reparatieduren. Deze bepalen immers mede de RA-prestatie</p>
------------	--

A-Q- R2-42	<p>Eisen aan het onderhoudsoptimalisatiemodel:</p> <ul style="list-style-type: none">• Op basis van de set van onderhoudsactiviteiten (IN, PO, PV, CO) dient per Component de resterende faalfrequentie (dit is de faalfrequentie van de Component, ondanks het feit dat inspecties en preventief onderhoud worden uitgevoerd) te worden berekend.• Bij inspecties (IN) dient gebruik te worden gemaakt van een verwacht en meetbaar degradatieverloop, waarbij de onzekerheid rondom het verloop bepalend is voor de kans dat de Component functioneel faalt.• Bij periodiek (preserverend / conserverend) onderhoud (PO) dient de relatie tussen de frequentie van het onderhoud en het effect op het verloop van het degradatiegedrag dan wel het tijdstip van functioneel falen te worden vastgesteld.• Bij preventieve vervanging (PV), veelal na inspectie, dient de resterende faalfrequentie te worden afgeleid uit het onderhoudsinterval, het verwachte tijdstip van falen en de onzekerheid rondom dit tijdstip.• De berekende (resterende) faalfrequentie dient lager te zijn dan de betrouwbaarheidseis uit de Risicoanalyse. Op grond van deze vergelijking worden optimale inspectie en onderhoudsintervallen berekend.• Bij correctief onderhoud (CO) dient de (geobserveerde) faalfrequentie dus ook lager te zijn dan de betrouwbaarheidseis uit de Risicoanalyse.
A-Q- R2-43	<p>Alternatieve sets van inspectie- en onderhoudsactiviteiten die eveneens de RAM-eisen respecteren dienen op basis van minimale levensduurkosten (LCC) te worden afgewogen.</p>
A-Q- R2-44	<p>Omdat de RAM-prestaties afhankelijk kunnen zijn van kleine Afwijkingen in het degradatiegedrag van Componenten en bijbehorende inspecties, dient een gevoeligheidsanalyse onderdeel te zijn van de kwantificering.</p>

2.6 Monitoring

A-Q- R2-45	<p>De gemeten prestaties vanuit meerjarig onderhoud dienen vertaald te worden naar RAM prestaties op basis van monitoring en trendanalyse.</p>
A-Q- R2-46	<p>De volgende gegevens dienen gemeten te worden:</p> <ul style="list-style-type: none">• Het verloop van conditieparameters• Het aantal defecten of afkeuringen na een test• Werkelijke reparatietijden• Werkelijke testintervallen• Werkelijke inspectie- en onderhoudsintervallen• Werkelijke inspectie- en onderhoudsdoorlooptijden
A-Q- R2-47	<p>Monitoring en trendanalyses dienen te leiden tot actualisering van de gegevens die in de Risicoanalyse zijn gebruikt.</p>
A-Q- R2-48	<p>Bij het actualiseren van de RAM-prestaties dient gebruik te worden gemaakt van Bayesiaanse statistiek. De Bayesiaanse rekenregel wordt toegepast op Componenten die storingsafhankelijk worden onderhouden. Opmerking: Het actualiseren van de RAM-prestatie van Componenten, die niet storingsafhankelijk worden onderhouden, wordt bepaald met behulp van inspectiegegevens en onderhoudsoptimalisatie!</p>

2.7 Evaluatie

- | | |
|------------|---|
| A-Q- R2-49 | Het verbeteren van het PBO dient een continu proces te zijn. Hierbij dienen dus de volgende activiteiten doorlopen te worden: <ul style="list-style-type: none">• Evaluatie van het PBO.• Evaluatie van de invloed van eventuele verbeteringsvoorstellen.• Evaluatie van de uitgangspunten. |
| A-Q- R2-50 | Het proces om te komen tot een PBO en de inhoud van het PBO dienen beide periodiek te worden getoetst. |
| A-Q- R2-51 | De volgende kengetallen dienen gehanteerd te worden: <ul style="list-style-type: none">• RAM-eis voor het gehele object• Maximaal toegestane RAM-bijdrage per PBS-element• Verwachte RAM-prestatie op basis van uitvoering onderhoud en opgetreden (ver)storingen. |
| A-Q- R2-52 | Als de gerealiseerde RAM-prestatie bekend is, maar niet voldoet aan de RAM-eis, dan dienen de belangrijkste 'availability killers' op componentniveau te worden gelokaliseerd met behulp van de Risicoanalyse.

Opmerking: de RA wordt doorgerekend met de nieuwe parameters. De minimale deelverzamelingen uit die RA kunnen door hun gewijzigde bijdrage anders geordend zijn. Hiermee worden die minimale deelverzamelingen gevonden, die bepalen dat niet aan de RAM-eis op objectniveau wordt voldaan. Bovendien kan worden vastgesteld wat de bijdrage volgens de RAM-eisen op componentniveau had moeten zijn. |
| A-Q- R2-53 | Op basis van 'availability killers' dienen verbeteringen in de RAM-prestaties op componentniveau te worden onderzocht en aangebracht. |
| A-Q- R2-54 | De bij de analyse gehanteerde uitgangspunten dienen periodiek te worden geverifieerd. |

2.8 Eisen aan de inspecties

- | | |
|------------|--|
| A-Q- R2-55 | Aan de hand van de inspectieresultaten dienen conclusies getrokken te worden die inzicht moeten geven in de onderhoudstoestand van het betreffende onderdeel en zijn "ruimte" tot falen. |
| A-Q- R2-56 | Het bepalen van het interventieniveau van de diverse kritieke onderdelen (en daarmee het moment van ingrijpen) dient bepaald te worden door een stringente bewaking van het verloop van de veroudering.

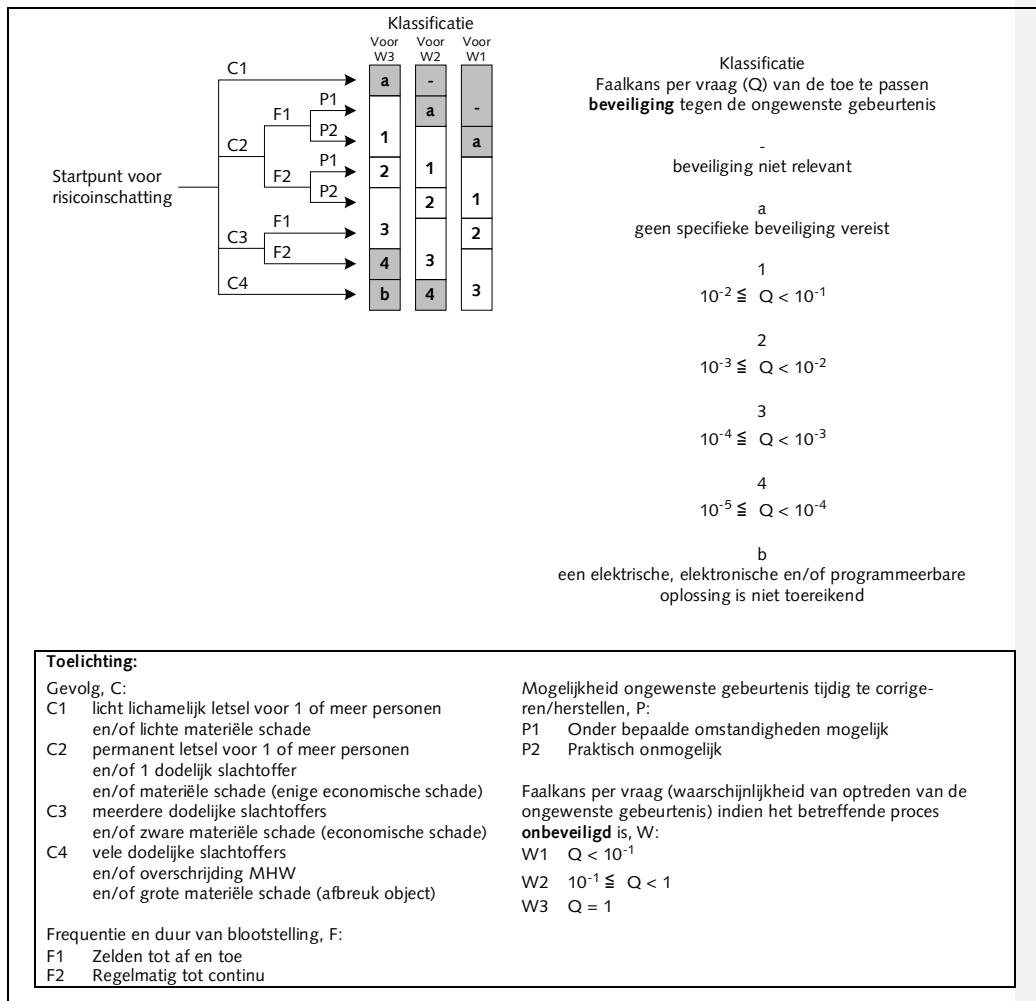
Toelichting: Bij een langzaam degradatieverloop met weinig onzekerheid over het verdere verloop kan het interventieniveau lager worden gekozen dan in de situatie waarin de degradatie snel verloopt. Door het kiezen van een lager interventieniveau wordt langer gewacht met het nemen van onderhoudsmaatregelen. |
| A-Q- R2-57 | Na elke inspectie dient een evaluatie plaats te vinden waarna bezien dient te worden of de uitgangspunten zoals vastgesteld in de Risicoanalyse en de onderhoudstrategie aangepast dienen te worden. |
| A-Q- R2-58 | De nieuwe PBO plannen moeten een aaneenschakeling zijn van inspecteren, rapporteren en evalueren, waarna (eventueel) aanpassing van de Risicoanalyse met betrekking tot de RAM-prestatie het gevolg kan zijn. |

3 Veiligheden - model voor classificatieⁱⁱ

In deze paragraaf is het model beschreven, waaraan de faalkansclassificatie moet voldoen voor elke beveiliging tegen een ongewenste gebeurtenis. De betreffende beveiligingen zijn expliciet aangegeven in de vraagspecificaties deel 1 bij de veiligheidseisen. Dit model dient te worden toegepast voor de beveiligingen waarbij dit expliciet geëist wordt.

De methode van classificeren is gebaseerd op de IEC 61508-5 Annex D. De veiligheidsklasse van elke beveiliging tegen een ongewenste gebeurtenis dient bepaald te worden aan de hand van het doorlopen van het model van Figuur 1.

ⁱⁱ Dit onderdeel betreft voornamelijk de beveiligingen bij Volkerak en Goereese Sluis



Figuur 1: Model voor de bepaling van de faalkans van een beveiliging

EISEN

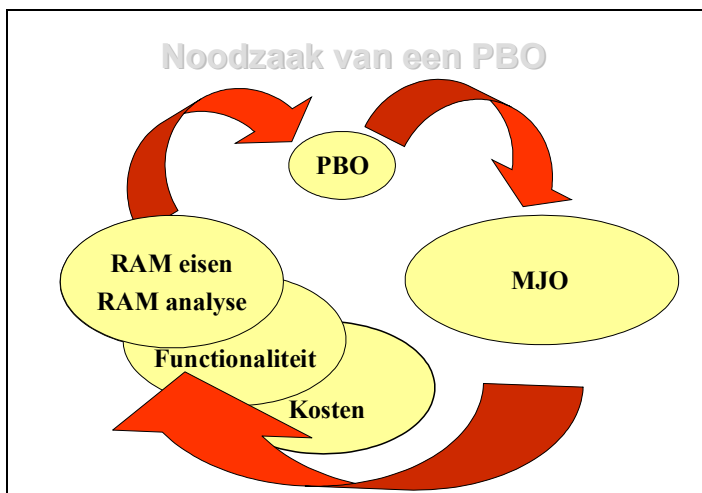
- A-Q- R3-1 | Voor elke ongewenste gebeurtenis dient de Opdrachtnemer parameter W en vervolgens de classificatie van de te treffen beveiliging te bepalen.
- A-Q- R3-2 | De ongewenste gebeurtenissen dienen te worden beschouwd, alsof er **geen** specifieke beveiliging voorzien is.
- A-Q- R3-3 | De faalkans per vraag van het nog **onbeveiligde** proces (waar de ongewenste gebeurtenis deel van uit maakt) dient bepaald te worden. Deze valt binnen één van de bereiken W1, W2 of W3, waarmee parameter W bekend is. Per ongewenste gebeurtenis zijn parameters C, F, P en W dus bekend, waarmee de uiteindelijke classificatie kan worden vastgesteld. Deze bepaalt nu binnen welk bereik het faalkansgetal van **de beveiliging** moet vallen.

- A-Q- R3-4 | In parameter F is **de frequentie en duur van blootstelling** van het proces aan het risico reeds meegenomen. Deze dient dus **niet** meegenomen te worden in de bepaling van W.
- A-Q- R3-5 | In parameter P is een verminderd risico door **de mens als hersteller** van de ongewenste gebeurtenis reeds meegenomen (Bijv. bedienaar heeft aandacht voor proces en kan ingrijpen). Deze dient dus **niet** meegenomen te worden in de bepaling van W.
- A-Q- R3-6 | In parameter P is een verminderd risico door **automatische procesafloop** reeds meegenomen. Deze dient dus **niet** meegenomen te worden in de bepaling van W.
- A-Q- R3-7 | In parameter P is **de mens als initiator** van het proces niet meegenomen. Indien relevant, dient deze **wel** meegenomen te worden in de bepaling van W.
- A-Q- R3-8 | Alle faalkansberekeningen t.b.v. de beveiligingen dienen te voldoen aan de voorgeschreven werkwijze, zoals gespecificeerd in hoofdstuk 1 van dit document.

4 Aanvullende informatie

4.1 Aanvullende informatie bij het opzetten van het PBO

- [1] | Een PBO vertaalt de RAM-eisen op basis van onderhoudsanalyse en onderhoudsoptimalisatie naar onderhoudsactiviteiten.



Figuur 2: Noodzaak van een PBO

- [2] | Hoewel de focus van het PBO gericht is op de RAM-eisen is het vanzelfsprekend dat de functionaliteit van de objectfuncties impliciet wordt gewaarborgd.
- [3] | Een PBO is een concrete vaststelling van de beheer- en onderhoudsmethodieken en activiteiten alsmede de daaruit voortvloeiende benodigde middelen. Het PBO als beheer- en stuurinstrument leidt tot het:
Instandhouden van en voldoen aan de RAM-eisen van het desbetreffende kunstwerk.
Vaststellen van de onderhoudsactiviteiten (wat, door wie en waarom), waarbij de onderhoudstaken zijn uitgesplitst in preventief onderhoud (gebruiksafhankelijk of toestandsafhankelijk) en correctief onderhoud (storingsafhankelijk).
Vaststellen van de frequentie van onderhoudsactiviteiten en het effect op de RAM-prestaties.
Geven van inzicht in de te verwachten onderhoudskosten en de daarbij te verwachten RAM-prestaties.
- [4] | Daarnaast worden de levensduurkosten geminimaliseerd met als uitgangspunt dat de RAM-eisen gerespecteerd worden.
- [5] | In de Risicoanalyse wordt rekening gehouden met afhankelijk falen.
- [6] | In de berekening daarvoor wordt gebruik gemaakt van zogenaamde Common Cause (CC)

- factoren. Deze (CC)-factoren zijn te beïnvloeden door op operationeel niveau maatregelen te treffen waardoor de kans op het afhankelijk falen wordt beperkt. Voorbeelden zijn: gestaffeld onderhoud en wisselende onderhoudsmonteurs.
- [7] De effectiviteit van preventief onderhoud is afhankelijk van hoe Componenten verouderen als functie van de tijd. In de Risicoanalyse wordt de resterende faalfrequentie constant verondersteld. In werkelijkheid kan de onderliggende frequentie als gevolg van veroudering allerlei vormen aannemen.
- [8] Om een vertaling te maken naar het onderhoud dat nodig is om de resterende faalfrequentie te kunnen respecteren, worden de faalmoden uit de Risicoanalyse ('basisgebeurtenissen') gekoppeld aan faaloorzaken die of een stijgende of een constante faalfrequentie hebben.
- [9] Deze koppeling is niet alleen gebaseerd op statistiek, maar ook op technisch en fysisch inzicht. Zo zullen faalmechanismen als slijtage, vermoeiing, kruip of een andere vorm van scheurvorming een afname van de sterkte van de Component laten zien dat met een stijgende faalfrequentie is te modelleren. Maar ook een toename van een kalibratiefrequentie kan duiden op een stijgend faalfrequentie.
- [10] Externe Gebeurtenissen die onafhankelijk van de leeftijd van de Component kunnen optreden zijn voorbeelden van faaloorzaken die gekenmerkt worden door een constante faalfrequentie. Dergelijke faaloorzaken / mechanismen zijn niet met preventief onderhoud te voorkomen. De enige strategie is in dat geval Storingsafhankelijk Onderhoud (SAO), waarbij nagegaan moet worden of de verwachte storingsfrequentie voldoet aan de Betrouwbaarheidseisen van de desbetreffende Component. Het is ook mogelijk de effecten van Externe Gebeurtenissen separaat te modelleren in de Risicoanalyse.
- [11] Indien niet aan de betrouwbaarheidseisen wordt voldaan, zal een modificatie moeten volgen waardoor de faalfrequentie wordt verlaagd of zullen maatregelen genomen moeten worden om de Onderhoudbaarheid (repareerbaarheid) te verbeteren waardoor de beschikbaarheid toeneemt en als gevolg daarvan alsnog aan de RAM-eisen wordt voldaan. De verwachte storingsfrequentie bij SAO is gelijk aan de reciproque waarde van de gemiddelde tijd tussen storingen (MTBF).
- [12] Enige nuancering bij bovengenoemd model is op zijn plaats. Bij sommige storingen kan de initiatie van een storing, met andere woorden het begin van degradatie, op een leeftijdsonafhankelijk moment plaatsvinden (bijvoorbeeld door een externe gebeurtenis), waarna het degradatieproces zo langzaam verloopt dat als gevolg van inspecties de degradatie toch kan worden vastgesteld. Dergelijke storingen kunnen op gelijke wijze behandeld worden als storingen die direct op tijdstip 0 beginnen te degraderen. In beide gevallen is een zogenaamd P-F interval (het tijdsinterval tussen Potential Failure en Functional Failure) vast te stellen en dit P-F interval is bepalend voor het inspectie-interval.
- [13] Indien een Storingvoorspellende Grootheid (SVG) bekend is en het P-F-interval is groot genoeg om te kunnen ingrijpen, dan is Toestandsafhankelijk Onderhoud (TAO) een optie. Het inspectie interval zal kleiner zijn dan het P-F interval. Hoeveel kleiner is afhankelijk van de spreiding rondom het verloop van de SVG. In sommige gevallen is de spreiding zo groot of het P-F-interval zo klein dat geen praktisch inspectie-interval gevonden kan worden. Ook dan is het enige alternatief modificatie hetzij van de Component, hetzij van de detectiemethodiek, hetzij van de onderhoudstrategie → GAO.
- [14] Uitgangspunt voor het PBO is dat het onderhavige object toestandsafhankelijk wordt onderhouden, tenzij er geen SVG is of als kan worden aangetoond dat met Gebruiksduurafhankelijk Onderhoud (GAO) eveneens de vereiste faalfrequentie wordt gerespecteerd en deze vorm van onderhoud goedkoper is dan TAO. Om met GAO te kunnen voldoen aan

de lage toegestane resterende faalfrequenties zal de spreiding rondom het verwachte tijdstip van falen gering moeten zijn. SAO is alleen een optie als er geen sprake is van veroudering en de verwachte faalfrequentie en de bijbehorende reparatietijd voldoen aan de RAM-eis uit de Risicoanalyse.

4.2 Principe van Bayes

- [15] In de Risicoanalyse (de foutenboom) worden faalgegevens gebruikt. Bij nieuwe Componenten, waar nog weinig ervaringscijfers van bekend zijn, worden generieke faalgegevens gebruikt met als doel in relatieve zin uitspraken te doen over welk ontwerp bedrijfszekerheidstechnisch de voorkeur verdient. Veelal zien we in de vroege levensfase van het Systeem dat de verwachte faalkans (RAM-prestatie) op basis van deze analyse een ruime bandbreedte heeft.
- [16] Naarmate men met het Systeem meer ervaring opdoet verdwijnen de kinderziektes en opereert een groot aantal Componenten storingsvrij. Het is van belang om deze ervaring (zowel de storingen als de niet-storingen) mee te nemen in de verwachte RAM-prestatie voor de toekomst. Een manier om de invoergegevens voor de Risicoanalyse te actualiseren op basis van ervaring is gebruik te maken van de Bayesiaanse rekenregel.
- [17] De rekenregel houdt in dat de a posteriori kansverdeling van de desbetreffende parameter wordt berekend door de a priori kansverdeling te vermenigvuldigen met een correctiefactor. Hierbij geldt het volgende:
De a priori kansverdeling van de parameter geeft de onzekerheid over de exacte waarde van de parameter aan $P(A_i)$;
De a posteriori kansverdeling verschilt van de a priori kansverdeling doordat de opgedane ervaring (B) in de onzekerheid is verwerkt $P(A_i|B)$;
Het verwerken van de ervaring gebeurt met een correctiefactor $P(B|A_i)/P(B)$, die voor elke waarde van de a priori verdeling kan verschillen, waarbij $P(B)$ gelijk is aan de som van alle producten (van $i = 1$ tot en met n) $P(A_i) * P(B|A_i)$, waarbij n gelijk is aan het totale aantal verschillende waarden A_i .
- [18] Veelal ligt de moeilijkheid van het toepassen van dit principe in het vinden van de juiste kansverdelingen. Als A bijvoorbeeld een parameter is horende bij een negatief exponentiële verdeling, dan beschrijft de Poisson-verdeling de kansverdeling van B|A (de kans van optreden van gebeurtenis B in het geval parameter A is opgetreden). In dat geval is de vergelijking vrij eenvoudig oplosbaar.
- [19] De Bayesiaanse rekenregel wordt toegepast op Componenten die storingsafhankelijk worden onderhouden, waarbij het model met de negatief exponentiële verdeling wordt toegepast.

Bijlage: generieke faaldata

L = lambda (faalfrequentie)
Q = faalkans per aanspraak (= kans per vraag)
EF = Error Factor

Component	Failure mode	Type	L of Q	EF
			[-/uur] of [-/vraag]	-
Sensoren:				
Niveaumeting (Druksensor)	Valt uit	L	1,70E-06	10
Vermogensmeting	Valt uit	L	1,00E-05	3
Hoekmeting	Valt uit	L	3,10E-05	3
Barometer	Valt uit	L	5,30E-06	3
Positiemelder	Valt uit	L	3,00E-07	3
	Ten onrechte signaal	L	1,00E-06	3
Positieteller	Valt uit	L	4,00E-06	10
Niveauschakelaar	Schakelt niet	L	8,40E-07	3
Drukschakelaar	Schakelt niet	L	7,80E-07	3
Drukmeting	Valt uit	L	1,70E-06	3
Elektrische componenten:				
150 kV substation	Valt uit	L	5,70E-06	3
25/150 kV Transformator	Valt uit	L	2,40E-06	3
10/25 kV Transformator	Valt uit	L	1,10E-06	3
25 kV Ring	Valt uit	L	4,60E-06	9
10/25 kV 1v2 Trafo's	Vallen uit	L	1,00E-07	6
25/150 kV 1v3 Trafo's	Vallen uit	L	1,00E-07	6
10 kV kabel	Valt uit [-/uur/km]	L	1,36E-06	3
10 kV flexibele kabel	Breekt [-/uur/km]	L	3,00E-06	3
10 kV rail	Rail fout	L	3,30E-07	3
10 kV automaat	Schakelt niet	L	1,20E-07	3
	Opent spontaan	L	1,80E-07	3
10 kV schakelaar	Schakelt niet	L	1,20E-07	3
	Opent spontaan	L	1,60E-07	3
	Sluit spontaan	L	1,30E-07	3
10/0.4 kV Transformator	Valt uit	L	2,70E-07	3
0.4 kV Kabel	Valt uit [-/uur/km]	L	2,66E-06	3
0.4 kV automaat	Schakelt niet	L	1,90E-07	3
	Opent spontaan	L	1,60E-07	3
0.4 kV schakelaar	Schakelt niet	L	1,90E-07	3
	Opent spontaan	L	1,60E-07	3
0.4 kV rail	Railfout	L	2,70E-07	3
Groepenkast	Aan aarde	L	2,00E-07	9
Dieselgenerator (diesel) Q = 14/16614	Start niet	L	1,90E-05	3
	Valt voortijdig af	L	4,30E-03	3
10 kV Zinker	Defect	L	2,70E-06	3

Component	Failure mode	Type	L of Q	EF
			[-/uur] of [-/vraag]	-
24 V UPS	Faalt	L	2,20E-05	3
115 V UPS	Faalt	L	2,20E-05	3
UPS (APC Back-UPS Pro)	Voeding onderbroken	L	2,10E-06	3
Accubatterij	Geen output	L	4,00E-06	3
Ventilator	Start niet	L	4,50E-06	3
	Valt uit	L	3,00E-05	3
Smelt veiligheid	Opent voortijdig	L	6,10E-08	3
Gelijkrichter	Valt uit	L	1,60E-06	3
Omvormer	Valt uit	L	1,20E-05	3
Voedingsunit	Valt uit	L	1,00E-05	3
Modem	Valt uit	L	3,00E-06	9
Gelijkspanningsschakelaar	Opent spontaan	L	6,67E-07	9
Smoorspoel	Functioneert niet	L	3,08E-07	3
Eneco Noord	Faalt	L	7,00E-05	3
Eneco Zuid	Faalt	L	4,80E-05	3
Eneco Noord en Zuid	Falen	L	3,20E-06	3
Electronica componenten:				
Analoge kaart	Valt uit	L	9,00E-07	9
Digitale kaart	Valt uit	L	9,00E-07	9
Communicatiekaart	Valt uit	L	9,00E-07	9
Tellerkaart	Valt uit	L	9,00E-07	9
Koppelkaart	Valt uit	L	9,00E-07	9
PLC	Valt uit	L	5,00E-06	3
CPU, ZG	Valt uit	L	2,00E-06	3
CPU, S5-95U	Valt uit	L	1,00E-06	3
Basic unit node	Valt uit	L	6,70E-06	3
Node module RS232	Valt uit	L	8,90E-06	3
EPROM geheugen element	Valt uit	L	1,00E-06	3
Systeem bus	Valt uit	L	1,00E-06	3
Back plane (Remote IO)	Valt uit	L	2,90E-05	3
Fieldbus	Valt uit	L	3,00E-06	3
Netwerk module	Valt uit	L	3,00E-06	3
Netwerk interface module	Valt uit	L	3,00E-06	3
Static switch	Functioneert niet	L	6,00E-06	3
Netwerk switch	Opent voortijdig	L	3,00E-06	3
Glasvezelkabel	Breekt [-/uur/km]	L	1,00E-05	3
Multiplexer	Defect	L	1,20E-06	3
Mechanische componenten:				
Airconditioning unit	Valt uit	L	3,00E-05	3
Rubber balg	Externe lekkage	L	5,00E-07	3
Stand-by pomp	Start niet	L	7,00E-06	3
	Stopt voortijdig	L	3,00E-05	3
	Interne lekkage	L	3,00E-08	9

Component	Failure mode	Type	L of Q	EF
			[-/uur] of [-/vraag]	-
	Externe lekkage	L	3,00E-08	9
Pomp (continue in bedrijf)	Start niet	L	4,00E-06	3
	Stopt voortijdig	L	2,00E-05	3
Motorgestuurde klep	Opent niet	L	2,70E-06	3
	Sluit niet	L	2,70E-06	3
Vlinderklep	Opent niet	L	1,30E-06	3
	Sluit niet	L	2,40E-06	3
Tandwielkast	Blokkeert	L	7,10E-06	6
Koeler	Verstopt	L	1,00E-06	3
Liermotor	Start niet of valt uit	L	1,00E-06	3
Koppeling	Niet vast	L	1,00E-06	3
	Niet los	L	3,00E-06	3
Rem	Niet vast	L	5,30E-05	3
	Niet los	L	5,30E-05	3
Schuif	Opent of sluit niet	L	3,00E-06	3
Hydraulische componenten:				
Zuiger/cilinder	Vast	L	1,00E-07	3
Zuiger accumulator	Vast	L	1,00E-07	3
Stuurschuif en regelkleppen	Schakelt niet, Stand-by	L	1,30E-07	3
	Schakelt niet, Continue	L	1,00E-06	3
	Sluit voortijdig	L	3,00E-06	3
Solenoid ventiel	Opent niet	L	4,00E-07	3
	Sluit niet	L	4,00E-07	3
	Regelt niet	L	4,00E-07	3
Terugslagklep	Sluit niet	L	3,40E-07	3
	Opent niet	L	3,40E-07	3
Drukventiel	Opent niet	L	2,80E-06	3
	Sluit niet	L	2,30E-06	3
	Opent voortijdig	L	6,10E-07	3
Veiligheidsklep	Opent niet	L	2,50E-06	3
	Opent spontaan	L	6,00E-07	3
Drukbelegingsventiel	Opent voortijdig	L	2,00E-07	3
	Sluit niet	L	7,00E-07	3
	Opent niet	L	4,70E-06	3
Smoorventiel	Verstopt	L	1,60E-06	3
Naaldventiel	Verstopt	L	1,60E-06	3
Filter (hydraulisch)	Verstopt	L	3,00E-05	3
Filter (lucht)	Verstopt	L	5,00E-08	3
Hydro motor	Blokkeert	L	1,00E-08	9
	Interne lekkage	L	1,00E-07	9
	As breuk	L	1,00E-06	9
Hydraulisch systeem	Interne lekkage	L	1,70E-06	9
	Externe lekkage	L	2,00E-07	9
Hydraulische pomp	Start niet	L	7,00E-06	3

Component	Failure mode	Type	L of Q	EF
			[-/uur] of [-/vraag]	-
	Start niet	L	4,00E-06	3
	Stopt voortijdig	L	3,00E-05	3
	Interne lekkage	L	1,00E-07	9
	Externe lekkage	L	3,00E-08	9
Hydro aggregaat	Start niet	L	1,00E-05	3
	Valt uit	L	3,00E-05	3
Slang	Breekt	L	5,00E-08	3
Tank plus appendages	Lekkage	L	3,00E-07	3
Breekplaat	Opent spontaan	Q	1,00E-05	9
Besturingscomputer:				
Air-conditioning gebouw	Defect	L	5,10E-04	3
220 V AC power controller	Defect	L	2,58E-06	3
IO bus	Valt uit	L	2,86E-07	3
Systeem klok	Defect	L	9,09E-07	3
CPU	Defect	L	2,14E-05	3
Glasvezelmodem	Defect	L	3,00E-06	6
Glasvezel multiplexer	Defect	L	5,00E-06	6
Hard disk unit	Defect	L	2,16E-06	3
IO processor K450	Defect	L	1,55E-05	3
IO processor K600	Defect	L	1,01E-05	3
DNM module	Defect	L	1,10E-05	3
RS232 IO kaart	Defect	L	1,90E-05	3
Score kaart K451	Defect	L	1,00E-07	3
Score kaart K601	Defect	L	1,00E-07	3
Splitter	Defect	L	5,00E-07	3
Bus terminator	Defect	L	5,00E-07	3
Satelliet verbinding	Defect	L	1,20E-02	3
Digitale verbinding KPN	Uitgevallen	L	8,50E-05	3
Satellietantenne installatie	Defect	L	5,80E-05	3
Omvormer P203	Defect	L	3,00E-06	3
Hoogfrequent omvormer	Defect	L	1,85E-06	3
Back Plane Assembly	Defect	L	1,23E-06	3
Back Plane ventilator	Defect	L	2,00E-06	3
Back Plane E571 bulk IO	Defect	L	5,00E-07	3
Back Plane E586 IOA chassis	Defect	L	2,86E-07	3
Back Plane voeding P200	Defect	L	2,44E-06	3
Systeem bus	Defect	L	2,58E-06	3
Speciale objecten:				
WMO Paal	Defect t.g.v. aanvaring	L	1,14E-06	9
Elektrische verwarming WMO paal / PLC's kasten	Valt uit	L	5,00E-06	3
Digilijn	Niet-beschikbaar	L	8,50E-05	3
Antenne-inrichting	Niet-beschikbaar	L	2,50E-05	3

Component	Failure mode	Type	L of Q	EF
			[-/uur] of [-/vraag]	-
Satellietverbinding	Niet-beschikbaar	L	2,50E-03	3
Speciale waarden:				
Besturingsnetwerk	Overbelast	L	1,00E-06	9
Openbare net	Dip	L	1,40E-03	3
Synchronisatie	Faalt	Q	1,00E-03	9
Simulator	Overbelasting	Q	1,00E-06	-
Scheepvaartseinen	1 van de 10 faalt	L	1,00E-06	9
Timer	Faalt	L	5,00E-06	3
Meetkoppeling	Niet afgeschakeld	L	3,00E-07	3