



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

RWS INFORMATIE

Handreiking Faaldatabase

Generieke, pessimistische faalgegevens, te gebruiken door opdrachtnemers

Datum	6 september 2017
Status	Definitief (versie 1.0.1)

Colofon

Naam Standaard	Handreiking Faaldatabase
Beschrijving:	De Handreiking Faaldatabase beschrijft een database met generieke, pessimistische faalkansgegevens en geeft kort achtergrondinformatie over de bijbehorende database.
Status:	Definitief
Datum	6 september 2017
Versienummer:	1.0.1
Soort:	Handreiking
Verantwoordelijke PE:	Theo v.d. Gazelle, Jean-Luc Beguin, ...
Gebruik in proces:	OAM, AenO
Netwerk:	HVWN, HWS en HWN
Object:	Alle RWS-infrastructuur
Hoofdkennisveld:	Assetmanagement
Kennisveld:	Risicogestuurd Beheer en Onderhoud (RGO)
Informatie:	Peter.Blanker@rws.nl
Verantwoordelijke afdeling:	RWS GPO – ICO
WW RWS Nummer:	# 5499

Overzicht wijzigingen

Versie	Datum	Wijzigingen
0.0.1		Eerste versie door Sipke van Manen
0.0.2		Commentaar PJG Blanker verwerkt
0.9	Eind 2016	Eerste versie aangeboden aan WW RWS (toen nog WerkWijzer Aanleg & Onderhoud)
1.0	20 dec 2016	Versie opgenomen in WWA0. Geen commentaar EG TM en EG CM welke tot inhoudelijke wijzigingen hebben geleid van versie 0.9
1.0.1	6 sep 2017	Uniformeringslag over alle ProBO (deel)methoden, geen inhoudelijke aanpassingen.

Inhoud

1	Inleiding 7
1.1	Context 7
1.2	Doel 7
1.3	Gebruikersgroep 8
1.4	Koppeling aan proces 8
1.5	Relatie met andere kaders en handreikingen 8
2	Uitgangspunten van de database 9
3	Het Excel werkboek voor de beheerder 10
4	Het Excel werkboek voor de gebruiker (opdrachtnemer) 13
4.1	Werkblad "Voorkeur" 13
4.2	Werkblad "Lognormaal" 13
5	Toelichting faalfrequenties en kansen 14
5.1	Toelichting lognormale verdeling en error factor 14
5.2	Merkbaar en niet-merkbaar falen 15
5.3	Gebruik van stand-by faalfrequenties en faalkansen 15
6	Gebruikte rekenmethodieken 16
6.1	Het aanvullen van de data 16
6.2	Combinatie van faalkans per vraag en faalfrequentie 16
Referenties 18	
Bijlage A	Theoretische achtergrond 19
A.1	Faaldata voor stand-by componenten 19
A.2	Lognormale verdeling 20
A.2.1	Algemeen 20
A.2.2	De ligging van de mediaan 20
A.2.3	De ligging van overige grenzen 21
A.2.4	De ligging van de modus, het maximum van de pdf 21
A.2.5	Gebruik bij faaldata-analyse 22
A.3	Aanvulling van de data 22
A.3.1	Het gemiddelde en de mediaan zijn gegeven 22
A.3.2	De grenzen zijn gegeven 23
A.3.3	Het gemiddelde en de errorfactor zijn gegeven of geschat 23
A.3.4	Speciale gevallen 24
Bijlage B	Faaldata en grenzen 25
B.1	Faaldata in een homogene groep 25
B.2	Faaldata in een heterogene groep 25
B.3	Faaldata in de praktijk 25
Bijlage C	Bronnen 27
Bijlage D	Tussenbronnen 32

1 Inleiding

1.1 Context

In 2010 is door Rijkswaterstaat besloten tot het beheerst invoeren van risico-gestuurd beheer en onderhoud (RGO) binnen asset management (AM). Met RGO worden alle risico's voor het functioneren van een object in kaart gebracht, waardoor deze op een transparante en weloverwogen manier beheerst kunnen worden. Dit in tegenstelling tot traditioneel onderhoud dat veelal conditie-gestuurd is, gericht op het handhaven van een bepaald technisch niveau.

Het doel van RGO is om de risico's in het functioneren van de drie netwerken via beheer- en onderhoudsacties zodanig te beheersen, dat de afgesproken prestaties worden geleverd tegen minimale (levensduur)kosten. RGO maakt de relatie tussen de netwerkprestatie en onderhoud expliciet. In 2013 besloot het bestuur RWS tot een verdere doorontwikkeling van RGO om volledig in control te komen middels een vervolgtraject RGO, gevolgd door een herijking ervan in 2016.

Binnen Rijkswaterstaat is daartoe in 2016 de handreiking Prestatiegestuurde Risicoanalyses (PRA) opgesteld om het risicogestuurd denken toepasbaar te maken voor alle infrastructurele assets, die Rijkswaterstaat in beheer heeft. Deze handreiking integreert en vervangt daarmee de Leidraad RAMS en de Leidraad risicogestuurd beheer en onderhoud.

Prestatiegestuurde risicoanalyse (PRA) is een belangrijk instrument. De PRA brengt de balans in beeld tussen de prestaties van een object, de risico's die de prestaties beïnvloeden en de kosten van het in stand houden van de prestatie. Met hulp van PRA's kan Rijkswaterstaat onderbouwde beslissingen nemen bij aanleg, beheer en onderhoud.

In aanvulling op deze handreiking zijn verschillende methodes inhoudelijk verder uitgewerkt en vastgelegd in aparte handreikingen. Zo ook deze standaard die een database met generieke, pessimistische faalkansgegevens beschrijft en achtergrondinformatie geeft over de bijbehorende database.

1.2 Doel

Het voorspellen van de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van een systeem gebeurt aan de hand van het uitvoeren van een (kwantitatieve) betrouwbaarheids- en beschikbaarheidsanalyse.

De manier waarop zo'n analyse moet worden uitgevoerd is vastgelegd in het kader "Verificatiemethode Betrouwbaarheid en Beschikbaarheid" [1]. In dat document wordt geëist dat een opdrachtnemer de kans op falen van de gebruikte of de ontworpen hardware kwantificeert. Daartoe worden suggesties gegeven van internationaal aanvaarde databases. Maar in de praktijk blijkt nogal eens dat niet goed naspeurbare, of zelfs onjuiste bronnen worden gebruikt.

Rijkswaterstaat heeft daarom, op basis van alle, voor RWS uitgevoerde projecten, een database laten samenstellen waarin alle gebruikte faaldata tegen het licht gehouden zijn en waarbij het 5-95% interval van de faaldata is berekend [2]. Deze database heeft een functionaliteit om de 95%-waarde in een "opdrachtnemers-database" te plaatsen, waardoor een pessimistische (conservatieve) schatting van

de kans, of frequentie, van falen van onderdelen wordt verkregen [3]. De database bevat conservatieve waarden om een onderschatting van de faalkans bij de initiële faalkansbepalingen te voorkomen. Het idee is dat deze pessimistische waarde altijd door opdrachtnemers mag worden gebruikt, ook al worden inferieure onderdelen ontworpen en geleverd. Mocht de opdrachtnemer van mening zijn dat hij een kwalitatief hoogwaardiger onderdeel heeft ontworpen en geleverd, dan dient hij dat aannemelijk te maken, bijvoorbeeld door data die de leverancier heeft bijgehouden.

1.3 Gebruikersgroep

Deze handreiking is enerzijds bedoeld voor de (specialistische) beheerder, die de totale faaldatabase [2] beheert. Hem wordt gevraagd de ontwikkelingen met betrekking tot faaldata in de database te verwerken. De beheerder dient een specialist te zijn op het gebied van systems analysis en risicoanalyse. Dit specialisme is op dit moment gebundeld in het Steunpunt ProBO.

Anderzijds is hij bedoeld voor de gebruiker, te weten de opdrachtnemer die hiermee een snel en goed toegankelijk overzicht heeft van pessimistische data, die gebruikt zijn bij beheerobjecten van Rijkswaterstaat en die hoogst waarschijnlijk ook voor zijn ontwerp van toepassing zullen zijn. Daartoe produceert de beheerder, met behulp van het bijbehorende instrumentarium, de opdrachtnemersdatabase [3].

In de gebruiksfase is de database een hulpmiddel bij het maken van de kwantitatieve risicoanalyse (ORA), zoals dat in het RINK-project is gebeurd.

1.4 Koppeling aan proces

Deze handreiking valt in het proces Aanleg en Onderhoud, deelproces Ontwerp, effecten en techniek. Activiteitencluster Opstellen Systeemspecificatie (eisen, ontwerp en ontwerpnotitie).

1.5 Relatie met andere kaders en handreikingen

Verificatiemethode Betrouwbaarheid en Beschikbaarheid [1]. Daar waar geëist wordt hardware te kwantificeren, is deze database een geëigend hulpmiddel.

Handreiking Prestatiegestuurde Risico Analyses (PRA) [4]. Hierin wordt het gebruik van de database toegelicht in een voorbeeld. De in dit document beschreven faaldatabase heeft zijn oorsprong in deze handreiking.

Deze handreiking is van toepassing op alle onderdelen van het HWN, HVWN, HWS waarvoor kwantitatieve eisen gesteld zijn of moeten worden in termen van betrouwbaarheid en beschikbaarheid.

2 Uitgangspunten van de database

Bij het opbouwen van de database zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De data betreffen enkelvoudige faalgebeurtenissen van componenten
 - Common Cause faaldata zijn niet opgenomen omdat die meestal zijn gebaseerd op generieke CCF factoren. Common Cause componentgroepen zijn vaak object-specifiek.
 - Menselijk falen is niet opgenomen. Kansen kunnen worden bepaald met het Opschepmodel [5].
 - Data voor software falen is niet opgenomen. De kansen zijn object specifiek en kunnen worden bepaald met het Topaas model [6].
 - De data betreft random failures. Levensduureffecten zijn niet meegenomen.
 - Uitgangspunt is dat de waarden geldig zijn indien de componenten binnen hun technische levensduur worden onderhouden volgens fabrikantvoorschrift.
- De data zijn zoveel mogelijk fabrikant-onafhankelijk.
- De data zijn veelal afkomstig uit generieke databronnen. Faaldata waarvoor een Bayesiaanse update is toegepast, zijn object-specifiek en worden daarom niet opgenomen.
- De aanbevolen faaldata worden conservatief gekozen omdat het object waarop deze data worden toegepast onbekend is. Conservatief betekent in dit geval dat het 95%-fractiel is gekozen: slechts 5% van de gemeten faaldata is groter dan de gekozen waarde. Het idee is dat deze pessimistische waarde **altijd** door opdrachtnemers mag worden gebruikt, ook al worden inferieure onderdelen ontworpen en geleverd. De 95%-waarde is enigszins arbitrair: een 75% waarde geeft een toch nog te optimistisch beeld bij echt slechte componenten en een 99% waarde betekent al snel dat de opdrachtnemer altijd moet gaan aantonen dat zijn component een betere (kleinere) faalkans heeft.
- De componenten zijn gekoppeld aan de NEN2767 systematiek. Deze koppeling is voor de meeste data beschikbaar in de tabel op het 'faalkans basis' werkblad. Deze kolommen zijn verborgen ('hidden').

3 Het Excel werkboek voor de beheerder

De data in het Excel werkboek voor de beheerder [2] zijn in eerste instantie afkomstig uit diverse voor RWS uitgevoerde faalkansanalyses (zie Bijlage D). Deze data zijn verzameld in het werkblad "Faaldatabasis". Uit die data zijn voorkeursdata geselecteerd en samengebracht op werkblad "Voorkeur". Er is geselecteerd op realistische maar conservatieve data die breder toepasbaar is dan voor componenten in de analyse waaruit de data afkomstig is of voor componenten van een specifieke fabrikant. De generieke databases uit Bijlage C zijn hiervoor ook gebruikt. De selectie is aan te passen.

De data op het werkblad "Faaldata basis" is opgebouwd uit data die toegepast is in voor RWS uitgevoerde faalkansanalyses van verschillende objecttypen: stormvloedkeringen, tunnels, sluizen en bruggen.

De betekenis van de kolommen in het werkblad is als volgt:

kolom	Omschrijving
ID	Uniek component identificatienummer.
Componentnaam	Korte omschrijving van de component.
Faalgwijze	De specifieke faalgwijze van de component waarop de data van toepassing is.
Objectsoort NEN2767	Koppeling naar het soort object volgens NEN-2767.
OB-ID NEN2767	ID van objectsoort volgens NEN-2767.
Elementsoort NEN2767	Koppeling naar het soort element volgens NEN-2767 <i>Voor sommige componenten ontbreekt het elementsoort binnen NEN2767 en is alleen een koppeling naar een hoger niveau van de NEN mogelijk.</i>
EI-ID NEN2767	ID van elementsoort volgens NEN-2767.
Bouwdeelsoort NEN2767	Koppeling naar het soort bouwdeel volgens NEN-2767 <i>Voor sommige componenten ontbreekt het bouwdeelsoort binnen NEN2767 en is alleen een koppeling op een hoger niveau van de NEN mogelijk.</i>
BD-ID NEN2767	ID van bouwdeelsoort volgens NEN-2767.
Faalfrequentie stand-by (λ_s) [1/uur]	Stand-by faalfrequentie (gemiddelde) <i>Let op bij toepassing: er kan sprake zijn van gedeeltelijk merkbaar en gedeeltelijk niet merkbaar falen (zie 5.2).</i>
Faalfrequentie bedrijf (λ_B) [1/uur]	Faalfrequentie tijdens bedrijf (gemiddelde).
Q	Faalkans per vraag (gemiddelde) <i>Let op bij toepassing: "zuivere" faalkansen per vraag zijn schaars. Als het testinterval van de componenten waarop de brondata zijn gebaseerd afwijkt van het testinterval in het systeem waarvoor de data wordt toegepast, moet de data worden gecorrigeerd (zie 5.3).</i>
Opmerkingen	Opmerkingen voor de gebruiker. Deze kolom wordt overgenomen in werkblad "Voorkeur".
$\lambda_{0,05}$ of $Q_{0,05}$	5% waarde van de kansverdeling van de basisdata, mits gegeven in de bron.
$\lambda_{0,20}$ of $Q_{0,20}$	20% waarde van de kansverdeling van de basisdata, mits gegeven in de bron.

kolom	Omschrijving
Mediaan, $\lambda_{0,50}$ of $Q_{0,50}$	50% waarde van de kansverdeling van de basisdata, mits gegeven in de bron.
$\lambda_{0,80}$ of $Q_{0,80}$	80% waarde van de kansverdeling van de basisdata, mits gegeven in de bron.
$\lambda_{0,90}$ of $Q_{0,90}$	90% waarde van de kansverdeling van de basisdata, mits gegeven in de bron.
$\lambda_{0,95}$ of $Q_{0,95}$	95% waarde van de kansverdeling van de basisdata, mits gegeven in de bron.
Error factor	Indicator van de onzekerheid van de faaldata, gegeven in de bron of in de tussenbron. Hoe hoger de waarde, hoe hoger de onzekerheid. Zie ook bijlage A.2.
Error factor schatting	In sommige gevallen is de error factor geschat, deze staat dan hier. Dit geldt bijvoorbeeld als geen kansverdeling in de bron wordt gegeven of als de schatting in de tussenbron als te optimistisch wordt beoordeeld.
Berekende $\lambda_{0,05}$ of $Q_{0,05}$	5% waarde van de kansverdeling van de basisdata, zoals berekend. Zie 6.1.
Berekende mediaan $\lambda_{0,50}$ of $Q_{0,50}$	50% waarde van de kansverdeling van de basisdata, zoals berekend. Zie 6.1.
Berekende $\lambda_{0,95}$ of $Q_{0,95}$	95% waarde van de kansverdeling van de basisdata, zoals berekend. Zie 6.1.
Berekende Error factor	Indicatie van de onzekerheid van de faaldata. Hoe hoger de waarde, hoe hoger de onzekerheid, zoals berekend. Zie 6.1.
Opmerking	Opmerking t.a.v. data en kansverdeling (niet van belang voor gebruiker).
Aantal faalmomenten	Aantal failures uit databron, bedoeld voor gebruik bij directe update met velddata.
Kalendertijd	Kalendertijd componenten databron.
Bedrijfstijd	Bedrijfstijd componenten databron.
Opmerking	Opmerking t.a.v. traceerbaarheid en bruikbaarheid data (niet van direct belang voor gebruiker).
Bron	Referentie naar de bron waaruit de specifieke basisdata is overgenomen. De bronnen zijn op een aparte bladzijde van het spreadsheet opgenomen en worden gegeven in Bijlage C.
Bladzijde	De bladzijde in het referentiedocument waarop de data zijn te vinden.
Bron bekeken	Hier is ten behoeve van de analyse aangegeven of de data in de desbetreffende bron is gevonden. Een "0" betekent dat de bron niet beschikbaar was of dat de genoemde waarden zijn beoordeeld als niet bruikbaar voor de desbetreffende faalgebeurtenis.
Componentgrens referentie	Korte omschrijving van wat volgens de referentie onderdeel is van de component (indien beschikbaar).
Voorkeurswaarde	Deze kolom bevat een 'x' als de faaldata uit die rij overgenomen moet worden in de voorkeurstabel.
Tussenbron	De analyse of het document waarin de data is genoemd die in de database zijn opgenomen. De tussenbron geeft ook de referenties (bronnen) van de data. De tussenbronnen worden gegeven in Bijlage D.

De 'berekende' waarden worden door een macro uitgerekend. Een knop bovenaan de desbetreffende kolommen start de macro. Voor meer informatie zie 6.1.

Opmerking

Sommige databronnen bevatten ook informatie over het aantal failures en het aantal vragen of de exposuretijd. Deze informatie kan het inzicht in de onderliggende data verbeteren, maar is niet opgenomen in de database omdat die gegevens niet altijd beschikbaar zijn en ook de mogelijkheden voor een update met velddata niet verbeteren (de onzekerheid van de faalkans is niet direct gekoppeld aan het aantal failures). Zie voor meer informatie Bijlage B.

Het werkblad "Voorkeur" wordt gevuld door een macro die gestart kan worden met de knop links bovenaan het werkblad. Deze macro kopieert alle voorkeurswaarden uit het 'FaaldataBasis' werkblad. Het werkblad heeft als functie de presentatie van de voorkeursdata. Het wordt gebruikt om een nieuwe versie van de database voor opdrachtnemers te maken. De knop waarmee het werkblad gevuld is kan dan worden verwijderd of alleen de data kan worden overgezet.

De kolommen in dit werkblad zijn grotendeels identiek aan de kolommen in het 'FaaldataBasis' werkblad. Merk op dat niet de gemiddelde waarden, maar de 95% grens van de data als voorkeurswaarden zijn gekozen.

4 Het Excel werkboek voor de gebruiker (opdrachtnemer)

Uit de basisdatabase worden de faalkansdata voor gebruik gedestilleerd. Deze data zijn conservatief, pessimistisch en dus aan de hoge kant. De gebruiker wordt daarmee uitgedaagd aan te tonen, of aan te laten tonen, dat het gebruikte component beter presteert dan de database aanneemt, indien het een kwalitatief hoogwaardige component betreft.

De data uit de faaldatabase is zo pessimistisch, dat deze altijd gebruikt kan worden. Het belangrijkste werkblad is het werkblad "Voorkeur".

4.1 Werkblad "Voorkeur"

kolom	Omschrijving
ID	Uniek component identificatienummer.
Componentnaam	Korte omschrijving van de component.
Faalwijze	De specifieke faalwijze van de component waarop de data van toepassing is.
Faalfrequentie stand-by ($\lambda_{S, 0,95}$)	Stand-by faalfrequentie (95% grens). De 95% grens is gekozen opdat conservatieve waarden worden toegepast.
Faalfrequentie bedrijf ($\lambda_{B, 0,95}$)	Faalfrequentie tijdens bedrijf (95% grens).
Faalkans per vraag ($Q_{0,95}$)	Faalkans per vraag (95% grens).
Error factor	Indicatie van de onzekerheid van de faaldata. Hoe groter deze onzekerheid is, hoe pessimistischer de 95%-waarde.
Opmerkingen	Dit zijn opmerkingen die de beheerder heeft opgenomen.
Bron	Referentie naar de bron waaruit de specifieke basisdata is overgenomen. De bronnen zijn op een aparte bladzijde van het spreadsheet opgenomen en worden gegeven in Bijlage C.
Pagina	De bladzijde in het referentiedocument waarop de data zijn te vinden.

4.2 Werkblad "Lognormaal"

Dit werkblad bevat visualisaties van de lognormale verdeling en is toegevoegd ter illustratie. Het kan worden gebruikt als hulp voor het bepalen van verschillende parameters van een lognormale verdeling en het genereren van de bijbehorende grafiek.

5 Toelichting faalfrequenties en kansen

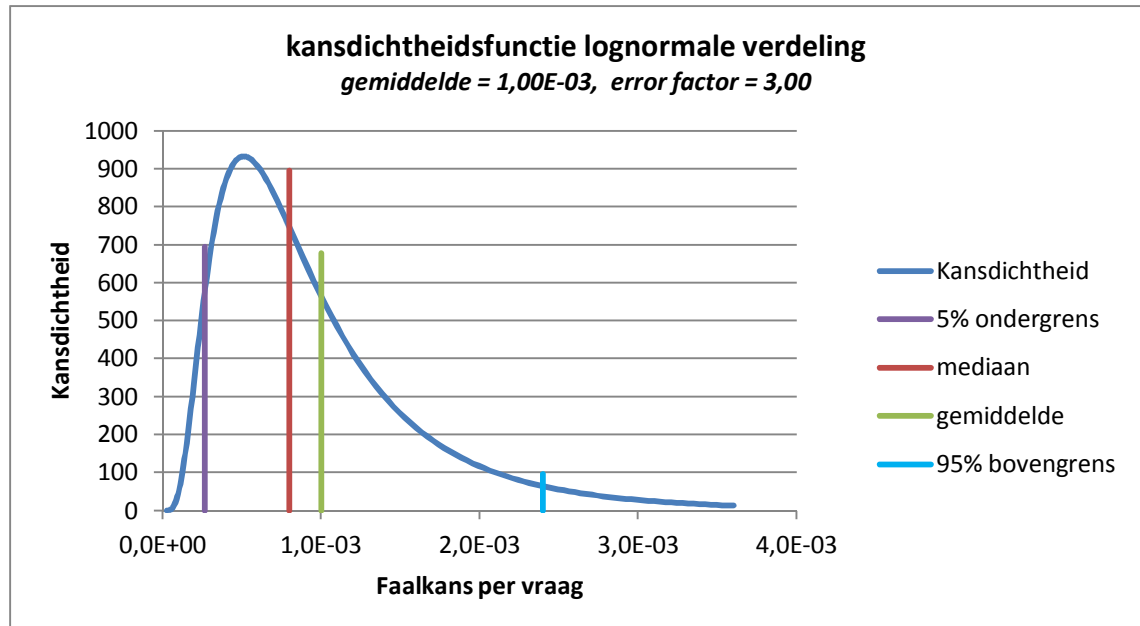
5.1 Toelichting lognormale verdeling en error factor

Bij de faalkansanalyses van ontwerpen en systemen worden voor faalkansen per vraag en voor faalfrequenties (falen per tijdseenheid) vaak puntwaarden toegepast. Dit betreft echter *gemiddelde waarden* omdat in de praktijk deze grootheden in bepaalde mate onzeker zijn. De onzekerheid kan worden aangegeven met de Error Factor. Hoe hoger de Error Factor, hoe groter de onzekerheid.

Voor faalkansen, faalfrequenties en herstelduren wordt vaak uitgegaan van een lognormale verdeling. Het kwadraat van de Error Factor geeft aan hoeveel maal de 5%-ondergrens lager ligt dan de 95%-bovengrens van de verdeling. Voor de Error Factor geldt:

$$EF = \sqrt{\frac{\lambda_{0.95}}{\lambda_{0.05}}}$$

Dit betekent bijvoorbeeld dat voor een lognormale verdeling met een gemiddelde faalkans van 10^{-3} /vraag, een 5%-ondergrens van $2.67 \cdot 10^{-4}$ en een 95%-bovengrens van $2.40 \cdot 10^{-3}$, de Error Factor 3 bedraagt. Deze kansverdeling is grafisch weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Kansdichtheidsfunctie lognormale verdeling

De spreadsheet "Faaldata database RWS" bevat een bladzijde met een hulp voor het bepalen van verschillende parameters van een lognormale verdeling.

Meer informatie en theoretische achtergrond is te vinden in bijlage A.2.

5.2 Merkbaar en niet-merkbaar falen

Bij stand-by componenten wordt vaak pas duidelijk of de component zich in een gefaalde toestand bevindt op het moment dat een functionele test wordt uitgevoerd of als het functioneren van de component wordt vereist. Er is dan sprake van niet-merkbaar falen. Denk bijvoorbeeld aan een motor die alleen maar hoeft te draaien als een stormvloedkering moet sluiten.

Ook andere typen componenten kunnen stand-by staan, zoals onderdelen van een besturingsinstallatie of een UPS. Dit soort systemen is vaak voorzien van zelftests waardoor een deel van de faalwijzen gemeld zal worden. Een fractie van het stand-by falen wordt daarmee merkbaar gemaakt. In dat geval kan de stand-by faalfrequentie worden verdeeld in een merkbaar deel en een niet merkbaar deel.

5.3 Gebruik van stand-by faalfrequenties en faalkansen

Voor stand-by componenten geeft de database soms een stand-by faalfrequentie (λ_s) en soms een faalkans per vraag (Q). De niet beschikbaarheid van componenten met een faalfrequentie is afhankelijk van het interval waarmee de desbetreffende component wordt getest (T). Een faalkans per vraag suggereert dat de faalkans onafhankelijk is van het tijdstip van de vraag. Dit is in de meeste situaties echter niet het geval. Een deel van de data is verzameld in kernenergiecentrales, waarin de componenten vaak maandelijks worden getest. Als uitgangspunt wordt genomen dat dit voor alle componenten met een faalkans per vraag geldt. De faalkans per vraag hoort dan dus bij een testinterval van één maand. Indien een groter (langer) testinterval wordt toegepast, dient de faalkans per vraag evenredig te worden verhoogd. De faalkans per vraag kan worden omgezet in een faalfrequentie via de formule:

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \lambda_s \cdot T$$

ofwel:

$$\lambda_s = 2 \cdot \frac{Q}{T}$$

Zie ook bijlage A.1.

6 Gebruikte rekenmethodieken

6.1 Het aanvullen van de data

Databronnen bevatten niet altijd de gewenste parameters. Als dit het geval is, moeten deze berekend of geschat worden. De databronnen leveren meestal wel een gemiddelde waarde. Om de overige parameters van de verdeling, de mediaan, de 5%- en 95%- percentielen en de errorfactor *EF* te berekenen is tenminste een van deze waarden nodig. Er zijn verschillende gevallen waarvoor aanvullende parameters worden bepaald:

1. De mediaan is gegeven;
2. De 5% en 95% grenzen zijn gegeven;
3. De errorfactor is gegeven:
 - a. De errorfactor is gegeven in de data;
 - b. De errorfactor is geschat.

De verschillende afleidingen worden besproken in bijlage A.3.

Speciale situaties

Het kan voorkomen dat waarden uit een database niet passen bij een lognormale verdeling. Het is bijvoorbeeld denkbaar dat de 5%-ondergrens nul is. Als dit voorkomt terwijl de mediaan gegeven is, worden de waarden van de grenzen berekend aan de hand van deze mediaan.

In het geval dat zowel de mediaan als de 5%-ondergrens nul is, wordt de lognormale verdeling bepaald aan de hand van de 95%-bovgrens het gemiddelde.

In beide genoemde gevallen wordt gecontroleerd of de resulterende lognormale verdeling goed past bij de gegeven brondata.

Hiërarchie

Bij het berekenen van de parameters kan het voorkomen dat meerdere methoden gebruikt kunnen worden. Bijvoorbeeld: de mediaan, de errorfactor en het gemiddelde zijn gegeven, maar de combinaties leiden ieder tot een andere resultaat. Om met dit soort gevallen om te gaan, is gekozen voor de volgende hiërarchie:

Berekening op basis van:

1. De geschatte errorfactor;
2. De grenzen;
3. De mediaan;
4. De errorfactor uit de bron.

De geschatte errorfactor komt als eerste in de hiërarchie omdat de errorfactor alleen geschat zal worden als de data uit de bron als te optimistisch wordt beoordeeld. Om de waarden uit de databron in de database te houden is de hiërarchie zo ingedeeld. Bij geloofwaardige data zal de geschatte error factor niet ingevuld zijn en dus niet van invloed zijn op de berekening van de overige parameters.

6.2 Combinatie van faalkans per vraag en faalfrequentie

Voor stand-by objecten wordt de faalfrequentie in sommige bronnen, waaronder T-book, gegeven als een combinatie van een faalkans per vraag en een faalfrequentie.

Voor de RWS database is het wenselijk dit te vereenvoudigen tot alleen een stand-by faalfrequentie, zodat opdrachtnemers een begrijpelijker set data krijgen. Zie bijlage A.1 voor onderliggende informatie. Er is gekozen voor de volgende aanpak:

- De faalkans per vraag wordt omgerekend naar een stand-by faalfrequentie, waarbij wordt aangenomen dat het onderliggende testinterval 730 uur (één maand) is.
- De gemiddelde waarden worden opgeteld. Hetzelfde wordt gedaan met de grenzen. Dit betekent dat faalkans per vraag en faalfrequentie 100% afhankelijk worden aangenomen, hetgeen resulteert in de meest "brede" kansverdeling.

Referenties

- [1] RWS
Verificatiemethode Betrouwbaarheid en Beschikbaarheid, versie 1.0.7 (6 september 2017)
WW RWS-nummer 1567
- [2] RWS
RWS Faaldatabase Rev1
Excel spreadsheet dd. 31-7-2015
- [3] RWS
RWS Faaldatabase voor opdrachtnemerversie 20 december 2016, Product bij Handleiding Faaldatabase, definitief, versie 1.0
Excel spreadsheet dd. 20-12-2016
- [4] RWS
Handreiking Prestatiegestuurde RisicoAnalyses (PRA), versie 1.0.0 (September 2016)
WW RWS-nummer 5333
- [5] RWS
Kwantitatieve analyse menselijk handelen bij waterkeringen – het OPSCHep-model, versie 1.0.2 (6 september 2017)
WW RWS-nummer 5532
- [6] RWS
TOPAAS, Een structurele aanpak voor faalkansanalyse van software intensieve systemen, versie 0.7 (10 januari 2013)
WW RWS-nummer 1319
- [7] Schüller, J et al. (1997)
Methods for determining and processing probabilities
SDU, Den Haag
- [8] Weisstein, E. (sd)
Log Normal Distribution
MathWorld--A Wolfram Web Resource [Online]:
<http://mathworld.wolfram.com/LogNormalDistribution.html>
Gebruikt op 14-10-2014.

Bijlage A Theoretische achtergrond

A.1 Faaldata voor stand-by componenten

Componenten die stand-by staan kunnen defect raken op een moment dat ze niet worden aangesproken. Er is dan vaak geen sprake van merkbaar falen; het tijdstip van falen is onbekend en daardoor is het niet mogelijk om een 'tijd tot falen' te bepalen. Een goede schatting van de faalfrequentie is dus niet mogelijk op basis van de faalmomenten alleen. Het is alleen mogelijk om te bepalen of een component binnen twee test-momenten gefaald is. Dus de kans Q dat een component het niet doet op het moment van testen of een vraag is:

$$Q_T = \int_0^T \lambda(t) dt$$

Met:

T de tijd tussen twee tests, het testinterval

$\lambda(t)$ de kans dat het component op tijdstip t stuk gaat

We gaan er vanuit dat een component ieder tijdselement een gelijke kans heeft om te falen. Met andere woorden: de faalfrequentie is constant in de tijd.

$$Q_T = \lambda \int_0^T dt = \lambda T$$

De representatieve faalkans is dus afhankelijk van het testinterval T . Echter, omdat het moment van de vraag uniform verdeeld wordt verondersteld tussen tijdstip nul en het testmoment op $t=T$, is de gemiddelde faalkans over het testinterval: $\frac{1}{2}\lambda T$ en de gemiddelde faalfrequentie:

$$\lambda = \frac{2Q}{T}$$

Er zijn drie manieren waarop het falen van een stand-by component in databoeken gegeven wordt:

1. Met een faalfrequentie (λ);
2. Met een faalkans (Q);
3. Met een faalkans en een faalfrequentie.

In het laatste geval moeten beide gecombineerd worden, door bijvoorbeeld beide uit te drukken als een frequentie en dan op te tellen. Hiervoor is het wel noodzakelijk dat er een testinterval wordt aangenomen. De totale faalfrequentie is dan:

$$\lambda_{\text{tot}} = \lambda_{\text{stand-by}} + \frac{2Q}{T}$$

Het uitgangspunt hierbij is dat een zuivere faalkans per vraag (faalkans onafhankelijk van de tijd) weinig voorkomt en dat als het testinterval in de toepassing tenminste zo lang is als het testinterval van de bron, in elk geval een conservatieve waarde wordt bepaald.

Het betrouwbaarheidsinterval dat hoort bij deze waarde is lastiger te bepalen.

In het meest ongunstige (conservatieve) geval zijn de twee volledig afhankelijk: als een component een hoge faalfrequentie heeft is de faalkans per vraag ook per definitie hoog. In dit geval kan men de grenzen optellen:

$$\int_0^{\lambda_{0.95}} \lambda_{\text{stand-by}}(x) dx = 0.95$$

$$\int_0^{Q_{0.95}} Q(x) dx = 0.95$$

$$x_{0.95} = \lambda_{0.95} + \frac{2}{T} Q_{0.95}$$

En evenzo voor de 5%-ondergrens.

A.2 Lognormale verdeling

In het algemeen wordt de lognormale verdeling beschouwd als een goede manier om de onzekerheid in faalkansen te beschrijven.

A.2.1 Algemeen

De lognormale verdeling is de verdeling van een variabele waarvan het logaritme normaal verdeeld is: als x normaal verdeeld is, is e^x lognormaal verdeeld. De verdeling heeft, net als de normale verdeling, twee parameters. De parameters M en S zijn het gemiddelde en de spreiding van de onderliggende normale verdeling. μ (μ) en σ (σ) worden ook vaak gebruikt maar om verwarring te voorkomen worden deze hier niet gebruikt. Met de parameters M en S is de dichtheidsfunctie van de lognormale verdeling gegeven als (Weissstein):

$$f(x) = \frac{1}{xS\sqrt{2\pi}} e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]}$$

En het gemiddelde en de variantie als:

$$\text{Gem} = e^{(M + S^2/2)}$$

$$\text{Var} = e^{2M + S^2} (e^{S^2} - 1) = \text{Gem}^2 (e^{S^2} - 1)$$

En M en S :

$$M = \ln(\text{Gem}) - \frac{S^2}{2}$$

$$S = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{\text{Var}}{\text{Gem}^2}\right)}$$

A.2.2 De ligging van de mediaan

De mediaan $x_{0.5}$ ligt zodanig dat de helft van de waarde van de kansdichtheid links van de mediaan ligt:

$$\int_0^{x_{0.5}} P(x') dx' = \frac{1}{2}$$

Invullen van de cumulatieve dichtheidsfunctie (Weissstein) geeft:

$$\frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln x_{0.5} - M}{S\sqrt{2}} \right) \right] = \frac{1}{2}$$

$$\operatorname{erf} \left(\frac{\ln x_{0.5} - M}{S\sqrt{2}} \right) = 0$$

Met erf de errorfunctie:

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-z^2} dz$$

De inverse errorfunctie is enkel numeriek te benaderen. Op $\operatorname{erf}(x)=0$ na, in dit geval $x=0$.

$$\frac{\ln x_{0.5} - M}{S\sqrt{2}} = 0$$

$$x_{0.5} = e^M$$

A.2.3

De ligging van overige grenzen

Op dezelfde manier als de mediaan wordt deze gegeven (met Z het percentiel) door

$$\frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln x - M}{S\sqrt{2}} \right) \right] = Z$$

$$\operatorname{erf} \left(\frac{\ln x - M}{S\sqrt{2}} \right) = 2Z - 1$$

met $Z=0.05$:

$$\operatorname{erf} \left(\frac{\ln x_{0.05} - M}{S\sqrt{2}} \right) = -0.9$$

Dit numeriek benaderen geeft:

$$\frac{\ln x_{0.05} - M}{S\sqrt{2}} \approx -1.163$$

$$\frac{\ln x_{0.05} - M}{S} \approx -1.645$$

$$x_{0.05} = e^{-1.645 \cdot S + M}$$

En met $Z=0.95$

$$\operatorname{erf} \left(\frac{\ln x_{0.95} - M}{S\sqrt{2}} \right) = 0.9$$

$$\frac{\ln x_{0.95} - M}{S\sqrt{2}} \approx 1.163$$

$$x_{0.95} = e^{1.645 \cdot S + M}$$

A.2.4

De ligging van de modus, het maximum van de pdf

Het maximum van een functie ligt op punt x zodat geldt¹:

$$\begin{aligned}\frac{df(x)}{dx} &= \frac{d}{dx} \left\{ \frac{1}{xS\sqrt{2\pi}} e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]} \right\} = 0 \\ \frac{df(x)}{dx} &= \frac{d}{dx} \left\{ \frac{1}{xS\sqrt{2\pi}} \right\} e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]} + \frac{1}{xS\sqrt{2\pi}} \frac{d}{dx} \left\{ e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]} \right\} \\ \frac{df(x)}{dx} &= \frac{-1}{x^2 S \sqrt{2\pi}} e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]} + \frac{1}{xS\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\ln x - M}{-xS^2} e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]} = 0 \\ \frac{1}{x^2 S \sqrt{2\pi}} e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]} &= \frac{1}{xS\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\ln x - M}{-xS^2} e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]} \\ 1 &= \frac{\ln x - M}{-S^2} \\ M - S^2 &= \ln x \\ x_{\text{mode}} &= e^{M - S^2}\end{aligned}$$

A.2.5 Gebruik bij faaldata-analyse

Voor het gebruik bij faaldata-analyse is de errorfactor van belang. Deze is gedefinieerd als [7]:

$$EF = \sqrt{\frac{x_{0.95}}{x_{0.05}}}$$

Met $x_{0.05}$ en $x_{0.95}$ de 5%-ondergrens en de 95%-bovgrens van de verdeling. Er geldt voor de errorfactor, met $\alpha = 1.645$:

$$EF = \sqrt{\frac{x_{0.95}}{x_{0.05}}} = \sqrt{\frac{e^{\alpha S + M}}{e^{-\alpha S + M}}} = \sqrt{e^{2\alpha S}} = e^{\alpha S}$$

En voor de 95%-boven en 5%-ondergrens in termen van de mediaan en errorfactor:

$$\begin{aligned}\frac{x_{0.05}}{x_{0.5}} &= \frac{e^{-\alpha S + M}}{e^M} = e^{-\alpha S} = \frac{1}{EF} \\ \frac{x_{0.95}}{x_{0.5}} &= \frac{e^{\alpha S + M}}{e^M} = e^{\alpha S} = EF\end{aligned}$$

A.3 Aanvulling van de data

Het komt veel voor dat de data geen errorfactor, grenzen of mediaan bevat. Dit deel van de appendix beschrijft te methodiek die gebruikt is om deze te berekenen. Overal wordt aangenomen dat de data lognormaal verdeeld is. Overal is het gemiddelde bekend.

A.3.1 Het gemiddelde en de mediaan zijn gegeven

¹ Het gevonden punt had in theorie, maar niet voor de lognormale verdeling, een minimum kunnen zijn.

Als het gemiddelde en de mediaan bekend zijn, kunnen de error factor en de grenzen als volgt worden bepaald.

De parameter S van de lognormale verdeling wordt gegeven door:

$$S = \sqrt{2 \ln \left(\frac{\text{Gem}}{x_{0.5}} \right)}$$

Met $x_{0.5}$ de mediaan. Aan de hand hiervan wordt de errorfactor berekend:

$$EF = e^{1.645 \cdot S}$$

En vervolgens de grenzen van het betrouwbaarheidsinterval:

$$x_{0.05} = \frac{x_{0.5}}{EF}$$

$$x_{0.95} = x_{0.5} \cdot EF$$

A.3.2 *De grenzen zijn gegeven*

Als de grenzen bekend zijn, kunnen de error factor en de mediaan als volgt worden bepaald.

De errorfactor kan berekend worden met:

$$EF = \sqrt{\frac{x_{0.95}}{x_{0.05}}}$$

En vervolgens S en de mediaan:

$$S = \frac{\ln EF}{1.645}$$

$$x_{0.5} = \text{Gem} \cdot e^{-\frac{1}{2}S^2}$$

A.3.3 *Het gemiddelde en de errorfactor zijn gegeven of geschat*

Als het gemiddelde en de error factor bekend zijn, kunnen de mediaan en de grenzen als volgt worden bepaald.

Dit is een combinatie van de twee voorgaande paragrafen; S wordt berekend en daarna de waarden voor de percentielen en de mediaan:

$$S = \frac{\ln EF}{1.645}$$

$$x_{0.5} = \text{Geme} \cdot e^{-\frac{1}{2}S^2}$$

$$x_{0.05} = \frac{x_{0.5}}{EF}$$

$$x_{0.95} = x_{0.5} \cdot EF$$

A.3.4

Speciale gevallen

Het kan voorkomen dat een waarde gegeven is maar dat de berekening niet mogelijk is omdat deze waarde nul is. Het is bijvoorbeeld denkbaar dat de 5%-ondergrens ($x_{0.05}$) nul is. Er is hier dus geen sprake van een lognormale verdeling.

Als dit voorkomt terwijl gemiddelde en mediaan gegeven zijn, worden de waarden van de grenzen berekend aan de hand van deze mediaan, alsof het hier een lognormale verdeling betreft. De resulterende 5%-ondergrens zal normaal gesproken laag liggen en dit zou aangeven dat onze aanname niet heel slecht is.

In het geval dat zowel de mediaan als de 5%-ondergrens nul is, is een lognormale verdeling eigenlijk niet mogelijk. Het is wel mogelijk om een lognormale verdeling te berekenen aan de hand van de 95%-bovengrens en het gemiddelde. De 95%-bovengrens is namelijk gegeven als:

$$x_{0.95} = x_{0.5} \cdot EF$$

En de spreiding S als:

$$S = \sqrt{2 \ln \left(\frac{\text{Gem}}{x_{0.5}} \right)}$$

Enig herschrijven levert:

$$x_{0.95} = \text{Gem} \cdot e^{-S^2/2} EF$$

Met

$$EF = e^{\alpha S}$$

geeft dit

$$x_{0.95} = \text{Gem} \cdot e^{-S^2/2} \cdot e^{\alpha S}$$

$$-\frac{1}{2}S^2 + \alpha S - \ln \left(\frac{x_{0.95}}{\text{Gem}} \right) = 0$$

$$S = \alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - 2 \ln \left(\frac{x_{0.95}}{\text{Gem}} \right)}$$

$$EF = e^{1.645 \cdot S_+}$$

Met S_+ de hoogste waarde van S . Vervolgens worden de grenzen en de mediaan berekend op basis van deze errorfactor. De errorfactor, berekend aan de hand van S_- , is ook een correcte oplossing, deze zal in sommige gevallen beter bij de data passen. De automatisering kiest echter altijd voor de S_+ oplossing.

Bijlage B Faaldata en grenzen

Databoeken geven een gemiddelde faalfrequentie per component. Idealiter is deze data gebaseerd op identieke componenten in identieke milieus, een zogenaamde homogene groep.

B.1 Faaldata in een homogene groep

In een homogene verzameling faaldata, is het mogelijk om alle faalmomenten bij elkaar op te tellen. De 'echte' faalfrequentie is tenslotte voor alle componenten gelijk.

De onzekerheid in de faaldata wordt beschreven door de χ^2 -kwadraat verdeling (voor faalfrequenties, bij faalkansen per vraag geldt de F-verdeling) Met 90% zekerheid is te stellen dat de waarde van het 'echte' gemiddelde zich bevindt tussen de 5%-ondergrens $P_{0.05}$ en de 95%-bovengrens $P_{0.95}$

$$P_{0.05} = \frac{\chi^2(2N, 0.05)}{2t}$$

$$P_{0.95} = \frac{\chi^2(2N + 2, 0.95)}{2t}$$

Met:

$\chi^2(\alpha, \beta)$	het β -betrouwbaarheidsinterval van de χ^2 verdeling met α vrijheidsgraden
$P_{0.05}$	de 5%-ondergrens van P
$P_{0.95}$	de 95%-bovengrens van P
N	het aantal keer dat een component faalt
t	de meettijd.

De verhouding tussen de grenzen is enkel afhankelijk van het aantal faalmomenten.

B.2 Faaldata in een heterogene groep

Databoeken bevatten niet altijd data vergaard uit een homogene groep. Met een homogene groep wordt bedoeld dat de componenten in de groep hetzelfde zijn, zich in hetzelfde milieu bevinden etc. Het is vaak het geval dat de data uit verschillende homogene groepen gecombineerd worden. Deze samenvoeging levert een heterogene groep op waardoor de bovenstaande rekenmethodes niet meer toepasbaar zijn.

Databoeken bevatten vaak data die samengevoegd is uit data van iets verschillende componenten in verschillende milieus etc. Omdat het falen van een object afhangt van vele factoren is het niet correct om de verschillende faaldata bij elkaar op te tellen.

Omdat de data die in databoeken gebruikt worden niet uit homogene groepen komt, wordt in deze boeken gebruik gemaakt van geavanceerde statistische modellen. De exacte werking van deze modellen is niet relevant voor het doel van dit rapport.

B.3 Faaldata in de praktijk

De voorgaande secties impliceren dat, als in een databron verschillende homogene groepen zijn gecombineerd, het totaal aantal faalgebeurtenissen met het aantal bedrijfsuren, kalenderuren of vragen onvoldoende informatie geeft over de

kansverdeling van het gevonden gemiddelde. Hierdoor kan ook niet op basis van alleen die informatie een Bayesiaanse update worden uitgevoerd. Verder teruggaan naar de data van elk van de onderliggende homogene groepen is theoretisch mogelijk, maar praktisch onhaalbaar. Bovendien wordt dit soort gegevens slechts in een beperkt aantal databronnen gegeven. Bedenk dat in het geval dat de faaldata beschikbaar zijn, het niet waarschijnlijk is dat de componenten waarop de generieke data zijn gebaseerd en de beschouwde component (de component waarvoor de data wordt toegepast) een homogene groep vormen. Juist hierom wordt de Bayesiaanse update toegepast.

Bijlage C Bronnen

Bron	Omschrijving bron	Toelichting bron
ABB	Foutenboom analyse voor Renovatie Besturingsinstallatie Stormvloedkering Oosterschelde, ABB documentnummer 3BNLE0003546DFS06, RWS bestek ZL 5269	Rapport van ABB met de specifieke faaldata van besturingscomponenten toegepast in de faalkansanalyse van de Oosterscheldekering. Het betreft data afkomstig van leveranciers: ABB, Hirschmann en HP.
ABBlev	ABB, leveranciersopgave, Reliability Data Sheet Controller Platform AC 800M	leveranciersopgave
ABBlev2	ABB, leveranciersopgave, Automation System Reliability and Availability Predicted vs. Observed Reliability	leveranciersopgave
ABBsheet1	ABB Reliability Data Sheet ABB Operate IT, Process Portal A.	ABB rapport met faaldata van besturingscomponenten van ABB.
ABBsheet2	Daretronics, leveranciersgegevens	leveranciersopgave
Allianz	Allianz: Handbook of loss prevention. Allianz Versicherungs-AG, Berlin/Munchen 1978.	Handboek van Allianz verzekeringsmaatschappij met daarin gedetailleerde informatie over faalwijzen en mechanismen.
ALWR88	ALWR Advanced light water reactor requirements document, Appendix A PRA key assumptions and groundrules, 1988.	Data ten behoeve van de analyse van het ontwerp van de Advanced light water reactor voor EPRI
BMKdok	BMK, Faalkansberekening besturingssysteem, document nummer E-57-0001-3-C, 1996.	
CMG	Faalkansanalyse NSTA, CMG rapport NSFA0004 versie 2.0, 2002-12-19	Rapport van CMG met de specifieke faaldata van besturingscomponenten toegepast in de faalkansanalyse van de Oosterscheldekering. Voor relais en schakelaars zijn de faalsnelheden bepaald op basis van MIL handbook 217F. De data van de overige componenten zijn afkomstig van de fabrikanten: Besturingscomponenten: Control/PEP, op basis van MIL handbook 217 UPS en 24V: geen fabrikant genoemd

Bron	Omschrijving bron	Toelichting bron
Egg	Egg-SSRE 8875 Generic component failure data base for light water and liquid sodium reactor PRA's, 1990.	
Eide1	Eide-1, Component External Leakage and Rupture Frequency Estimates, Eide en andere, PSA 1993, Probabilistic Safety Assessment International Topical Meeting, Clearwater Beach, Florida, January 26-29, 1993. Pagina 1171	Verzameling van faaldata voor lekkage- en breukfrequenties uit "Licensee Event Reports" betreffende de ervaring in commerciële kernenergiereactoren in de Verenigde Staten.
Eide2	Eide-2, Component Failure Rate Comparison and Recommendations for various processing Fluids, Eide en andere, Sessie 68-7 t/m 68-12, Proceedings of PSAM-II, San Diego, 20-25 maart 1994	Paper in PSAM-II proceedings waarin faaldata van componenten voor vier verschillende procesmedia worden vergeleken. De data zijn vooral afkomstig uit de Nuclear Computerized Library for Assessing Reactor Reliability (NUCLARR) database.
EideGen	Eide Generic component failure database, Eide en andere, PSA 1993, Probabilistic Safety Assessment International Topical Meeting, Clearwater Beach, Florida, January 26-29, 1993. Pagina 1175-1182	De data zijn vooral afkomstig uit de Nuclear Computerized Library for Assessing Reactor Reliability (NUCLARR) database die ontwikkeld is voor de Nuclear Regulatory Commission in de Verenigde Staten door Idaho National Engineering Laboratory
Eireda91	EIREDA European Industry Reliability Data Handbook, 1991.	Voorloper van Eireda 1995
Eireda95	Eireda, European Industry Reliability Data Bank, Industrial Plants, Volume 2, Second Edition 1995, ISBN 2-9509092-0-5.	Europese industrie betrouwbaarheids-databank, met data van elektrische, mechanische en elektromechanische componenten en systemen van thermische energiecentrales.
EJ	Expert judgement	Inschatting van expert voor specifieke toepassing. Veelal op basis van diverse generieke databronnen.
E-ned	Elektriciteitsdistributienetten, 1996. EnergieNed statistieken. Kluwer Bedrijfsinformatie b.v.	Uitgave van storingsgegevens in de Nederlandse elektrische energievoorziening, verkrijgbaar bij EnergieNed in Arnhem.
EpriCF	EPRI AP-2071 Component failure and repair data for coal-fired power units, Fluor Power Services, 1981.	

Bron	Omschrijving bron	Toelichting bron
G&B72	Reliability Technology, Green & Bourne, Systems Reliability Service, 1972, ISBN 0 471 32480 9	Betrouwbaarheidsanalysetheorie
Hirsch	Hirschman, leveranciersopgave	leveranciersopgave
IEEE84	IEEE Std 500 Reliability data, Guide to the collection and Presentation of Electrical, Electronic, sensing Component, and Mechanical Equipment Reliability Data for Nuclear-Power Generating Stations, 1984.	-
KEMA2	Faalkansanalyse besturing locomobiel sectordeurkering, KEMA rapport 41326-NUC-96-4480, 13 augustus 1996	Rapport combineert faaldata fabrikant
KEMA3	Betrouwbaarheid Besturing Maeslantkering, KEMA rapport 94207-MAP-3, rev. 0, 3 juli 1990	Zie Bron "KEMAmas"
KEMA4	Betrouwbaarheidsanalysetechnieken, KEMA rapport 30117-MAP-21, 7 augustus 1992	Data dieselgeneratoren o.b.v. onderzoek door KEMA
KEMA5	Verzameling van faalsnelheden en hersteltijden in hoogspanningsnetten, KEMA rapport WSK/30118-4, 1985.	Overzicht van faalsnelheden e.d. van in hoogspanningsnetten aanwezige componenten uit VDEN statistieken en computerbestanden over 1978 t/m 1982
KEMAmas	Kema, 94207-Map-2 Betrouwbaarheid aandrijving sectordeuren Maeslantkering, Kema rapport 94207, 1990.	Onderbouwing van de data gebruikt voor het aantonen van de betrouwbaarheid van de aandrijving van de sectordeuren Maeslantkering.
Led2	Led2 - Ledlampen in scheepvaart- en verkeersinstallaties, www.led2.org. Rijkswaterstaat. Accessed on 7th March 2008.	Download document "Led2-lampen"
lev.	Leveranciersgegevens	Faaldata afkomstig van anonieme leveranciers, opgevraagd in project waar tussenbron betrekking op heeft
NotaInl	Nota van Inlichtingen bij bestek ZLD-6400, Rijkswaterstaat.	
Nureg2728	NUREG/CR-2728 Interim Reliability Evaluation Program Procedures Guide, 1983.	Overgenomen van EGG-EA-5887 Generic database for data and Models Chapter of the national Reliability Evaluation program (NREP) Guide, 1982

Bron	Omschrijving bron	Toelichting bron
Oreda84	OREDA-84, Offshore Reliability Data, 1st edition, Veritec, 1984	Data van componenten en systemen in de offshore, verzameld door oliemaatschappijen
Oreda92	OREDA-92, Offshore Reliability Data, 2nd edition, Det Norske Veritas Industri Norge AS, 1992.	Data van componenten en systemen in de offshore, verzameld door oliemaatschappijen
Oreda97	OREDA-97, Offshore Reliability Data, 3rd edition, Det Norske Veritas, 1992	Data van componenten en systemen in de offshore, verzameld door oliemaatschappijen
Phoenix	Phoenix Exida rapport	Rapport uitgevoerd door Exida voor de bepaling van de betrouwbaarheidsdata op basis van IEC-61508.
proj.	Projectspecifieke bron	Faaldata gebruikt in project zonder daadwerkelijke bronvermelding.
Q&RE90	Quality and Reliability Engineering International vol. 6, 1990.	Niet beschikbaar bij NRG
RAC2.10	RAC database, Version: 2.10	Database van het Reliability Analysis Centre, met data van mechanische, elektrische, elektromechanische, hydraulische en besturingscomponenten. Verzameld binnen de Amerikaanse strijdkrachten.
RBMR_BOS	RBMR, BOS Failure Analysis Hardware Continuum, Overview of the Stratus Continuum 610, CMG, 2 november 2001.	-
SAIC90	Generic Data Notebook for Commercial Nuclear Power plant Probabilistic Risk assessment, SAIC 877-03-02 Rev. 0, 1990.	Data gebaseerd op verschillende databronnen, voornamelijk uit analyses van kernenergiecentrales
Simatic.xls	Siemens Simatic##.xls	
Tbook3	T-book 3rd edition, Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants, ATV office and Studsvik AB, ISBN 91-7186-294-1, 1992	Betrouwbaarheidsdata van componenten in Scandinavische Kerncentrales.
Tbook4	T-book 4th edition, Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants, ATV office and Studsvik AB, ISBN 91-7186-303-6, 1994	Betrouwbaarheidsdata van componenten in Scandinavische Kerncentrales.

Bron	Omschrijving bron	Toelichting bron
Tbook6	T-book, 6th edition, Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants, The TUD Office, ISBN 91-631-7232-1, 2005	Betrouwbaarheidsdata van componenten in Scandinavische Kerncentrales.
VDEN86	VDEN Openbare netten voor elektriciteitsdistributie, 1986.	Voorganger van bron "E-ned"
Wash	NUREG-75/014 (WASH 1400) Reactor Safety Study, An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, 1975	Eerste Probabilistic Safety Analysis van kerncentrales in de Verenigde Staten
Wels	KEMA-40050, Faaldata hydraulische componenten, H.C. Wels, 92-12-07	Faaldata van hydraulische componenten op basis van ervaring handboeken (Green en Bourne) aangepast op basis van RWS (WED) ervaring bij Oosterscheldekering en Krammer-sluizen.

Bijlage D Tussenbronnen

Bronreferentie in database	Omschrijving
A2 36	Beschikbaarheidsanalyse (E36) Tunnelventilatie Project: Overkappingsconstructie Rijksweg 2 in de gemeente Utrecht, CDO-TTAL-TTIU36-ANA-0001, versie B, 2-9-2011
A2 40/89	Faalkansanalyse Besturing Verkeer (40) en Noodbediening Verkeer (89) Project: Overkappingsconstructie Rijksweg 2 in de gemeente Utrecht, COO-TTAL-TVKR40-ANA-0001, versie C, 2-11-2011
A2 51	Beschikbaarheidsanalyse (E51) Brandblusinstallatie Tunnel Project: Overkappingsconstructie Rijksweg 2 in de gemeente Utrecht, COO-TTAL-TTIU51-ANA-0001, versie C, 8-9-2011
A2 61	Beschikbaarheidsanalyse TDEC61 CCTV Project: Overkappingsconstructie Rijksweg 2 in de gemeente Utrecht, CDO-TTAL-TDEC61-ANA-0001, versie B, 2-9-2011
A2 63	Beschikbaarheidsanalyse TDEC63 Omroep Project: Overkappingsconstructie Rijksweg 2 in de gemeente Utrecht, CDO-TTAL-TDEC63-ANA-0001, versie B, 18-10-11
A2 80	Beschikbaarheidsanalyse Bediening en Besturing Project: Overkappingsconstructie Rijksweg 2 in de gemeente Utrecht, COO-TTAL-TSYSAL-ANA-0001, versie C, 7-9-2011
A2 91	Beschikbaarheidsanalyse TEVC91 – Vluchtdeuren Project: Overkappingsconstructie Rijksweg 2 in de gemeente Utrecht, CDO-TTAL-TEVC91-ANA-0001, versie A, 14-9 2011
OKE	Betrouwbaarheidsanalyse OKE, Data analyse, NRG rapport 20813/02.54184 revisie F, 12 augustus 2003
OSK	Faalkansanalyse Stormvloedkering Oosterschelde 2008, Data analyse, NRG rapport 22311/08.90551, revisie B, 28 november 2008

Bronreferentie in database	Omschrijving
Sluis_Driel	Beschikbaarheidsanalyse sluizen en stuwen NederRijn-Lek, 21874/06.73986 revisie B, 9 juni 2006
Brug_Terneuzen	Risicoanalyse basculebrug Westsluis Terneuzen, NRG rapport 22234/08.88810, 22 mei 2008
LK	<p>Leidraad kunstwerken 2003 Technische Adviescommissie Waterkeringen</p> <p>De data in de leidraad kunstwerken is identiek aan de data in: <i>Basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies, TAW leidraad, juni 1997.</i></p> <p>De data in: <i>Standaard NIE-002, Betrouwbaarheid Elektrische Installaties, samengesteld door de Bouwdienst van Rijkswaterstaat, 13 maart 2000</i> is afkomstig uit het basisrapport.</p>