



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

RWS BEDRIJFSINFORMATIE

Bijlagerrapport:

**Analyse geavanceerde betrouwbaarheidsanalyses voor
Betrouwbaarheid Sluiten**

Een vergelijking van resultaten van geavanceerde risicoanalyses met de standaard foutenbomen + scoretabellen

Datum	1 november 2017
Status	Definitief

Colofon

Uitgegeven door	WVL RWS
Informatie	Helpdesk Water
Telefoon	088-7977102
Uitgevoerd door	Arnaud Castelein en Bob van Bree
Datum	1 november 2017
Status	definitief
Versienummer	1.0

Inhoud

1	Inleiding 7
1.1	Doel en scope 7
1.1.1	Scope 7
1.1.2	Subdoelen 7
1.2	Introductie bomen 8
1.3	Introductie kans op niet-beschikbaarheid 8
2	Technisch falen Keersluis Limmel 13
2.1	Beschrijving van keersluis Limmel 13
2.1.1	Faalkanseis in het aanlegcontract 13
2.1.2	Korte technische beschrijving 13
2.1.3	Bedienmogelijkheden keersluis Limmel 14
2.2	Geavanceerde betrouwbaarheidsanalyse keersluis Limmel 15
2.3	Geavanceerde foutenboom Limmel vertaald naar standaard foutenboom 19
2.4	Faalkans schatten met standaard foutenboom en scoretabel 21
2.4.1	Toelichting bij scores 22
2.5	Verschillenanalyse en conclusie 24
3	Technisch falen Meppelerdiepsluis 27
3.1	Inleiding en beschrijving van de constructie 27
3.2	Faalkanseis in het aanlegcontract 28
3.3	Korte technische beschrijving 28
3.4	Geavanceerde betrouwbaarheidsanalyse keerschutsluis Meppelerdiep 30
3.5	Geavanceerde foutenboom Meppelerdiep vertaald naar de standaard foutenboom 36
3.6	Faalkans schatten met standaard foutenboom en scoretabel 38
3.6.1	Enkel kerende sluis 39
3.6.2	Dubbel kerende sluis 42
3.7	Verschillenanalyse en conclusie 43
4	Alarmering, Mobilisatie en Bediening Meppelerdiepsluis 47
4.1	Inleiding 47
4.2	Samenvatting sluitprotocol: Alarmering, Mobilisatie en Bediening 48
4.2.1	Hoogwateralarmering 48
4.2.2	Mobilisatie 48
4.2.3	Bediening 48
4.4	Modelering 50
4.5	Conclusies 59
4.5.1	Vergelijking Alarmering: gebeurtenissenboom vs. standaard foutenboom en scoretabel 62
4.5.2	Vergelijking Mobilisatie: foutenbomen op maat vs. standaard foutenboom en scoretabel 63
4.5.3	Vergelijking Bediening: Opschepmodel vs. standaard foutenboom en scoretabel 64
4.5.4	Antwoord op scope vragen: 64
5	Eindconclusie 66
6	Referenties 68

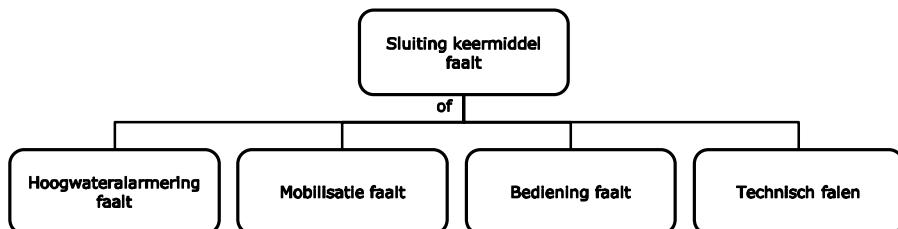
- Bijlage A: Ingevulde originele scoretabel cf. [4] voor Limmel**
Bijlage B: Ingevulde originele scoretabel cf. [4] voor Meppelerdiepsluis
Bijlage C: Modellering Bediening Meppelerdiep met Opschepmodel

1 Inleiding

1.1 Doel en scope

Het voorliggende rapport is een bijlagerrapport van het rapport: Kwantificering scoretabellen niet sluiten [11], onderdeel van de onderbouwing van de vernieuwde gedetailleerde methode voor het bepalen van de kans op niet sluiten per sluitvraag. De vernieuwde methode is beschreven in het hoofdrapport: Werkwijze bepalen kans op niet sluiten per sluitvraag met scoretabellen [4].

De gedetailleerde methode bestaat uit één standaard foutenboom + scoretabel voor ieder beoordelingsaspect van niet sluiten: Alarmering, Mobilisatie, Bediening en Technisch falen, welke middels de volgende foutenboom zijn verenigd.



Figuur 1: deelaspecten niet sluiten

Het hoofddoel van deze studie is te bepalen in hoeverre de modellering en de faalkansbepaling van niet sluiten volgens de verbeterde gedetailleerde methode in [4,11] overeenkomt met de modellering en bepaalde faalkansen van een aantal geavanceerde risicoanalyses, gemaakt voor RWS aanlegprojecten.

1.1.1 Scope

In de voorliggende analyse is de uitwerking voor het deelaspect technisch falen met de standaard foutenboom + scoretabel voor de kunstwerken Keersluis Limmel en Meppelerdiepsluis vergeleken met de bestaande geavanceerde foutenbomen op maat ([1], [2]), die zijn opgesteld tijdens het ontwerp van deze constructies.

Daarnaast is voor de Meppelerdiepsluis eenzelfde soort vergelijking gemaakt voor de deelaspecten Alarmering, Mobilisatie en Bediening, waarbij gebruik is gemaakt van de gebeurtenissenboom in [8].

Voor Limmel is niet naar overige deelaspecten gekeken, aangezien daar geen literatuur voor aanwezig is.

1.1.2 Subdoelen

Het bovenstaande doel wordt bereikt door de volgende vragen te beantwoorden:

- in hoeverre is de verbeterde standaard foutenboom voor technisch falen vergelijkbaar met de geavanceerde foutenbomen voor technisch falen van Limmel en Meppelerdiep?
- In hoeverre kunnen de geavanceerde foutenbomen worden gestandaardiseerd of omgeschreven naar de opbouw van de standaardfoutenboom?
 - In het geval dit kan; in hoeverre komt de kwantificering van de standaard foutenboom overeen met die van de geavanceerde foutenbomen?

- In hoeverre is de verbeterde standaardfoutenboom + scoretabel voor technische falen bruikbaar voor deze 'grottere' constructies?
- In hoeverre is de gebeurtenissenboom voor de overige aspecten van Meppelerdiep bruikbaar voor een vergelijking met de verbeterde standaard foutenbomen + scoretabellen van deze aspecten?
 - In het geval dit kan; in hoeverre komt de kwantificering van de gebeurtenissenboom van Meppelerdiep overeen met de scores volgens de standaard foutenbomen + scoretabellen van de overige aspecten?

1.2

Introductie bomen

Teneinde te beoordelen in hoeverre individuele faalgebeurtenissen de veiligheid van het totale systeem in gevaar brengt, zijn risico-analytische methoden ontwikkeld, die men wel samenvat onder de naam "bomen". Het gaat daarbij om gebeurtenissen-, foutenbomen, rekenschema's, etc. als instrumenten van de risicoanalyse.

De risicoanalyse bestaat uit een aantal fasen, die achtereenvolgens doorlopen worden. In de eerste fase vindt een beschrijving van de constructie als systeem plaats. In de tweede fase tracht men door middel van brainstormtechnieken zicht te krijgen op alle mogelijke ongewenste begingebeurtenissen (het bezwijken van een component, een menselijke fout, brand, etc.) die de goede werking van het systeem zouden kunnen beïnvloeden. Tevens onderzoekt men in de tweede fase alle mogelijke reacties van het systeem op elke ongewenste begingebeurtenis. Als instrument is hier de gebeurtenissenboom, die op logische wijze het verband vastlegt tussen één begingebeurtenis en alle mogelijke daaropvolgende reacties van het systeem. In de derde fase wordt bestudeerd op welke wijzen de meeste ongewenste reactie van het systeem tot stand kan komen. In feite worden de meest ongunstige takken van de gebeurtenissen verenigd tot één boom: de foutenboom is dus een schematische weergave van de logische opeenvolging van alle gebeurtenissen, die leiden tot één zeer ongewenste reactie van het systeem (b.v. falen). Deze ongewenste reactie staat meestal boven aan de boom en wordt de "topgebeurtenis" genoemd. Voor iedere topgebeurtenis dient dus een aparte foutenboom te worden opgesteld.

Bron: TU Delft dictaat Probabilistisch Ontwerpen [9]

1.3

Introductie kans op niet-beschikbaarheid

De theorie voor beschikbaarheidsanalyse is beschreven in verschillende literatuurbronnen. Ten aanzien van specifiek waterkerende constructies is de literatuur echter beperkt. De beschikbare documenten blijken ieder in te zoomen op andere facetten en laten hier en daar witte vlekken. Vandaar dat in deze paragraaf een samenvatting is gegeven en getracht is onderwerpen te verbinden tot een geheel, hiervoor zijn de volgende bronnen gebruikt: RAMS analyse Meppelerdiepsluis [2], Handreiking RWS Faaldatabase definitief versie 1.0 [5], Leidraad Kunstwerken 2003 [6] en Handreiking PRA [7].

In geavanceerde risicoanalyses, ook voor waterkeringen, wordt gebruik gemaakt van foutenboom- of gebeurtenissenboamanalyses met speciale software. Voor RWS maakt het te gebruiken programma niet uit, zolang de resultaten leesbaar zijn middels Isograph Reliability Workbench.

In alle onderdelen van de sluitingsprocedure kan sprake zijn van menselijke fouten en technisch falen. In alle beoordelingsaspecten Alarmering, Mobilisatie, Bediening en Technisch falen kunnen beide optreden, waarbij in het geval van het beoordelingsaspect Technisch falen; het falen van technische componenten dominant zal zijn.

Menselijke fouten zijn te onderscheiden in verzuimfouten, keuzefouten, behandelingsfouten, volgordefouten en buitengewone acties. In het bijzonder betreft het fouten in menselijke voorspellingen, het uitblijven van beslissingen, het nemen van verkeerde beslissingen, het niet uitvoeren van beslissingen, en het fout uitvoeren van beslissingen. In H4 wordt hier verder op ingegaan.

In het geval van technisch falen van een component kan de kans op niet-beschikbaarheid $U [-]$ bij een random vraag om functioneren het gevolg zijn van spontaan falen, niet-merkbaar falen in de voorafgaande periode, merkbaar falen en van testen.

Wanneer iets merkbaar of niet-merkbaar faalt dient duidelijk onderschieden te worden. Het is afhankelijk van het gedefinieerde moment dat opgemerkt wordt dat iets gefaald is. Bijvoorbeeld, is een lekke band merkbaar gefaald wanneer je ziet dat de band lek is, of wanneer het controlelampje in het dashboard dat aangeeft? Merkbaar en niet-merkbaar falen sluiten elkaar uit, omdat een faalwijze van een component niet zowel merkbaar als niet-merkbaar kan zijn. Dus ofwel formule (1) of (2) wordt gebruikt:

Niet merkbaar falen:

$$U = U_{\text{nmf}} + Q + U_{\text{missie}} + U_{\text{rep}} + U_{\text{test}} \quad (1)$$

of

Merkbaar falen:

$$U = U_{\text{mf}} + Q + U_{\text{missie}} + U_{\text{rep}} + U_{\text{test}} \quad (2)$$

met¹:

- U = totale kans op niet-beschikbaarheid [-]
- U_{nmf} = kans op niet-beschikbaarheid door niet-merkbaar falen [-]
- U_{mf} = kans op niet-beschikbaarheid door merkbaar falen [-]
- Q = kans op spontaan falen per vraag [-]
- U_{missie} = kans op niet-beschikbaarheid door falen tijdens missie [-]
- U_{rep} = kans op niet-beschikbaarheid door reparatie [-]
- U_{test} = kans op niet-beschikbaarheid door testen [-]

Voorbeelden:

- Niet merkbaar falen:
 - het bewegingswerk (scharnier) van een terugslagklep is vastgeroest en zal bij een beroep om te openen niet openen.
 - De softwareapplicatie die gebruikt wordt voor de bediening van de deuren van een schutsluis faalt. Dit is niet merkbaar falen omdat falen pas wordt opgemerkt wanneer men wil schutten. De frequentie van schutten wordt als de testfrequentie opgevat.
- Merkbaar falen:
 - Het falen van de computer waar de bovenstaande software applicatie op draait valt onder merkbaar falen, omdat de computer bijna continu wordt gebruikt voor allerlei functies.
 - een keermiddel (ex. bewegingswerk) hangt in rust (stand-by) boven de waterweg en wordt dusdanig aangevaren dat grote vervormingen, die de waterkerende functie te niet doet, goed zichtbaar zijn.
- Spontaan falen: bij een beroep om te starten faalt een dieselmotor spontaan doordat de slang van de brandstoftoevoer losschiet.

¹ in Isograph Reliability Workbench wordt voor niet-beschikbaarheid het symbool $Q [-]$ gebruikt, i.p.v. $U [-]$.

- Falen tijdens missie: het bewegingswerk van het bovengenoemde hangende keermiddel loopt vast tijdens het sluiten.
- Niet beschikbaarheid tijdens reparatie en testen zijn evident.

De kans op niet beschikbaarheid $U [-]$ is dimensieloos en kan worden opgevat als de fractie van een tijdsperiode dat de constructie niet beschikbaar is. Dat is qua eenheid gelijk aan de faalkans per random vraag om functioneren in die tijdsperiode zoals we die kennen uit de Leidraad Kunstwerken 2003. Dit kan verduidelijkt worden met de volgende metafoor: stel de bullseye van een dartbord vertegenwoordigt het niet-beschikbaarheidspercentage en de rest van het bord het beschikbaarheidspercentage van een hoogwaterkeermiddel. De random vraag om functioneren van het keermiddel wordt gesymboliseerd door het werpen van een darpjil. De kans per worp dat de pijl de bullseye raakt is gelijk aan het percentage aan oppervlak van de bullseye op het dartbord.

Dit is conform de definitie² in handreiking Prestatie Gestuurde Risicoanalyses (PRA) [7] op blz. 29³.

De definitie van **beschikbaarheid** is:

- 1) *Beschikbaarheid is de verwachte fractie van de totale tijd dat een systeem, onder gegeven omstandigheden, functioneert.*
- 2) *Beschikbaarheid is (ook) de kans dat een systeem, onder gegeven omstandigheden, functioneert wanneer het op een willekeurig tijdstip wordt aangesproken.*

In aanleg-, B&O contracten en de ProBO-methodiek kan de prestatie eis voor hoogwaterkeren $U [-]$ op beide manieren zijn omschreven, als niet-beschikbaarheidspercentage of als faalkans per vraag. In sommige gevallen, zoals bij de Meppelerdiepsluis, is een kanseis per jaar gevraagd, waarbij $U [-]$ vermenigvuldigd dient te worden met een frequentie.

Alle hierboven benoemde kansen op niet beschikbaarheid, behalve spontaan falen, zijn uitgedrukt in een faalfrequentie $\lambda [-/\text{uur}]$, zie onderstaande versimpelde formules⁴:

- Niet beschikbaar door niet-merkbaar falen: $U_{nmf} = \frac{1}{2} \lambda_{nmf} T$
Waarbij T = periode tussen twee tests of twee reguliere bedienmomenten.
- Niet beschikbaar door merkbaar falen: $U_{mf} = \lambda_{mf} \cdot \theta$
Waarbij θ = reparatieperiode.
Feitelijk de niet beschikbaarheid door reparatie na opmerken van falen.
- Niet beschikbaar door falen tijdens missie: $U_{missie} = \lambda_{missie} \cdot M$
Waarbij M = missietijd.
- Niet beschikbaar door reparatie:
 - In het geval van niet merkbaar falen: $U_{rep} = (\lambda_{nmf} + \lambda_{missie}) \cdot \theta$,
 - In het geval van merkbaar falen: $U_{rep} = \lambda_{missie} \cdot \theta$.

² In de voorliggende studie wordt gewerkt met de niet-beschikbaarheid, ofwel $U = 1 -$ kans op beschikbaarheid.

³ Vervangt per 2106 de leidraden RAMS en ProBO

⁴ In FaultTree+ worden complexere relaties gebruikt die voor alle situaties bruikbaar zijn.

Feitelijk de niet-beschikbaarheid door reparatie t.g.v. falen tijdens missie.

- Niet-beschikbaarheid door testen: wordt niet beschouwd, testen vindt over het algemeen plaats buiten het hoogwaterseizoen.

Er zijn dus meerdere faalfrequenties mogelijk voor één component, zoals ook verwoord op blz. 71 van [7]. De volgende combinaties zijn mogelijk:

- Faalfrequentie voor merkbaar falen (λ_{mf}) en falen tijdens missie (λ_{missie}):
Voorbeeld: de bovenstaande hangende keerschuif heeft een veel kleinere faalfrequentie tijdens missie (sluiten) t.a.v. aanvaren dan wanneer die stand-by hangt, omdat het scheepvaartverkeer in de waterweg dan is gestremd.
- Faalfrequentie niet merkbaar falen (λ_{nmf}) en falen tijdens missie (λ_{missie}):
Voorbeeld: niet merkbaar falen i.g.v. het boven genoemde vastgeroeste bewegingswerk en falen tijdens missie van hetzelfde bewegingswerk door het weg vallen van de oliedruk in de hydraulische cilinder door falen van een pomp.

Niet merkbaar falen: faalfrequentie of kans per vraag?

In de literatuur wordt meestal gebruik gemaakt van faalfrequenties λ [-/uur] en komen faalkansen per vraag Q [-] slechts zeer beperkt voor. Spontaan falen Q blijkt in veel gevallen een uitdrukking van niet-merkbaar falen, wanneer de kans op niet merkbaar falen wordt bepaald middels 'Expert Judgement'. Dat komt omdat kansen per vraag beter zijn voor te stellen dan faalfrequenties.

Wanneer Q dus betrekking heeft op niet merkbaar falen i.p.v. spontaan falen geldt:

$$Q = U_{nmf}$$

Vervolgens wijzigt vergelijking (1) voor niet merkbaar in:

$$U = U_{nmf} + U_{missie} + U_{rep} + U_{test}$$

NB: in [5] heeft RWS zelfs het uitgangspunt opgenomen voor haar aanleg- en onderhoudsprojecten dat dit voor alle kansen per vraag Q geldt, ofwel Q is altijd een uitdrukking van niet-merkbaar falen.

2 Technisch falen Keersluis Limmel

2.1 Beschrijving van keersluis Limmel

De nieuwe Keersluis Limmel is in 2016-2017 gerealiseerd als het eerste natte DBFM project (Design, Built, Finance, Maintain) van RWS. De keersluis is een voorliggende kering in de monding van het Julianakanaal boven Maastricht welke hoogwater dient te keren vanuit de Maas, ter voorkoming van te hoge waterstanden in het Julianakanaal.

De aannemerscombinatie Besix is na de bouw 30 jaar verantwoordelijk voor het beheer van de sluis. Middels een geavanceerde betrouwbaarheidsanalyse dient de combinatie o.a. het behalen van de betrouwbaarheidseis voor niet sluiten te verifiëren. In de voorliggende analyse is gebruik gemaakt van een definitieve versie van de betrouwbaarheidsanalyse [1]. De verwachting is echter dat er nog aanpassingen zullen worden gemaakt in [1] voordat RWS akkoord is. Er wordt hier echter uitgegaan dat de analyse correct is en van goede kwaliteit.

2.1.1 Faalkanseis in het aanlegcontract

De faalkanseis voor niet sluiten per sluitvraag voor technisch falen inclusief falen herstelacties geldt voor de gehele levensduur en luidt:

Eis ID	Faalkans niet sluiten Keermiddel(-en) Nieuwe Keersluis	Bovenliggende eis	Onderliggende eis
Eis_00586	Systeem 1.1 Keersluis dient vanuit waterveiligheid een maximale faalkans te hebben van 1/3.875 per sluitvraag, 6 uur en 20 minuten na Bediencommando Sluiten Sluisdeur.	Eis_00071	
Eis geldt beginnend op: KBD	Eis geldt op:	Eis geldt tot en met: ED	
Verificatiemoment: - Exploitatiefase - Ontwerpfas	Verificatiemethode: - Modelvalidatie - Analyse	Verificatievoorschrift: - Verificatie aan de hand van Eis_00594 - Verificatie aan de hand van Eis_00594	

Onder Technisch falen valt het falen van een sluiting door het in gebreke zijn van technische componenten of door een belemmering. Alle (bedien)handelingen die na Technisch falen worden ingezet als herstelactie vallen tevens onder Technisch falen.

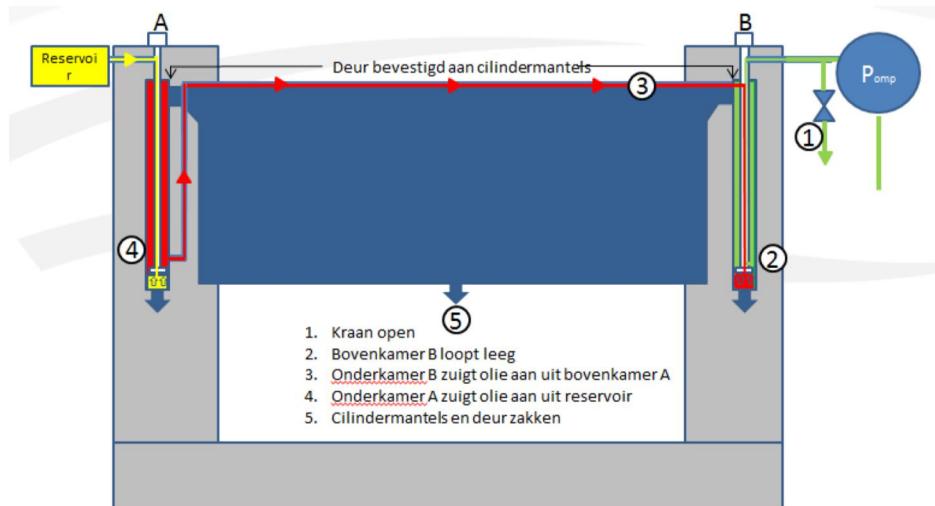
De faalkanseis per sluitvraag wordt in [1] door de opdrachtnemer geverifieerd middels een berekende kans op niet beschikbaarheid U [-] volgens het RWS VBB kader (verificatievoorschrift) [7]. Zie H1.2 voor uitleg over kans op niet beschikbaarheid en kans per vraag.

2.1.2 Korte technische beschrijving

Voor een volledige beschrijving zie [1]. Keersluis Limmel heeft als taak in het geval van hoogwater op de Maas het Julianakanaal te sluiten als zijnde een voorliggende kering voor de normtrajecten achter de sluis. De keersluis heeft één hefdeur die normaal gesproken geopend staat en welke in twee torens hangt, ieder op een oever van het Julianakanaal. Aan beide zijden van de keersluis staan scheepvaartseinen. Er is bij de kering geen sprake van een vernauwing in de vaarweg, de doorvaarbare breedte is gelijk aan die van het kanaal.



De aandrijving van de hefdeur is hydraulisch. Het principe van de werking is in onderstaand figuur getoond. Bij het zakken van de deur wordt het ventiel (1) opengezet en daalt de hefdeur op zwaartekracht. Voor het heffen wordt de olie weer teruggepompt. De hydraulische verbinding tussen de twee torens verhindert dat er een scheefloop ontstaat.



Figuur 5: Principe schema van de aandrijving

De hefdeur is zodanig uitgevoerd dat deze tot ruim boven het profiel van vrije ruimte (PVR) kan worden geheven. Hierdoor is het mogelijk een proefbeweging uit te voeren zonder dat de deur in PVR komt.

Het ventiel getoond in het principeschema is uitgevoerd als twee parallelle takken, te weten:

- Voor reguliere sluiting: sluiting met digitaal aangestuurde ventielen. Er zijn twee stuuroventielen en een proportionaalventiel in serie.
- Voor handmatige sluiting: Sluiting met een handkraan. Deze staat parallel aan de bovenstaande ventielen.

2.1.3

Bedienmogelijkheden keersluis Limmel

Voor de keersluis Limmel zijn er een drietal bedienmogelijkheden, deze verschillen onderling in de mate van automatisering en de mate van automatische beveiliging en detectie.

Bediening vanuit Borgharen

De bediening vanuit Borgharen vindt plaats op de bedienplek Borgharen, gelegen op nog geen 600 meter afstand van de sluis. Dit is de normale bedienwijze. Vanuit deze bedienplek is geen direct zicht mogelijk op de keersluis Limmel. Op deze bedienplek zijn altijd minimaal twee getrainde en geoefende bedieners aanwezig.

Bediening via noodpaneel ter plaatste van keersluis Limmel

Indien de bediening vanuit Borgharen faalt, kan worden teruggevallen op bediening lokaal op de keersluis Limmel via het Noodbedienpaneel (Noodbediening Technisch). Dit Noodbedienpaneel heeft extra mogelijkheden om bij storingen van apparatuur toch de keersluis te kunnen sluiten.

Handbediening via 'kraan'

Indien de bediening via het Noodbedienpaneel faalt kan worden teruggevallen op bediening van een kraan waardoor de hydraulische oliedruk wegvalt (Noodbediening Hand). De kering sluit dan alsnog.

2.2

Geavanceerde betrouwbaarheidsanalyse keersluis Limmel

De betrouwbaarheidsanalyse in [1] modelleert de faalgebeurtenissen (incl. faalkansen) van het sluitproces na de beslissing en commando tot sluiten (vanuit Borgharen) en betreft dus het deelaspect technisch falen. Hiermee is de kans per sluitvraag op technisch falen incl. falen van herstelacties te bepalen. Alle (bedien)handelingen die na initieel technisch falen worden ingezet als herstelactie vallen dus tevens onder Technisch falen. Dit is ook precies de scope van de standaardfoutenboom + scoretabellen in [4]. De analyse van [1] bestaat uit een FME(C)A⁵ en een foutenboomanalyse uitgewerkt in Isograph Reliability Workbench.

In Figuur 2 op de volgende bladzijde is de foutenboom op het hoogste niveau weergegeven inclusief faalkansen. De boom is ingericht met het sluitingsproces, de drie bedienmogelijkheden van de keersluis, als leidraad en niet de technische inrichting van de kering als leidraad. Dat betekent dat falen van veel technische componenten, die bij alle drie de bedienmogelijkheden worden ingezet, zoals de werktuigbouwkundige installaties, in alle drie de bedientakken zijn opgenomen.

De volgende hoofdtakken zijn in serie (OF-poort) in Figuur 2 aangebracht:

1) KHW⁶-PROCES:

- Kering faalt tijdens uitvoeren sluitproces wanneer alle drie de bedienmogelijkheden falen (EN-poort):
 - KHW-BORGHAREN: reguliere bediening vanuit Borgharen
 - KHW-LIMNOOD: Noodbediening vanuit keersluis Limmel
 - KHW-KRAAN: Handbediening middels 'kraan' vanuit Limmel
 - Alle bedienwijzen hebben eenzelfde faalkansorde: ca. 10^{-3} .
- Falen sluiten bij bediening vanuit Borgharen is sterk afhankelijk van de werking van communicatiemiddelen met de scheepvaart, de camera installatie ter plaatse van Limmel ter observatie en de datacommunicatieverbinding tussen Borgharen en Limmel. Bij falen sluiten vanuit de keersluis is dit minder het geval en in het geval van noodsluiting nauwelijks het geval. Ten behoeve van de vergelijking met de standaard foutenboom in H2.3, waarin op het hoogste niveau onderscheid wordt gemaakt in falen aandrijving en keermiddel, worden voorgaande faaloorzaken onder falen aandrijving geschaard.

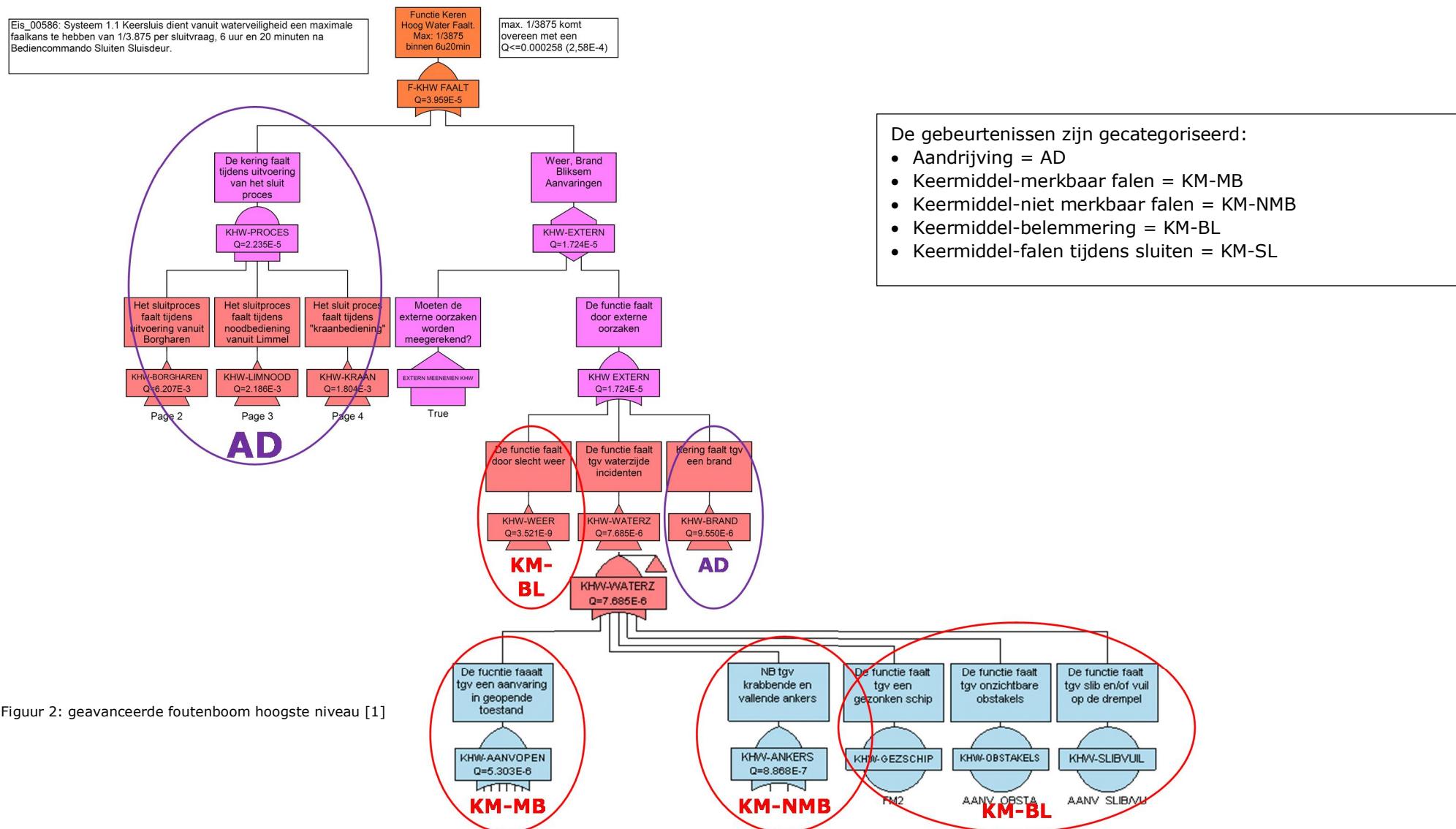
⁵ Failure Mode Effect and Criticality Analysis: uitleg zie [7]

⁶ KHW: Keren Hoog Water

- De werktuigbouwkundige installatie, welke dominant is voor de faalkans van KHW-PROCES, zorgt voor de beweging van de hefdeur en maakt uiteraard onderdeel uit van alle bedienvormen. NB: dubbeltelling wordt voorkomen in FaultTree+.
- Brand in de E&I kamers en ter plaatse van Borgharen is opgenomen in KHW-PROCES.

2) KHW-EXTERN:

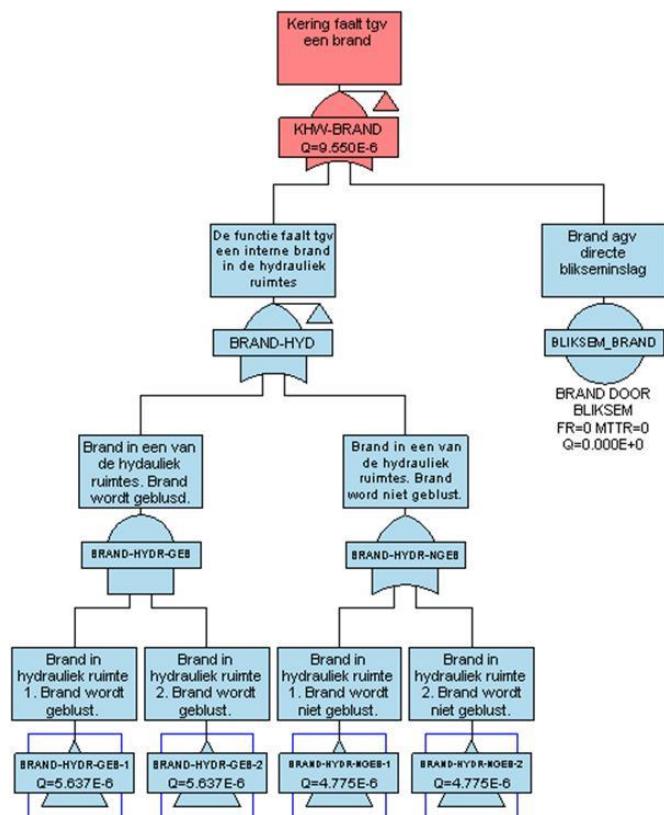
- De kering faalt door optreden van één van de volgende externe gebeurtenissen (OF-poort):
 - KHW-WEER: de functie faalt door slecht weer, deze wordt verder buiten beschouwing gelaten vanwege de zeer kleine faalkans (ca. 2 ordes kleiner dan de totale faalkans)
 - KHW-WATERZ: de functie faalt door incidenten aan de waterzijde.
 - KHW-BRAND: brand in de hydrauliek kamers en door bliksem.
- Het blijkt dat de externe oorzaken een substantiële bijdrage aan de faalkans hebben, namelijk 43% van de totale faalkans.



Figuur 2: geavanceerde foutenboom hoogste niveau [1]

Toelichting KHW-BRAND:

Brand in de E&I kamers en ter plaatse van Borgharen is opgenomen in KHW-PROCES. Brand in de hydrauliek kamers en door bliksem is opgenomen in KHW-BRAND en valt echter onder externe gebeurtenissen. Dit onderscheid in de foutenboom tussen deze brandvormen is vreemd, omdat in beide gevallen de oorzaak van de brand ligt in een ontsteking binnen het technische circuit (faalkans BLIKSEM_BRAND = 0) en omdat brand in de hydrauliek kamers ook een falende bediening (aandrijving) veroorzaakt. Het zou dus logisch zijn geweest als beide vormen van brand in KHW-PROCES zouden zijn opgenomen.

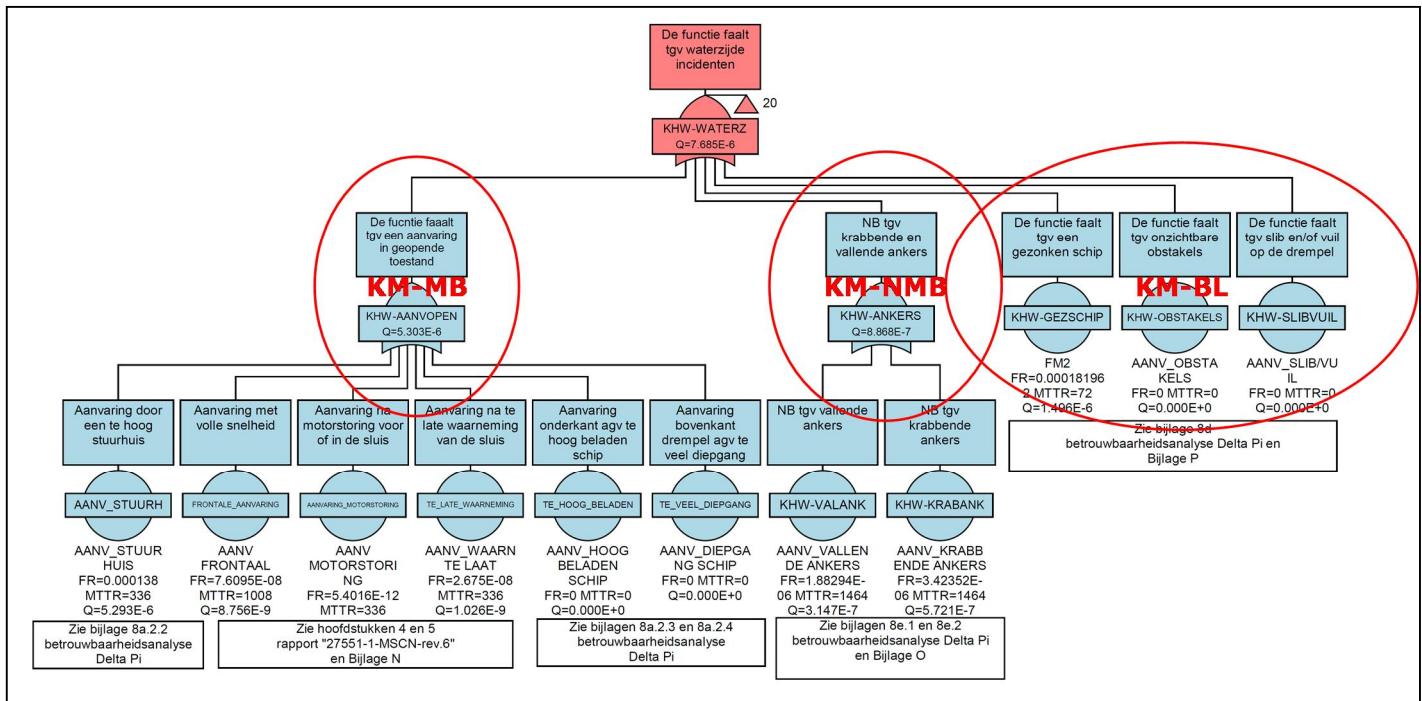


Figuur 3: Faalgebeurtenis KHW-BRAND uit [1]

Het is overigens curieus dat brand die wordt geblust een grotere faalkansbijdrage heeft dan een brand die niet wordt geblust.

Toelichting KHW-WATERZ

Tak KHW_WATERZ geeft de mogelijke incidenten aan de waterzijde weer waardoor Limmel niet kan sluiten. Wanneer één van de volgende incidenten optreden, zal de sluiting van Limmel falen (OF-poort):



Figuur 4: hoofdtak KHW-WATERZ uit [1]

Opmerkingen:

De kans op aanvaring wordt bijna volledig bepaald door een aanvaring op de hefschuit tgv een te hoge stuurhut, orde $5 \cdot 10^{-6}$.

De kans op vallende en krabbende ankers wordt hier als een oorzaak van niet sluiten opgevoerd. Dat lijkt niet realistisch, gezien de beperkte schade die dat kan veroorzaken wat niet zal leiden tot een gefaalde sluiting. Hooguit leidt dit tot een verhoogd waterbezuur (meer lek door beschadigde drempel).

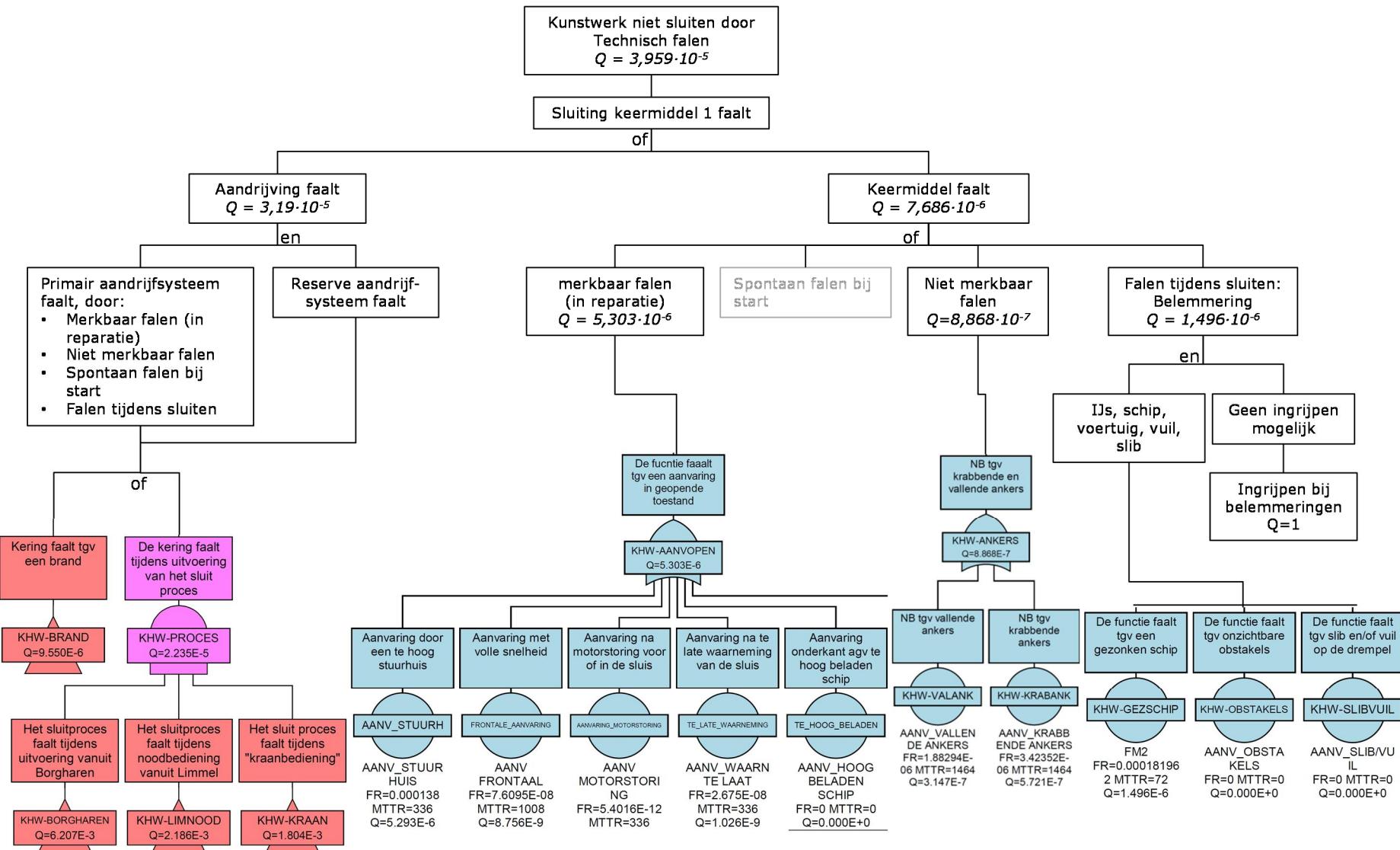
Volgens [1] hebben de aanwezigheid van vuil en slib en obstakel geen faalkansbijdrage. Dit wordt onderbouwd in een niet beschikbaar zijnde document, er wordt hier uitgegaan van een juiste keuze.

Een gezonken schip t.p.v. de keersluis wordt als mogelijke oorzaak van niet sluiten aangemerkt, dat wordt als niet realistisch beschouwd. De analyse in [1] lijkt te pessimistisch (orde 10^{-6}), maar gebeurtenis blijft gehandhaafd gezien de nog steeds kleine kans van voorkomen.

2.3

Geavanceerde foutenboom Limmel vertaald naar standaard foutenboom

Gezien het doel van de voorliggende studie, wordt de geavanceerde foutenboom [1] nu omgewerkt in de standaard foutenboom van technisch falen welke ten grondslag ligt aan de scoretabel van technisch falen.



Figuur 5: geavanceerde foutenboom Keersluis omgewerkt in standaard foutenboom

Het bedienproces KHW-PROCES is vanwege de procesbenadering in [1] enkel op het hoogste aggregatieniveau in de standaard foutenboom te plaatsen, omdat de standaard foutenboom vanuit de technische inrichting is opgebouwd. KHW-PROCES past het beste onder de faalgebeurtenis 'aandrijving faalt', aangezien in KHW-PROCES met name faalgebeurtenissen zijn opgenomen die de aansturing van het keermiddel betreffen. In KHW-PROCES zit Brand in de E&I-kamers en t.p.v. Borgharen. KHW-BRAND betreft brand in de hydrauliek kamers en is ook onder 'falen aandrijving' geschaard.

2.4

Faalkans schatten met standaard foutenboom en scoretabel

In deze paragraaf wordt de faalkans voor technisch falen inclusief herstelacties voor keersluis Limmel geschat met de standaard foutenboom en scoretabel uit [4].

NB: de procesvragen a1, a2 en a3 van de scoretabel gaan in op de aanwezigheid van het onderhoudsplan, het organiseren van een testsluiting en de aanwezigheid van een kwaliteitssysteem en hebben betrekking op alle onderdelen en faalgebeurtenissen. Er is in [4] voor gekozen de betrouwbaarheidsbijdrage van het onderhoudsplan, testsluiting en kwaliteitssysteem voor de totale constructie te bepalen en niet per faalgebeurtenis in de foutenboom. Wanneer deze goed zijn georganiseerd en procesmatig zijn opgenomen in het Hoogwaterdraaiboek, heeft het kunstwerk een basis betrouwbaarheid van $10^{-2,5} = 3,16 \cdot 10^{-3}$ per vraag. De gedachte er achter is dat de constructie technisch in orde is (a1), (mogelijke) faaloorzaken bekend zijn middels de tests (a2) en deze faaloorzaken worden verholpen c.q. voorkomen middels het plan-do-check-act proces (a3).

Om in H2.5 een zinnige vergelijking met de geavanceerde foutenboom van Limmel te kunnen maken, is het echter wel nodig om de bijdrage van het onderhoudsplan, tetssluiting en kwaliteitssysteem op een lager faalgebeurtenisniveau op te nemen in de standaard foutenboom en scoretabelvraag. In de geavanceerde boom van Limmel zijn deze zaken namelijk wel op diverse niveaus in de boom op opgenomen. Daartoe is t.b.v. de vergelijking de scoretabel kwantificering aangepast, waarbij vragen a1, a2 en a3 dienen te worden betrokken op de faalgebeurtenissen *Aandrijving faalt* en *Keermiddel faalt*.

In bijlage C is ingevulde originele scoretabel cf. [4] opgenomen.

Hieronder is de aangepaste scoretabel weergegeven.

Onderdeel	Vraag		Antwoord	Score
A	a1	is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?	ja	score opgenomen in: c, e, f, g
A	a2	wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?	ja	score opgenomen in: c, e, f, g
A	a3	worden de ervaringen van de controles, tests en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling en bedieningsprotocol of zonodig aan het sluitmiddel zelf?	ja	score opgenomen in: c, e, f, g
Aandrijving	c	is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	ja	3
Aandrijving	b1	is er een tweede aandrijfsysteem?	ja	1
Aandrijving	d	Aandrijving faalt (tussen score)	c+b1	4
Keermiddel	e	Is er een risico van merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	ja	3,5
Keermiddel	f	Is er een risico van niet-merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	nee	4
Keermiddel	g	Is er een risico op belemmering waardoor de sluiting faalt van betekenis?	nee	3,75
Keermiddel	b2	is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?	ja/nvt	0,25
Keermiddel	h	Falen tijdens sluiten: belemmering (tussenscore)	g+b2	4
Keermiddel	i	Keermiddel 1 faalt (tussenscore)	min(e,f,h)	3,5
Sluiting eerste keermiddel	j	Sluiting keermiddel 1 faalt (tussenscore)	Min(d,j)	3,5
2de keermiddel	b3	is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerste keermiddel niet gesloten kan worden? Indien ja: beantwoord de vragen k en l voor het tweede keermiddel	nee	0
Keermiddel	k	Is er een risico van falen van het keermiddel van betekenis?	ja/nvt	0
Aandrijving	l	is dit tweede afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	nee/nvt	0
Sluiting tweede keermiddel	m	Keermiddel 2 faalt (tussenscore)	min(b3+k, b3+l)	0
	E4	Kunstwerk niet sluiten door technisch falen en falen herstelacties	a1+a2+a3 +j+m	3,5

Faalkans van Limmel met standaard foutenboom en scoretabel= $10^{-3,5} = 3,16 \cdot 10^{-4}$ per sluitvraag

2.4.1

Toelichting bij scores

Voor een toelichting bij de vragen van de scoretabel wordt verwezen naar de volledig beschreven werkwijze in [4].

Vraag a1: is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?

Antwoord: ja.

In [1] staat namelijk dat er een onderhoudsplan is. Deze was echter niet beschikbaar t.b.v. de voorliggende analyse.

Vraag a2: wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?

Antwoord: ja.

Informatie uit [1]:

- Minimaal viermaal per jaar is er een proefsluiting waarbij de kering volledig sluit.
- Minimaal maandelijks is er een testbeweging die boven het profiel van vrije ruimte wordt gedaan.
- Minimaal jaarlijks wordt een sluiting gedaan met de handbediende kraan.

Vraag a3: worden de ervaringen van de controles, tests en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling en bedieningsprotocol of zo nodig aan het sluitmiddel zelf?

Antwoord: ja.

Omdat het ProBo regime zal worden toegepast op Limmel wordt deze vraag met ja beantwoord..

Vraag c: is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?

Antwoord: ja.

Er is een handmatige bedienmogelijk, waarbij de zwaartekracht voor de aandrijving zorgt. Deze combinatie is zeer betrouwbaar, vandaar dat met ja wordt geantwoord.

Vraag b1: is er een tweede aandrijfsysteem?

Antwoord: ja.

In principe is het grootste deel van de aandrijving enkelvoudig, namelijk dezelfde werktuigbouwkundige onderdelen (cilinders enz.) en zwaartekracht. De bediening is wel meervoudig uitgevoerd, waaronder het kritische onderdeel het aansturen van het onderdeel 'ventiel(en)' waarmee de oliedruk wordt opgeheven, waardoor de cilinders leeglopen. Omdat de zwaartekracht niet kan falen en de kans op falen van het handbediende ventiel zo klein is, wordt hier de volledige score toegekend voor een tweede aandrijfsysteem.

Vraag e: Is er een risico van merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?

Antwoord: ja.

In [1] zijn meerdere aanvaarrisico's benoemd welke leiden tot merkbaar falen en die zijn samengevat onder de gate KHW-aanvaren. De kans wordt volledig gedomineerd door een aanvaring van de schuif door een te hoog stuurhuis van een schip. De gebeurtenis 'aanvaring bovenkant drempel door te veel diepgang' in [1] (zie Figuur 4) is eigenlijk niet merkbaar falen, maar is in Figuur 5 (vertaling naar standaard foutenboom) en de scoretabel als merkbaar falen opgenomen. Dat heeft verder geen effect op de analyse omdat in [1] hier een kans = 0 aan is toegekend.

Er zijn geen andere merkbaar falen risico's voor het keermiddel geïdentificeerd in [1].

Vraag f: Is er een risico van niet-merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?
antwoord: nee.

In [1] wordt ook rekening gehouden met vallende en krabbende ankers bij de niet beschikbaarheid voor niet sluiten, waarbij gebruik wordt gemaakt van de risicoanalyse van keersluis Heumen [3] (bijlage 8E.1 en 8E.2). Hieruit valt op te maken (zie ook Figuur 4) dat het schade betreft ten gevolge van vallende en krabbende ankers. Deze gebeurtenis zal alleen niet merkbaar falen veroorzaken wanneer de drempelconstructie dusdanig beschadigd raakt dat een hoogwater niet meer kan worden tegen gehouden. Bij een keersluis zal dat niet het geval zijn, er zal hooguit meer lekwater optreden. De faalkans van ankers wordt dus hier niet meegenomen.

Vraag g: Is er een risico van betekenis op belemmering waardoor de sluiting faalt?

Antwoord: nee.

Uit [4] volgt dat hiermee belemmeringen worden bedoeld die niet tijdig verwijderd kunnen worden. In [1] wordt rekening gehouden een gezonken schip ter plaatse van de keersluis, wat onder deze definitie valt. De achterliggende analyse wordt in twijfel getrokken, de kans dat een invarend schip zinkt precies op de drempel is naar de mening van de auteurs verwaarloosbaar klein.

Vraag b3: is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?

Antwoord: n.v.t.

Vraag b3: is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerste keermiddel niet gesloten kon worden?

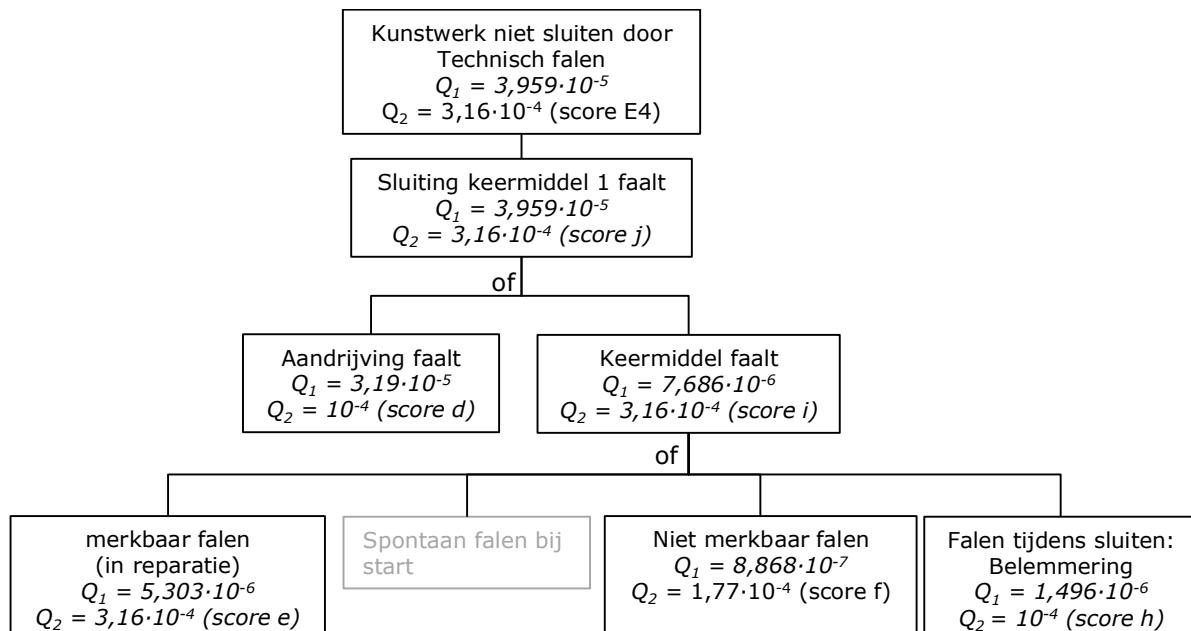
Antwoord: nee.

Vragen k en l zijn niet van toepassing, omdat Limmel slechts één keermiddel heeft.

2.5

Verschillenanalyse en conclusie

De vergelijking wordt gemaakt voor de gebeurtenissen *Aandrijving faalt* en *Keermiddel faalt*, waarbij voor *Keermiddel faalt* nog onderscheid gemaakt wordt in *Merkbaar falen door aanvaring/aanrijding vooraf, niet merkbaar falen door aanvaring/aanrijding* en *falen tijdens sluiten door belemmering*.



Legenda:

Q_1 = faalkans uit gestandaardiseerde boom keersluis Limmel [-]
 Q_2 = faalkans uit scoretabel [-]

Aan de hand van het gestelde doel van het voorliggende rapport in H1.1, worden hier de conclusies m.b.t. keersluis Limmel besproken.

Doelstelling uit H1.1:

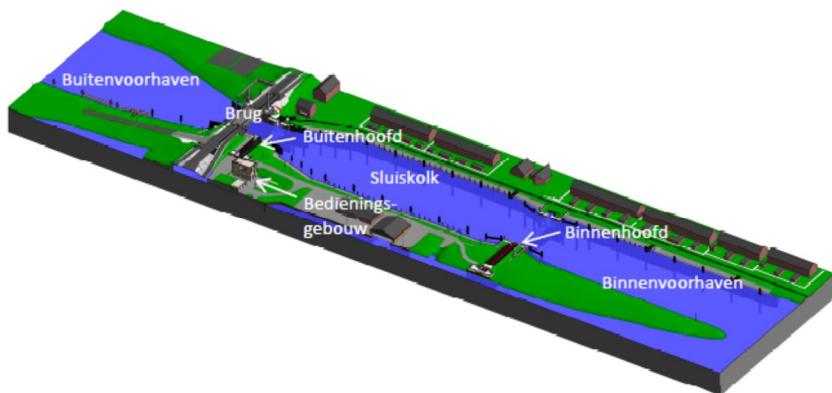
Het hoofddoel van deze studie is te bepalen in hoeverre de modellering en de faalkansbepaling van niet sluiten volgens de verbeterde gedetailleerde methode in [4,11] overeenkomt met de modellering en bepaalde faalkansen van een aantal geavanceerde risicoanalyses, gemaakt voor RWS aanlegprojecten. Voor Limmel is dit enkel gedaan voor Technisch falen, aangezien daar een geavanceerde analyse voor beschikbaar is.

- in hoeverre is de verbeterde standaard foutenboom voor technisch falen vergelijkbaar met de geavanceerde foutenbomen voor technisch falen van Limmel en Meppelerdiep?
 - *conclusie: de geavanceerde foutenboom voor Limmel [1] is ingericht naar de drie verschillende typen sluitingen; geautomatiseerd en twee typen herstelsluitingen. Dit terwijl de standaard foutenboom voor technisch falen [4] het technische ontwerp als leidraad heeft. De opbouw van de foutenbomen komen dus niet overeen, waardoor het lastig is beide bomen te vergelijken.*
- in hoeverre kunnen de geavanceerde foutenbomen worden gestandaardiseerd of omgeschreven naar de opbouw van de standaardfoutenboom?
 - *conclusie: gezien de vorige constatering, diende op een dieper niveau de faalgebeurtenissen van de geavanceerde boom te worden hingericht om in de structuur van de standaardboom te passen.*
- In het geval dat dit kan; in hoeverre komt de kwantificering van de standaard foutenboom overeen met die van de geavanceerde foutenbomen?
 - *conclusie: de scoretabel blijkt op alle onderdelen conservatiever dan de geavanceerde foutenboom, hetgeen ook wenselijk is gezien het een generieke methode betreft.*
- in hoeverre is de verbeterde standaardfoutenboom + scoretabel voor technische falen [4] bruikbaar voor deze 'grottere' constructies?
 - *conclusie: Deze vraag wordt beantwoord voor gezamenlijk keersluis Limmel en Meppelerdiepsluis in H5*

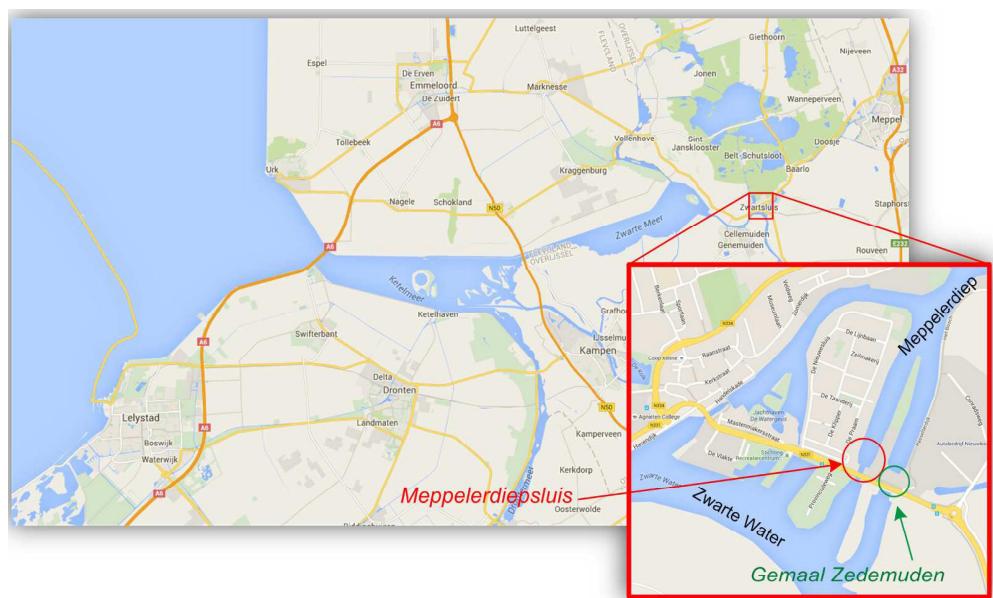
3 Technisch falen Meppelerdiepsluis

3.1 Inleiding en beschrijving van de constructie

Bij de kruising tussen het Meppelerdiep en het Zwarte Water, nabij de gemeente Zwartsluis, wordt in 2015-2017 de bestaande Meppelerdiepkeersluis vervangen door een keerschutsluis welke de functie heeft: het keren van te hoge of te lage waterstanden op het Meppelerdiep of het Zwarte Water. Hiervoor is gekozen om de beschikbaarheid van het Meppelerdiep voor de scheepvaart te vergroten. Het betreft een D&C contract.



Figuur 5.2: Impressie van sluiscomplex Meppelerdiep, met aanduiding belangrijke elementen



De sluis maakt onderdeel uit van de primaire waterkering, wat betekent dat de kering slechts 1/12.500 jaar (0,1xnormfrequentie) mag falen voor niet sluiten (standaard faalkansbegroting uit [6]). Om aan deze eis te kunnen voldoen is het buitenhoofd in staat om waterstanden vanuit het Zwarte Water tot +3,00 m t.o.v. NAP te keren. Omdat de keermiddelen enkel dienen om hoge waterstanden te keren, zal de sluis normaliter vrij doorvaarbaar zijn. Het schutbedrijf zal slechts (gemiddeld) 12 dagen per jaar worden uitgevoerd.

Middels een geavanceerde betrouwbaarheidsanalyse dient de aannemerscombinatie o.a. het behalen van de faalkanseis voor niet sluiten te verifiëren. In de voorliggende analyse is gebruik gemaakt van een definitieve versie van de betrouwbaarheidsanalyse [2].

3.2 Faalkanseis in het aanlegcontract

De faalkanseis voor niet sluiten is in het aanlegcontract per jaar uitgevraagd en niet, zoals gebruikelijk, per vraag. De kanseis luidt:

Eistekst:	Het systeem SCM dient tussen het Meppelerdiep en het Zwarte Water aan de volgende eisen te voldoen: $0,1 * P\{\text{Buitenkoofd sluit niet}\} + 60 * P\{\text{Buitenkoofd sluit niet}\} * P\{\text{Binnenkoofd sluit niet}\} < 0,00008 / \text{jaar} (= 8 \cdot 10^{-5})$. Waarbij $P\{\text{Buitenkoofd sluit niet}\}$ en $P\{\text{Binnenkoofd sluit niet}\}$ kansen per sluitvraag betreffen.
Toelichting:	Dit betreft de kans op het niet sluiten van het binnen- en buitenhoofd. Deze eis komt voort uit de eisen voor een primaire waterkering.

Ofwel in formuleform:

$$0,1Q_{bth} + 60Q_{bth}Q_{bnh} \leq 8 \cdot 10^{-5} / \text{jaar}$$

Hierbij geldt:

- Q_{bth} = faalkans per vraag buitenhoofd
- Q_{bnh} = faalkans per vraag binnenhoofd

Op basis van studie is in [2] aangenomen dat bij het bereiken van een binnenwaterstand gelijk aan dijkniveau achter de sluis = NAP+0,70m een overstroming optreedt. De sluis dient tijdig te sluiten om dat te voorkomen, daartoe zal bij een buitenwaterstand van NAP+0,50m de sluis sluiten. Gezien de korte sluittijd wordt het sluitpeil als het Openkeerpeil (OKP) beschouwd.

De kanseis bestaat uit een deel voor het geval dat zowel het buitenhoofd als het binnenhoofd water kan keren (waterstanden tussen het OKP = NAP+0,50m en NAP+1,30m, frequentie = 12 keer per jaar) en een deel voor het geval dat alleen het buitenhoofd water kan keren (waterstanden tussen NAP+1,30m en NAP+3,0m, overschrijdingsfrequentie = 0,1 per jaar). In de eis is een aanname voor common cause falen (CCF) gedaan van een factor 5, wat samen met de overschrijdingsfrequentie van 12x per jaar de factor 60 oplevert.

Om de aannemer ontwerp vrijheid te geven betreffende de betrouwbaarheidsverdeling tussen het binnen- en buitenhoofd en omdat de geavanceerde betrouwbaarheidsanalyse de CCF factor werkelijk berekent, is de kanseis per jaar gesteld.

De faalkanseis per jaar wordt in [2] door de opdrachtnemer geverifieerd volgens het RWS VBB kader (verificatievoorschrift) onderdeel van [7]. Zie H1.2 voor uitleg over kans op niet-beschikbaarheid en kans per vraag.

3.3 Korte technische beschrijving

Voor een volledige beschrijving zie [2].

Fysieke kenmerken:

- Sluis 185 meter lang
- 2 x roldeuren

Gebruik van de sluis

Het schutbedrijf komt vrijwel altijd in de periode september-maart voor. Dit leidt er dan vervolgens ook toe dat het gebruik van de sluis zeer onregelmatig is. Om de kans op niet-merkbaar falen dan ook zo beperkt mogelijk te houden, dienen de keermiddelen regelmatig te worden getest.

- Vrij doorvaren: waterstanden op het Zwarte Water van NAP-0,50m tot NAP+0,50m.
- Schutten: waterstanden op het Zwarte Water van NAP-0,50m tot NAP-0,95m en van NAP+0,50m tot NAP+0,95m.
- Gesloten: bij waterstanden vanaf NAP+0,95m of lager dan NAP-0,95m zal de kering geheel gesloten zijn.
- Uit deze eis volgt dan ook dat de hoogwaterkering dient te worden gerealiseerd wanneer een peil van +0,50 m NAP is bereikt.
- Binnenhoofd kan keren t/m NAP+1,30m
- Buitenhoofd kan keren t/m NAP+3,00m

Aandrijving

De aandrijving van de roldeuren is redundant uitgevoerd. Dit betekent dat elke deur door twee motoren (inclusief eigen aandrijflijn) kan worden bewogen. Bij uitval van één van de aandrijflijnen, kan de deur nog steeds tot sluiting worden gebracht. De aandrijflijnen zijn elk in een eigen machinekamer gehuisvest, welke zich aan weerszijden van de deur bevinden.

Voeding

Voor voeding wordt gebruik gemaakt van het centrale stroomnet. In geval van stroomuitval, kan gebruik worden gemaakt van het noodstroomaggregaat ondergebracht in het naastgelegen Gemaal Zedemuden, waarmee het keermiddel tot sluiting kan worden gebracht. In geval deze faalt door brand o.i.d. is voorzien in een decentrale noodstroomaansluiting op de schakelkasten in de machinekamers, waar direct een (mobiel) noodstroomaggregaat op kan worden aangesloten.

Bediening

De sluisdeuren zijn op meervoudige wijze te bedienen en te besturen

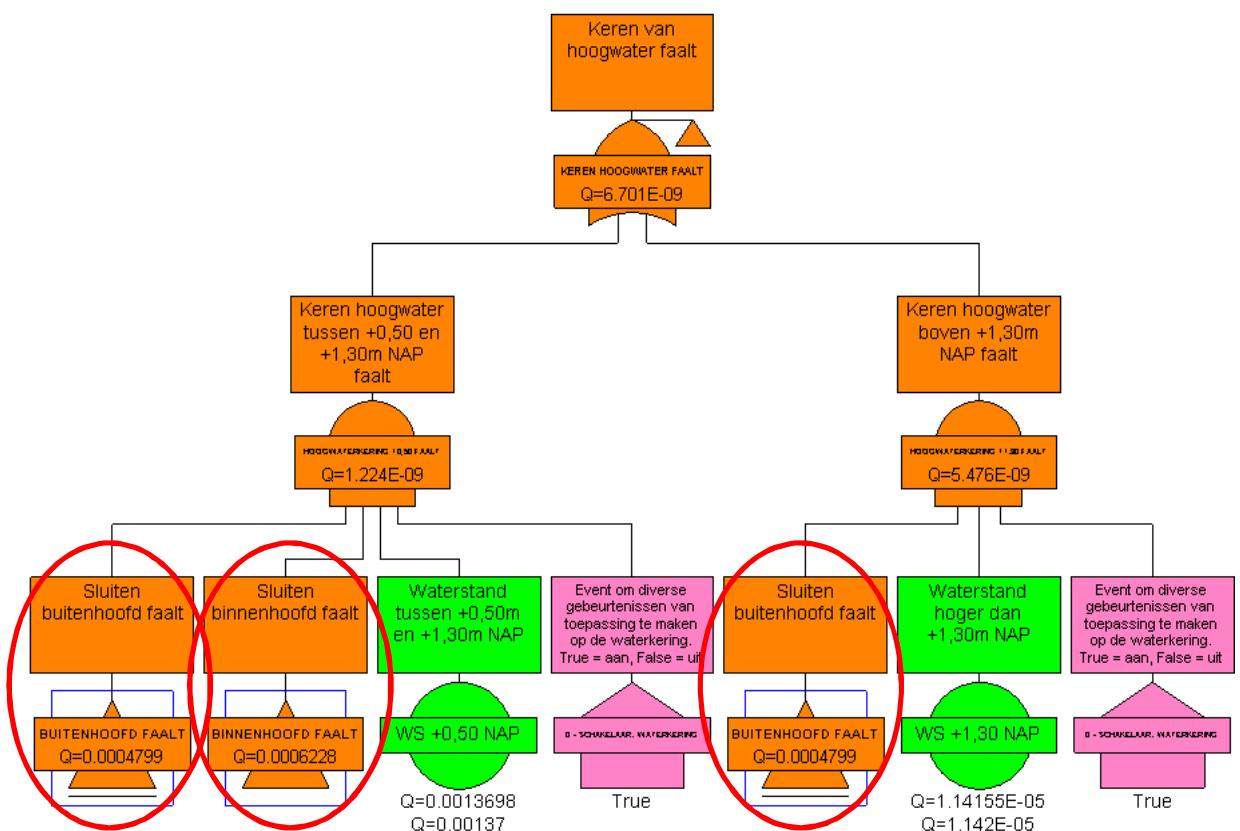
- Primair bediening vanuit het bedieningsgebouw aan de oostzijde van het complex.
- Secundaire bediening: de deuren lokaal te sluiten met behulp van een onderhoudsbediening, uitgevoerd als hangdrukknopkast. Door het omzetten van een sleutelschakelaar in de primaire machinekamer kan worden geschakeld naar de onderhoudsbediening. In deze modus worden de commando's nog wel steeds verwerkt via de PLC en remote I/O.
- Tertiair: Indien één van deze componenten is gefaald, kan de onderhoudsbediening, door het nogmaals draaien van de sleutelschakelaar ook nog worden omgeschakeld naar noodbediening. Hierbij worden de relais direct vanuit de hangdrukknopkast geactiveerd.
- Er is ook een mogelijkheid tot sluiting met behulp van een lierwagen (noodsluitvoorziening), maar dit is geen onderdeel van de hoogwatersluiting.

3.4

Geavanceerde betrouwbaarheidsanalyse keerschutsluis Meppelerdiep

De risicoanalyse in [2] omvat het gehele systeem en de eventuele herstelhandelingen om tot sluiten te komen, vanaf het moment dat de kering de opdracht heeft gekregen om automatisch te sluiten. De risicoanalyse heeft dus als scope het deelaspect technisch falen. Menselijke fouten bij herstelacties voortkomend uit het foutief omschakelen naar een andere bedieningswijze (bijv. handmatig vanuit de machinekamer) en de daartoe benodigde tijd zijn daarbij in beschouwing genomen. Hiermee is de kans op technisch falen incl. falen van herstelacties wat leidt tot niet sluiten van de keersluis bepaald. Dit is ook precies de scope van de standaardfoutenboom technisch falen + Scoretabel.

De foutenboom in [2] heeft, in tegenstelling tot Limmel, als leidraad de technische inrichting van het systeem, zoals ook de standaard foutenboom + scoretabel in [4] is ingestoken. Dat maakt de vergelijking straks in H3.7 makkelijker. De foutenboom in [2] werkt dus de faalkans voor niet sluiten per jaar uit, conform de kanseis in H3.2., dus inclusief de betreffende overschrijdingsfrequentie van te keren waterstanden.



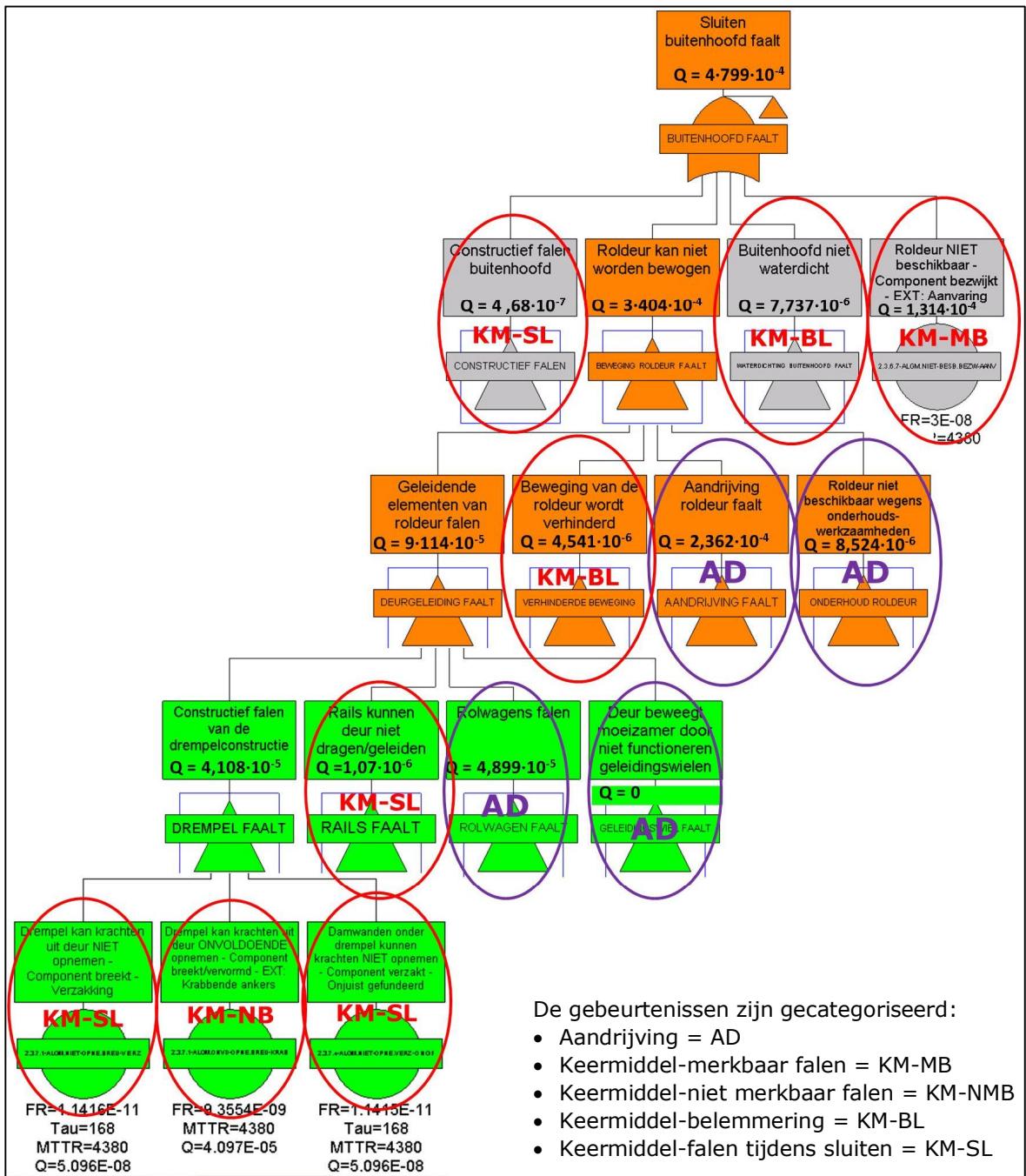
Figuur 7: Foutenboom hoogste niveau

Feitelijk is voor het doel van deze studie; de vergelijking met de standaard foutenboom + scoretabel voor technisch falen, enkel de gebeurtenissen *Sluiten buitenhoofd faalt* en *Sluiten binnenhoofd faalt* met een faalkans per vraag uit de bovenstaande boom interessant, met:

- $Q_{\text{sluiten buitenhoofd faalt}} = 4,799 \cdot 10^{-4}$ per vraag
- $Q_{\text{sluiten binnenhoofd faalt}} = 6,228 \cdot 10^{-4}$ per vraag

Common cause falen van het buiten- en binnenhoofd, ofwel de mate van correlatie van faalgebeurtenissen welke leiden tot falen van zowel het binnen- en buitenhoofd zijn per faalgebeurtenis gemodelleerd in de geavanceerde boom. Ofwel de onderlinge correlatie hoeft niet handmatig te worden aangebracht en is al verwerkt bij het opstellen van de boom.

Aangezien *Sluiten buitenhoofd faalt* en *Sluiten binnenhoofd faalt* nagenoeg dezelfde componenten hebben en slechts getalsmatige enigszins verschillen, wordt enkel op de gebeurtenis *Sluiten buitenhoofd faalt* ingezoomd. Hieronder (Figuur 8) is van *Sluiten buitenhoofd faalt* een decompositie opgenomen, die zo is ingestoken dat de verkregen foutenboom goed vergeleken kan worden met de standaard foutenboom + scoretabel voor technisch falen.



Figuur 8: foutenboom van faalgebeurtenis *Sluiten buitenhoofd faalt*

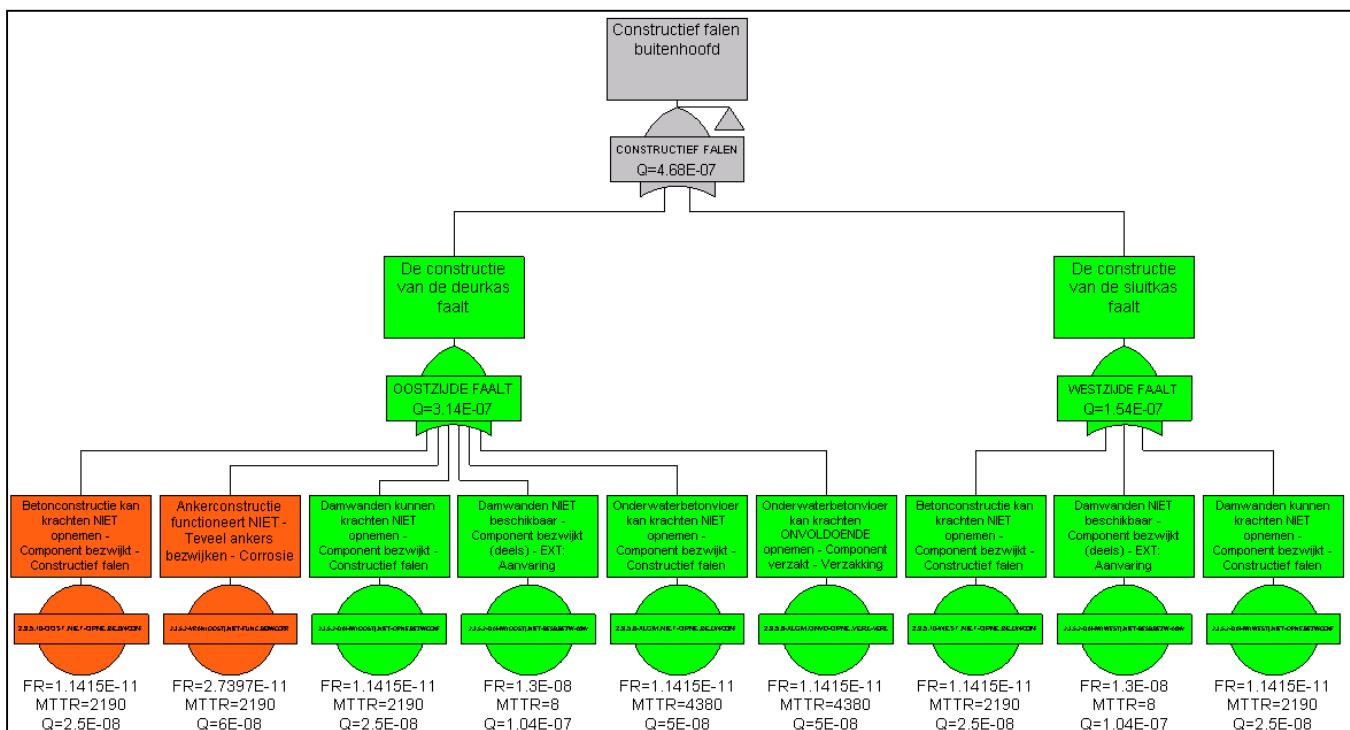
Opmerkingen bij gebeurtenis *Sluiten buitenhoofd faalt* (Figuur 8):

- Maatgevend voor de faalkans is de aandrijving van de roldeur (49%) en een aanvaring van de roldeur (27%).
- Onder gebeurtenis *Beweging roldeur wordt verhinderd* vallen de volgende gebeurtenissen:
 - de roldeur is vastgevroren en de ijsbestrijding is gefaald
 - de gehele watergang is bevroren.

De gebeurtenissen zijn gecategoriseerd:

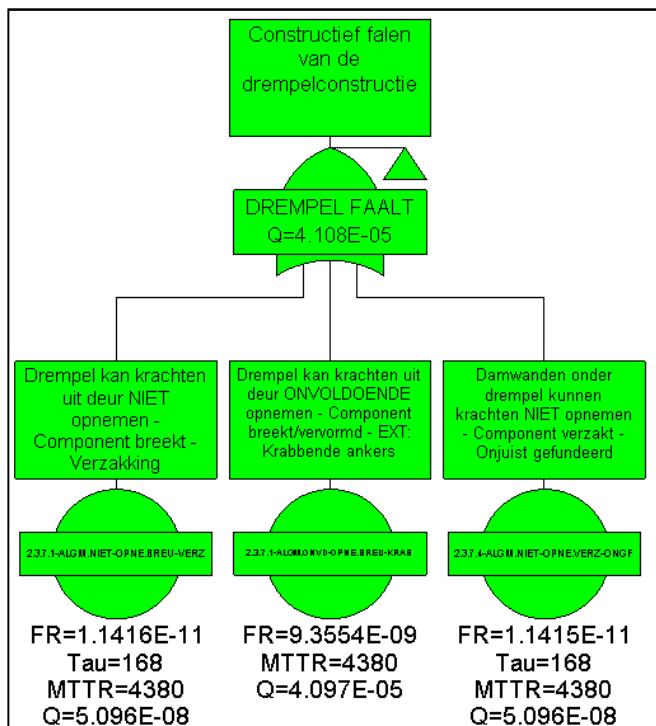
- Aandrijving = AD
- Keermiddel-merkbaar falen = KM-MB
- Keermiddel-niet merkbaar falen = KM-NMB
- Keermiddel-belemmering = KM-BL
- Keermiddel-falen tijdens sluiten = KM-SL

- In de foutenboom is de gebeurtenis *Constructief falen buitenhoofd* ($Q=4,86 \cdot 10^{-7}$) opgenomen, waarvan de faalkans wordt gedomineerd door aanvaren van de deurkas en sluitkas (beide $Q=1,04 \cdot 10^{-7}$) (decompositie zie Figuur 9). De overige oorzaken van *Constructief falen buitenhoofd* zijn constructief bezwijken van de betonconstructie, damwanden en ankerconstructies. Op aanvaring van de kassen na, zijn de belastingen voor of tijdens sluiten kleiner dan in de hoogwater situatie. De vraag is of deze faalgebeurtenissen hier thuis horen. Enkel corrosie zou invloed kunnen hebben, maar daar wordt in het ontwerp al rekening mee gehouden en zal dus niets afdoen aan het maatgevend zijn van de hoogwaterbelastingsituatie. Gezien de beperkte bijdrage aan de faalkans (orde 10^{-7}) is dit verwaarloosd.
 - NB: er is correct uitgegaan van een seriesysteem bij constructief falen, er is bij waterbouwkundige kunstwerken namelijk nauwelijks sprake van parallel werking.



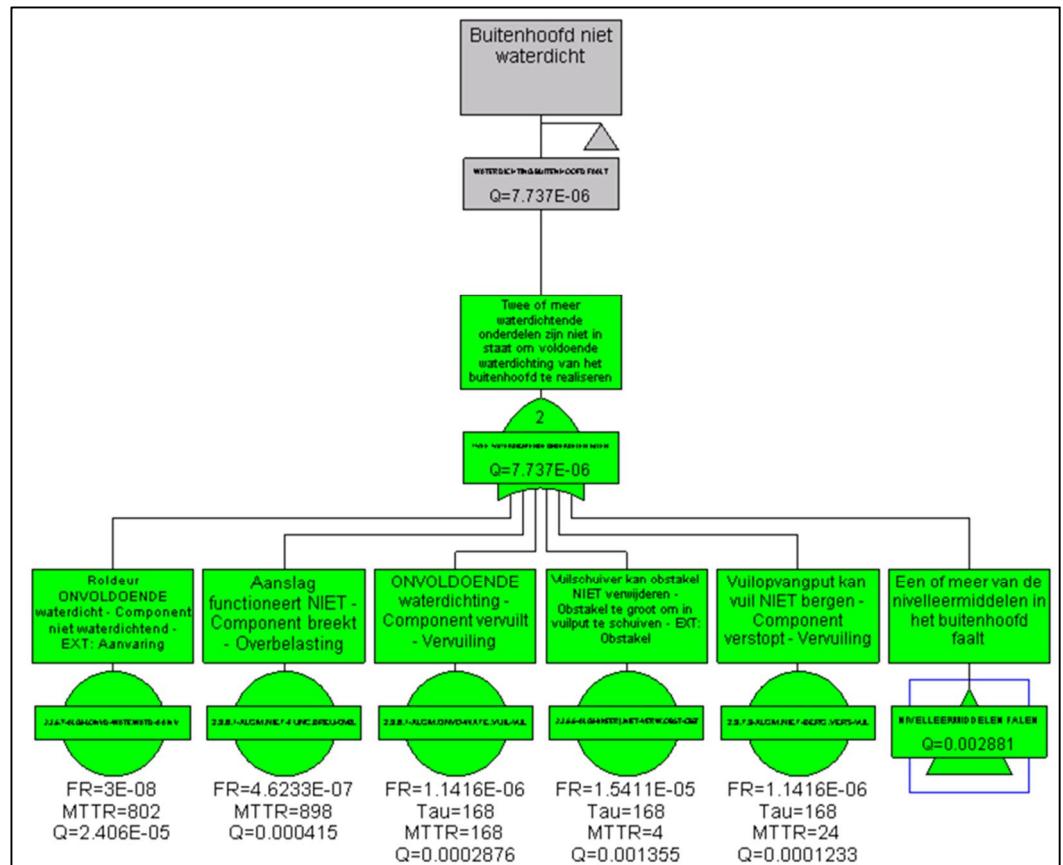
Figuur 9: subfaalgebeurtenis *Constructief falen buitenhoofd*

- *Constructief falen drempelconstructie* ($Q=4,108 \cdot 10^{-5}$) kan worden veroorzaakt door krabbende ankers en overig constructief falen (Figuur 10). Krabbende ankers zijn maatgevend en overig constructief falen heeft nauwelijks bijdrage aan de totale faalkans.
- NB: onder overig constructief falen valt het niet kunnen dragen van de roldeur. Na een aantal sluitingen zal wel duidelijk zijn dat de drempelconstructie het gewicht van de deur kan weerstaan of niet, de faalkanseis opgenomen in [2] is dan zeer conservatief, want na de eerste sluitingen en het feit dat deze niet faalt volgt $Q = 0$ (veroudering van de drempelconstructie speelt geen rol).



Figuur 10: subfaalgebeurtenis *Constructief falen drempelconstructie*

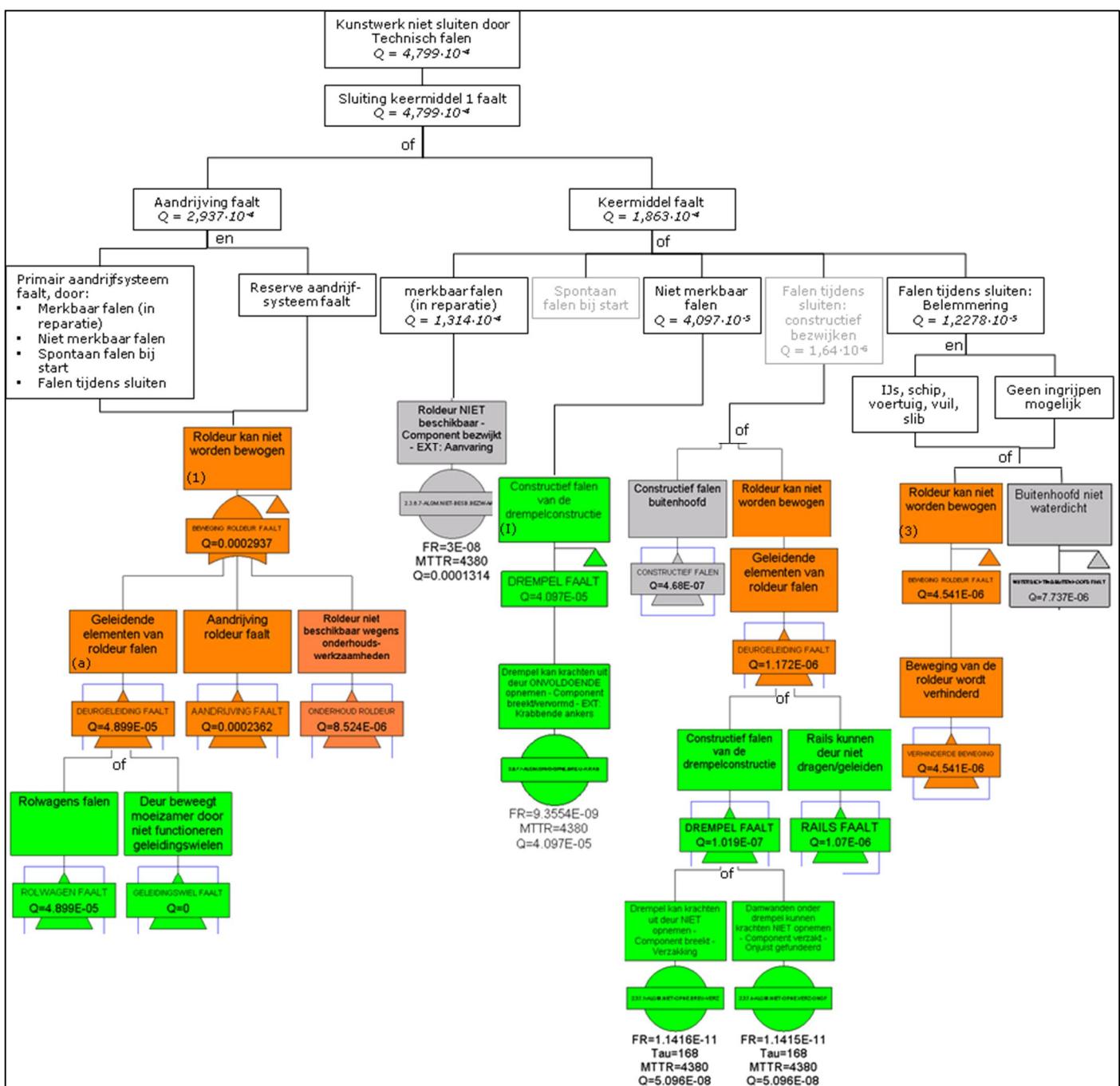
- Slib, vuil en obstakels vallen niet, zoals wellicht verwacht, onder *Beweging roldeur wordt verhinderd*, maar onder *Buitendoorfaalkans niet waterdicht*. Zoals in Figuur 11 te zien, zijn gebeurtenissen welke een belemmering vormen voor sluiten dominant voor de faalkans van *Buitendoorfaalkans niet waterdicht*.



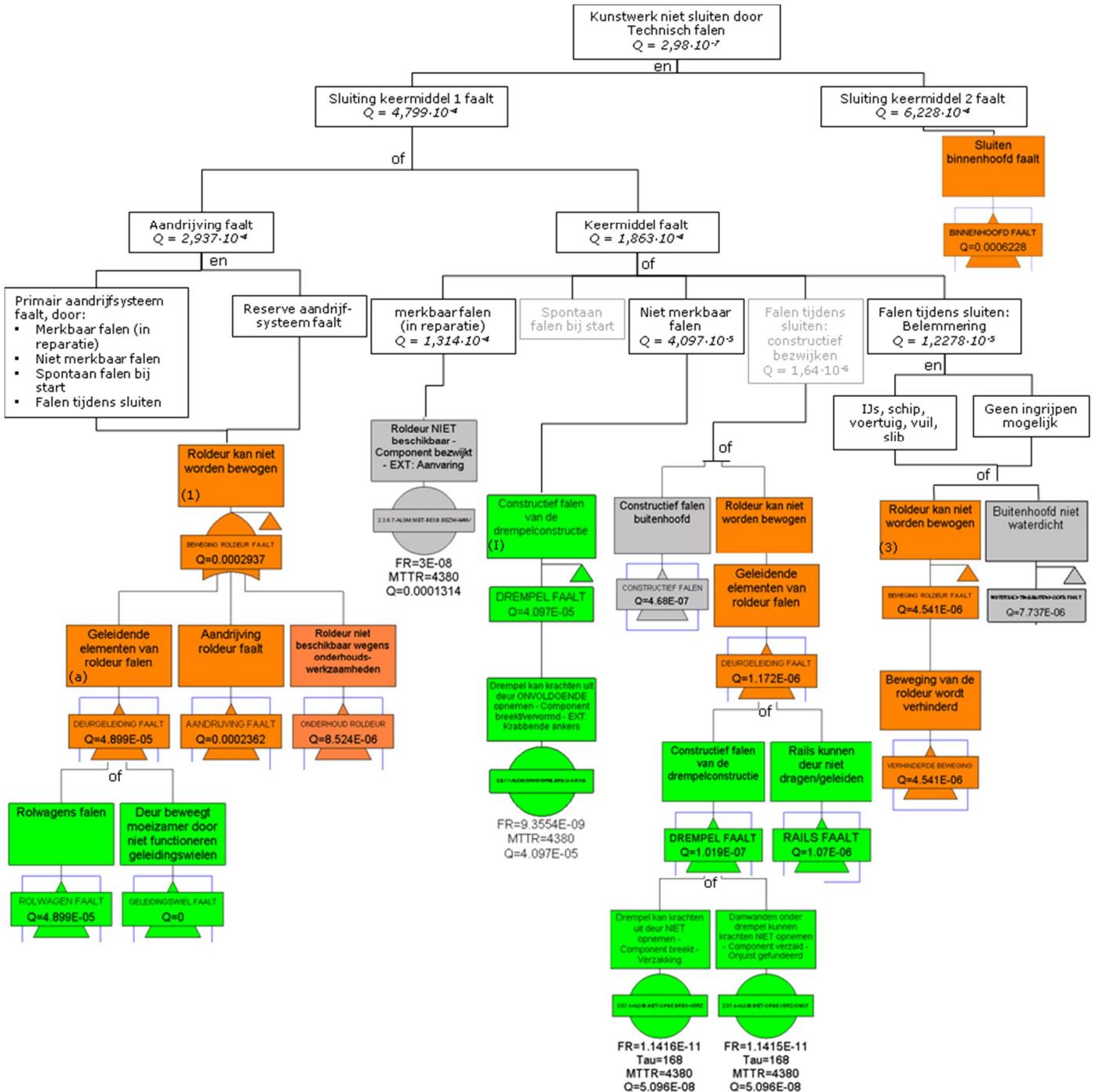
Figuur 11: subfaalgebeurtenis *Buitendoorfaalkans niet waterdicht*

3.5 Geavanceerde foutenboom Meppelerdiep vertaald naar de standaard foutenboom

Voor de waterstandsrange van NAP+0,50m - NAP+1,30m betreft Meppelerdiep een dubbel kerende constructie en voor de range van NAP+1,30m - NAP+3,00m een enkel kerende constructie. Voor beide situaties wordt de geavanceerde foutenboom omgewerkt naar de standaard foutenboom uit [4], zodat faalkansen op verschillende niveaus kunnen worden vergeleken.



Figuur 12: Geavanceerde foutenboom enkel kerend omgewerkt in standaard foutenboom



Figuur 13: Geavanceerde foutenboom dubbel kerend omgewerkt in standaard foutenboom

Gezien de overeenkomstige structuur van de geavanceerde en de standaardfoutenboom zijn aanwezige correlaties tussen faalgebeurtenissen van het binnen- en buitenhoofd in de geavanceerde boom gehandhaafd bij het omwerken tot Figuur 13.

Toelichting

- T.b.v. de analyse worden de faalgebeurtenissen in de geavanceerde foutenboom onderverdeelt in gebeurtenissen die de aandrijving doen falen en die het keermiddel doen falen, ofwel de hoofdgebeurtenissen in de standaardfoutenboom. Zoals in [4] gedefinieerd zijn de rolwagens onder de aandrijving geschaard.
- In Figuur 13 is een extra grijs gearceerde faalgebeurtenis opgenomen namelijk 'Falen tijdens sluiten: constructief bezwijken' van het keermiddel. Deze heeft, evenals 'Spontaan falen' geen vragen in de scoretabel en wordt dus niet gekwantificeerd in de standaard foutenboom. Aangezien in [2] wel kans op niet sluiten t.g.v. constructief bezwijken tijdens sluiten wordt ingeschatt, zijn deze gebeurtenissen voor de volledigheid wel opgenomen in Figuur 13 en in de berekening van de kans op technisch falen kunstwerk.
 - De faalkansen kunnen echter dus niet vergeleken worden met de uitkomst van de standaardfoutenboom + scoretabel in H3.6
 - De kans op constructief falen bij sluiten is beperkt, nl. orde 10^{-6} .
- Zoals in Figuur 11 te zien is, zijn gebeurtenissen welke een belemmering vormen voor sluiten dominant voor de faalkans van *Buitenkoofd niet waterdicht*. Vandaar dat *Buitenkoofd niet waterdicht* in Figuur 13 onder 'Falen tijdens sluiten: belemmering' zijn opgenomen.

3.6

Faalkans schatten met standaard foutenboom en scoretabel

Nu wordt de faalkans voor technisch falen incl. herstelacties voor keerschutsluis Meppelerdiep geschat met de scoretabellen uit [4].

NB: net zoals voor keersluis Limmel wordt in deze analyse een aangepaste scoretabel gebruikt om de procesvragen a1, a2 en a3 onder te brengen in de standaard foutenboom, i.p.v. als generieke vragen op kunstwerk niveau. Voor een toelichting hierop zie H2.4.

In bijlage B is ingevulde originele scoretabel cf. [4] opgenomen voor enkel en dubbel kerend.

3.6.1

Enkel kerende sluis

Hieronder is de aangepaste scoretabel voor enkel kerend weergegeven. De gemaakte keuzen zijn geel gemaakt en onder de tabel toegelicht.

Onderdeel	Vraag		Antwoord	Score
A	a1	is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?	ja	score opgenomen in: c, e, f, g
A	a2	wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?	ja	score opgenomen in: c, e, f, g
A	a3	worden de ervaringen van de controles, tests en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling en bedieningsprotocol of zonodig aan het sluitmiddel zelf?	ja	score opgenomen in: c, e, f, g
Aandrijving	c	is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	nee	2,5
Aandrijving	b1	is er een tweede aandrijfsysteem?	ja	1
Aandrijving	d	Aandrijving faalt (tussen score)	c+b1	3,5
Keermiddel	e	Is er een risico van merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	ja	3,5
Keermiddel	f	Is er een risico van niet-merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	ja	3,75
Keermiddel	g	Is er een risico op belemmering waardoor de sluiting faalt van betekenis?	nee	3,5
Keermiddel	b2	is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?	nee	0
Keermiddel	h	Falen tijdens sluiten: belemmering (tussenscore)	g+b2	3,5
Keermiddel	i	Keermiddel 1 faalt (tussenscore)	min(e,f,h)	3,5
Sluiting eerste keermiddel	j	Sluiting keermiddel 1 faalt (tussenscore)	Min(d,j)	3,5
2de keermiddel	b3	is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerste keermiddel niet gesloten kan worden? Indien ja: beantwoord de vragen k en l voor het tweede keermiddel	nee	0
Keermiddel	k	Is er een risico van falen van het keermiddel van betekenis?	ja/nvt	0
Aandrijving	l	is dit tweede afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	nee/nvt	0
Sluiting tweede keermiddel	m	Keermiddel 2 faalt (tussenscore)	min(b3+k, b3+l)	0
	E4	Kunstwerk niet sluiten door technisch falen en falen herstelacties	a1+a2+a3 +j+m	3,5

Faalkans van een enkel kerende Meppelerdiepsluis met standaard foutenboom en scoretabel = $10^{-3,5} = 3,16 \cdot 10^{-4}$ per sluitvraag.

Toelichting

Voor een toelichting bij de vragen van de scoretabel wordt verwezen naar de volledig beschreven werkwijze in [4].

Vraag a1: is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?
Antwoord: ja.

Zie tekst uit [2]: 'De onderhoudbaarheid van het sluiscomplex en de daaraan gekoppelde instandhoudingseisen zullen in het onderhoudsplan worden behandeld.'

Vraag a2: wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?

Antwoord: ja, zie blz. 133 uit [2]:

- Wekelijkse test: Alle onderdelen die deel uitmaken van de aandrijving van de sluisdeuren en de rinketschuiven, worden wekelijks getest, teneinde het niet-merkbaar falen te reduceren en de drempel vrij van vervuiling te houden. Daarnaast dient ook wekelijks een 'ijking' van de meteo-installatie te worden uitgevoerd.
- Maandelijkse controle machinekamers: De machinekamers van de brug en sluishaofden dienen maandelijks kort te worden geïnspecteerd, teneinde vast te stellen of hier zich geen bijzondere situaties voordoen. Geadviseerd wordt om dit gelijktijdig met het testen van de deur te doen,
- Halfjaarlijks testen: Onderdelen die twee maal per jaar worden getest betreffen de noodbesturingen van de sluishaofden en de brug. Hierbij dienen dan ook de noodstroomaansluitingen en de bijbehorende schakelaars te worden gecontroleerd. Daarnaast dient hierbij ook te worden getest of het noodstroom-aggregaat nog correct functioneert en dient voor de verschillende bedienvormen te worden getest of deze goed functioneren wanneer zij vanuit de noodstroom worden bediend. Naast het testen van de componenten en de software betreft dit dan ook direct een oefening voor het personeel. Ook dienen de verschillende componenten van de brandmeldinstallatie, de brandbestrijdingsmiddelen en de inbraakdetectie halfjaarlijks te worden geïnspecteerd.
- Jaarlijks testen: Onder de jaarlijkse testen, vallen met name de reguliere elektrotechnische inspecties. Hierbij wordt de laagspanningsinstallatie geïnspecteerd en alle schakelkasten nagelopen. Tevens dienen de verschillende componenten van de aandrijving en de draaipunten jaarlijks te worden nagelopen en te worden gesmeerd. Daarnaast dient ook jaarlijks te worden geoefend op het omschakelen van besturingssystemen en het loskoppelen van verschillende aandrijfdelen.

Vraag a3: worden de ervaringen van de controles, tests en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling en bedieningsprotocol of zo nodig aan het sluitmiddel zelf?

Antwoord: ja.

Het Object zal ProBO beheerd worden.

Vraag c: is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?

Antwoord: nee

Vraag b1: is er een tweede aandrijfsysteem?

Antwoord: ja.

Alle werktuigbouwkundige delen in de machinekamers en de voeding zijn redundant uitgevoerd.

Vraag e: Is er een risico van merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?

Antwoord: ja.

In [2] is met name een groot risico op aanvaring van de sluisdeuren ingeschat. Overige merkbaar faalgebeurtenissen zijn onderliggend aan de gebeurtenissen in Figuur 12 en van kleinere faalkansorde.

Vraag f: Is er een risico van niet-merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?
antwoord: ja.

Er is een relatief groot risico op krabbende ankers ingeschat, wat inderdaad voor roldeuren ernstige gevolgen kan hebben.

Vraag q: Is er een risico van betekenis op belemmering waardoor de sluiting faalt?
Antwoord: nee.

De roldeuren hebben een vuilschuiver en vuilput, deze kunnen beide falen respectievelijk doordat het object te groot is of de put vol zit. In beide gevallen zijn het meer dan normale belemmeringen, echter met een kleine kans van voorkomen volgens de analyse in [2].

b2: Is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?
antwoord: nee
Daar wordt niet over gesproken in [2]

Vraag b3: is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerste keermiddel niet gesloten kon worden?

Antwoord: nee
Het gaat in dit geval over de situatie van waterstanden > NAP+1,30m. In dat geval is het binnenhoofd niet hoog genoeg.

3.6.2

Dubbel kerende sluis

Bij buitenwaterstanden tussen NAP+0,50m en NAP+1,30m is de sluis dubbel kerend. Hieronder is de aangepaste scoretabel hiervoor weergegeven. De gemaakte keuzen zijn geel gemaakt en onder de tabel toegelicht.

Onderdeel	Vraag		Antwoord	Score
A	a1	is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?	ja	score opgenomen in: c, e, f, g
A	a2	wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?	ja	score opgenomen in: c, e, f, g
A	a3	worden de ervaringen van de controles, tests en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling en bedieningsprotocol of zonodig aan het sluitmiddel zelf?	ja	score opgenomen in: c, e, f, g
Aandrijving	c	is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	nee	2,5
Aandrijving	b1	is er een tweede aandrijfsysteem?	ja	1
Aandrijving	d	Aandrijving faalt (tussen score)	c+b1	3,5
Keermiddel	e	Is er een risico van merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	ja	3,5
Keermiddel	f	Is er een risico van niet-merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	ja	3,75
Keermiddel	g	Is er een risico op belemmering waardoor de sluiting faalt van betekenis?	nee	3,5
Keermiddel	b2	is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?	nee	0
Keermiddel	h	Falen tijdens sluiten: belemmering (tussenscore)	g+b2	3,5
Keermiddel	i	Keermiddel 1 faalt (tussenscore)	min(e,f,h)	3,5
Sluiting eerste keermiddel	j	Sluiting keermiddel 1 faalt (tussenscore)	Min(d,j)	3,5
2de keermiddel	b3	is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerste keermiddel niet gesloten kan worden? Indien ja: beantwoord de vragen k en l voor het tweede keermiddel	ja	0,75
Keermiddel	k	Is er een risico van falen van het keermiddel van betekenis?	ja/nvt	0
Aandrijving	l	is dit tweede afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	nee/nvt	0
Sluiting tweede keermiddel	m	Keermiddel 2 faalt (tussenscore)	min(b3+k, b3+l)	0,75
	E4	Kunstwerk niet sluiten door technisch falen en falen herstelacties	a1+a2+a3 +j+m	4,25

Faalkans van een dubbel kerende Meppelerdiepsluis met standaard foutenboom en scoretabel= $10^{-4,25} = 5,62 \cdot 10^{-5}$ per sluitvraag.

Toelichting

De vragen a1 t/m h zijn identiek beantwoord als voor het geval van een enkel kerende constructie.

Vraag b3: is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerste keermiddel niet gesloten kon worden? Indien ja: beantwoord de vragen k en l voor het tweede keermiddel

Antwoord: ja

Vraag k: Is er een risico van falen van het keermiddel van betekenis?

Antwoord: ja

Dezelfde kansen op merkbaar en onmerkbaar falen zijn aanwezig voor het keermiddel in het binnenhoofd als voor het keermiddel in het buitenhoofd.

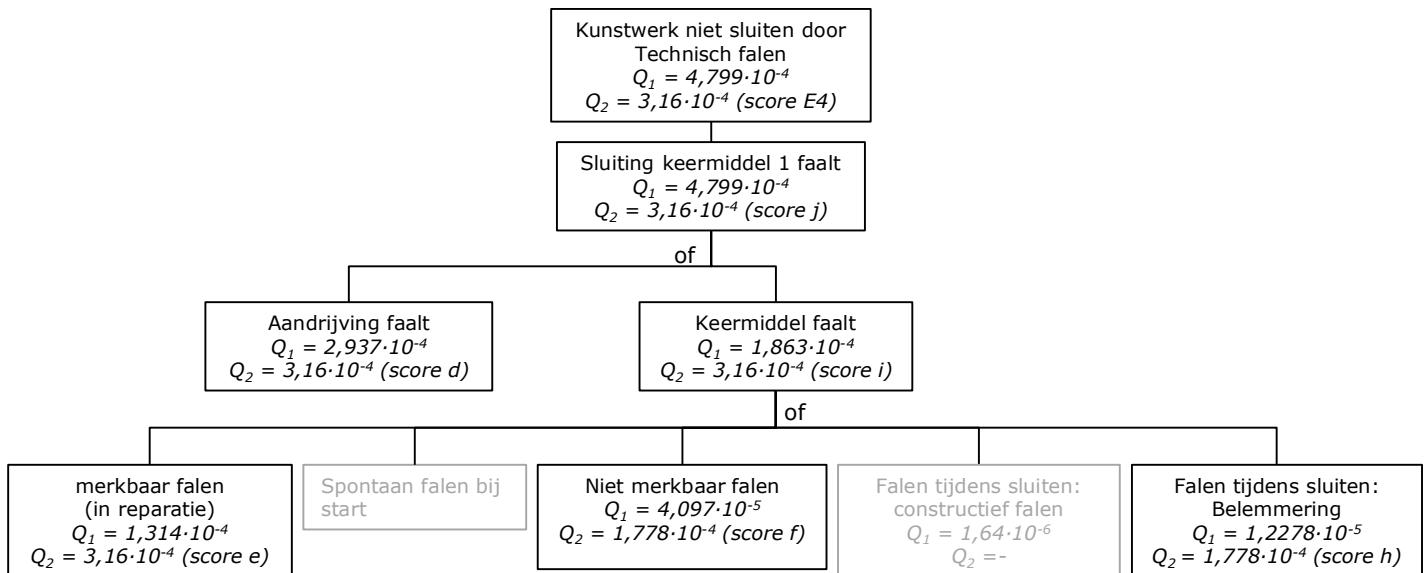
Vraag l: is dit tweede afsluitmiddel op handkracht te sluiten?

Antwoord: nee

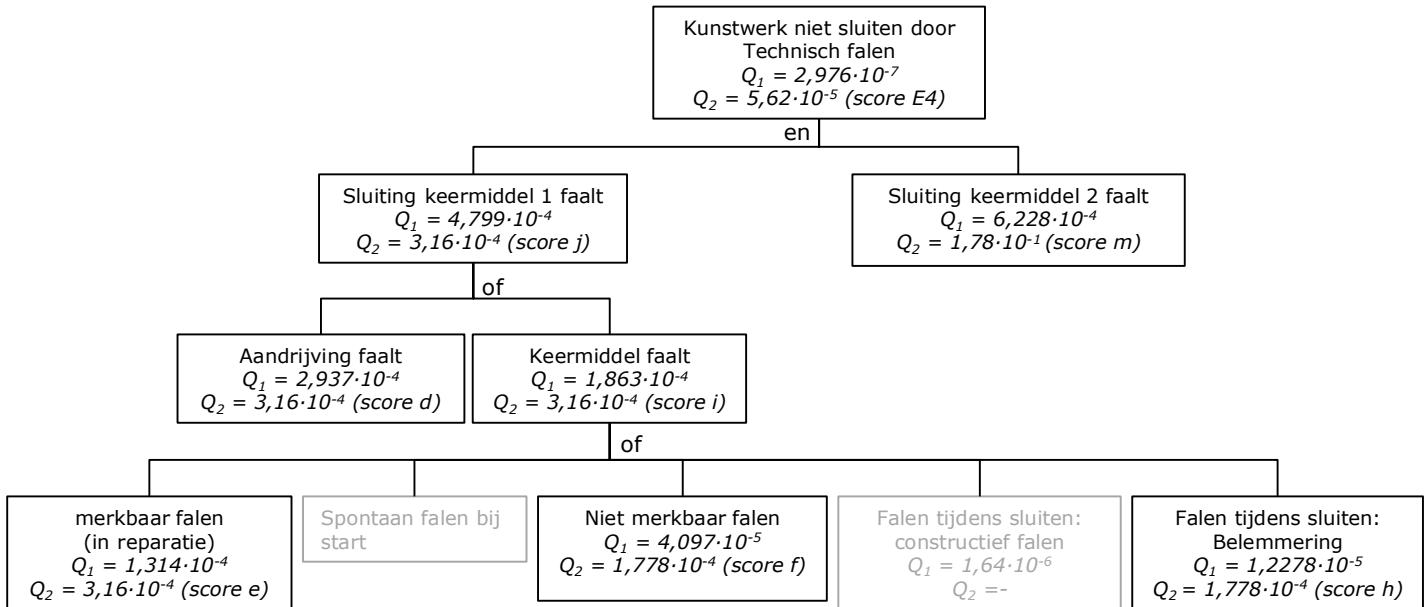
3.7

Verschillenanalyse en conclusie

De vergelijking wordt gemaakt voor de gebeurtenissen *Aandrijving faalt* en *Keermiddel faalt*, waarbij voor *Keermiddel faalt* nog onderscheid gemaakt wordt in *Merkbaar falen door aanvaring/aanrijding vooraf, niet merkbaar falen door aanvaring/aanrijding en falen tijdens sluiten door belemmering*.



Figuur 14: verschillenanalyse enkel kerend



Figuur 15: verschillenanalyse dubbel kerend

Legenda:

Q_1 = faalkans uit gestandaardiseerde boom keersluis Limmel [-]

Q_2 = faalkans uit scoretabel [-]

Aan de hand van het gestelde doel van het voorliggende rapport in H1.1, worden hier de conclusies m.b.t. keersluis Limmel besproken.

Doelstelling uit H1.1:

Het hoofddoel van deze studie is te bepalen in hoeverre de modelering en de faalkansbepaling van niet sluiten volgens de verbeterde gedetailleerde methode in [4,11] overeenkomt met de modellering en bepaalde faalkansen van een aantal geavanceerde risicoanalyses, gemaakt voor RWS aanlegprojecten. In het voorliggende hoofdstuk is dat voor technisch falen incl. falen herstelacties gedaan voor de Meppelerdiepsluis. De andere aspecten (Alarmering ect.) komen in het volgende hoofdstuk aanbod.

- in hoeverre is de standaard foutenboom vergelijkbaar met de geavanceerde foutenbomen uit de risicoanalyses op maat?
 - *conclusie: De geavanceerde foutenboom van Meppelerdiep is goed vergelijkbaar qua opzet met de standaard foutenboom voor Technisch falen. Beide zijn opgesteld met de technische inrichting van het systeem als leidraad.*
- in hoeverre kunnen de geavanceerde foutenbomen worden gestandaardiseerd of omgeschreven naar de opbouw van de standaardfoutenboom?
 - *conclusie: Goed, gezien vorige conclusie.*
- In het geval dat dit kan; in hoeverre komt de kwantificering van de standaard foutenboom overeen met die van de geavanceerde foutenbomen?
 - *conclusie: voor de enkel kerende variant geeft de standaard foutenboom een faalkans met dezelfde orde grote als de geavanceerde foutenboom. Voor de dubbel kerende variant geeft de standaard boom een zeer conservatieve uitkomst.*

In beide gevallen geeft de scoretabel voor de sluiting van 1^{ste} keermiddel en de twee onderliggende faalgebeurtenissen; 'aandrijving faalt' en 'keermiddel

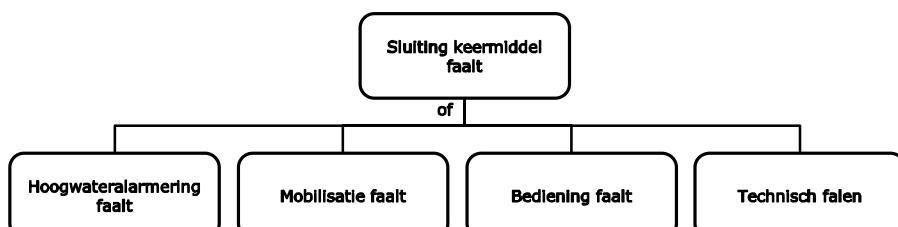
faalt' dezelfde orde kansen als de geavanceerde foutenboomanalyse uit [2]. Echter voor de onderliggende faalgebeurtenissen van keermiddel faalt is de scoretabel een factor 2 tot 10 optimistischer dan de geavanceerde foutenboom.

- *De dubbel kerende variant scoort drie ordes conservatiever met de standaard boom + scoretabel [4], wat volledig komt door de modelering van falen 2^{de} keermiddel in die methode. De achtergrond is dat in die methode het 2de keermiddel als back-up ziet en niet gelijkwaardig aan het eerste keermiddel. Deze insteek geldt voor de Meppeldiepsluis niet, waar in de waterstandrange van NAP+0,50m – NAP+1,30m beide hoofden met ongeveer gelijke betrouwbaarheid moeten functioneren vanwege het schutproces tijdens hoogwater. De standaard foutenboom past dus prima op de geavanceerde boom van de dubbel kerende Meppelerdiepsluis, echter de kwantificering in de scoretabel niet.*
- in hoeverre is de verbeterde standaardfoutenboom + scoretabel voor technische falen bruikbaar voor deze 'grote' constructies?
 - *Deze vraag wordt beantwoord voor alle geanalyseerde constructies in H5*

4 Alarmering, Mobilisatie en Bediening Meppelerdiepsluis

4.1 Inleiding

Naast een faalkansanalyse voor technische falen (zie [2]) is er ook een faalkansanalyse voor de overige faalaspecten; Alarmering, Mobilisatie en Bediening uitgevoerd in opdracht van RWS. De totale faalkans voor alle aspecten tezamen dient kleiner te zijn dan de faalkanseis vanuit de norm. In [8] is door Arcadis en RWS de gezamenlijke faalkans voor Alarmering, Mobilisatie en Bediening bepaald op basis van een nieuw opgesteld sluitprotocol bij hoogwater.



Figuur 16: deelaspecten niet sluiten

Daartoe zijn mogelijke faalgebeurtenissen bepaald en gekwantificeerd, welke in een gebeurtenissenboom op een chronologische wijze zijn gerelateerd, waarmee uiteindelijk een faalkans voor het geheel van Alarmering, Mobilisatie en Bediening is berekend.

Aanpassingen aan originele analyse in [8]

De faalkans voor Alarmering, Mobilisatie en Bediening in [8] bleek te groot om in combinatie met de faalkans voor technisch falen [2] te voldoen aan de faalkanseis vanuit de norm. RWS-GPO heeft vervolgens na oplevering van [8] in het sluitprotocol kleine zaken gewijzigd, waardoor de faalkans significant verkleinde. Daarnaast heeft RWS de (faal)kansen van een aangepast gebeurtenissen aangepast.

- Het door RWS-GPO aangepaste protocol wordt in de voorliggende beschouwing toegepast voor de vergelijking met de scoretabellen voor Alarmering, Mobilisatie en Bediening, waarbij voor onderbouwing van veel zaken wel wordt terug gegrepen op [8].
- Niet alle kwantitatieve wijzigingen zijn overgenomen uit de RWS-GPO aanpassing in de voorliggende analyse omdat in sommige gevallen de onderbouwing miste.

In de voorliggende analyse wordt enkel gekeken naar de onbemande situatie van het sluiscomplex, ofwel buiten de bedientijden dat de ophaalbrug over de sluis bediend wordt, omdat in dat geval gemobiliseerd dient te worden.

Bedientijden Meppelerdiep-brug:

- Maandag t/m vrijdag 06:00 - 21:00 uur
- Zaterdag 06:00 - 14:00 uur en 16:00 - 20:00 uur
- Zondag 10:00 - 18:00 uur

Voor de beschrijving van de constructie zie paragraaf 3.1.

4.2 Samenvatting sluitprotocol: Alarmering, Mobilisatie en Bediening

4.2.1 Hoogwateralarmering

Voor wat betreft de hoogwateralarmering zal het proces onveranderd blijven. Dat wil zeggen dat op basis van meetgegevens afkomstig van het LMW (landelijk Meetnet Water), het modem ter plaatse van de sluis een semafoonbericht verstuur bij het bereiken van één van de alarmpeilen. Het modem zal tevens een semafoonbericht sturen na het bereiken van het sluitpeil. Deze waterstanden zijn vooraf ingesteld binnen de SCADA applicatie, die op de server van het gemaal draait. Deze server is ook in de nieuwe situatie redundant uitgevoerd, waarbij elke server gekoppeld is aan een eigen modem. Afhankelijk van de situatie vindt de eerste alarmering plaats bij peilwaterstand: "Zwartsluis buiten" \geq NAP +35cm, of "Galgenkampsbrug" \geq NAP +45cm. NB: in [8] wordt echter ook nog het meetpunt Meppeldiep km 2,5 genoemd, deze wordt echter niet in het protocol verder meer gebruikt als meetpunt. De tweede alarmering vindt plaats bij het sluitpeil van de Meppelerdiepsluis.

4.2.2 Mobilisatie

Net zoals in de huidige situatie wordt de brug op basis van openingstijden bediend. Het complex is hiermee een deel van de tijd onbemand, waarmee de bijdrage van Mobilisatie tijdens het pompseizoen dan ook pas een rol zal gaan spelen buiten de bedientijden van de brug. Enkel de onbemande situatie wordt in het voorliggende rapport behandeld.

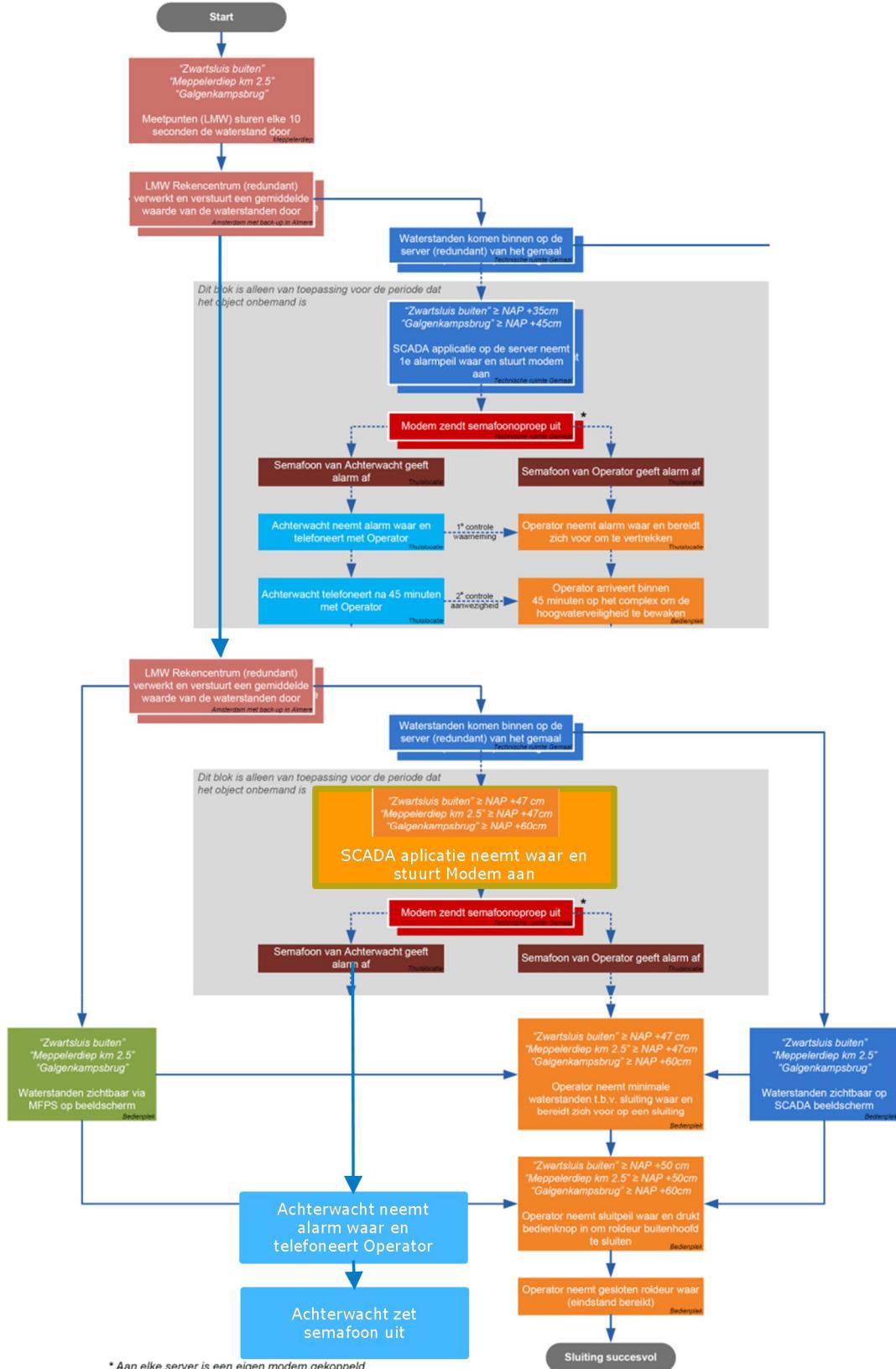
Bij het overschrijden van het 1^{ste} alarmpeil zendt het modem een semafoonbericht uit naar de Operator en zijn Achterwacht. Wanneer de Operator het alarm heeft waargenomen, maakt hij zich klaar voor vertrek om binnen 45 minuten op het complex aanwezig te zijn. De Achterwacht behoudt de controllerende rol en zal bij het afgaan van het alarm direct (telefonisch) controleren of het eerste alarm ook door de Operator is gehoord. Daarna zal hij nadat een uur is verstreken na de eerste controle, controleren of de Operator aanwezig is op de bedienpost. Vervolgens zal de Achterwacht, na het tweede semafoonbericht bij het bereiken van het sluitpeil is verstuurd, controleren of de sluis daadwerkelijk gesloten is door de Operator nogmaals te bellen. Zodra dit het geval is, mag de Achterwacht zijn semafoon uitzetten. In het geval dat de Operator in een van de gevallen niet reageert zal de Achterwacht een vervangende operator mobiliseren.

Net zoals in de huidige situatie dient de Operator het personenalarm te dragen wanneer hij op het complex aanwezig is. Een beveiligingsbeambte zal na melding van het personenalarm binnen een half uur op het complex aanwezig zijn.

4.2.3 Bediening

Op het complex worden de waterstanden actief door de Operator in de gaten gehouden met behulp van de Windowsapplicatie MFPS, die via Kantoor Automatisering beschikbaar wordt gesteld. Ook kan de Operator gebruik maken van de waterstanden die vanaf zijn bedienplek op het SCADA beeldscherm worden getoond. Wanneer het sluitpeil wordt bereikt zal de Operator middels het indrukken van een bedienknop de sluiting in gang zetten.

In onderstaande figuur is het nieuwe sluitprotocol opgenomen.



4.4

Modelering

De faalkansanalyse in [8] is middels een gebeurtenissenboom gemaakt voor de combinatie van de aspecten Alarmering, Mobilisatie en Bediening. Onderliggend aan bepaalde gebeurtenissen ligt een foutenboom, omdat de betreffende gebeurtenis te complex is om met één event te modelleren. In [8] is voornamelijk aandacht besteed aan Alarmering en zijn Mobilisatie en is Bediening slechts door één gebeurtenis gemodelleerd welke middels expert judgement is gekwantificeerd.

Aangezien Mobilisatie in veel gevallen dominant is voor de faalkans en Bediening ook een betere onderbouwing verdient, is in het voorliggende rapport de analyse uit [8] uitgebreid met:

- een gestructureerde foutenboom voor Mobilisatie o.b.v. de analyse van coupure Berkelkade [12]
- hetzelfde voor herstel van Mobilisatie
- een modelering van Bediening middels het OPSCHEP model [10]

De gebeurtenissenboom uit [8] is aangepast o.b.v. wijzigingen in het gebruikspool door RWS (S. van Manen en A. Castelein), er is o.a. een extra controle door de Achterwacht na sluiting opgenomen. Daarnaast is de boom hier en daar verfijnd. De gebeurtenissenboom met inputtabel zijn opgenomen in

Omschrijving gebeurtenis in gebeurtenissenboom	Faalttype FaultTree+	Kanswaarde	Eenheid	Missieduur	Test-interval	Reparatie-duur	kans NB tgv niet merkbaar falen (nmf)	kans NB tgv merkbaar falen (mf)	kans NB tgv falen tijdens missie	kans NB tgv reparatie	Fa...
				M	T	θ	$0,5\lambda_{nmf}T$	$\lambda_{mf}\theta$	$\lambda_{missie}M$	$mf = \lambda_{missie}\theta$	
				[uur]	[uur]	[uur]	[-]	[-]	[-]	[-]	
Meetpunt Zwartsluis geeft correcte waarde en verstuurd deze naar rekencentrum in A'dam.	zie foutenboom: Geen of onjuiste meetwaarde beschikbaar										
Rekencentrum berekent voorspelling en verstuurd deze middels haar servers.	zie foutenboom: Geen distributie meetresulaten/voorspelling vanuit										
RWS netwerk voor verzending voorspelling is beschikbaar	Dormant	2,00E-05	$\lambda [-/uur]$	-	4	-	4,00E-05	-	-	-	-
Serverapparatuur ontvangt voorspelling en modems versturen alarmbericht door binnen organisatie	zie foutenboom: Serverapparatuur Meppelerdiepslus niet beschikbaar voor dataverwerking										
Modum functioneert en zend alarmbericht	Fixed	0,00E+00	$Q [-/vraag]=[-]$	-	-	-	-	-	-	-	-
Semafoon operator functioneert	Dormant	1,00E-05	$\lambda [-/uur]$	-	168	-	8,40E-04	-	-	-	-
Operator neemt alarm waar	Fixed	1,00E-04	$Q [-/vraag]=[-]$	-	-	-	-	-	-	-	-
Semafoon achterwacht functioneert	Dormant	1,00E-05	$\lambda [-/uur]$	-	168	-	8,40E-04	-	-	-	-
Achterwacht neemt alarm waar en telefoneert met Operator	zie foutenboom: Controle door Achterwacht vindt niet plaats										
Mobilisatie: operator is gearriveerd op bedienplek	zie foutenboom: Mobilisatie primaire operator faalt										
Herstel MOB 1: Achterwacht controleert aanwezigheid, zo nee vervangende operator mobiliseren	zie foutenboom: Falen mobilisatie vervangende operator										
BEDIEN: operator neemt sluitpeil waar en drukt op bedienknop	Fixed	6,00E-04	$Q [-/vraag]=[-]$	-	-	-	-	-	-	-	-
HERSTEL MOB 2: Achterwacht controleert of sluis gesloten is, zo nee mobiliseert assistente	zie foutenboom: Falen mobilisatie vervangende operator										

Tabel 1 en Tabel 2. De gebeurtenissen in de gebeurtenissenboom met een kleur, zijn onderbouwd middels foutenbomen met dezelfde kleur. Deze onderliggende foutenbomen met inputtabel zijn opgenomen in Tabel 3, Tabel 4 en Figuur 17 t/m figuur 24.

Omschrijving gebeurtenis in gebeurtenissenboom	Faaltypen FaultTree+	Kanswaarde	Eenheid	Missieduur T	Test-interval T	Reparatie-duur θ	kans NB tgv niet merkbaar falen (nmf)	kans NB tgv merkbaar falen (mf)	kans NB tgv falen tijdens missie	kans NB tgv reparatie	Faalkans per vraag	Bron en toelichting faalkans
							$0,5\lambda_{nmf}T$	$\lambda_{mf}\theta$	$\lambda_{missie}M$	$mf = \lambda_{missie}\theta$ $nmf = (\lambda_{nmf} + \lambda_{missie})\theta$	Q	
							[uur]	[uur]	[uur]	[-]	[-]	[-/vraag] = [-]
Meetpunt Zwartsluis geeft correcte waarde en verstuurd deze naar rekencentrum in A'dam.	zie foutenboom: Geen of onjuiste meetwaarde beschikbaar											
Rekencentrum berekent voorspelling en verstuurd deze middels haar servers.	zie foutenboom: Geen distributie meetresultaten/voorspelling vanuit											
RWS netwerk voor verzending voorspelling is beschikbaar	Dormant	2,00E-05	λ [-/uur]	-	4	-	4,00E-05	-	-	-	-	Expert Judgement inschatting Arcadis zie [8]
Serverapparatuur ontvangt voorspelling en modems versturen alarmbericht door binnen organisatie	zie foutenboom: Serverapparatuur Mppelerdiepsluis niet beschikbaar voor dataverwerking											
Modem functioneert en zend alarmbericht	Fixed	0,00E+00	Q [-/vraag] = [-]	-	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	Aanpassing na oplevering [8] door RWS
Semafoon operator functioneert	Dormant	1,00E-05	λ [-/uur]	-	168	-	8,40E-04	-	-	-	-	Expert Judgement inschatting Arcadis zie [8]
Operator neemt alarm waar	Fixed	1,00E-04	Q [-/vraag] = [-]	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-04	Expert Judgement inschatting Arcadis zie [8]
Semafoon achterwacht functioneert	Dormant	1,00E-05	λ [-/uur]	-	168	-	8,40E-04	-	-	-	-	Expert Judgement inschatting Arcadis zie [8]
Achterwacht neemt alarm waar en telefoneert met Operator	zie foutenboom: Controle door Achterwacht vindt niet plaats											
Mobilisatie: operator is gearriveerd op bedienplek	zie foutenboom: Mobilisatie primaire operator faalt											
Herstel MOB 1: Achterwacht controleert aanwezigheid, zo nee vervangende operator mobiliseren	zie foutenboom: Falen mobilisatie vervangende operator											
BEDIEN: operator neemt sluitpeil waar en drukt op bedienknop	Fixed	6,00E-04	Q [-/vraag] = [-]	-	-	-	-	-	-	-	6,00E-04	Falen BEDIENING gemodelleerd middels OPSCHEP model in voorliggende rapport
HERSTEL MOB 2: Achterwacht controleert of sluis gesloten is, zo nee mobiliseert assistentie	zie foutenboom: Falen mobilisatie vervangende operator											

Tabel 1: Tabel behorende bij gebeurtenissenboom Meppelerdiepsluis (in Tabel 2) voor Alarmering, Mobilisatie en Bediening

Zie voor de modellering middels het Opschepmodel van de fase Bediening ofwel de gebeurtenis 'BEDIEN: operator neemt sluitpeil waar en drukt op bedienknop' bijlage C.

Tabel 2: Gebeurtenissenboom Alarmering, Mobilisatie en Bediening Meppelerdiepsluis

The failure tree diagram illustrates the sequence of events and outcomes for a flood emergency response. The root event is 'Er komt hoog water aan' (Water level rises). This triggers a series of checks and communications:

- Meertuin Zwartsluis geeft correcte waarde en verstuur deze naar rekencentrum in A'dam.** (Meertuin Zwartsluis provides correct value and sends it to the calculation center in A'dam.)
- RWS netwerk voor verzending voorspelling en verstuur deze middels haar servers.** (RWS network for sending forecast and send it via their servers.)
- Serverapparatuur ontvangt voorspelling en verstuur deze alarmbericht door binnens organisatie** (Server equipment receives forecast and send alert message internally.)
- Modem functioneert en zent alarmbericht uit** (Modem functions and sends alert message.)
- Semafoon Operator functioneert** (Semafoon Operator functions.)
- Operator neemt alarm waar** (Operator takes alarm seriously.)
- Semafoon Achterwacht functioneert** (Semafoon Backup functions.)
- Achterwacht neemt alarm waar en telefoneert met Operator** (Backup takes alarm seriously and calls the operator.)
- Mobilisatie: operator is gearriveerd op bedienplek** (Mobilization: operator has arrived at the control location.)
- BEDIEN: operator neemt stilstell waar en drukt op bedienknop** (Operate: operator takes over and presses the control button.)
- HERSTEL MOB 1: Achterwacht controleert aanwezigheid, zo nee vervangen operator mobiliseren** (Recovery MOB 1: Backup checks presence, if not, replace operator mobilize.)
- HERSTEL MOB 2: Achterwacht controleert of elue gesloten is, zo nee mobiliseert assistente** (Recovery MOB 2: Backup checks if valve is closed, if not, mobilize assistant.)

The tree branches into two main paths based on initial success or failure:

- Success Path:**
 - If initial check fails, the tree ends.
 - If successful, it continues through the modem, operator, and backup functions.
 - If the operator takes the alarm seriously, the tree continues through the Semafoon Achterwacht and the operator's arrival.
 - If the operator arrives, they take over and press the control button.
 - If the backup checks presence and finds the operator absent, they mobilize a replacement operator.
 - If the valve is open, the backup mobilizes an assistant.
- Failure Path:**
 - If initial check fails, the tree ends.
 - If successful, it continues through the modem, operator, and backup functions.
 - If the operator does not take the alarm seriously, the tree ends.
 - If the operator does not arrive, the tree ends.
 - If the backup does not check presence, the tree ends.
 - If the valve is closed, the tree ends.

Each outcome is assigned a probability and a consequence score.

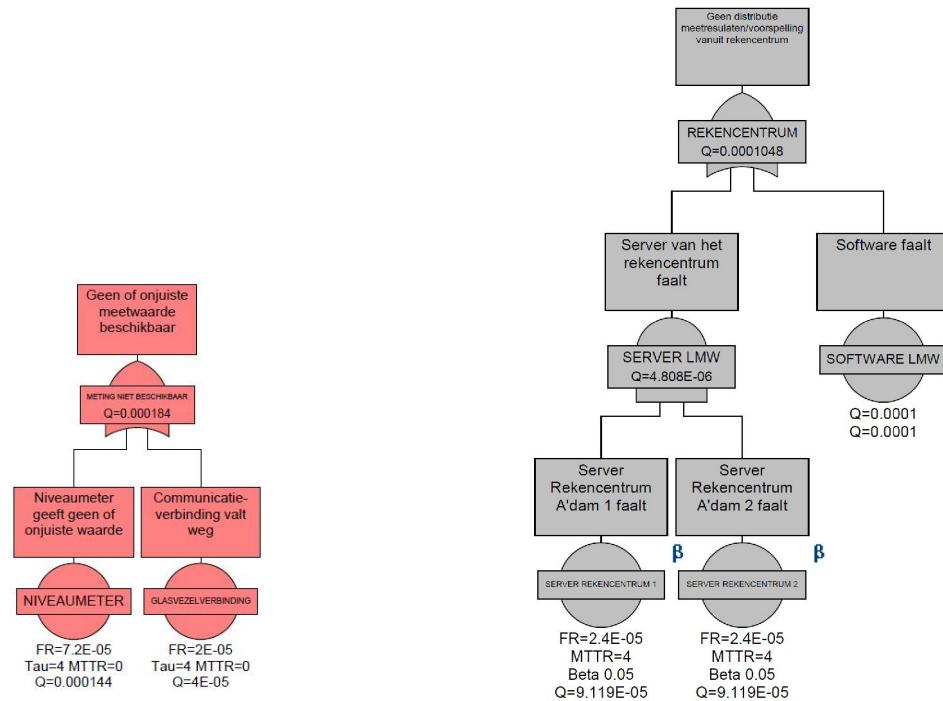
Event	Probability	Consequence
Initial Check Success	0.9985	OK
Initial Check Failure	0.0015	Niet OK
Modem Success	0.9991	OK
Modem Failure	0.0009	Niet OK
Operator Success	0.9992	OK
Operator Failure	0.0008	Niet OK
Backup Success	0.9993	OK
Backup Failure	0.0007	Niet OK
Operator Arrives	0.9994	OK
Operator Does Not Arrive	0.0006	Niet OK
Assistant Mobilized	0.9995	OK
Assistant Does Not Mobilize	0.0005	Niet OK
Recovery MOB 1 Success	0.9996	OK
Recovery MOB 1 Failure	0.0004	Niet OK
Recovery MOB 2 Success	0.9997	OK
Recovery MOB 2 Failure	0.0003	Niet OK
Final Success	0.9998	OK
Final Failure	0.0002	Niet OK

Faalgebeurtenissen in foutenboom Mobilisatie primaire Operator faalt		CCF	Faulttype FaultTree+	Kanswaarde	Eenhed r	Missieduur	Test- interval	Reparatie- duur*	kans NB tgv niet merkbaar falen (nmf)	kans NB tgv merkbaar falen (mf)	kans NB tgv falen tijdens missie	kans NB tgv reparatie	Faalkans per vraag	Bron en toelichting faalkans/Missieduur/MTR
Code faal- gebeurtenis	Beschrijving faalgebeurtenis in foutenboom				M	T	θ	$0,5\lambda_{nmf}T$	$\lambda_m\theta$	$\lambda_{missie}M$	$mf = \lambda_{missie}\theta$ $nmf = (\lambda_{nmf} + \lambda_{missie})\theta$	Q		
					[uur]	[uur]	[uur]	[·]	[·]	[·]	[·]	[·]	[·/vraag] = [·]	
MOB-EV-3	Locatie niet meer bereikbaar door hoogwater	-	Fixed	0,00E+00	Q [-/vraag] = [-]	-	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	Niet van toepassing, bij bereiken van een van de sluitpeilen is het OKP nog niet bereikt en de primaire waterkering waar de N311 op ligt nog lang niet bereikt.
MOB-EV-4	Primaire route gestremd door wegwerkzaamheden	0,1	Fixed	1,00E-04	Q [-/vraag] = [-]	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-04	De Meppelerdiepsluis ligt in de beschermingszone van de waterkering, de primaire route is de N311 uit de noord- of zuidrichting. De kans dat de N311 vanuit de noord- of zuidrichting er zo danig uit ligt (ongraving) in de winterperiode dat je er niet kan komen is zeer klein omdat dit door het waterschap niet wordt toegestaan. Het gaat dus om de kans dat de gemeente grootschalige wegwerkzaamheden uitvoert zonder dit aan het waterschap te melden. Deze kans is door auteur ingeschat als zeer klein (10^{-4}). Uitzondering is eigen werk t.b.v. een dijkverbetering in de winterperiode. In die situatie is een calamiteitenplan beschikbaar waarin rekening wordt gehouden met een hoogwatersituatie tijdens de uitvoering en het tijdelijk beschikbaar hebben van de waterkerende functie.
MOB-EV-5	Geen alternatieve route mogelijk	0,1	Fixed	7,20E-03	Q [-/vraag] = [-]	-	-	-	-	-	-	-	7,20E-03	Als de N331 vanuit de noordzijde eruit ligt is de coupure nog bereikbaar via de N311 vuit de zuidzijde. Vanwege bereikbaarheid voor hulpdiensten lijkt de kans klein dat de N311 vanuit beide richtingen gelijktijdig wordt afgesloten. Conservatief is de kans op niet-beschikbaarheid van de N311 vanuit de andere richting gecombineerd met een CCF-factor van 0,1. Voor de kans dat de andere richting is gestremd door wegwerkzaamheden wordt uitgegaan van het volgende (aannames door auteur): - grootschalige wegreconstructie 1x/50jaar, duur 2 maanden - kortdurende herstelwerkzaamheden 1x/20jaar, duur 4 weken Kans op niet-beschikbaarheid secundaire route is hiermee $1/50 \times 2/12 + 1/20 \times 4/52 = 7,2E-3$
MOB-EV-6	Locatie niet bereikbaar door verkeersopstopping	-	Fixed	0,00E+00	Q [-/vraag] = [-]	-	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	Mobilisatie vindt buiten de bedienbare tijd plaats, in die perioden is de kans op een verkeersopstopping zeer gering en nihil ingeschat.
MOB-EV-7	Primair transportmiddel valt uit door ongeval / defect	-	Fixed	3,00E-05	Q [-/vraag] = [-]	-	-	-	-	-	-	-	3,00E-05	Leidraad kunstwerken 2003 tabel B3.11 Ongeluk bij Transport, 1e-5 per km. Aanname dat de enkele reis 20 km betreft, wat resulteert in $2e-4$.
MOB-EV-8	Inzet alternatief transportmiddel faalt	-	Fixed	1,00E-02	Q [-/vraag] = [-]	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-02	Inschatting auteur, conform 'bijlage Betrouwbaarheidsanalyse Coupure Berkelkade' bij Achtergrondrapport 'Kwantificering scoretabellen niet sluiten'
MOB-EV-29	Reparatie primair transportmiddel faalt	-	Fixed	2,00E-01	Q [-/vraag] = [-]	-	-	-	-	-	-	-	2,00E-01	Inschatting auteur, conform 'bijlage Betrouwbaarheidsanalyse Coupure Berkelkade' bij Achtergrondrapport 'Kwantificering scoretabellen niet sluiten'
MOB-EV-14	Operator valt uit door ongeval / ziekte	-	Fixed	3,00E-05	Q [-/vraag] = [-]	-	-	-	-	-	-	-	2,00E-04	Ongeval tijdens rit naar locatie wordt als maatgevend gezien. In geval van ziekte zal de operitor voorafgaande de oproep zichzelf afmelden, volgens protocol Rij-afstand: 32 km. Faalkans ongeluk per km = $1E-05$ / km cf. B3.11 Leidraad Kunstwerken.

Tabel 3: Faalgebeurtenissen behorende bij Figuur 21: foutenboom 'Mobilisatie primaire Operator faalt' (Paarse boom)

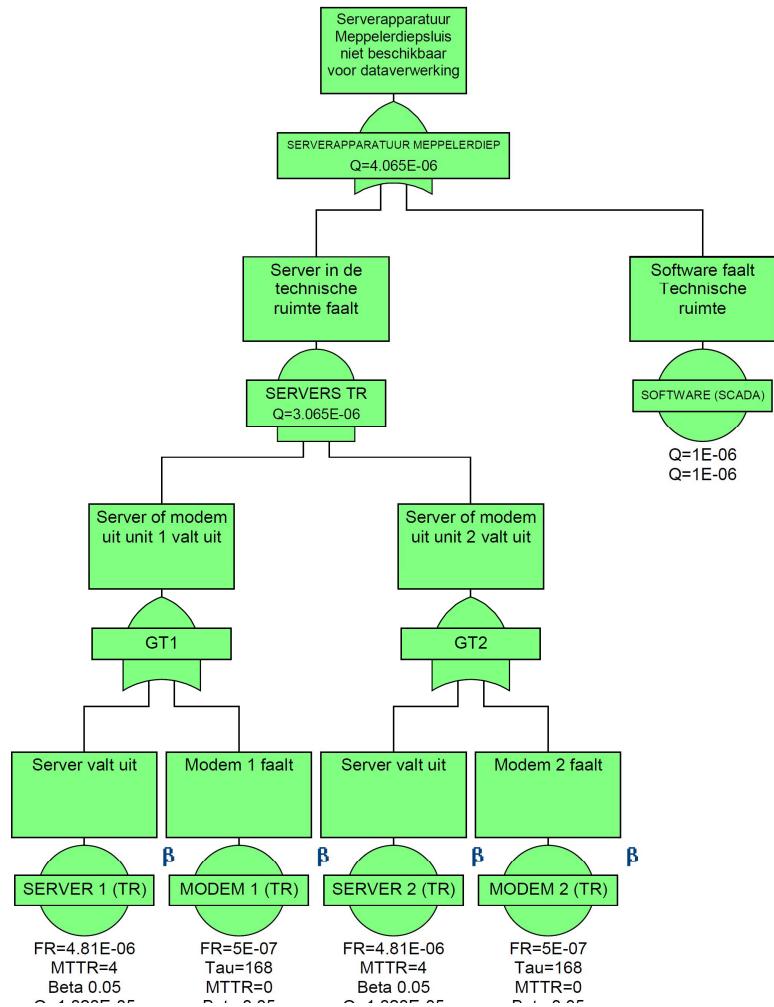
Faalgebeurtenissen in overige foutenbomen		CCF	Faulttype FaultTree+	Kanswaarde	Eenheid	Missieduur τ	Test- interval	Reparatie- duur θ	kans NB tgv niet merkbaar falen (nmf)	kans NB tgv merkbaar falen (mf)	kans NB tgv falen tijdens missie	kans NB tgv reparatie	Faalkans per vraag	Bron en toelichting faalkans/Missieduur/MTR
Code faalgebeurtenis	Beschrijving faalgebeurtenis in foutenbomen					M	T		$0,5\lambda_{nmf}T$	$\lambda_m\theta$	$\lambda_{missie}M$	$mf = \lambda_{missie}\theta$ $nmf = (\lambda_{nmf} + \lambda_{missie})\theta$	Q	
						[uur]	[uur]	[uur]	[·]	[·]	[·]	[·]	[·]	[· / vraag] = [·]
NIVEAUMETER	Niveau meter geeft geen of onjuiste waarde	-	Dormant	7,20E-05	$\lambda [-/uur]$	-	4	-	1,44E-04	-	-	-	-	inschatting RWS zie [8]
GLASVEZELVERBINDING	Communicatie-verbinding valt weg	-	Dormant	2,00E-05	$\lambda [-/uur]$	-	4	-	4,00E-05	-	-	-	-	inschatting RWS zie [8]
SERVER REKENCENTRUM 1	Server Rekencentrum A'dam 1 faalt	0,05	rate-MTR	2,40E-05	$\lambda [-/uur]$	-	-	4	-	9,60E-05	-	-	-	inschatting RWS zie [8].
SERVER REKENCENTRUM 2	Server Rekencentrum A'dam 2 faalt	0,05	rate-MTR	2,40E-05	$\lambda [-/uur]$	-	-	4	-	9,60E-05	-	-	-	inschatting RWS zie [8]. NB: 2de rekencentrum ligt tegenwoordig ook in A'dam en niet in Almere.
SOFTWARE LMW	Software faalt	-	Fixed	1,00E-04	$Q[-/vraag]=[-]$	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-04	Expert Judgement inschatting Arcadis zie [8]
SERVER 1 (TR)		0,05	rate-MTR	4,81E-06	$\lambda [-/uur]$	-	-	4	-	1,92E-05	-	-	-	inschatting RWS zie [8].
MODEM 1 (TR)		0,05	Dormant	5,00E-07	$\lambda [-/uur]$	-	168	-	4,20E-05	-	-	-	-	inschatting RWS zie [8].
SERVER 2 (TR)		0,05	rate-MTR	4,81E-06	$\lambda [-/uur]$	-	-	4	-	1,92E-05	-	-	-	inschatting RWS zie [8].
MODEM 2 (TR)		0,05	Dormant	5,00E-07	$\lambda [-/uur]$	-	168	-	4,20E-05	-	-	-	-	inschatting RWS zie [8].
SOFTWARE (SCADA)	Software faalt technische ruimte	-	Fixed	1,00E-06	$Q[-/vraag]=[-]$	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-06	inschatting RWS zie [8].
TELEFOON	Geen kiesfoon	-	Fixed	1,00E-05	$Q[-/vraag]=[-]$	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-05	Expert Judgement inschatting Arcadis zie [8]
WAARNAMEGING	Alarmsoproep wordt niet door Achterwacht waargenomen	-	Fixed	1,00E-04	$Q[-/vraag]=[-]$	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-04	Expert Judgement inschatting Arcadis zie [8]
CONTROLE AANKOMST	Falen controle aankomst operator door achterwacht	-	Fixed	2,00E-04	$Q[-/vraag]=[-]$	-	-	-	-	-	-	-	2,00E-04	Falen Herstel MOBILISATIE o.b.v. analyse Berkelkade in voorliggende studie
VERVANGENDE OPERATOR	vervangende operator valt uit door ongeval	-	Fixed	1,00E-03	$Q[-/vraag]=[-]$	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-03	Falen Herstel MOBILISATIE o.b.v. analyse Berkelkade in voorliggende studie
CONTROLE SLUITING	Falen controle van sluiting door achterwacht	-	Fixed	2,00E-04	$Q[-/vraag]=[-]$	-	-	-	-	-	-	-	2,00E-04	Falen Herstel MOBILISATIE o.b.v. analyse Berkelkade in voorliggende studie
VERVANGENDE OPERATOR 2	vervangende operator (2) valt uit door ongeval	-	Fixed	1,00E-03	$Q[-/vraag]=[-]$	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-03	Falen Herstel MOBILISATIE o.b.v. analyse Berkelkade in voorliggende studie

Tabel 4: Faalgebeurtenissen behorende bij overige onderstaande foutenbomen (overige kleuren)



Figuur 17: foutenboom Metting niet beschikbaar

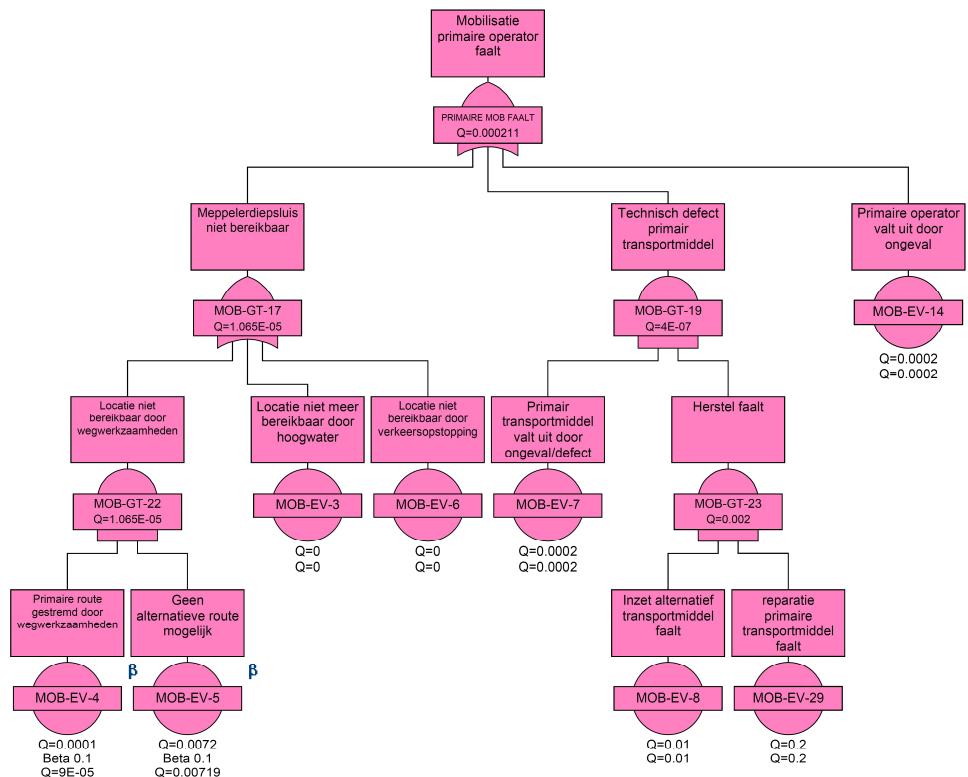
Figuur 18: Rekencentrum faalt



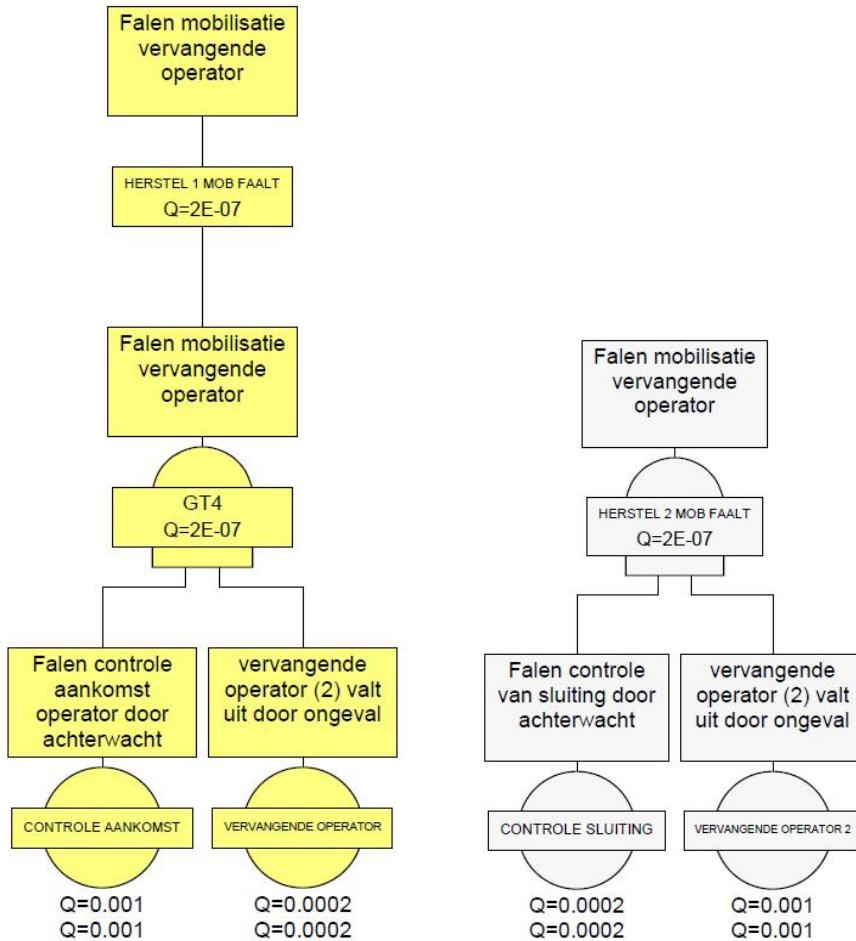
Figuur 19: Foutenboom Serverappartuur Meppelerdiepsluis faalt



Figuur 20: Foutenboom Controle achterwacht faalt



Figuur 21: Foutenboom Primaire mobilisatie faalt



Figuur 22: Herstel 1 Mobilisatie faalt en Herstel 2 Mobilisatie faalt

Toelichting gebeurtenissenboom en foutenbomen

- Het Rekencentrum in Amsterdam kan metingen direct versturen naar beheerders, zoals in het geval van de Meppelerdiepsluis, maar ook metingen verwerken tot voorspellingen (waterstanden en afvoer) middels diverse voorspelmodellen. Voorspellingen worden verstuurd naar RWS (WMCN in Lelystad) die vervolgens beheerders faciliteert met informatie op maat.
- Zoals de foutenbomen van 'Falen mobilisatie vervangende Operator' (Figuur 22 en Figuur 23) suggereren dienen er altijd 2 vervangende Operators stand by te staan.
- Falen Herstel MOB 1 en Herstel MOB 2 zijn in de modellering niet gecorreleerd, terwijl er in werkelijkheid wel sprake is van een kleine correlatie. Falen controle aankomst Operator kan namelijk eenzelfde oorzaak hebben als falen controle sluiting. Gezien het dat een semafoonbericht bij bereiken sluitpeil vooraf gaat aan de controle sluiting door achterwacht, wordt deze correlatie klein ingeschat en hier verwaarloosd.
- Een randvoorwaarde van de gebeurtenissenboom is dat in het geval van ziekte van een Operator of Achterwacht deze zichzelf afmeldt en een vervanger stand by komt te staan.

4.5

Conclusies

Uit de modelering middels de gebeurtenissenboom in Isograph Reliability Workbench volgt voor Alarmering, Mobilisatie en Bediening een faalkans per vraag ofwel niet-beschikbaarheid van $3,33 \cdot 10^{-4}$ [-].

Het aspect Bediening is middels de gebeurtenis 'BEDIEN: operator neemt sluitpeil waar en drukt op bedienknop' gemodelleerd en geschematiseerd met het Opschepmodel in bijlage C en is gelijk aan $6,0 \cdot 10^{-7}$ [-].

De Mobilisatiefase bestaat in de modelering uit de volgende gebeurtenissen welke met eigen foutenbomen zijn geschematiseerd:

- 'Mobilisatie: operator is gearriveerd op bedienplek'
 - Faalkans = $2,21 \cdot 10^{-4}$ [-]
- 'Herstel MOB 1: Achterwacht controleert aanwezigheid, zo nee vervangende operator mobiliseren'
 - Faalkans = $2,0 \cdot 10^{-7}$ [-]
- 'HERSTEL MOB 2: Achterwacht controleert of sluis gesloten is, zo nee mobiliseert assistentie'
 - Faalkans = $2,0 \cdot 10^{-7}$ [-]

De overige gebeurtenissen modelleren falen van Alarmering.

NB: de totale faalkans is de optelsom van de faalkans van alle faalscenario's (niet OK) in de gebeurtenissenboom.

De gebeurtenissenboom bevat herstelmogelijkheden voor vele faalgebeurtenissen binnen de aspecten van Alarmering (gebeurtenis 2 t/m 10) en Mobilisatie. Hierdoor is het mogelijk dat een faalscenario zowel faalgebeurtenissen van Alarmering als Mobilisatie in zich heeft, of zelfs faalgebeurtenissen van Alarmering, Mobilisatie en Bediening.

Dit maakt dat de aspecten Alarmering, Bediening en Mobilisatie vervlochten zijn in de gebeurtenissenboom en de afzonderlijke faalkansbijdrage aan het totaal van faalscenario's middels de bovenstaande faalkansen en de gebeurtenissenboom niet is te bepalen.

De bijdrage van Alarmering, Mobilisatie en Bediening aan de faalkans kan alleen per faalscenario worden gemaakt, zoals gedaan in Tabel 5. Het verschil tussen de optelling in Isograph Reliability Workbench en middels Excel berust op afrondingsfoutjes.

Faalscenario's (niet OK) met:		faalkans
falen van Alarmeringsgebeurtenissen	Rode faalkansen in Tabel 5	$3,34 \cdot 10^{-4}$
falen van (combinaties van) Alarmerings-, Bedienings- en Mobilisatiegebeurtenissen	Zwarte faalkansen in Tabel 5	$9,50 \cdot 10^{-8}$

Wat opvalt in

Tabel 5Tabel 5:

- Dat bij 'serieus' falen van Alarmering, ofwel het falen van gebeurtenissen t/m het falen van het modem (gebeurtenis 6), er geen herstelacties mogelijk zijn (onderste 5 scenario's). In de scenario's waarbij het modem functioneert zijn er veel herstelmogelijkheden.
- Dat de totale faalkans volledig wordt bepaald door de faalgebeurtenissen van Alarmering (rode faalkansen), waarbij de scenario's zonder herstelmogelijkheden (onderste 5 scenario's) zwaar dominant zijn.

Alarming															falen ALARM	falen MOB	falen BEDIEN	Totale faalkans	
Er komt hoog water aan	Meetpunt Zwaartsuis geeft correcte waarde en verstuur deze naar rekencentrum in A-Gam.	Rekencentrum berekent voorspelling en verstuur deze middels haar servers.	RWS netwerk voor verzending voorspelling is beschikbaar	Serverapparatuur ontvangt voorspelling en modems versturen alarmbericht door binnens organisatie	Modem functioneert en zendt alarmbericht uit	Semafoon Operator functioneert	Operator neemt alarm waar	Semafoon Achterwacht functioneert	Achterwacht neemt alarm waar en telefoneert met Operator	Mobilisatie: operator is gearriveerd op bedienplek	Herstel MOB 1: Achterwacht controleert aanwezigheid zo nee vervangende operator mobiliseren	BEDIEN: operator neemt sluitpeil waar en drukt op bedienknop	HERSTEL MOB 2: Achterwacht controleert of sluis gesloten is, zo nee mobiliseert assistente	Consequence	Frequency				
w=1	Q=0.000184	Q=0.0001048	Q=4E-05	Q=4.065E-06	Q=0	Q=0.0008395	Q=0.0001	Q=0.0008395	Q=0.00011	Q=0.000211	Q=2E-07	Q=6E-07	Q=2E-07	1					
Tabel 5: bijdrage Alarming, Mobilisatie en bediening per scenario																			
Failure: Hoogwater	Success	Success	Success	Success	Success	Success	Success	Success	Success	Success	Success	Success	Success	OK	0.9985				
										Null	Success	Success	Success	OK door vervanging	5.991E-07				
											Failure	Failure	Failure	Niet OK	1.198E-13				
											Success	Success	Success	OK door vervanging	0.0002108				
											Failure	Failure	Failure	OK door vervanging	1.265E-10				
											Success	Success	Success	Niet OK	2.529E-17				
											Failure	Failure	Failure	OK door vervanging	4.216E-11				
											Success	Success	Success	Niet OK	8.431E-18				
											Null	Null	Null	OK	9.977E-05				
											Success	Success	Success	OK door vervanging	5.986E-11				
											Failure	Failure	Failure	Niet OK	1.197E-17				
											Success	Success	Success	OK door vervanging	2.106E-08				
											Failure	Failure	Failure	OK door vervanging	1.264E-14				
											Success	Success	Success	Niet OK	2.527E-21				
											Failure	Failure	Failure	OK door vervanging	4.212E-15				
											Success	Success	Success	Niet OK	8.424E-22				
											Failure	Failure	Failure	Niet OK	1.098E-08				
											Null	Null	Null	Niet OK	8.385E-08				
											Success	Success	Success	OK	0.0008383				
											Failure	Failure	Failure	OK door vervanging	5.03E-10				
											Success	Success	Success	Niet OK	1.006E-16				
											Failure	Failure	Failure	OK door vervanging	1.77E-07				
											Success	Success	Success	OK door vervanging	1.062E-13				
											Failure	Failure	Failure	Niet OK	2.123E-20				
											Success	Success	Success	OK door vervanging	3.539E-14				
											Failure	Failure	Failure	Niet OK	7.078E-21				
											Success	Success	Success	OK door vervanging	9.224E-08				
											Failure	Failure	Failure	Niet OK	7.046E-07				
											Null	Null	Null	Niet OK	0				
											Success	Success	Success	OK	4.064E-06				
											Failure	Failure	Failure	Niet OK	3.999E-05				
											Null	Null	Null	Niet OK	0.0001048				
											Null	Null	Null	Niet OK	0.000184				

3,34E-04

Om te kunnen vergelijken met de standaard foutenboom en scoretabel voor Alarmering, is het t.g.v. het bovenstaande resultaat nu mogelijk Alarmering als nog te isoleren uit de gebeurtenissenboom en de onderste 7 scenario's te vergelijken met de ingevulde scoretabel voor Alarmering. Daarbij is het van belang op te merken dat er geen mogelijkheden tot herstel van Alarmering door alternatieve 'systemen', zoals eigen monitoring van waterstanden door de bedienorganisatie of het waterschap en waarschuwing door de bevolking, is betrokken in het protocol van Meppelerdiep.

Vergelijken van de gebeurtenissenboom m.b.t. Mobilisatie en bediening met de betreffende standaard foutenbomen lijkt dus niet mogelijk. Daarom zijn hiervoor de opgestelde foutenbomen in Figuur 21 en Figuur 22. Voor mobilisatie is eenvoudigweg de kans op falen van de mobilisatie vermenigvuldigd met de kans op falen van herstel. Voor falen ten gevolge van bediening geldt hetzelfde.

4.5.1 *Vergelijking Alarmering: gebeurtenissenboom vs. standaard foutenboom en scoretabel*

Hieronder de aangepaste scoretabel voor Alarmering.

Vraag		Antwoord	Score
a	Wordt het contact met Rijkwaterstaat tenminste jaarlijks geverifieerd?	ja	4
b	Is er een tweede methode voor hoogwateralarmering?	nee	0
c	Is er een mogelijkheid dat de bevolking tijdig waarschuwt?	nee	0
E1	Kunstwerk niet sluiten door falen Alarmering	a+b+c	4

Vraag a:

Antwoord: ja

Er wordt ervan uitgegaan dat het contact voor geverifieerd, ofwel de digitale communicatielijn tussen het Rekencentrum van RWS en de SCADA-applicatie van Meppelerdiepsluis.

Vraag b:

Antwoord: nee

Er is geen tweede methode genoemd in het proces/protocol in H4.2.3

Vraag c:

Antwoord: nee

Idem

De faalkans voor Alarmering volgens de standaard foutenboom en scoretabel E1 = 10^{-4} [-].

De faalkans zoals bepaald met de (door RWS aangepaste) gebeurtenissenboom en onderliggende foutenbomen uit [8] en geïnterpreteerd volgens Tabel 5 = $3,34 \cdot 10^{-4}$. Dit scheelt grofweg een factor 3 met de berekening middels de scoretabel. Dit verschil in faalkans heeft als voornaamste oorzaak dat de geavanceerde analyse slechts één meetpunt, namelijk Zwartsluis buiten, meeneemt in haar faalkansberekening. In werkelijkheid zijn drie meetpunten beschikbaar volgens [8] en is er dus redundantie in geval van falen van meetpunt Zwartsluis. De geavanceerde analyse is dus conservatief, wat in het licht van het aantonen van een minimale faalkans ook een logisch aanpak is.

4.5.2 Vergelijking Mobilisatie: foutenbomen op maat vs. standaard foutenboom en scoretabel

Hieronder de aangepaste scoretabel voor Mobilisatie.

Vraag		Antwoord	Score
a1	Is er een schriftelijk vastgelegde up to date mobilisatieregeling inclusief standby regeling en terugmeldingssysteem?	ja	
a2	Wordt de mobilisatie jaarlijks geoefend?	ja	
a3	Worden de ervaringen van de oefening en mobilisaties teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling?	ja	
a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord?	ja	4
b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de mobilisatieregeling? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk NB2: alleen van toepassing als het kunstwerk niet in het kust- of merengebied ligt	ja	1
E2	Kunstwerk niet sluiten door falen Mobilisatie	a4+b	5

Vraag a1-a4:

Antwoord: ja

Er wordt aangenomen dat deze processen goed zijn georganiseerd, zeker wanneer de geactualiseerde gedetailleerde methode voor bepalen de faalkans van niet sluiten, waar het voorliggende rapport een onderbouwing voor is, vigerend wordt.

Vraag b:

Antwoord: ja

Er zijn twee herstelmogelijkheden in het protocol opgenomen.

De Faalkans voor Mobilisatie volgens de standaard foutenboom en scoretabel E2 = 10^{-5} [-].

Deze kans wordt zoals vermeld vergeleken met de foutenbomen gemaakt op maat voor Mobilisatie en herstel van falen Mobilisatie (Figuur 21 en Figuur 22):

- 'Mobilisatie: operator is gearriveerd op bedienplek'
 - Faalkans = $2,21 \cdot 10^{-4}$ [-]
- 'Herstel MOB 1: Achterwacht controleert aanwezigheid, zo nee vervangende operator mobiliseren'
 - Faalkans = $2,0 \cdot 10^{-7}$ [-]
- 'HERSTEL MOB 2: Achterwacht controleert of sluis gesloten is, zo nee mobiliseert assistentie'
 - Faalkans = $2,0 \cdot 10^{-7}$ [-]

Totale faalkans = orde 10^{-18} [-] en heeft geen realiteitswaarde meer. De faalkans is verwaarloosbaar klein.

Toepassen van de standaard foutenboom en scoretabel is voor de Meppelerdiepsluis dus zeer conservatief. Gezien de vele controlesmomenten en aantal mensen die stand-by is dat goed te verklaren. In dit geval is duidelijk te zien dat de generieke scoretabel veel te grof is voor de complexe situatie van de Meppelerdiepsluis.

4.5.3

Vergelijking Bediening: Opschepmodel vs. standaard foutenboom en scoretabel
Hieronder de aangepaste scoretabel voor Bediening.

Vraag		Antwoord	Score
a1	Is een sluitprocedure aanwezig?	ja	
a2	Wordt de sluitingsprocedure minstens eenmaal per jaar geoefend?	ja	
a3	Worden de ervaringen van de oefening en bediening teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de sluitprocedure?	ja	
a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord?	ja	3
b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de sluitprocedure? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk NB2: voor een kunstwerk in het kust- of merengebied alleen van toepassing als er een permanent keermiddel aanwezig is	ja	2
E3	Kunstwerk niet sluiten door falen Bediening	a4+b	5

Vraag a1-a4:

Antwoord: ja

Er wordt aangenomen dat deze processen goed zijn georganiseerd, zeker wanneer de geactualiseerde gedetailleerde methode voor bepalen de faalkans van niet sluiten, waar het voorliggende rapport een onderbouwing voor is, vigerend wordt.

Vraag b:

Antwoord: ja

De Meppelerdiepsluis ligt niet in het merengebied en er is voldoende tijd om een bedienfout te herstellen.

De Faalkans voor Bediening volgens de standaard foutenboom en scoretabel E3 = 10^{-5} [-].

Volgens de modelering met het Opschepmodel in bijlage C is de faalkans van Bediening = $6,0 \cdot 10^{-7}$ [-]. Deze kans is ca. een orde kleiner dan de kans bepaald met de scoretabellen. De scoretabel is dus conservatief zoals gewenst.

4.5.4

Antwoord op scope vragen:

- In hoeverre is de gebeurtenissenboom voor de overige aspecten van Meppelerdiep bruikbaar voor een vergelijking met de verbeterde standaard foutenbomen + scoretabellen van deze aspecten?
 - *De standaard foutenbomen voor de aspecten Alarmering, Mobilisatie, bediening en Technisch falen staan in serie verbonden (OF-poort), zodat de faalkansbijdrage aan de totale faalkans duidelijk is te onderscheiden.*
 - *In de gebeurtenissenboom van Meppelerdiep zijn veel herstelmogelijkheden opgenomen en zijn de faalgebeurtenissen van Alarmering, Mobilisatie en Bediening vervlochten. Dat maakt dat enkel per scenario de faalkansbijdrage van deze aspecten onderscheiden kan worden. De vergelijking met de standaard foutenbomen is hierdoor niet mogelijk.*
 - *Uit de gebeurtenissenboom van Meppelerdiepsluis blijkt echter dat Alarmering dusdanig dominant en minder vervlochten is dan geldt voor Mobilisatie en Bediening, zodat voor Alarmering een vergelijking wel mogelijk is.*

- In het geval dit kan; in hoeverre komt de kwantificering van de gebeurtenissenboom van Meppelerdiep overeen met de scores volgens de standaard foutenbomen + scoretabellen van de overige aspecten?
 - *De faalkansen voor Alarmering gemodelleerd met de gebeurtenissenboom en met de standaard foutenboom + scoretabel komen goed overeen. De scoretabel is beperkt optimistischer met een factor 3. Gezien dit kleine verschil en het feit dat alarmering in de gebeurtenissenboom conservatief is beschouwd, is er geen rede om de scoren in de scoretabel te wijzigen.*

Verder zijn voor Mobilisatie en Bediening wegens de besproken beperkingen van de gebeurtenissenboom maatwerkanalyses gemaakt welke wel te vergelijken zijn met de standaard methode (standaard foutenboom + scoretabel). Hieruit volgt:

- De faalkans van Mobilisatie is verwaarloosbaar klein en niet te benaderen met de standaard foutenboom en scoretabel, de scoretabel is in dit geval veel te conservatief.
- De faalkans voor bediening middels het Opschepmodel is ca, een orde kleiner dan de faalkans volgens de standaard foutenboom en scoretabel. De scoretabel is hier conservatief in een mate dat gewenst is.

5 Eindconclusie

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de resterende vragen uit paragraaf 1.1:

- *Zijn geavanceerde risicoanalyses bruikbaar voor het kalibreren van de standaard methode: standaard foutenbomen + scoretabellen?*
- *de overgebleven scopevraag: 'in hoeverre is de verbeterde standaardfoutenboom + scoretabel voor technische falen bruikbaar voor 'grote' constructies' zoals Keersluis Limmel en de Meppelerdiepsluis?*

Voor detailconclusies wordt verwezen naar de voorliggende hoofdstukken.

Een eerste opmerking is dat het aantal van twee geavanceerde cases (Limmel en Meppelerdiep) veel te weinig is om een definitieve kalibratie op basis van geavanceerde risicoanalyses te baseren. Het voorliggende resultaat dient te worden beschouwd als een eerste vingeroefening die bij voorkeur in de nabije toekomst vervolg krijgt met veel meer cases.

Zijn geavanceerde risicoanalyses bruikbaar voor het kalibreren van de standaard methode: standaard foutenbomen + scoretabellen?

De foutenboamanalyses voor technisch falen van de cases Limmel en Meppelerdiep bewijzen dat het mogelijk is gebruikt te maken van geavanceerde risicoanalyses voor het kalibreren. In het geval van Limmel bleek het echter wel moeilijk te zijn om een goede vergelijking te maken met de standaard foutenboom, omdat de standaard foutenboom ingericht is naar technische componenten van constructie en de foutenboom van Limmel ingericht naar het sluitproces.

Wanneer een gebeurtenissenboom wordt gebruikt in een geavanceerde analyse, zoals bij de beschouwing van het voortraject (Alarmering, Mobilisatie en Bediening) van Meppelerdiep is een vergelijking nauwelijks mogelijk.

Wel moet bedacht worden met welk doel de geavanceerde analyse is gemaakt. Voor zowel Limmel als Meppelerdiep ging het in de geavanceerde analyse om het aantonen van een bepaalde faalkanseis. Dat betekent ook dat het resultaat van de geavanceerde analyse niet per se de minimale faalkans aangeeft; zodra is aangetoond dat de faalkanseis wordt behaald kan de analyse gestopt worden. Het hoeft dus niet zo te zijn dat 'het onderste uit de kan' is gehaald als het gaat om de betrouwbaarheid van het sluitproces.

In hoeverre is de verbeterde standaardfoutenboom + scoretabel voor technische falen bruikbaar voor 'grote' constructies' zoals Keersluis Limmel en de Meppelerdiepsluis?

Uit de vergelijking tussen de scoretabel uitwerkingen en geavanceerde risicoanalyses van Limmel en Meppelerdiep blijkt dat de standaard foutenboom + scoretabel goed toepasbaar is voor 'grote' constructies met een nagenoeg zelfde complexiteit als kleinere constructies. Keersluis Limmel valt daar zeker onder, maar in het geval van de dubbel kerende Meppelerdiepsluis is de standaard methode toch te conservatief. In dat geval zal uitgeweken moeten worden naar een geavanceerde analyse, waarbij de situatie van twee volwaardig hoogwater kerende keermiddelen goed op waarde kan worden gemodelleerd.

NB: de methode is niet toepasbaar voor zeer complexe objecten zoals Stormvloedkeringen als de Maeslantkering en Oosterscheldekering.

6

Referenties

1. Sluis Limmel, Faalkansanalyse keren hoogwater, 04.01-KSL-SOL-K-RAP-KLI_FKA001, Besix Nederland, 12-01-2017
2. Beschikbaarheid Meppelerdiepsluis RAMS-analyse, 243304.09, Combinatie Structon Civiel Projecten b.v. en Reef Infra b.v., 21 juli 2014
3. Keersluis Heumen - Betrouwbaarheidsanalyse sluiting kering, Besix Nederland, dec 2010
4. Werkwijze bepalen kans op niet sluiten per sluitvraag met scoretabellen - Actualisatie van de gedetailleerde methode van Betrouwbaarheid Sluiten van beweegbare waterkeringen voor ontwerpen en beoordelen- A. Castelein en B. van Bree, november 2017
5. Handreiking RWS Faaldatabase definitief versie 1.0, RWS, 20 december 2016
6. Leidraad Kunstwerken 2003, TAW, 2003
7. Handreiking prestatie gestuurde risicoanalyses (PRA), sturen op prestaties van systemen, september 2016, RWS
8. Faalkansanalyse Meppelerdiepsluis, Afdeling Advies Technisch Management, Arcadis Nederland B.V., 3 december 2015
9. Dictaat Probabilistisch Ontwerpen, Vrijling en Vrouwenvelder, TU delft 1987
10. Leidraad Risicogestuurd Beheer en Onderhoud, Handleiding kwantitatieve analyse menselijk handelen bij waterkeringen (OPSCHEP-model), RWS-GPO, 9 juli 2013 versie 1.0
11. Kwantificering scoretabellen niet sluiten, Kwantificering van de scoretabellen voor het faalmechanisme niet sluiten, B. van Bree en A. Castelein, november 2017
12. Betrouwbaarheidsanalyse Berkelkade, Betrouwbaarheidsanalyse van een coupure in het bovenrivierengebied ten behoeve van de verificatie van de standaard scoretabellen voor niet sluiten, B. van Bree en A. Castelein, november 2017

Bijlage A: ingevulde originele scoretabel cf. [4] voor Limmel

Bijlage B: ingevulde originele scoretabel cf. [4] voor
Meppelerdiepsluis

Bijlage C: Modellering Bediening Meppelerdiep met Opschepmodel