Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

RWS BEDRIJFSINFORMATIE

Bijlagerapport:

Betrouwbaarheidsanalyse coupure Berkelkade

Betrouwbaarheidsanalyse van een coupure in het bovenrivierengebied ten behoeve van de verificatie van de standaard scoretabellen voor niet sluiten

Datum	1 november 2017
Status	definitief

Colofon

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

Inhoud

1 Inleiding 7
1.1 Doel 7
1.2 Leeswijzer 7

2 Beschrijving systeem coupure Berkelkade 8
2.1 Algemeen 8
2.2 Beschrijving van de coupure Berkelkade 8
2.2.1 Gegevens locatie 8
2.2.2 Gegevens constructie 9
2.2.3 Voorgenomen aanpassing 10
2.3 Gebruik en bediening 10
2.4 Gebruikservaring 11

3 Analyse niet-beschikbaarheid coupure Berkelkade 13
3.1 Introductie kans op niet-beschikbaarheid 13
3.2 Algemene opzet van de analyse 16
3.3 Analyse van externe gebeurtenissen 16
3.4 Analyse van afhankelijk falen 18
3.5 Analyse menselijk falen 19
3.6 Analyse van Technisch falen 20
3.6.1 Analyse van niet-merkbaar falen 20
3.6.2 Analyse van merkbaar falen 21
3.6.3 Analyse van falen tijdens missie 21
3.6.4 Analyse van spontaan falen 21
3.7 Kwalitatieve en kwantitatieve analyse 21

4 Score met scoretabellen 23
4.1 Resultaat scoretabellen 23
4.1.1 Scoretabel Alarmering 23
4.1.2 Scoretabel Mobilisatie 24
4.1.3 Scoretabel Bediening 25
4.1.4 Scoretabel Technisch falen 26
4.2 Vergelijken scoretabellen met foutenbomen geavanceerde analyse 27
4.2.1 Alarmering 28
4.2.2 Mobilisatie 28
4.2.3 Bediening 30
4.2.4 Technisch falen 31

5 Conclusies 33

Referenties 35

Bijlage A ANSI-analyse externe gebeurtenissen 37

Bijlage B Faalkans menselijk handelen 45
B.1 Onjuist / te weinig materiaal meegegeven 45
B.2 Herstel na falen levering materiaal 47
B.3 Fout tijdens opbouw keermiddel (bediening) 48

B.4 Herstel na bedienfout 50
B.5 Opbouw tweede kering 51

Bijlage C Logboek faalkansen 53

Bijlage D Foutenbomen 55

1 Inleiding

1.1 Doel

Het voorliggende rapport is een bijlagerapport bij het rapport *Kwantificering scoretabellen niet sluiten* [Ref. 9], waarin de vernieuwde gedetailleerde methode voor het bepalen van de betrouwbaarheid van sluiten is uitgewerkt. Deze methode bestaat uit een standaard foutenboom + scoretabel voor ieder onderdeel van niet sluiten: alarmering, mobilisatie, bediening en technisch falen.

In de voorliggende rapportage is een geavanceerde analyse gemaakt van de betrouwbaarheid van de sluiting van de coupure Berkelkade in Zutphen. Deze analyse is min of meer representatief voor een 'standaard' coupure in het bovenrivierengebied waar de kerende elementen van elders moeten worden aangevoerd. Op basis van gedetailleerde foutenbomen zijn de faalkansen bepaald voor de beoordelingsaspecten alarmering, mobilisatie, bediening en technisch falen. Deze faalkansen zijn vergeleken met de scores die volgens de scoretabellen (die gebaseerd zijn op standaard foutenbomen) zouden zijn behaald.

Het doel van deze studie is te bepalen in hoeverre de modelering van niet sluiten door Alarmering, Mobilisatie, Bediening en Technisch falen volgens de scoretabellen overeenkomt met die van de geavanceerde foutenbomen. Vervolgens kunnen de scoretabellen (die gebaseerd zijn op standaard foutenbomen) gebruikt worden voor ontwerpen en beoordeling volgens de gedetailleerde methode / toetslaag 2.

Dit doel wordt bereikt door de volgende vragen te beantwoorden:

- in hoeverre is de standaard foutenboom vergelijkbaar met de geavanceerde foutenbomen uit de risicoanalyses op maat?
- in hoeverre kunnen de geavanceerde foutenbomen worden omgeschreven naar de opbouw van de standaard foutenboom?
- in het geval dat dit kan; in hoeverre komt de kwantificering van de standaard foutenboom overeen met die van de geavanceerde foutenbomen?

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving van de coupure Berkelkade gegeven. Deze beschrijving vormt de basis voor de analyse naar niet-beschikbaarheid van de coupure die in hoofdstuk 3 wordt uitgewerkt. In hoofdstuk 4 wordt vervolgens de betrouwbaarheid bepaald met de nieuwe scoretabellen en vergeleken met de betrouwbaarheid die middels de geavanceerde analyse is bepaald. Hoofdstuk 5 tenslotte bundelt de belangrijkste conclusies en aanbevelingen die op basis van deze analyse kunnen worden getrokken.

2 Beschrijving systeem coupure Berkelkade

2.1 Algemeen

In dit hoofdstuk worden algemene gegevens en uitgangspunten van de uitgevoerde faalkansanalyse gegeven. Specifieke uitgangspunten ten aanzien van bepaalde aspecten kunnen in de bijlagen worden teruggevonden. Dit hoofdstuk is bedoeld om snel een algemene indruk van het systeem te verkrijgen.

2.2 Beschrijving van de coupure Berkelkade

In deze paragraaf wordt een beschrijving van de coupure Berkelkade gegeven. Daarbij komen zowel de locatiegegevens als de algemene constructiegegevens aan bod voor zover deze relevant zijn voor de beoordeling op niet sluiten. Over het algemeen zijn de gegevens overgenomen uit [Ref. 1] en aangevuld op basis van recentere informatie.

Figuur 1 Foto coupure Berkelkade (bron: [Ref. 1])

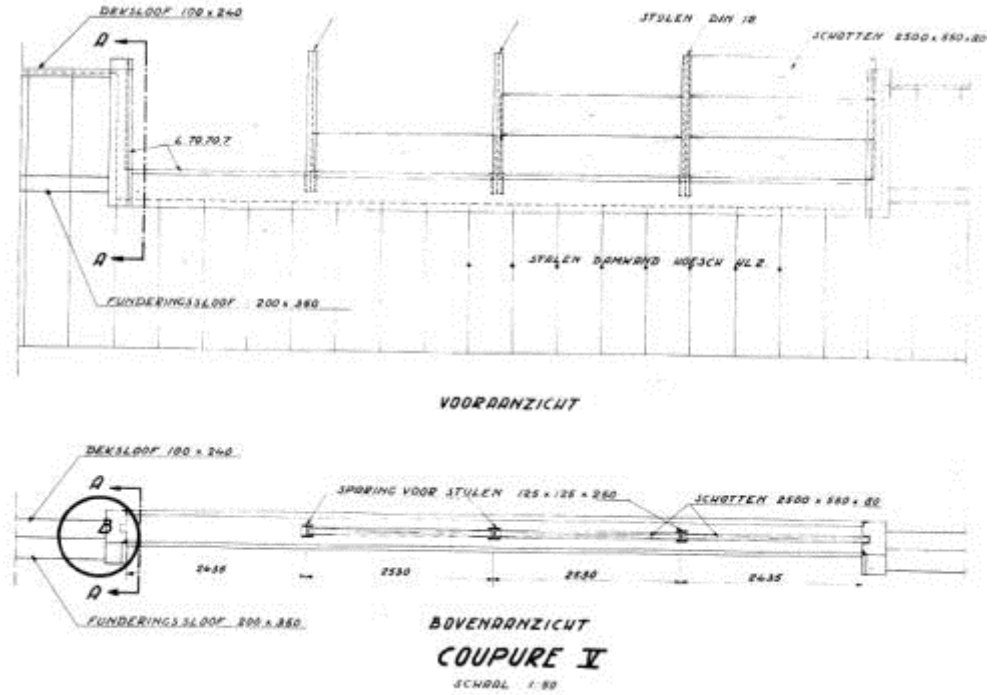
2.2.1 Gegevens locatie

Coupure Berkelkade bevindt zich bij dp 93+80 (kilometerraai 927,8) in de IJsselkade van dijktraject 50-2 (Zutphen). De signaleringswaarde van de norm van dijkring 50 bedraagt 1/3.000 per jaar, de ondergrens is 1/1.000 per jaar. De coupure sluit in situaties van hoge waterstanden op de IJssel de IJsselkade af. Achter de IJsselkade, waar de coupure deel van uitmaakt, ligt het centrum van Zutphen. De locatie van de coupure is weergegeven in figuur 1. In het rechter deel zijn Coupure Kuiperstraat (1), de Kattenhavenstuw (2) en Coupure Berkelkade (3) weergegeven.

Figuur 2 Locatie coupure Berkelkade (bron: [Ref. 1])

2.2.2 *Gegevens constructie*

De waterkering langs de IJsselkade bestaat uit een damwand (type Hoesch HL2) met een inheidiepte van NAP+6,60 m met daarop een betonnen deksloof. Ter plaatse van de coupures is lokaal een sparing in de damwand opgenomen waarop zich een betonnen deksloof bevindt (drempel van de coupure). Aan beide zijden wordt de coupure geflankeerd door betonnen eindstukken waarin schotbalksponningen zijn verwerkt. Het kunstwerk is in 1967 gebouwd en valt onder beheer van het Waterschap Rijn en IJssel.



Figuur 3 Principe van het vooraanzicht en bovenaanzicht van de coupure Berkelkade (bron: [Ref. 1])

De coupure heeft een breedte van 12,5 m en wordt verdeeld over 5 secties waarin in totaal 10 stalen schotten (5 maal 2 schotten) kunnen worden geplaatst (Bijlage

III van besteknr. 1-1967, d.d. 30-06-1967). De schotten hebben een hoogte van 0,55 m, een breedte van 2,50 m en een dikte van 0,08 m. Als tussenpunten wordt gebruik gemaakt van 4 stalen stijlen waarvoor sparingen in de drempel zijn aangebracht. De stijlen passen hier precies in en hoeven niet te worden vastgezet met bouten. De stalen schotten en stijlen (tussensteunpunten) liggen opgeslagen in een loods op de zuivering Zutphen (circa 3 kilometer verderop gelegen).

Tijdens en na plaatsing van de stijlen en schotten wordt de coupure afgedicht met afdichtingsband, zeil en zandzakken om het lekdebiet te beperken. Omdat dit lekdebiet niet leidt tot falen van de coupure (hooguit tot enige wateroverlast direct achter de coupure) is hiermee verder geen rekening gehouden in de analyse.

De drempelhoogte van de coupure is NAP +8,60m. Met twee schotten is de kerende hoogte van de coupure NAP +9,70m. De kruinhoogte van de naastgelegen kering is NAP +9,93m.

Direct voor en achter de constructie is bestrating (klinkers/trottoirtegels/kasseien) aanwezig. De coupure is gefundeerd op een damwand.

2.2.3 Voorgenomen aanpassing

In het kader van project RIDS komt de coupure Berkelkade te vervallen. De coupures Brugstraat en Mastpoortstraat worden dubbelkerend gemaakt. Tevens worden de stalen schotten vervangen door aluminium schotten, waardoor de constructie met afdichtingsband, zeil en zandzakken niet meer nodig is.

In deze analyse is uitgegaan van de huidige situatie waarin de coupure Berkelkade met schotten gesloten wordt, omdat deze representatief wordt geacht voor veel coupures in het bovenrivierengebied. Een aanpassing met sluiting middels schotbalken in plaats van schotten zal overigens slechts op enkele onderdelen bijstelling van de foutenbomen vragen. Het belangrijkste verschil is dat er geen hijsmiddel benodigd is om de schotbalken te plaatsen. Naar verwachting ligt de faalkans in lijn met de in dit rapport berekende faalkans voor een sluiting met schotten.

2.3 Gebruik en bediening

De functie van het kunstwerk is het keren van hoge waterstanden in de IJssel (in gesloten toestand) en het bereikbaar maken van de kade direct langs de IJssel (in geopende toestand). De coupure is in principe altijd geopend. Het sluitpeil van de coupure is NAP+15,20m bij meetpunt Lobith. Dit komt overeen met een waterpeil ter plaatse van de coupure van circa NAP+7,50m (SOBEK Rijntakkenmodel 2000.031). Dit peil wordt circa 1x per 4 jaar overschreden (Technisch rapport Ontwerpbelastingen voor het rivierengebied, Bijlage F).

Aangezien sluiting pas bij een peil van NAP+8,60 m (NAP+16,80m bij meetpunt Lobith) problematisch wordt, is er nog ruimschoots tijd beschikbaar tot dit peil wordt bereikt. De tijd die hiervoor beschikbaar is, is grofweg afgeleid uit het standaard afvoerverloop bij Lobith zoals opgenomen in de HR2006 [Ref. 2] en bedraagt circa 50 uur.

De coupure wordt gesloten door medewerkers van het waterschap Rijn en IJssel. Vooruitlopend op een daadwerkelijke sluiting worden bij het kunstwerk bij het bereiken van het signaleringspeil van NAP+14,70 m te Lobith diverse preventieve maatregelen genomen zoals:

- Controleren en schoon maken van de sponningen en sparingen voor de stijlen
- Voorbereiden wegafzetting
- Transport gereed maken van de schotbalken, stijlen en bigbags

Aanvullend hierop voert het waterschap vanaf een stand van NAP +13,00 m Lobith al inspectierondes uit over de gehele kering. Hierbij wordt vastgesteld hoe de kering er op dat moment bij ligt. Indien eventuele schades worden waargenomen wordt daar alvast actie op ondernomen. Als blijkt dat er bijzondere omstandigheden zijn rondom de kade en coupures in Zutphen, zal dat al bij deze waterstanden blijken.

De schotbalken, stijlen en bigbags worden vanaf de opslag bij de zuivering Zutphen naar de coupure vervoerd in een vrachtwagen met kraan. Na plaatsing van de stijlen, worden met deze kraan de schotten in de sponningen gehesen. De bigbags worden voor de kering geplaatst om aanrijding van de coupure te voorkomen.

Indien onverhoopt de schotten niet te plaatsen zijn, wordt er met folie, zandzakken en klei een alternatieve kering opgebouwd. De materialen hiervoor zijn aanwezig in de noodmaterialenloods en in kleidepots van het waterschap die speciaal voor hoogwater situaties beschikbaar zijn. Er zijn drie locaties waar noodmaterialen aanwezig zijn.

Het waterschap controleert de coupure minimaal 1x per jaar op gebreken en oefent ook minimaal 1x per jaar de sluiting van de coupures[1]. De opbouw van de alternatieve kering met folie, zandzakken en klei wordt echter niet geoefend.

2.4 Gebruikservaring

Naar aanleiding van de derde toetsronde is het sluitprotocol aangepast. Voornaamste wijziging binnen het sluitprotocol met een directe invloed op de faalkans is dat de sluiting voortaan jaarlijks wordt geoefend. Toepassing van het protocol heeft tijdens de hoogwatersituatie in januari 2011 voor het laatst plaatsgevonden in een hoogwatersituatie.

Figuur 4 Sluiting van coupures Vispoorthaven (links) en Brugstraat (rechts) te Zutphen tijdens hoogwater januari 2011 (bron: [Ref. 1])

[1] De objecten worden geclusterd en soortgelijke objecten worden 1x per jaar gesloten. Het kan dus zijn dat in een willekeurig jaar coupure Brugstraat wordt gesloten in plaats van coupure Berkelkade. Voor de faalkans maakt dit niet uit.

Er zijn geen verdere bijzonderheden te benoemen voor dit kunstwerk. Het is tot op heden altijd gelukt de coupure tijdig te sluiten.

3 Analyse niet-beschikbaarheid coupure Berkelkade

3.1 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 [Ref. 12], Handreiking RWS Faaldatabase definitief versie 1.0 [Ref. 8], Leidraad Kunstwerken 2003 [Ref. 13] en Handreiking PRA [Ref. 7].

In geavanceerde risicoanalyses, ook voor waterkeringen, wordt gebruik gemaakt van foutenboom- of gebeurtenissenboomanalyses 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 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 onderscheden 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:

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

of

Merkbaar falen:

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

met[2]:

- 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.
- 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 dartpijl. 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 definitie[3] in handreiking Prestatie Gestuurde Risicoanalyses (PRA) [Ref. 7] op blz. 29[4].

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

[3] In de voorliggende studie wordt gewerkt met de niet-beschikbaarheid, ofwel U = 1 – kans op beschikbaarheid.

[4] Vervangt per 2106 de leidraden RAMS en ProBO

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 λ [-/uur], zie onderstaande versimpelde formules[5]:

- Niet beschikbaar door niet-merkbaar falen: $\mathrm{U_{nmf}} = \frac{1}{2}\lambda_{nmf}\mathrm{T}$
  Waarbij T = periode tussen twee tests of twee reguliere bedienmomenten.

- Niet beschikbaar door merkbaar falen: $\mathrm{U_{mf}} = \lambda_{mf} \cdot \theta$
  Waarbij θ= reparatieperiode.
  Feitelijk de niet beschikbaarheid door reparatie na opmerken van falen.

- Niet beschikbaar door falen tijdens missie: $U_{missie} = \lambda_{missie} \cdot \mathrm{M}$
  Waarbij M = missietijd.

- Niet beschikbaar door reparatie:
  - In het geval van niet merkbaar falen: $U_{rep} = (\lambda_{nmf} + \lambda_{misie}) \cdot \theta$,
  - In het geval van merkbaar falen: $U_{rep} = \lambda_{misie} \cdot \theta$.
    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 [Ref. 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

[5] In Isograph Reliability Workbench worden complexere relaties gebruikt die voor alle situaties bruikbaar zijn.

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

3.2 Algemene opzet van de analyse

Om te komen tot een adequate analyse van de kans op niet-beschikbaarheid van de coupure Berkelkade – en hiermee tot de kans op niet-sluiten gegeven een sluitvraag – zijn de volgende stappen gezet (in grote lijnen conform de Leidraad Risicogestuurd Beheer en Onderhoud):

a) Analyse van externe gebeurtenissen
b) Analyse van afhankelijk falen
c) Analyse van menselijk falen
d) Analyse van niet-merkbaar falen (Technisch falen)
e) Analyse van merkbaar falen (Technisch falen)
f) Analyse van falen tijdens missie (Technisch falen)
g) Analyse van spontaan falen (Technisch falen)
h) Kwalitatieve analyse (ontwikkelen foutenbomen en gebeurtenissenbomen)
i) Kwantitatieve analyse (kwantificeren van basisgebeurtenissen en doorrekening van de foutenboom)

In onderstaande paragrafen worden deze stappen nader uitgewerkt. Hierbij wordt opgemerkt dat, indachtig de overstromingskansbenadering, bij de inschatting van kansen op faalgebeurtenissen gekozen is voor een realistische benadering. Er wordt dus niet gekozen voor veilige waarden voor de kansen, maar voor de waarden die in de praktijk realistisch worden geacht. Hierbij wordt uitgegaan van de daadwerkelijke werkwijze van de beheerder en niet alleen van hetgeen is vastgelegd in hoogwaterdraaiboeken, sluitingsprocedures et cetera. Dus ook als beheersmaatregelen in de praktijk wel worden toegepast maar (nog) niet op papier zijn vastgelegd, dan worden deze wel betrokken bij de faalkansschatting. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat deze overigens zo snel mogelijk wel vastgelegd worden, analoog aan de werkwijze die in de *Handreiking borging betrouwbaarheid sluiten* [Ref. 11]wordt aanbevolen. Bijvoorbeeld: bij voorspelde harde wind wordt in de praktijk de sluiting van de coupure vervroegd in gang gezet. Deze beheersmaatregel ligt echter niet vast. Toch wordt deze in de analyse meegenomen en mede hierom wordt de kans op niet sluiten als gevolg van harde wind > 7 Bft als verwaarloosbaar klein ingeschat.

3.3 Analyse van externe gebeurtenissen

Een externe gebeurtenis is een ongewenste gebeurtenis, komende van buiten het beschouwde object/systeem, die mogelijk kan leiden tot falen. Een screeningsmethode voor externe gebeurtenissen betreft de zogenaamde ANSI/ANS-58.21-2007 norm methode welke ook wordt aanbevolen door de RA-methode uit de

ProBo werkwijze (zie Leidraad Risicogestuurd Beheer & Onderhoud, RWS, 2009). Op basis van de analyse externe gebeurtenissen aan de hand van de ANSI zijn onderstaande gebeurtenissen toegevoegd aan de foutenboom. De volledige analyse is opgenomen in Bijlage A.

Gebeurtenis	**Kans per vraag**	**Effect**
Extreme wind	7,6E-7	Leidt tot niet kunnen inhijsen van de schotten. Meegenomen in analyse onder Bediening.
Mist	-	Resulteert mogelijk tijdelijk in verminderde of geen mogelijkheid tot mobilisatie. Kans ingeschat als verwaarloosbaar klein.
Strenge vorst	1E-4	Kan resulteren in ijs in gaten voor staanders. Meegenomen in analyse onder Technisch falen.
Bliksem	1E-8	Heeft impact op onder andere digitale bereikbaarheid / beschikbaarheid commandopost. Meegenomen in analyse onder Mobilisatie.
Sneeuw	2E-4	Resulteert mogelijk tijdelijk in verminderde of geen mogelijkheid tot mobilisatie. Meegenomen in analyse onder Mobilisatie.
Vervuiling sparingen/sponningen	1E-5	Schotten/staanders kunnen niet worden geplaatst. Meegenomen in analyse onder Technisch falen.
Brand	5,5E-5	Betreft brand in opslag (zuivering Zutphen) of centrale bedienpost (kantoor WRIJ). Hierdoor wordt de coördinatie van de mobilisatieprocedures verstoord of wordt het benodigde materiaal verwoest. Meegenomen in analyse onder Mobilisatie.
Transportongevallen	2E-5	Betreft aanrijding / ongeval transportmiddel personeel en/of materieel. Meegenomen in analyse onder Mobilisatie.
Aanvaring / aanrijding	1E-2	Betreft aanrijding keermiddel/sponning en wordt meegenomen in analyse onder Technisch falen.
Obstakel	1E-4	Betreft obstakel (auto, bloembak etc.) op tracé en wordt meegenomen in analyse onder Techniek
Vandalisme, Terrorisme, Diefstal	7,6E-8	Alleen diefstal meegenomen. Diefstal resulteert enkel in falen indien een groot aantal onderdelen wordt meegenomen waardoor opbouw van een keermiddel niet meer mogelijk is. Meegenomen in analyse onder Mobilisatie.
Uitval energienet	1,4E-4	Heeft impact op oa. bereikbaarheid /

Gebeurtenis	Kans per vraag	Effect
Extreme wind	7,6E-7	Leidt tot niet kunnen inhijsen van de schotten. Meegenomen in analyse onder Bediening.
Mist	-	Resulteert mogelijk tijdelijk in verminderde of geen mogelijkheid tot mobilisatie. Kans ingeschat als verwaarloosbaar klein.
		beschikbaarheid commando-post. Meegenomen in analyse onder Mobilisatie.

Tabel 1 Overzicht externe gebeurtenissen op basis van ANSI-analyse

Weersomstandigheden zoals zware sneeuwval, harde wind en mist zijn wel beschouwd maar dragen niet bij aan de faalkans van het systeem. Deze omstandigheden resulteren tijdelijk in verminderde of geen mogelijkheid tot mobilisatie (sneeuw, mist) of plaatsing van de schotten (harde wind). De beheerder anticipeert echter op slechte weersomstandigheden door de coupures vervroegd te sluiten. Zelfs als niet wordt geanticipeerd zijn de beschikbare opbouwtijden dermate ruim dat kan worden afgewacht tot de weersomstandigheden gunstiger zijn. Ook dan is tijdige sluiting nog steeds mogelijk.

3.4 Analyse van afhankelijk falen

Het falen van meerdere componenten als gevolg van een gemeenschappelijke oorzaak wordt common cause failure genoemd ofwel afhankelijk falen. Common cause failure heeft grote invloed op de betrouwbaarheid wanneer sprake is van redundante componenten[6]. Common Cause Failure (CCF) is in de foutenboom opgenomen voor faalwijzen die onder een EN-poort zijn opgenomen. Het toepassen van CCF op faalwijzen onder een OF-poort heeft geen invloed op de berekende faalkans van de kering.

Waar mogelijk zijn de oorzaken van common cause failure expliciet gemodelleerd. Stroomstoring, brand of blikseminslag zijn zulke oorzaken die expliciet zijn meegenomen. In situaties dat de oorzaak van common cause failure niet goed aanwijsbaar of lastig te modelleren is, maar het wel aannemelijk is dat het er is, is een zogenoemd CCF-model gehanteerd. In deze gevallen is het zogenaamde Beta-model toegepast. Hierin is de factor beta een uitvalfactor voor een gemeenschappelijke oorzaak bij meerdere componenten. Een beta factor van 0,1 geeft aan dat 10% van de gebeurtenissen dat component 1 faalt te wijten is aan een gemeenschappelijke oorzaak waardoor component 2 ook faalt.

Conform de norm IEC 61508-6 ligt de beta-factor over het algemeen tussen de 0,1 en 0,05. In specifieke gevallen kan hier van worden afgeweken. In deze analyse is een conservatieve beta-factor van 0,1 gehanteerd omdat gedetailleerde informatie over de daadwerkelijke samenhang ontbreekt. Het beta-model is toegepast op onderstaande gebeurtenissen:

[6] Dit houdt in dat bepaalde onderdelen dubbel aanwezig zijn, zodat het geheel goed blijft functioneren wanneer een onderdeel uitvalt.

Gebeurtenis	Beoordelings-aspect	Beta-factor CCF
Personeel valt uit door ziekte	Mobilisatie	De belangrijkste gemeenschappelijke oorzaak van ziekteverzuim is griep. Er is sprake van een serieuze epidemie als in 1 week 120 op de 100.000 personen met griepklachten naar de dokter gaan, oftewel 0,12%. Dit zegt echter niets over het werkelijke aantal patiënten, omdat de meeste mensen griep gewoon uitzieken. Wikipedia meldt (zonder verdere bronvermelding) dat jaarlijks 820.000 mensen griep krijgen. Dat is ongeveer 1 op de 20 mensen. Als voor de gemiddelde ziekteduur 1 week wordt aangenomen en tevens wordt aangehouden dat dit altijd in het winterhalfjaar optreedt dan is de kans dat een willekeurig persoon griep heeft dus 5% x 1/26 = 1,9E-3. Gegeven dat 1 persoon in een team griep heeft, dan neemt de kans dat een ander teamlid het ook heeft toe omdat griep besmettelijk is. Als hiervoor een 'overdrachtskans' van 10% wordt aangehouden (dus als teamlid A griep heeft dan is de kans 10% dat teamlid B tegelijkertijd ook griep heeft) dan is de kans dat 5 personen tegelijkertijd griep hebben 1,9E-3*0,1*0,1*0,1*0,1=1,9E-7. Dit is in het model geïmplementeerd door een beta-factor van 1,9E-7 / 1,9E-3 =1E-4 te hanteren. Door beheerder is aangegeven dat tenminste 10 personen in de organisatie in staat zijn de opbouw te coördineren. Als ervan wordt uitgegaan dat tenminste de helft hiervan is ingeroosterd danwel gemobiliseerd kan worden, dan faalt de coördinatie dus als tenminste 5 personen tegelijkertijd ziek zijn.
Werkzaam-heden toegangsweg	Mobilisatie	0,1 (conservatieve aanname). Gaat om kans dat Kuiperstraat niet beschikbaar is als IJsselkade eruit ligt.

3.5 Analyse menselijk falen

Tijdens alle fasen (van Alarmering tot en met Technisch falen) kunnen er menselijke fouten optreden die invloed hebben op de betrouwbaarheid van de sluiting. Met behulp van het OPSCHEP^{KERINGEN}-model en de bijbehorende handleiding [Ref. 3] wordt een inschatting gemaakt van de bijdrage van menselijk falen. De oorzaak van menselijk falen bij de reguliere bediening kan zijn:

1. Het niet detecteren van de noodzaak tot de operationele handeling
2. Het niet uitvoeren van de gewenste handeling binnen de beschikbare tijd
3. Het niet correct uitvoeren van de gewenste handeling
4. Het falen van een herstelactie.

Met behulp van het OPSCHEP^{KERINGEN}-model is de oorzaak gekwantificeerd voor de volgende handelingen:

1. Falen tijdens inladen onderdelen bij loods (mobilisatie)
2. Falen herstel na falen levering materiaal (mobilisatie)

3. Falen tijdens opbouw keermiddel (bediening)
4. Falen herstel fout opbouw keermiddel (bediening)
5. Falen noodoplossing opbouw tweede keermiddel (technisch falen)

De beschikbare tijd voor herstel is van grote invloed op de faalkans van het systeem. Bij een grote beschikbare tijd tussen het moment van mobiliseren en het passeren van de hoogwatergolf is er meer tijd beschikbaar om eventuele problemen te verhelpen. Dit betekent dat bij signaleren van een probleem er nog tijd beschikbaar is om een oplossing te vinden. Problemen resulteren dus niet in falen van het systeem mits er voldoende tijd is om het probleem op te lossen. Voor de coupures Berkelkade geldt dat de tijd tussen sluitpeil en overschrijden drempelniveau (dit is aangehouden als moment dat sluiting van de coupure niet meer mogelijk is) circa 50 uur bedraagt. Dit is aangehouden in het OPSCHEP-model als beschikbare tijd voor herstel[7].

Een punt van aandacht is nog de mogelijkheid van overbelasting van de crisis-organisatie bij het optreden van een relatief groot aantal problemen in een kort tijdsbestek. Dit wordt in dit geval niet waarschijnlijk geacht. Het aantal coupures dat het waterschap moet sluiten is beperkt en de beschikbare tijd voor herstel is groot. Overbelasting van de crisisorganisatie is daarom niet meegenomen in de analyse.

Faalmechanisme	**Faalkans gebeurtenis**	**Faalkans herstel**
Mobilisatie – levering materiaal	3E-4 per vraag	4,1E-3 per vraag
Bediening – opbouw keermiddel	3E-4 per vraag	4,1E-3 per vraag
Technisch falen – opbouw noodkering	1,1E-2 per vraag	-

Tabel 2 Overzicht faalkansen menselijk handelen

De invul-lijsten en toegepaste aannames / uitgangspunten zijn opgenomen in bijlage B.

3.6 Analyse van Technisch falen

3.6.1 Analyse van niet-merkbaar falen

Niet merkbaar falen is falen van een onderdeel of van het object zonder directe terugmelding. Falen van het onderdeel komt pas aan het licht bij inspectie, bij een testsluiting of bij een sluitvraag.

Uitgangspunt is dat er een maal per jaar een inspectie-/onderhoudsronde wordt uitgevoerd. Daarnaast wordt voorafgaand aan een hoogwater de coupure nogmaals geïnspecteerd. De volgende gebeurtenissen kunnen als niet-merkbaar falen worden aangemerkt:

- Aanrijding sponning (uitgangspunt: wordt niet gemeld)
- Vervuiling /aangroei in sparing staanders
- Eerder beschadigd element meegenomen
- IJs in sparing staanders

[7] Bij sommige werkbladen is ook uitgegaan van 24 uur. Dit heeft geen invloed op de berekende faalkansen.

Alleen de eerste twee gebeurtenissen kunnen worden waargenomen bij de inspectie voorafgaand aan plaatsing. Als per abuis een eerder beschadigd element is meegenomen dan wordt dit pas tijdens plaatsing ontdekt. Ditzelfde geldt voor ijs in de sparing van de staanders of het schroefgat.

3.6.2 Analyse van merkbaar falen

Merkbaar falen is falen van een onderdeel of van het object met directe terugmelding. Falen van het onderdeel wordt direct opgemerkt en niet pas bij inspectie, bij een testsluiting of bij een sluitvraag. Omdat de coupure midden in bebouwd gebied is gelegen, ligt het voor de hand dat een aanrijding van de sponning snel wordt gemeld en dus onder merkbaar falen valt. Bij gebrek aan gegevens is in deze analyse vooralsnog (conservatief) uitgegaan van niet-merkbaar falen. Hetzelfde geldt voor diefstal uit de loods of brand in de loods waar de schotbalken zijn opgeslagen. Dit zal eveneens direct worden opgemerkt door de medewerkers van de zuivering.

3.6.3 Analyse van falen tijdens missie

Falen tijdens missie betreft faalgebeurtenissen waarbij de opbouw van de coupure wordt gehinderd of voorkomen, zoals een auto of andere (grote) objecten op de drempel van de coupure.

3.6.4 Analyse van spontaan falen

Omdat de coupure geen elektronische of mechanisch aangedreven componenten kent speelt spontaan falen geen rol in de analyse.

3.7 Kwalitatieve en kwantitatieve analyse

Op basis van de beschikbare gegevens en de uitgevoerde analyses in bovenstaande paragrafen zijn foutenbomen opgesteld voor de beoordelingsaspecten Alarmering, Mobilisatie, Bediening en Technisch falen. Deze zijn doorgerekend met behulp van het programma Isograph Reliability Workbench. Een nadere onderbouwing van de faalkansen die hierbij zijn gehanteerd is te vinden in bijlage C. De foutenbomen zelf zijn opgenomen in bijlage D.

Uit de doorrekening van de opgestelde foutenbomen met Isograph Reliability Workbench blijkt een faalkans van 1,80E-5 per vraag. Deze faalkans is als volgt opgebouwd:

Beoordelingsaspect	**Faalkans per vraag**
Alarmering	1,1E-13
Mobilisatie	8,2E-06
Bediening	8,9E-06
Technisch falen	1,0E-06
Totaal	**1,8E-05**

Tabel 3 Overzicht berekende faalkansen coupure Berkelkade

Te zien valt dat de faalkansen voor Mobilisatie en Bediening maatgevend zijn ten opzichte van de faalkansen voor Alarmering en Technisch falen. Uit de foutenbomen in bijlage D blijkt dat hierbij de volgende faalgebeurtenissen bepalend zijn:

- Mobilisatie: Te weinig personeel op commandopost (Q=5,3E-6)
  Deze faalkans is in sterke mate afhankelijk van de aannames die zijn gedaan voor het aantal personen dat beschikbaar is om de mobilisatie te coördineren.

De gehanteerde beta-factor berust eveneens op een globale beschouwing maar is nu nauwelijks van invloed op deze faalkans.

- Bediening: combinatie Verkeerde handeling én Herstel faalt (Q=4,2E-6)
  De onderliggende faalkansen zijn bepaald met behulp van het OPSCHEP-model
- Bediening: combinatie Gereedschap niet aanwezig / in orde én Herstelactie gereedschap faalt (Q=4,1E-6)
  De onderliggende faalkansen zijn bepaald op basis van expert judgement respectievelijk met behulp van het OPSCHEP-model.

4 Score met scoretabellen

In dit hoofdstuk wordt de faalkans voor de beoordelingsaspecten Alarmering, Mobilisatie, Bediening en Technisch falen inclusief herstelacties voor de coupure Berkelkade geschat met de scoretabellen uit [Ref. 4]. Vervolgens wordt dit vergeleken met de berekende resultaten uit het vorige hoofdstuk.

4.1 Resultaat scoretabellen

4.1.1 Scoretabel Alarmering

De score voor het deelaspect Alarmering wordt bepaald aan de hand van drie vragen.

Vraag		Antwoord	Score
a	Wordt het contact met Rijkwaterstaat tenminste jaarlijks geverifieerd?	ja	4
b	Is er een tweede methode voor hoogwateralarmering?	ja	2
c	Is er een mogelijkheid dat de bevolking tijdig waarschuwt?	ja	1
E1	Kunstwerk niet sluiten door falen Alarmering	a+b+c	7

Tabel 4 Scoretabel Alarmering

Vraag a. Wordt het contact met Rijkwaterstaat tenminste jaarlijks geverifieerd?
Antwoord: Ja, dit is opgenomen in supplement 06 Alarmeringsregeling van het Calamiteitenplan.

Vraag b. Is er een tweede methode voor hoogwateralarmering?
Antwoord: Ja, zodra het RWS-systeem uitvalt gaat het waterschap op eigen punten de waterstanden monitoren. Tevens wordt dan het Duitse meetnet geraadpleegd. Dit is opgenomen in supplement 06 Alarmeringsregeling van het Calamiteitenplan. Tot slot reizen de eigen medewerkers dagelijks over de rivier en zien de waterstand stijgen. Hoewel dit niet vast ligt in het calamiteitenplan maakt dit de kans dat een hoogwater niet wordt opgemerkt ook kleiner.

Vraag c. Is er een mogelijkheid dat de bevolking tijdig waarschuwt?
Antwoord: Ja, de coupure ligt in de bebouwde kom van Zutphen.

De faalkans volgens de scoretabel bedraagt hiermee E1 = 1,0E-7.

4.1.2 Scoretabel Mobilisatie

De score voor het deelaspect Mobilisatie wordt bepaald aan de hand van de volgende vragen.

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
c	Indien coupure: zijn de kerende elementen op dezelfde plaats opgeslagen als de reserve elementen?	nee/nvt	0
E2	Kunstwerk niet sluiten door falen Mobilisatie	a4+b+c	5

Tabel 5 Scoretabel Mobilisatie

Vraag a1. Is er een schriftelijk vastgelegde up to date mobilisatieregeling inclusief standby regeling en terugmeldingssysteem?
Antwoord: Ja. De mobilisatieregeling inclusief stand-by regeling en terugmeldingssysteem is vastgelegd in bijlagen 4.4.1 en 4.4.2 van het Deelbestrijdingsplan Hoog buitenwater. Daarnaast is een Continuïteitsplan bij grootschalige uitval medewerkers opgenomen in het Calamiteitenplan.

Vraag a2. Wordt de mobilisatie jaarlijks geoefend?
Antwoord: Ja, dit is vastgelegd in supplement 04 Opleiding- en oefenprogramma van het Calamiteitenplan.

Vraag a3. Worden de ervaringen van de oefening en mobilisaties teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling?
Antwoord: Ja, dit is vastgelegd in supplement 04 Opleiding- en oefenprogramma van het Calamiteitenplan.

Vraag b. Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de mobilisatieregeling?
Antwoord: Ja, de in de foutenboom uitgewerkte mogelijkheden tot herstel zijn op diverse plaatsen vastgelegd in het Calamiteitenplan en het Deelbestrijdingsplan Hoog buitenwater.

Vraag c. Indien coupure: zijn de kerende elementen op dezelfde plaats opgeslagen als de reserve elementen?
Antwoord: Nee, op 3 locaties in het beheersgebied van het waterschap liggen reserve-elementen opgeslagen waarmee de noodkering kan worden opgebouwd.

De faalkans volgens de scoretabel bedraagt hiermee E2 = 1,0E-5.

4.1.3 *Scoretabel Bediening*

De score voor het deelaspect Bediening wordt bepaald aan de hand van de volgende vier vragen.

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: alleen van toepassing als het kunstwerk niet in het kust- of merengebied ligt	ja	2
E3	Kunstwerk niet sluiten door falen Bediening	a4+b	5

Tabel 6 Scoretabel Bediening

<u>Vraag a1. Is een sluitprocedure aanwezig?</u>
Antwoord: Ja. De sluitprocedure is vastgelegd in bijlage 4.12 van het Deelbestrijdingsplan Hoog buitenwater.

<u>Vraag a2. Wordt de sluitingsprocedure minstens eenmaal per jaar geoefend?</u>
Antwoord: Ja, dit is vastgelegd in supplement 04 Opleiding- en oefenprogramma van het Calamiteitenplan.

<u>Vraag a3. Worden de ervaringen van de oefening en bediening teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de sluitprocedure?</u>
Antwoord: Ja, dit is vastgelegd in supplement 04 Opleiding- en oefenprogramma van het Calamiteitenplan.

<u>Vraag b. Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de sluitprocedure?</u>
Antwoord: Ja, de in de foutenboom uitgewerkte mogelijkheden tot herstel zijn op diverse plaatsen vastgelegd in het Calamiteitenplan en het Deelbestrijdingsplan Hoog buitenwater.

De faalkans volgens de scoretabel bedraagt hiermee E3 = 1,0E-5.

4.1.4 Scoretabel Technisch falen

De score voor het deelaspect Technisch falen wordt bepaald aan de hand van de volgende vragen. De gemaakte keuzen worden onder de tabel toegelicht.

Onderdeel	Vraag		Antwoord	Score
A	a1	is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?	ja	0,5
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	1,5
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	0,5
Aandrijving	c	is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	ja	0,5
Aandrijving	b1	is er een tweede aandrijfsysteem?	ja	1
Aandrijving	d	Aandrijving faalt (tussen score)	c+b1	1,5
Keermiddel	e	Is er een risico van merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	nee	1,5
Keermiddel	f	Is er een risico van niet-merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	nee	1,5
Keermiddel	g	Is er een risico van betekenis op belemmering waardoor de sluiting faalt?	nee	1
Keermiddel	b2	is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?	ja/nvt	0,5
Keermiddel	h	Falen tijdens sluiten: belemmering (tussenscore)	g+b2	1,5
Keermiddel	i	Keermiddel 1 faalt (tussenscore)	min(e,f,h)	1,5
Sluiting eerste keermiddel	j	Sluiting keermiddel 1 faalt (tussenscore)	Min(d,i)	1,5
2de keermiddel	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	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?	ja	0,25
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	4,75

Tabel 7 Scoretabel Technisch falen

De faalkans van de coupure Berkelkade met standaard foutenboom en scoretabel voor het beoordelingsaspect Technisch falen is $10^{-4,75} = 1{,}78 \cdot 10^{-5}$ per sluitvraag.

<u>Vraag a1: is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?</u>
Antwoord: Ja. Het waterschap is momenteel bezig met het opstellen van een B&O-plan voor alle hoogwaterkerende kunstwerken. Vooruitlopend hierop is de score 'ja' ingevuld.

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, de sluiting wordt jaarlijks geoefend. Daarnaast worden de materialen jaarlijks voorafgaand aan het hoogwaterseizoen in de loods geïnspecteerd.

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, dit is vastgelegd in supplement 04 Opleiding- en oefenprogramma van het Calamiteitenplan.

Vraag c: is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?
Antwoord: Ja. Indien plaatsing van de schotten met de mobiele kraan niet lukt, kunnen ze handmatig geplaatst worden.

Vraag b1: is er een tweede aandrijfsysteem?
Antwoord: Ja, zie antwoord bij vraag c.

Vraag e: Is er een risico van merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?
Antwoord: Nee. Merkbaar falen treedt op door aanrijding van de sponningen, schotten of staanders van de coupure, andere oorzaken worden niet realistisch geacht. Er worden big bags geplaatst om de coupure hiertegen te beschermen. Hiermee is dit risico beheerst.

Vraag f: Is er een risico van niet-merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?
Antwoord: Nee. Niet-merkbaar falen kan optreden als een sponning is aangereden of als materiaal vermist/defect is. Voorafgaand aan het hoogwaterseizoen en opnieuw voorafgaand aan daadwerkelijk hoogwater worden de coupures en het materiaal geïnspecteerd. Omdat de herstelmaatregel vooraf is uitgewerkt is dit risico hiermee beheerst.

Vraag g: Is er een risico van betekenis op belemmering waardoor de sluiting faalt?
Antwoord: Nee. Enige realistische belemmering is een geparkeerde auto, deze kan worden weggesleept met het materieel dat voor de plaatsing benodigd is. Hiermee is dit risico beheerst.

b2: Is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?
Antwoord: Ja, zie antwoord bij vraag g.

Vraag b3: Is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerste keermiddel niet gesloten kon worden?
Antwoord: Ja. In dat geval wordt met folie, zandzakken en klei een alternatieve kering opgebouwd.

Vraag k: Is er een risico van falen van het keermiddel van betekenis?
Antwoord: Ja. De sluiting van deze tweede kering wordt niet periodiek geoefend, daarom is deze vraag met ja beantwoord.

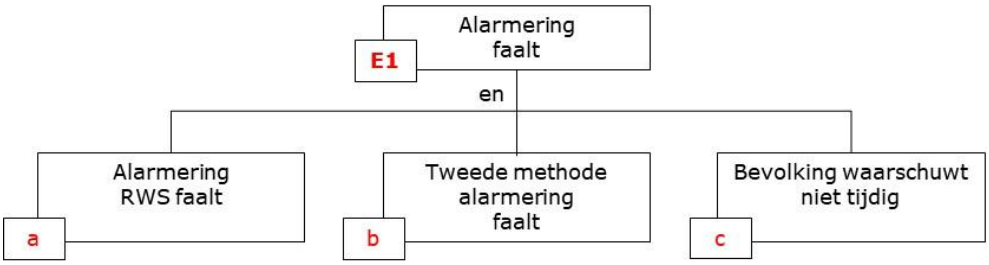
De faalkans volgens de scoretabel bedraagt hiermee E4 = 1,0E-4,75 = 1,78E-5.

4.2 Vergelijken scoretabellen met foutenbomen geavanceerde analyse

In deze paragraaf worden de scores uit de beoordeling met de scoretabellen vergeleken met de berekende scores uit de foutenbomen in bijlage D. Om een goede vergelijking mogelijk te maken is het soms nodig de foutenbomen uit bijlage D enigszins om te schrijven.

4.2.1 *Alarmering*

Voor dit beoordelingsaspect is de geavanceerde foutenboom een nadere uitwerking van de standaard foutenboom zoals opgenomen in Figuur 5. Hierbij is 'Hoogwateralarmering RWS faalt' omschreven als 'Primaire systeem faalt' en 'Tweede methode alarmering faalt' als 'Geen herstel vanuit eigen organisatie'. Omwerken van de foutenboom is dan ook niet nodig.



Figuur 5 Standaard foutenboom Alarmering

In onderstaande tabel zijn de faalkansen opgenomen voor de deelgebeurtenissen uit de standaard foutenboom.

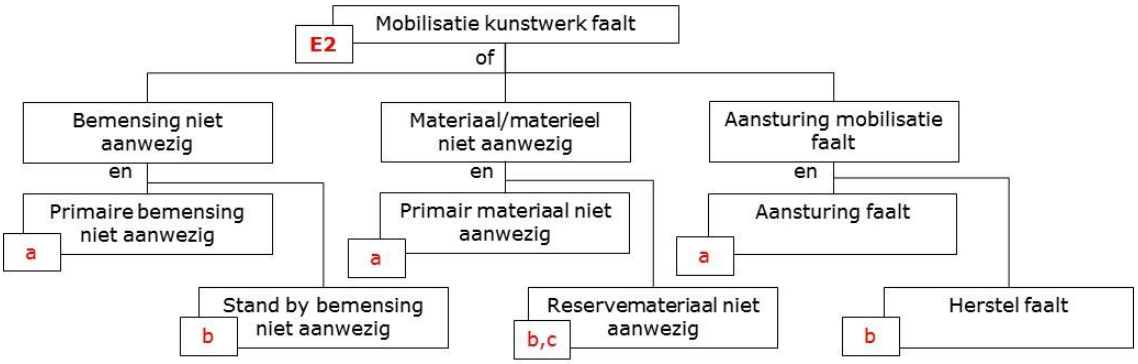
Aspect	**Score uit scoretabellen**	**Score geavanceerde analyse**
Hoogwater alarmering RWS faalt	1,0E-4	1,1E-4
Tweede methode alarmering faalt	1,0E-2	1,0E-8
Bevolking waarschuwt niet	1,0E-1	1,0E-1
Totaal	**1,0E-7**	**1,1E-13**

Tabel 8 Vergelijking score uit scoretabellen met score uit geavanceerde analyse

Te zien valt dat de faalkans voor Alarmering door RWS met de geavanceerde foutenbomen nagenoeg overeen komt met de score uit de scoretabellen. De faalkans van de tweede methode is meerdere ordes kleiner met de geavanceerde analyse dan met de scoretabellen. Dit komt echter doordat sprake is van meerdere back-up systemen (Duits meetnet, eigen metingen, eigen waarnemingen door personeel waterschap).

4.2.2 *Mobilisatie*

Voor dit beoordelingsaspect is de geavanceerde foutenboom een nadere uitwerking van de standaard foutenboom zoals opgenomen in Figuur 6. In de geavanceerde foutenboom is bereikbaarheid van het kunstwerk opgenomen onder de takken 'Bemensing niet aanwezig', 'Materiaal niet aanwezig' en 'Materieel niet aanwezig'. Omwerken van de foutenboom is echter niet nodig omdat hier ook geen specifieke vraag in de scoretabellen aan gewijd is.



Figuur 6 Standaard foutenboom Mobilisatie

De vragen uit de scoretabellen hebben niet specifiek betrekking op de takken uit de foutenboom. Daarom kan alleen op het niveau van de topgebeurtenis de faalkans worden vergeleken. In onderstaande tabel zijn de faalkansen opgenomen voor de topgebeurtenis uit de standaard foutenboom.

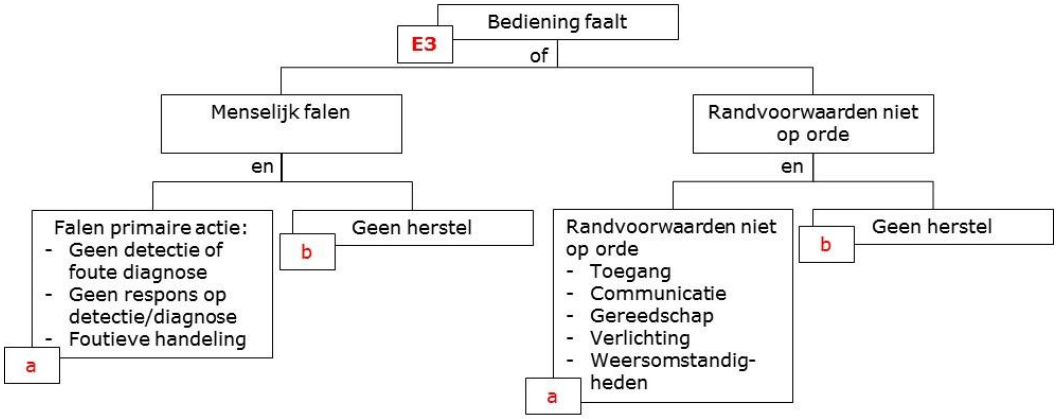
Aspect	**Score uit scoretabellen**	**Score geavanceerde analyse**
Mobilisatie faalt	1,0E-4	8,2E-6
Herstel faalt	1,0E-1	niet apart herleidbaar, in foutenboom opgenomen
Totaal	**1,0E-5**	**8,2E-6**

Tabel 9 Vergelijking score uit scoretabellen met score uit geavanceerde analyse

Te zien valt dat de faalkans voor Mobilisatie met de geavanceerde foutenbomen nagenoeg overeenkomt met de faalkans zoals berekend met de scoretabellen. Uit de geavanceerde foutenbomen blijkt dat het nog best lastig is een veiligheid van 1,0E-5 voor de mobilisatie te bereiken. Op het niveau van de deelgebeurtenissen moeten dan faalkansen orde 10^{-6} worden bereikt. Dit kan alleen door gerichte beheersmaatregelen voor gesignaleerde risico's te implementeren. Bij coupure Berkelkade is dit het geval.

4.2.3 *Bediening*

Voor dit beoordelingsaspect is de geavanceerde foutenboom een nadere uitwerking van de standaard foutenboom zoals opgenomen in Figuur 7. Omwerken van de foutenboom is dan ook niet nodig.



Figuur 7 Standaard foutenboom Bediening

De vragen uit de scoretabellen hebben niet specifiek betrekking op de takken uit de foutenboom. Daarom kan alleen op het niveau van de topgebeurtenis de faalkans worden vergeleken. In onderstaande tabel zijn de faalkansen opgenomen voor de topgebeurtenis uit de standaard foutenboom.

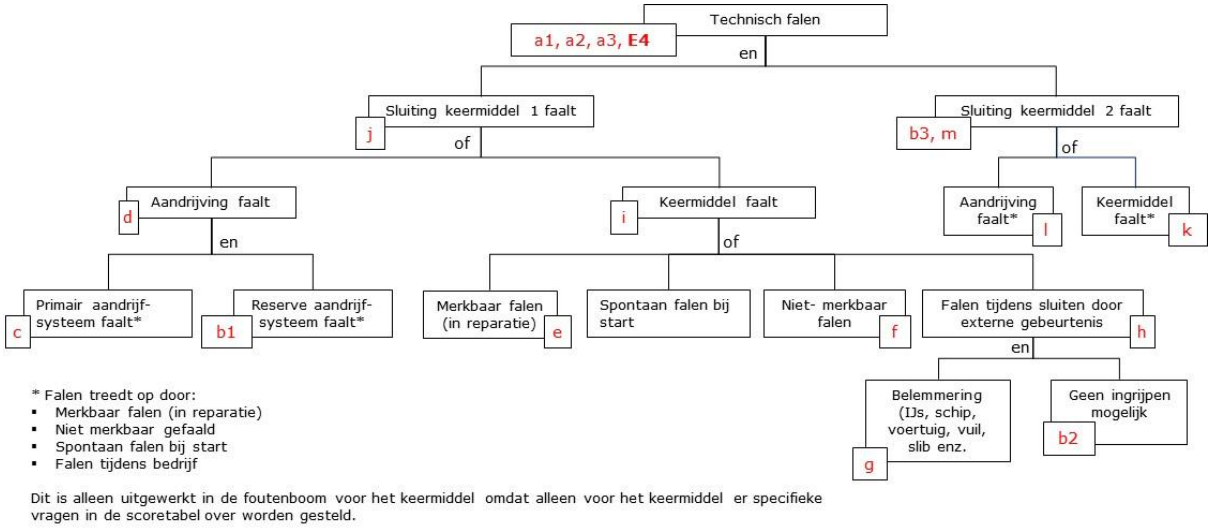
Aspect	**Score uit scoretabellen**	**Score geavanceerde analyse**
Bediening faalt	1,0E-4	8,9E-6
Herstel faalt	1,0E-1	niet apart herleidbaar, in foutenboom opgenomen
Totaal	**1,0E-5**	**8,9E-6**

Tabel 10 Vergelijking score uit scoretabellen met score uit geavanceerde analyse

Te zien valt dat de faalkans voor Bediening met de geavanceerde beoordeling nagenoeg overeenkomt met de scoretabellen.

4.2.4 *Technisch falen*

Voor dit beoordelingsaspect wijkt de geavanceerde foutenboom behoorlijk af van de standaard foutenboom zoals opgenomen in Figuur 7.



Figuur 8 Standaard foutenboom Technisch falen

Voor coupures in het algemeen is falen van de aandrijving geen relevant faalmechanisme. Deze tak van de foutenboom speelt daarom geen rol. De geavanceerde foutenboom is geheel gericht op falen van het keermiddel. De opbouw van een tweede kering is niet als aparte tak helemaal boven in de boom meegenomen, maar op een lager niveau in de boom ondergebracht bij falen keermiddel 1. Dit is gedaan omdat het (mogelijk conservatieve) uitgangspunt is gehanteerd dat in geval van een belemmering het ook niet mogelijk is de alternatieve kering op te bouwen.

De vragen uit de scoretabellen hebben hierdoor niet specifiek betrekking op de takken uit de foutenboom. Daarom kan alleen op het niveau van de topgebeurtenis de faalkans worden vergeleken. In onderstaande tabel zijn de faalkansen opgenomen voor de topgebeurtenis uit de standaard foutenboom.

Aspect	**Score uit scoretabellen**	**Score geavanceerde analyse**
Keermiddel faalt	1,0E-4	1,0E-6
Herstel faalt	1,78E-1	niet apart herleidbaar, in foutenboom opgenomen
Totaal	**1,78E-5**	**1,0E-6**

Tabel 11 Vergelijking score uit scoretabellen met score uit geavanceerde analyse

Te zien valt dat de faalkans voor Technisch falen met de geavanceerde beoordeling een orde kleiner uitvalt dan de faalkans zoals berekend met de scoretabellen.

5 Conclusies

Voor het aspect Alarmering geldt dat de faalkans op topniveau zoals bepaald met de scoretabellen meerdere ordes conservatiever is dan met de geavanceerde beoordeling. Hierbij worden de volgende opmerkingen gemaakt:

- De faalkans van de hoogwateralarmering door RWS is met de geavanceerde foutenbomen nagenoeg identiek aan de score zoals bepaald met de scoretabellen. Hierbij is ervan uitgegaan dat de alarmering van RWS (in ieder geval de toegang tot de meetgegevens en de mailing vanuit WMCN) rechtstreeks bij de calamiteitenorganisatie terechtkomt. Aanbevolen wordt dit als randvoorwaarde toe te voegen aan het document Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken [Ref. 11].
- De faalkans van de tweede methode voor Alarmering is meerdere ordes kleiner met de geavanceerde analyse dan met de scoretabellen. Dit komt doordat sprake is van meerdere back-up systemen (Duits meetnet, eigen metingen, eigen waarnemingen door personeel waterschap).

De aspecten Mobilisatie en Bediening zijn maatgevend voor de coupure Berkelkade en naar verwachting voor coupures zonder permanent keermiddel in het algemeen. Voor beide aspecten komt de score uit de scoretabellen en de score uit de geavanceerde beoordeling nagenoeg overeen, waarbij de scoretabellen licht conservatief zijn.

Voor technisch falen geldt eveneens dat de faalkans op topniveau zoals bepaald met de scoretabellen meer dan een orde conservatiever is dan met de geavanceerde beoordeling.

Op basis van bovenstaande resultaten worden geen wijzigingen aanbevolen voor de scoretabellen.

Referenties

[Ref. 1] Rijkswaterstaat Waterdienst projectbureau VNK2, Dijkring 50 – Zutphen - Achtergrondrapport Coupure Berkelkade, RWS-1497170, 21 juni 2011

[Ref. 2] Hydraulische Randvoorwaarden 2006, RIKZ – DWW - RIZA, 2007

[Ref. 3] Leidraad Risicogestuurd Beheer en Onderhoud - Handleiding kwantitatieve analyse menselijk handelen bij waterkeringen, versie 1.0, G. Heslinga, RWS-GPO, 9 juli 2013

[Ref. 4] Werkwijze bepalen kans op niet sluiten per sluitvraag met scoretabellen - Actualisatie van de gedetailleerde methode van betrouwbaarheid sluiten van kunstwerken voor ontwerpen en beoordelen, A. Casteleijn en B. van Bree, november 2017

[Ref. 5] Demontabele keringen Limburg – faalkansen VNK en opmaat WTI2017, kenmerk M2014-03-03-4, B. van Bree & R. Delhez, juni 2015

[Ref. 6] Faalkansanalyse demontabele waterkeringen, K.J. Stoeten, 10 februari 2017

[Ref. 7] Handreiking Prestatie Gestuurde Risicoanalyses (PRA) - Sturen op prestaties van systemen, Rijkswaterstaat Steunpunt ProBO, versie 1.0.0, september 2016

[Ref. 8] Handreiking Faaldatabase - Generieke, pessimistische faalgegevens, te gebruiken door opdrachtnemers, Rijkswaterstaat, definitief versie 1.0, 20 december 2016

[Ref. 9] Kwantificering scoretabellen niet sluiten, B. van Bree en A. Casteleijn, november 2017

[Ref. 10] Veiligheidsbeoordeling coupure Den Oever, Dienst Weg- en waterbouwkunde, rapportnr. W-DWW-93270, 12 november 1993

[Ref. 11] Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken, Achtergrondrapport bij het gebruik van de scoretabellen voor het faalmechanisme niet sluiten, B. van Bree, november 2017

[Ref. 12] Beschikbaarheid Meppelerdiepsluis RAMS-analyse, 243304.09, Combinatie Structon Civiel Projecten b.v. en Reef Infra b.v., 21 juli 2014

[Ref. 13] Leidraad Kunstwerken 2003, TAW, 2003

Bijlage A ANSI-analyse externe gebeurtenissen

Onderstaande tabellen geven een schematisch overzicht van de beschouwde externe gebeurtenissen, afkomstig uit de ANSI-lijst[8]. Een gebeurtenis kan op kwalitatieve gronden verwaarloosd worden indien deze voldoet aan ten minste een van de volgende vier criteria:

1. De gebeurtenis is minder schadelijk dan een gebeurtenis waarvoor de constructie ontworpen is.
2. De gebeurtenis heeft een duidelijk lagere gemiddelde frequentie van optreden dan andere gebeurtenissen met overeenkomstige onzekerheden en kan niet resulteren in ernstiger gevolgen.
3. De gebeurtenis kan niet zodanig dicht bij de constructie optreden dat de constructie door deze gebeurtenis beschadigd kan worden.
4. De gebeurtenis is begrepen in de definitie van een andere gebeurtenis.

Per externe gebeurtenis wordt in onderstaande tabel aangegeven op basis van welk van deze criteria nader onderzoek wordt uitgesloten, indien van toepassing. Gebeurtenissen die nader moeten worden beschouwd zijn aangeduid met een X in de criteriumkolom.

Gebeurtenis	**Criterium**	**Analyse**
Lawine	3	Het keermiddel bevindt zich in een vlak gebied. Lawines zijn hier onmogelijk.
Erosie van de kust	3	Coupures liggen op ruime afstand van de IJssel, alwaar een harde constructie aanwezig is om erosie tegen te gaan
Aard-verschuivingen	3	Aardverschuivingen komen niet voor in de directe omgeving van het keermiddel
Inklinking	1	Het inklinken van de ondergrond maakt onderdeel uit van het ontwerp van het keermiddel
Aardbevingen	3	Aardbevingen komen in dit deel van Nederland niet voor.
Tsunami	3	Tsunami's komen in dit deel van Nederland niet voor
Vulkaanuitbarsting	3	Vulkaanuitbarsting komen in Nederland niet voor
Externe overstroming	4	In geval van een externe overstroming in het dijktraject van de coupure doet het wel of niet gesloten zijn hiervan niet meer ter zake.
Hoogwater	1	Het keermiddel dient gesloten te worden bij hoogwater en is hierop ontworpen. De coupures zijn voorts hoogwatervrij bereikbaar, dus dit aspect speelt niet
Laagwater	3	Bij laagwater is de coupure niet opgebouwd. Extreem laagwater heeft geen impact op (de fundering) van de coupure.

[8] American National Standards Institute,

Gebeurtenis	Criterium	Analyse
Wijzigingen van de rivierloop	2	Het keermiddel ligt aan een rivier. Het zomerbed van de IJssel is vastgelegd en natuurlijke veranderingen in de loop van de IJssel worden niet waarschijnlijk geacht.
Seiche	3	Seiches komen niet voor in de omgeving van de coupure
Golven	4	Golfbelastingen zijn meegenomen in het ontwerp van de coupure
Droogte	1	Droogte vormt geen belemmering voor het functioneren van de coupure
Extreme wind en windhozen	X	Harde wind kan het opbouwen van het keermiddel bemoeilijken. Dit is meegenomen onder Bediening.
Mist	X	Mist kan leiden tot verkeersbelemmeringen waardoor de mobilisatie kan falen
Vorst	X	Vorst kan leiden tot vertraagde opbouw door ijsafzetting waardoor de afdekplaten van de staanders niet goed loskomen of de sparing gevuld is met ijs en is meegenomen in de analyse onder techniek
Hagel	1	Hagel kan leiden tot vertraagde opbouw. De duur van een hagelbui is verwaarloosbaar ten opzichte van de totale duur van de missie.
Wind met orkaankracht	3	Orkanen komen in Nederland niet voor.
IJsgang	3	Eventuele ijsgang op de IJssel is niet van invloed op de sluiting van de coupure.
Bliksem	X	Bliksem kan leiden tot brand of storingen in het opslaggebouw en is meegenomen onder Mobilisatie.
Lage winter temperaturen.	X	Meegenomen bij Vorst
Extreem hevige regenval	3	Extreem hevige regenval gedurende een dermate lange periode dat de opbouw van de coupure in gevaar komt is niet waarschijnlijk
Zandstorm	3	Zandstormen komen in Nederland niet voor.
Sneeuw	X	Sneeuwval kan de mobilisatie beïnvloeden en is daar meegenomen.
Stormopzet.	3	Stormopzet komt alleen voor aan zee
Vliegtuigongeval	1	Kans van optreden is verwaarloosbaar
Ecologische omgevingsfactoren .	X	De gaten waarin de staanders worden geplaatst kunnen kwetsbaar zijn voor vervuiling door algen e.d. Vervuiling is meegenomen onder Techniek.
Brand	X	Een brand in de opslagloods of controlepost heeft grote impact op de beschikbaarheid van het materiaal en de coördinatie. Het risico van brand is meegenomen onder Mobilisatie en Alarmering

Gebeurtenis	Criterium	Analyse
Bosbrand	3	Er zijn geen bossen in de directe omgeving van de coupure en de opslagplaats
Incident op nabijgelegen industrieel of militair terrein	2	Er zijn geen militaire bases in de directe omgeving van het keermiddel. De kans op een zodanige calamiteit op het industrieterrein dat de coupures niet kunnen worden opgebouwd wordt ingeschat als verwaarloosbaar klein.
Interne overstroming	3	Niet van toepassing op dit type constructie, geen waterleidingen in de constructie opgenomen
Meteoriet of satelliet inslag	2	De kans dat een meteoriet of satelliet inslaat op het keermiddel is verwaarloosbaar klein.
Incident met nabijgelegen pijpleiding	3	Er liggen geen pijpleidingen met potentieel gevaarlijke stoffen in de nabije omgeving van het keermiddel
Lekkage van chemicaliën op locatie	3/4	In de nabijheid van coupure en opslagplaats wordt niet met chemicaliën gewerkt.
Transportongevallen	X	Transportongevallen op de weg zijn een reële bedreiging voor de aanvoer van materiaal en materieel. Dit risico is meegenomen onder Mobilisatie.
Giftige gassen op locatie	3/4	Er zijn geen giftige gassen op de locatie, of in de directie omgeving van de locatie aanwezig
Wegschietende afgebroken turbineonderdelen	3	Er zijn geen turbines aanwezig in de directe nabijheid van de coupure
Aanvaring/aanrijding	X	Het risico van een aanrijding van de coupure is meegenomen onder Techniek.
Obstakel	X	Het risico van verhindering opbouw door een obstakel op de plaats van de coupure is meegenomen onder Techniek
Vandalisme, Terrorisme etc.	X	Het risico van vandalisme / terrorisme is niet beschouwd. Diefstal is meegenomen onder Mobilisatie.
Uitval energienet	X	Kan de alarmering en de coördinatie van de mobilisatie beïnvloeden. Dit risico is meegenomen onder Mobilisatie en Alarmering

Samenvatting externe gebeurtenissen
Op basis van de ANSI screeninglijst worden de volgende gebeurtenissen opgenomen in de foutenboom:

1. Extreme wind en windhozen
   a) Kan resulteren in verminderde mogelijkheid tot opbouwen keermiddel
   b) Uitgangspunt: bij windkracht 7 of hoger zijn de elementen niet meer plaatsbaar met de mobiele kraan. Plaatsing van de schotten met de hand is niet mogelijk.
   c) Op basis van windstatistiek KNMI, station Deelen (nabij Arnhem), tussen 1971 en 2017 (dataset bevat 404750 uur) komt windkracht 7 of meer

gedurende 350 uur voor. Gezien de ruime tijd die beschikbaar is voor sluiting is conservatief ingeschat dat dit langer dan 12 uur achtereen voor moet komen voordat de sluiting faalt. Dit betreft 3 events (in totaal 44 uur) in de afgelopen 45 jaar. De kans is dus 3/(45*365*24)=7,6E-6 per uur.

d) Gezien de gemiddelde duur van het event resulteert extreme wind in een significante vertraging. De beschikbare sluittijden zijn echter dermate ruim dat tijdige sluiting nog steeds mogelijk is. Bovendien komt harde wind niet als een verrassing en wordt hierop geanticipeerd door coupures vervroegd te sluiten. Hierdoor is de kans dat het niet lukt om de coupures te Zutphen op te bouwen vanwege windkracht > 7 Beaufort verwaarloosbaar klein.

2. Mist
   a) Kan bij zeer dichte mist resulteren in verminderde bereikbaarheid
   b) Uit een analyse van data van het KNMI [https://www.knmi.nl/kennis-endatacentrum/achtergrond/mist-en-nevel-zijn-de-afgelopen-30-jaar-sterk-afgenomen] blijkt dat de kans op zeer dichte mist beperkt is. Op circa 15 dagen in het jaar mag er gedurende ten minste een uur gesproken worden van "dichte mist" waarbij het zicht minder is dan 200 meter. Over de kans van optreden van "zeer dichte mist", zicht kleiner dan 50 meter, is geen informatie beschikbaar.
   c) Uitgangspunt faalkans: dichte mist of zeer dichte mist kan leiden tot een vertraging in de opbouw van het keermiddel. Het is niet aannemelijk dat gedurende de gehele opbouwperiode zeer dichte mist aanwezig is. Mist is voorspelbaar en er is ruime hersteltijd (ca. 50 uur) beschikbaar.
   d) Tevens wordt de kans dat het verkeer op het kleine stukje tussen zuivering Zutphen en coupure Berkelkade (ca 3 km) zodanig lang vast staat dat de opbouw niet tijdig lukt als verwaarloosbaar klein ingeschat.

3. Vorst
   a) Kan resulteren in ijs in gaten voor staanders
   b) Meegenomen in analyse onder Techniek

4. Bliksem
   a) Betreft blikseminslag in commandopost. Heeft impact op onder andere digitale bereikbaarheid / beschikbaarheid commandopost.
   b) De kans op blikseminslag kan berekend worden conform NPR 1014:2009 - Leidraad bij de NEN-EN-IEC 62305. Hierbij wordt uitgegaan van 2,5 aanslagen per km^2 per jaar.
   c) De kans op inslag is mede afhankelijk van het type gebouw en de aanwezigheid van beveiliging tegen blikseminslag. Op basis van data verkregen uit een eerder project is de kans geschat op 1,0E-08 per uur.

5. Sneeuw
   a) Kan resulteren in verminderde mogelijkheid tot opbouwen coupure en/of verminderde bereikbaarheid locatie coupure
   b) Enkel bij zware sneeuwval en/of dermate veel sneeuw dat de locaties onbereikbaar worden door gladheid resulteert sneeuw in falen. In de periode 1961 tot 1990 kende het weerstation Twenthe 52 dagen met een sneeuwdek > 10 cm en 4 dagen met een sneeuwdek > 20 cm.

[KNMI, Risicosignalering_Winterse_neerslag.pdf]. Het sneeuwseizoen valt samen met het hoogwaterseizoen (ca. 6 maanden per jaar). Conservatieve aanname is dat een event waarbij de sneeuwdiepte groter is dan 10 cm gemiddeld 2 dagen duurt, hiermee komt het gemiddelde aantal momenten "zware sneeuwval" op 26/30 = 0,87 keer per jaar.

c) Door de auteurs wordt ingeschat dat de kans op sneeuw voorafgaand aan hoogwater niet groot is. De IJssel krijgt zijn water vanuit de Rijn, een gemengde rivier die wordt gevoed door smeltwater en regenwater. Circa 45% van het debiet ontstaat in Zwitserland en komt geheel voort uit smeltwater (bron: Wikipedia). Hoogwater treedt op als de sneeuw smelt in Zwitserland in combinatie met hevige regenval in Duitsland. Vervolgens is het nog enkele dagen onderweg vanuit Duitsland naar Zutphen. In die tijd kan het weer omslaan en hevige sneeuwval optreden. Hoewel de kans op een dergelijke weersomslag als erg klein wordt ingeschat kan samenval van mobilisatie en sneeuw niet 100% worden uitgesloten. De kans op zware sneeuwval voorafgaand aan hoogwater is echter lastig te kwantificeren.
d) Een dergelijke sneeuwval komt niet als een verrassing. Hierop wordt geanticipeerd door coupures vervroegd te sluiten. De kans dat men wordt verrast door zware sneeuwval wordt ingeschat als klein (1E-2, eigen inschatting door auteurs).
e) Daarnaast is het ook niet zo dat bij meer dan 10 cm sneeuwval dit per definitie ertoe leidt dat de coupures niet gesloten kunnen worden. De transportafstanden zijn kort (<2 km) waardoor de kans groot is dat ook bij zware sneeuwval succesvol gemobiliseerd kan worden. De kans dat de mobilisatie faalt bij zware sneeuwval wordt ingeschat op 1E-1 (eigen inschatting auteur, naar de mening van beheerder nog conservatief).
f) Ook ijzel kan voorkomen in de periode voorafgaand aan hoogwater. Hier is geen data van beschikbaar. IJzel is doorgaans een kortdurend fenomeen (tijdsschaal enkele uren), de vertraging die hierdoor ontstaat leidt niet tot falen van de opbouw.
g) De kans op sneeuw >10 cm bedraagt P = 0,87 /(180x24) = 2.0 E-4 per uur. De faalkans voor niet-sluiten als gevolg van sneeuw bedraagt 2,0E-4 x 1E-2 x 1E-1 = 2,0E-7.

6. Ecologische omgevingsfactoren
   a) Betreft aangroei van algen / andere planten in gaten staanders / op locatie keermiddel
   b) Meegenomen in bestaande analyse onder Techniek

7. Brand
   a) Betreft brand in opslag (zuivering Zutphen) of centrale bedienpost (kantoor WRIJ)
   b) De loods op de zuivering Zutphen is voorzien van automatische brandmelders. De brandweer kan middels een sleutel het terrein betreden (sleutelkast).
   c) De centrale bedienpost is voorzien van automatische brandmelders.
   d) De kans op brand is ingeschat aan de hand van de brandmonitor 2015 [Verbond van Verzekeraars, 2016]
   e) Uit de brandmonitor volgt dat jaarlijks bij 1 op 1053 woningen inzet van de brandweer benodigd is, waarbij een sterke correlatie beschreven wordt tussen brandschade, nieuwjaar of noodweer.

f) Brand resulteert enkel in falen indien de mobilisatie ernstig verstoord wordt of indien de stalen schotten en staanders beschadigd raken. Gegeven dat er een brand optreedt is het gevolg afhankelijk van de schade, en daarmee de grootte van de brand. De kans op een grote brand is derhalve afhankelijk van de kans op brand vermenigvuldigd met de kans op overdracht van het gefaalde element naar de belendende elementen.
g) Indien een handmatige brandmeldinstallatie en brandblusmiddelen aanwezig zijn bedraagt de overdrachtskans 0,3. Indien een sprinkerinstallatie aanwezig is bedraagt de overdrachtskans met een factor 0,1. [RINK, 2012]
h) Indien uitgegaan wordt van de kans op brand met inzet brandweer in een woning bedraagt de brandkans 1/1053 per jaar. Een gemiddelde woning beschikt niet over professionele brandblusmiddelen; de zuivering Zutphen en het WRIJ-kantoor wel. Op basis hiervan wordt de kans op brand gereduceerd met een overdrachtskans van 0,3 (geen sprinkler aanwezig).
i) Op basis van de gegevens van de bond van verzekeraars en correctie voor aanwezigheid brandmelders en brandblusmiddelen bedraagt de brandkans 2,85 E-4 per jaar (1 maal per 3510 jaar) = 3,25 E-8 per uur.
j) Indien een analyse aan de hand van de methode Bouwman (2015) wordt uitgevoerd hangt de brandkans sterk af van het aangenomen aantal objecten met een ontstekingskans. Bouwman geeft bijvoorbeeld voor een enkel draaiend dieselaggregaat een ontstekingskans van 6,7E-3 per jaar en voor een e-kast een ontstekingskans van 6,0E-5 per jaar. Het is niet exact bekend wat er in de loods op de zuivering Zutphen aan actief materiaal aanwezig is. De analyse is op dit punt niet nader uitgewerkt.
k) Uitgangspunt is dat brand in de loods op de zuivering Zutphen waarbij inzet van de brandweer is vereist resulteert in verlies van een groot aantal schotten en staanders. Functioneel herstel in 1 maand (noodoplossing).
l) Uitgangspunt is dat brand in het WRIJ-kantoor niet resulteert in falen. Ingeschat wordt dat binnen 24 uur een alternatieve accommodatie kan worden gevonden van waaruit de aansturing kan worden opgepakt. Er is dan nog voldoende tijd beschikbaar voor de sluiting.

8. Transportation accidents / Transportongevallen
   a) Betreft aanrijding / ongeval transportmiddel personeel en/of materieel
   b) Meegenomen in analyse onder mobilisatie.

9. Aanvaring / aanrijding
   a) Betreft aanrijding keermiddel/sponning en wordt meegenomen in analyse onder techniek.
   b) Niet meegenomen: object valt op keermiddel / wand. De kans dat een sponning defect raakt door een aanrijding is in een studie naar demontabele keringen in Limburg[9] geschat op 0,01 / vraag. De kans dat een object de keerwand valt en door de keerwand onherstelbaar beschadigd raakt is gevoelsmatig significant kleiner dan de kans op een aanrijding. Dit wordt onderbouwd door het feit dat er in Limburg

[9] Demontabele keringen Limburg – faalkansen VNK en opmaat WTI2017"; kenmerk M2014-03-03-4, B van Bree & R. Delhez, juni 2015

meerdere sponningen zijn aangereden terwijl er nog geen incidenten hebben plaatsgevonden waarbij de keermuur onherstelbaar beschadigd is. Het event "object valt op keermiddel" is daarom verder niet meegenomen in de analyse.

10. Obstakel
    a) Betreft obstakel (auto, bloembak etc.) op tracé en wordt meegenomen in analyse onder Techniek.

11. Vandalisme, Terrorisme, Diefstal
    a) Kan resulteren in verminderde mogelijkheid tot opbouwen keermiddel
    b) De kans op terrorisme wordt verwaarloosbaar geacht. Vandalisme valt niet uit te sluiten maar is tot op heden nog niet voorgekomen. Er is nog nooit ingebroken in de opslag.
    c) Op basis van gegevens van de Bond van Verzekeraars (Risicomonitor 2013, 2014, 2015) wordt jaarlijks bij 1 op de 95 a 201 woningen ingebroken. Het aantal inbraken in bedrijfscomplexen wordt niet gepubliceerd, wel is bekend dat locaties met metalen een bovengemiddelde risicoklasse hebben [Verbond van verzekeraars, VRKI 2015]. Dit is niet meegenomen in de analyse.
    d) Diefstal resulteert enkel in falen indien een groot aantal onderdelen wordt meegenomen waardoor opbouw van een keermiddel niet meer mogelijk is. Dit vergt de nodige voorbereiding omdat groot materieel benodigd is om de schotten te tillen en vervoeren. De kans dat bij een inbraak een grote hoeveelheid materiaal wordt meegenomen is daardoor beperkt.
    e) Om deze reden is ingeschat dat de kans op een inbraak in de loods op de zuivering Zutphen een orde kleiner is dan de kans op een inbraak in een willekeurige woning. Hiervoor is de gemiddelde waarde aangehouden uit de gegevens van de Bond van Verzekeraars (1/150 per jaar) en is de kans op diefstal van een aantal profielen uit de loods op de zuivering Zutphen ingeschat op 1/1500 per jaar.
    f) Uitgangspunt met betrekking tot herstel is dat binnen 1 maand functioneel herstel kan plaatsvinden middels een noodmaatregel.

12. Uitval energienet
    a) Betreft uitval landelijk energienet. Heeft impact op oa. bereikbaarheid / beschikbaarheid commando-post omdat computers uitvallen, het mobiele netwerk zeer waarschijnlijk overbelast raakt (zie stroomstoring Amsterdam, januari 2017), verkeers-regelinstallaties niet meer werken etc..
    b) Door de lange tijd die beschikbaar is voor de sluiting is uitval van het energienet enkel relevant bij langdurige uitval.
    c) Netbeheer Nederland geeft een indicatie van de betrouwbaarheid van elektriciteitsnetten in Nederland aan de hand van 2014. Gemiddeld treden er 0,276 storingen per jaar op met een gemiddelde storingsduur van 72,5 minuten.
    d) Liander gaf in de media naar aanleiding van de storing in Amsterdam (Januari 2017) een indicatie van 1 maal per 20 jaar > 4 uur. Dit is orde gegevens netbeheerder Nederland.
    e) Kortdurend: Netbeheer Nederland Betrouwbaarheid van elektriciteitsnetten in Nederland Resultaten 2014: 0,276 storingen per

jaar --> 3,15E-5 per uur; gemiddelde storingsduur 72,5 minuten --> 1,21 uur

f) De organisatie beschikt over een continuiteitsplan bij stroomuitval. Uitgangspunt is dat bij storing langer dan 24 uur gedurende de alarmering / mobilisatie dermate verstoord wordt dat een deel van de keermiddelen niet op tijd kan worden opgebouwd (locatiespecifieke faalkans). Lineaire extrapolatie van de gegevens van Liander (1x per 20 jaar > 4 uur)en Netbeheer Nederland (1x per jaar > 1 uur (afgerond)) levert een indicatieve faalkans van 1x per 120 jaar.
g) Faalkans op basis van gegevens Liander en gegevens Netbeheerder: 9.5E-7 / uur

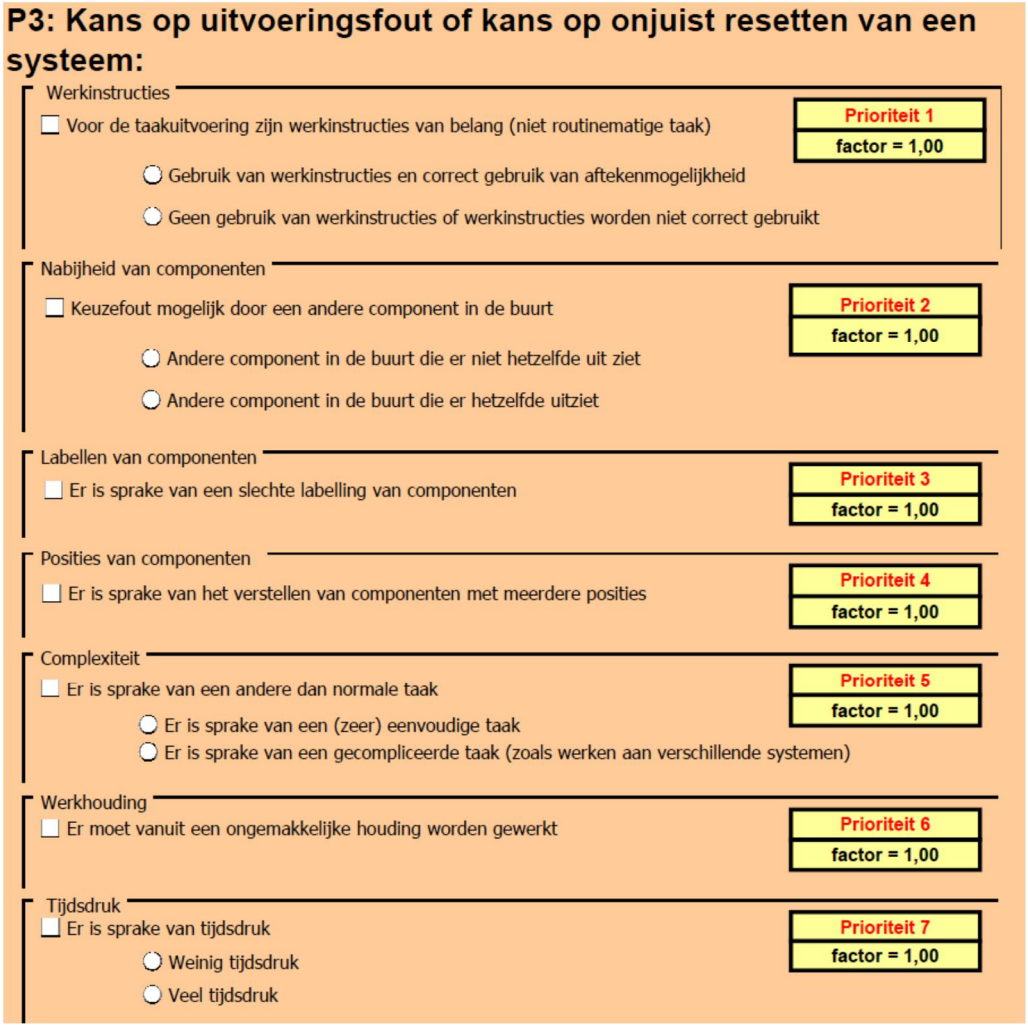
Bijlage B Faalkans menselijk handelen

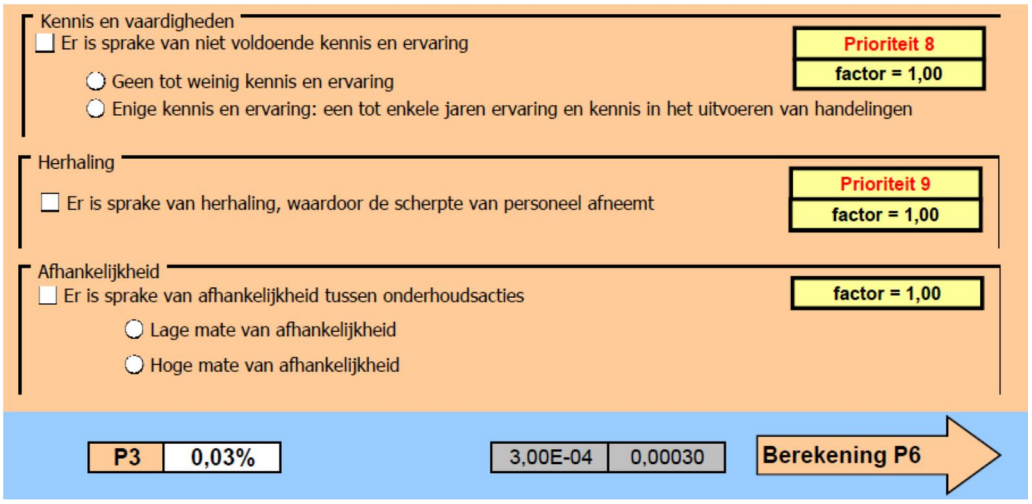
B.1 Onjuist / te weinig materiaal meegegeven

Oorzaak van menselijk falen bij levering materiaal kan een verzuimfout zijn.

De volgende omstandigheden van toepassing, dit geeft een faalkans van P = 3.0E-4.

- Er is een werkinstructie/bedienhandleiding aanwezig die correct gebruikt wordt.
- Keuzefout is niet mogelijk daar alle componenten identiek zijn
- Er is geen sprake van tijdsdruk, de beschikbare tijd voor de opbouw van de coupure is zeer ruim




Kennis en vaardigheden
Er is sprake van niet voldoende kennis en ervaring
Prioriteit 8
factor = 1,00
Geen tot weinig kennis en ervaring
Enige kennis en ervaring: een tot enkele jaren ervaring en kennis in het uitvoeren van handelingen
Herhaling
Er is sprake van herhaling, waardoor de scherpte van personeel afneemt
Prioriteit 9
factor = 1,00
Afhankelijkheid
Er is sprake van afhankelijkheid tussen onderhoudsacties
factor = 1,00
Lage mate van afhankelijkheid
Hoge mate van afhankelijkheid
P3
0,03%
3,00E-04
0,00030
Berekening P6

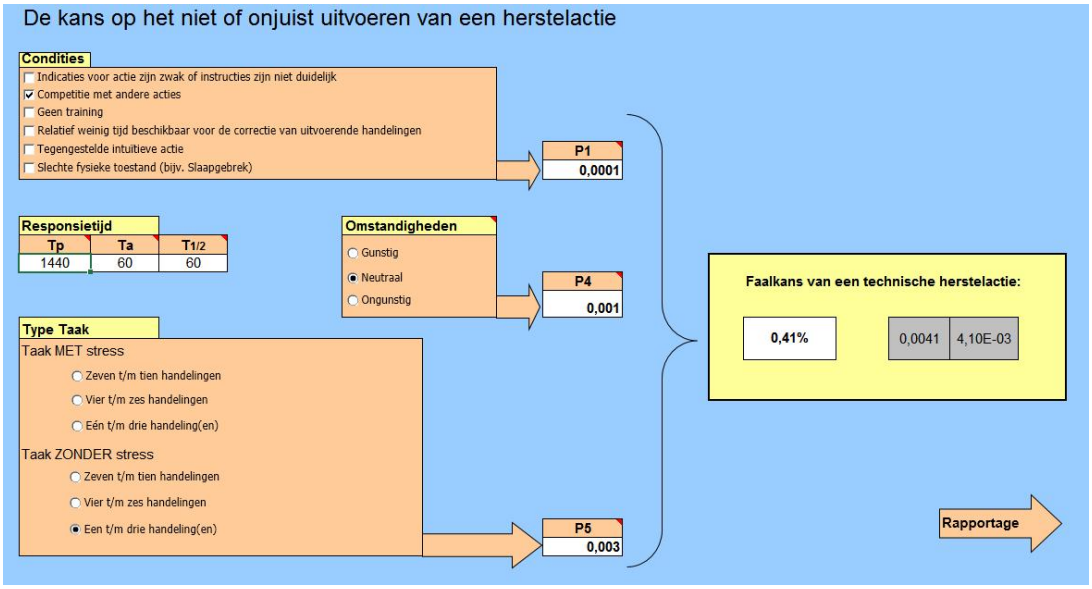
B.2 Herstel na falen levering materiaal

De volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

- Personeel op locatie komt tot de conclusie dat onjuiste materiaal is geleverd / niet voldoende materiaal is geleverd
- Vrachtauto moet opnieuw geladen worden

De volgende omstandigheden zijn van toepassing, dit geeft een faalkans van P = 4,10E-3

- Condities:
  - er is wellicht competitie met andere acties
- Responsietijd:
  - Beschikbare tijd: 24 uur
  - Tijd nodig voor signaleren fout: 1 uur (fout wordt gesignaleerd op locatie)
  - Tijd nodig voor herstelactie: 1 uur (laden en transport naar locatie)
- Type taak:
  - Het aantal coupures is beperkt, de beschikbare tijd is ruim en het personeel is getraind, er is hierdoor geen sprake van stress
  - 1 t/m 3 handelingen zijnde; selectie materiaal; laden
- Omstandigheden
  - Gunstig



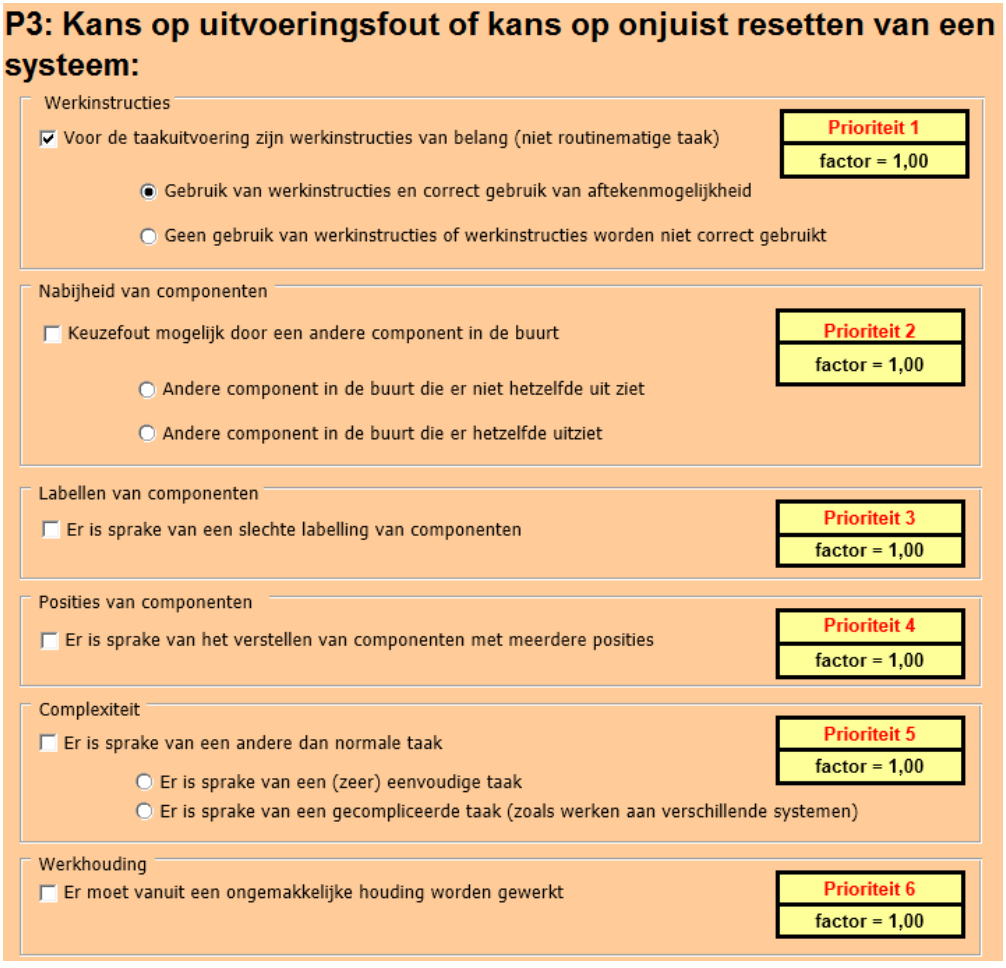
B.3 Fout tijdens opbouw keermiddel (bediening)

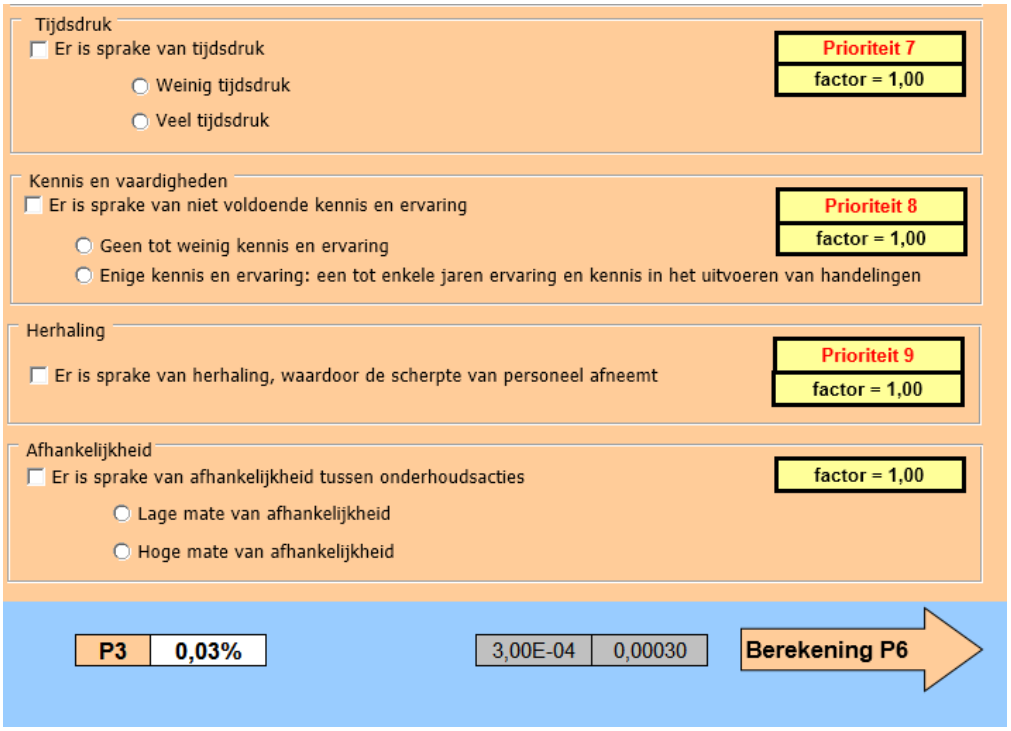
De volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

- Het personeel is aanwezig op locatie.
- Het materiaal is aanwezig op locatie.
- De noodzaak tot sluiten is evident.
- Er werkt een team op een locatie aan een systeem.
- De primaire handeling wordt uitgevoerd door het werk-team onder toezicht van de voorman.
- Er is ruim voldoende tijd voor de handeling bij uitblijven van fouten.

De volgende omstandigheden zijn van toepassing, dit geeft een faalkans van P = 3,0 E-4

- Er is een werkinstructie/bedienhandleiding aanwezig die correct gebruikt wordt.
- Het plaatsen van de staanders en inhijsen van de schotten is aangemerkt als een normale taak
- Er is geen sprake van zwaar werk of een ongemakkelijke houding van waaruit gewerkt moet worden.
- Keuzefout is niet mogelijk; alle materialen die op locatie staan zijn identiek




Tijdsdruk
Er is sprake van tijdsdruk
Weinig tijdsdruk
Veel tijdsdruk
Prioriteit 7
factor = 1,00
Kennis en vaardigheden
Er is sprake van niet voldoende kennis en ervaring
Geen tot weinig kennis en ervaring
Enige kennis en ervaring: een tot enkele jaren ervaring en kennis in het uitvoeren van handelingen
Prioriteit 8
factor = 1,00
Herhaling
Er is sprake van herhaling, waardoor de scherpte van personeel afneemt
Prioriteit 9
factor = 1,00
Afhankelijkheid
Er is sprake van afhankelijkheid tussen onderhoudsacties
Lage mate van afhankelijkheid
Hoge mate van afhankelijkheid
factor = 1,00
P3
0,03%
3,00E-04
0,00030
Berekening P6

B.4 Herstel na bedienfout

Voorbeelden van menselijke fouten die kunnen leiden tot falen van het keermiddel zijn:

- Verkeerd plaatsen staanders
- Verkeerd plaatsen schotten

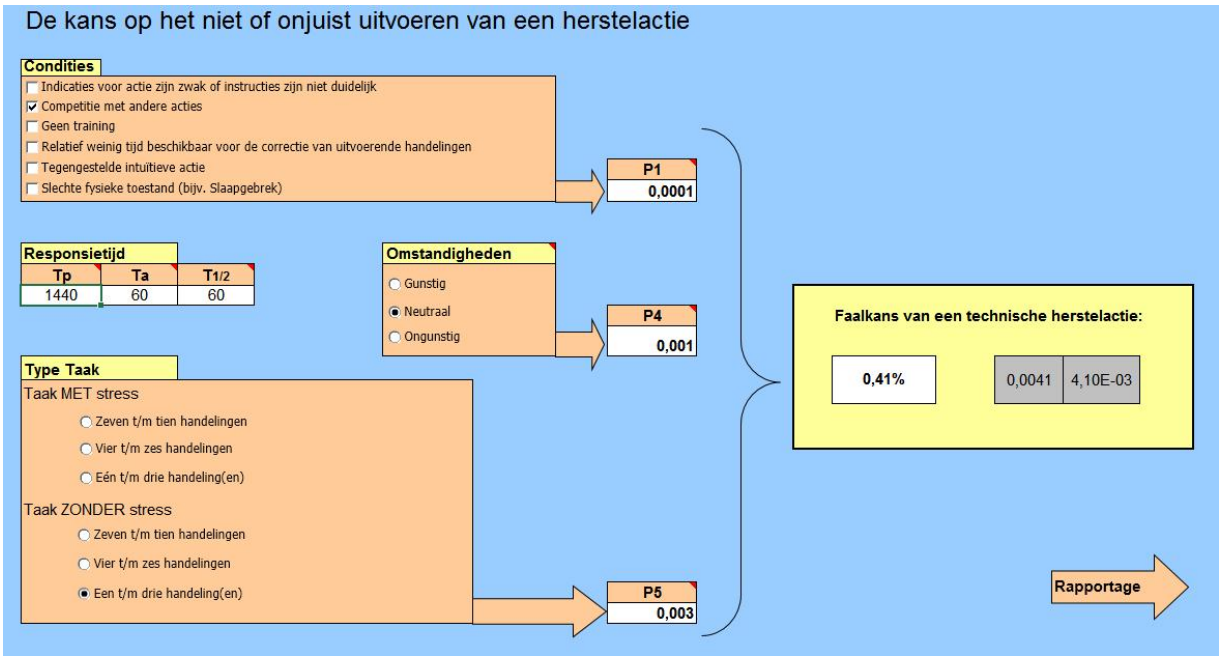
Indien deze fouten niet worden opgemerkt door de voorman, of niet juist worden hersteld onder toezicht van de voorman, faalt het keermiddel.

De volgende uitgangspunten worden gehanteerd;

- Het personeel is aanwezig op locatie.
- Het materiaal is aanwezig op locatie.
- Voorman is getraind in, en verantwoordelijk voor het opsporen van fouten.

De volgende omstandigheden zijn van toepassing, dit geeft een faalkans van P = 4,10 E-3

- Condities:
  - Competitie met andere acties.
  - Personeel heeft ervaring en is getraind
  - Er is geen sprake van zwaar werk
- Omstandigheden:
  - Neutrale omstandigheden
- Type Taak:
  - Geen stress. Het water staat nog niet "aan de drempel" bij opbouw.
  - Uitgangspunt is dat bij een fout tijdens de opbouw de fout binnen 1 tot 3 handelingen te herstellen is.
- Responsietijd:
  - Geen invloed daar de benodigde tijd significant kleiner is dan de beschikbare tijd.

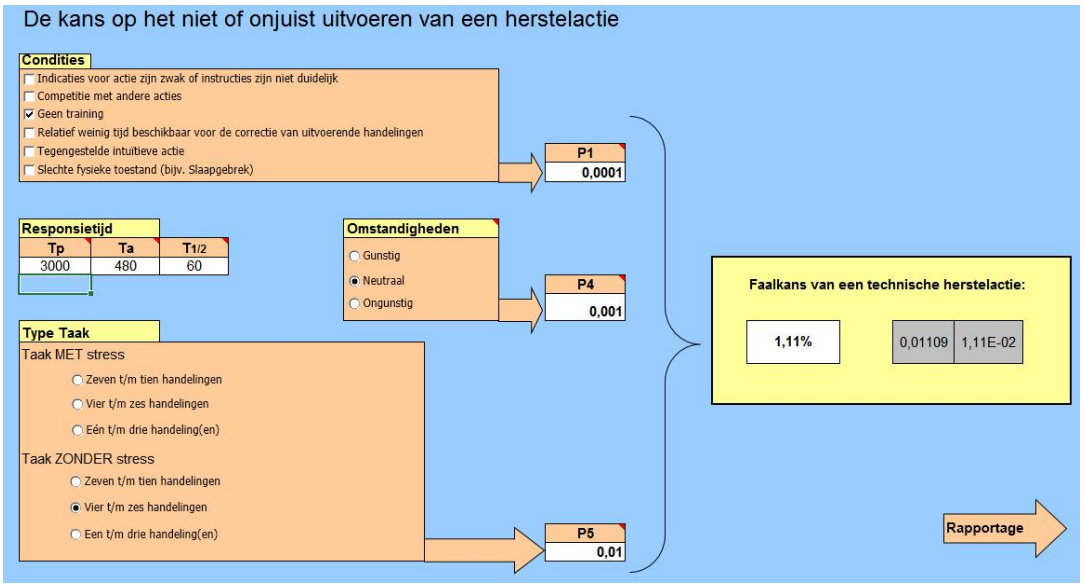


B.5 Opbouw tweede kering

Indien onverhoopt de schotten niet te plaatsen zijn, wordt er met folie, zandzakken en klei een tweede kering opgebouwd. Materialen hiervoor zijn beschikbaar op de loods van RWZI Zutphen. De maatregel is uitgewerkt in het sluitprotocol, de opbouw wordt echter niet geoefend.

De volgende omstandigheden zijn van toepassing, dit geeft een faalkans van P = 1,10 E-2

- Condities:
  - Personeel heeft weinig ervaring en is niet getraind
  - Er is geen sprake van zwaar werk
- Omstandigheden:
  - Neutrale omstandigheden
- Type Taak:
  - Geen stress. Het water staat nog niet "aan de drempel".
  - Het betreft een taak met meer dan 5 handelingen (ophalen materialen, vullen zandzakken/big bags, plaatsen doek, plaatsen zandzakken/big bags, maken aansluitingen).
- Responsietijd:
  - Geen invloed daar de benodigde tijd significant kleiner is dan de beschikbare tijd.



Bijlage C Logboek faalkansen

Bijlage D Foutenbomen