

Trajectaanpak BSKW

Analyse en maatregelen

Dijkverbeteringstraject Cuijk-Ravenstein

WBS: 20.2.6

Datum: 11-04-2025

Versienummer: D2.0



Inhoud

Inhoud	3
1. Inleiding	5
1.1 Projectbeschrijving	5
1.2 Aanleiding trajectaanpak BSKW	5
1.3 Doel	6
1.4 Locatie en scope	6
1.5 Leeswijzer	7
2. Werkwijze	8
3. Resultaten	9
3.1 Uitgangssituatie BSWK	9
3.1.1 WBI-beoordeling	10
3.1.2 Pre-verkenning lv	10
3.1.3 Verkenning WSP	11
3.1.4 Samenvatting faalkans overstrooming bij niet sluiten	11
3.2 Impact laatst stand BOI	11
3.3 Tijd voor herstel	12
3.4 Overzicht Scores scoretabellen lv-Infra en WSP	13
3.5 Actualisatie en optimalisatiemaatregelen scoretabellen	14
3.5.1 Keersluis Cuijk	14
3.5.2 Uitwateringssluis Tochtsloot en uitwateringssluis Gasselseloop	15
3.5.3 Raamsluis Grave	15
3.5.4 Coupure Maaspoort Grave	16
3.5.5 Coupure Maasstraat Grave	17
3.6 Conclusie optimalisatie scoretabellen	17
4. (Herstel)maatregelen	19
4.1 Keersluis Cuijk	19
4.2 Raamsluis Grave	20
4.3 Gemaal van Sasse	23
4.4 Conclusie maatregelen	26
5. Toekomstige kunstwerken	27
5.1 Demontabele keringen	27
5.2 Coupures	28
5.2.1 Kans op open kering bij sluitvraag	28
5.2.2 Kans op herstel van gefaalde sluiting	28
5.2.3 Kans op een sluitvraag per jaar / sluitfrequentie	28

5.2.4	Kans op niet sluiten	29
5.3	Kans op overstrooming na niet-sluiten	29
6.	Totaaloverzicht kunstwerken traject Cuijk – Ravenstein	31
7.	Conclusie	32
7.1	Maatregelen maatgevende kunstwerken	32
7.2	Protocolaire wijzigingen kunstwerken	33
8.	Referenties	34
Bijlage A.	Besprekingsverslag ontwerpessie 28-05-2024	35
Bijlage B.	RAMS-analyse Keersluis Cuijk	36

1. Inleiding

1.1 Projectbeschrijving

Het klimaat verandert. Dat betekent dat het water in de rivieren in de toekomst steeds vaker erg hoog staat. Alle dijken in Nederland moeten daarom voldoen aan de nieuwe normen voor waterveiligheid. Ook de dijken langs de Maas. We werken hiervoor samen in het landelijke hoogwater beschermingsprogramma (HWBP). Samen met Rijkswaterstaat, provincie Noord-Brabant, gemeenten en bewoners gaat waterschap Aa en Maas aan de slag om de dijk tussen Cuijk en Ravenstein te verbeteren.

Het dijktraject, weergegeven in Figuur 1-1, is circa 21 km lang en bestaat voor een groot deel uit een gronddijk. Halverwege het traject, in de vestingstad Grave, is een kademuur aanwezig als primaire waterkering. Daarnaast zijn ook diverse constructieve objecten in de dijk aanwezig (kunstwerken) zoals onder andere de Keersluis Cuijk en Gemaal van Sasse. De gronddijk, de kademuur en de kunstwerken zijn gezamenlijk onderdeel van het project dijkverbetering Cuijk-Ravenstein. Deze rapportage is onderdeel van de planuitwerking. In de planuitwerking wordt het gekozen voorkeursalternatief uit de verkenningsfase verder uitgewerkt.



Figuur 1-1: Dijktraject Cuijk-Ravenstein

1.2 Aanleiding trajectaanpak BSKW

Binnen het normtraject zijn tien kunstwerken aanwezig waarvan drie kunstwerken (Keersluis Cuijk, Raamsluis Grave en Gemaal van Sasse) in de WBI-beoordeling een faalkans orde grootte 10^{-5} - 10^{-6} per jaar hebben. Deze drie kunstwerken zijn bepalend voor de totale faalkans voor het toetsspoor betrouwbaarheid sluiting, hierna BSKW.

De faalkanseis op trajectniveau voor dit toetsspoor is gelijk aan $0,04 \cdot 1/10.000 = 4 \cdot 10^{-6}$ per jaar (bij de standaardfaalkansbegroting, faalkansruimtefactor $\omega = 0,04$). Volgens de standaardwerkwijze wordt bij het ontwerp het kunstwerk getoetst aan de doorsnede-eis. Dit is de faalkanseis op trajectniveau van het faalmechanisme gedeeld door de lengte-effectfactor N. Uitgaande van $N=5$ (conform het VKA) leidt dit tot de doorsnede-eis voor BSKW van $8 \cdot 10^{-7}$ per jaar ($= 4 \cdot 10^{-6} / 5$).

De faalkans van de drie voornoemde kunstwerken is dermate groot dat in het VKA geen mogelijkheden zijn gezien om de kunstwerken zodanig aan te passen dat deze gaan voldoen aan de doorsnede-eis zonder dat de kunstwerken worden vervangen. Er is daarom gekozen om BSKW te beschouwen aan de hand van een trajectaanpak, waarbij de som van de faalkansen voor BSKW van alle kunstwerken gezamenlijk kleiner is dan de faalkanseis op trajectniveau. De doorsnede-eis wordt hierbij losgelaten.

Doordat een groot deel van de kunstwerken een lage faalkans heeft voor BSKW kan een groter deel van de faalkansruimte gebruikt worden door de drie dominante kunstwerken. Een integrale aanpak op trajectniveau ondersteunt bij de oplossing voor de opgave ten aanzien van BSKW.

1.3 Doel

Binnen het traject zijn tien kunstwerken aanwezig, drie daarvan zijn bepalend voor het toetsspoor BSKW. Door de integrale trajectaanpak zijn de overige kunstwerken echter niet onbelangrijk. Door de faalkans van alle kunstwerken te optimaliseren komt meer faalkansruimte beschikbaar voor de dominante kunstwerken. Het doel is te bepalen welke maatregelen genomen moeten worden om aan de gestelde eisen te voldoen. Daarnaast wordt bepaald wat de beschikbare faalkansruimte is voor eventueel nieuw te ontwerpen kunstwerken binnen het traject.

1.4 Locatie en scope

In het traject tussen Cuijk en Ravenstein maken tien kunstwerken deel uit van de primaire waterkering (zie Figuur 1-2, [1] en [3]). Dit document richt zich op de kunstwerken die niet aan de eenvoudige toetscriteria voldoen dus waarbij de faalkansbijdrage niet verwaarloosbaar is. Concreet gaat het dan om de zeven dikgedrukte kunstwerken:

- | | |
|---|---------------------------|
| 1. Gemaal en riooloverstort Cuijk Haven | KW 178 ¹ |
| 2. Keersluis Cuijk | KW 188 |
| 3. Persleiding gemaal Sluisgraaf | KW 197 ² |
| 4. Uitwateringssluistochtsloot | KW 232 |
| 5. Uitwateringssluist Gasselseloop | KW 245 |
| 6. Raamsluis Grave | KW 266 |
| 7. Coupure Maaspoort Grave | KW 269³ |
| 8. Coupure Maasstraat Grave | KW 270³ |
| 9. Uitwateringssluist Havenstraat Grave | KW 274 ⁴ |
| 10. Gemaal van Sasse | KW 286 |

Alle kunstwerken binnen het traject moeten samen aan de trajecteis voldoen. Dit is inclusief toekomstige kunstwerken. Binnen het traject zijn er een aantal toekomstige kunstwerken voorzien. Deze zullen binnen dit rapport ook meegenomen worden in de analyse. Het gaat om de volgende kunstwerken:

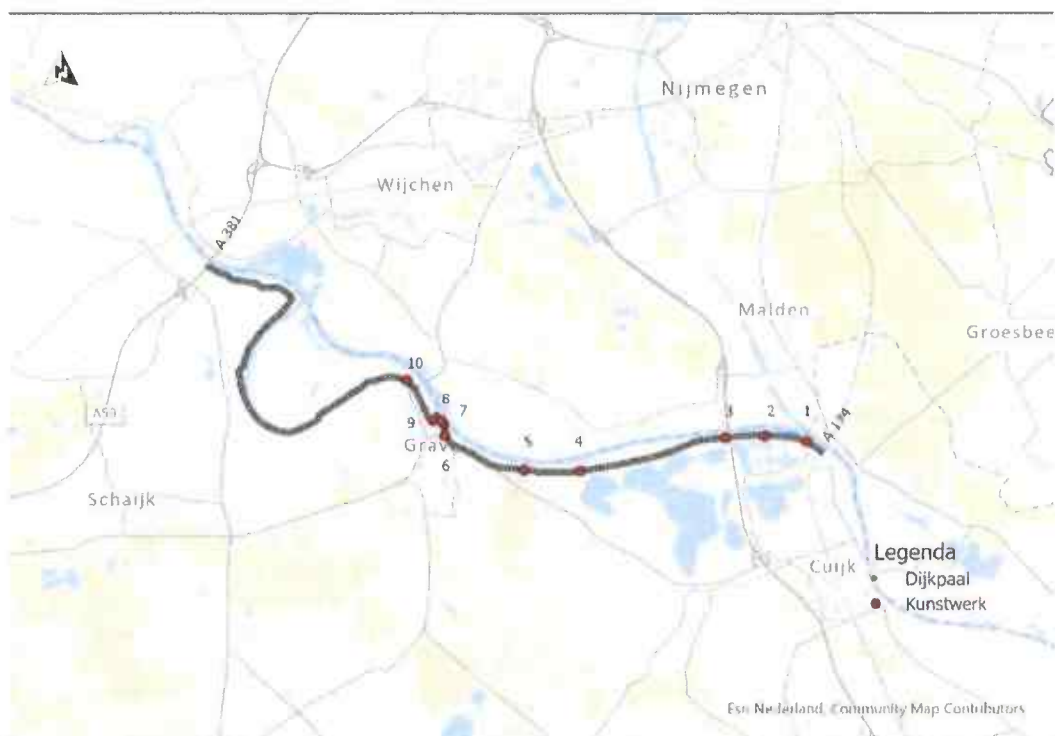
11. KW174 – Coupure Everdinweerd
12. Demontabele kering Maasfront
13. KW273 + 50 - Coupure nieuwe haven oost
14. KW274 + 50 - Coupure nieuwe haven west
15. KW285 - Coupure Sasse oost
16. KW285 - Coupure Sasse west

¹ Kunstwerk wordt geamoveerd en is derhalve niet relevant voor de analyse.

² Door het aantal en type keermiddelen en het feit dat het een gemaal betreft kan op basis van de eenvoudige beslisregel voor betrouwbaarheid sluiting in het WBI2017 worden aangegeven dat de bijdrage aan het overstromingskans verwaarloosbaar klein is voor BSKW.

³ In de hiervoor weergegeven opsomming zijn ook de coupures in Maaspoort Grave en Maasstraat Grave opgenomen. Deze coupures maken onderdeel uit van de kademuur Grave en zijn daardoor geen losstaande kunstwerken. Echter, voor betrouwbaarheid sluiten zijn deze bestaande coupures wel degelijk van belang en worden ze wel in de beschouwing meegenomen.

⁴ Kunstwerk bestaat uit een leiding met een diameter kleiner of gelijk aan 500 mm en daarnaast is voorzien van minimaal één keermiddel, kan voor betrouwbaarheid sluiting de eenvoudige toets worden toegepast.



Figuur 1-2: Locatie kunstwerken binnen scope verkenning dijktraject 36-2 [3]

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 1 zijn de aanleiding, doel en beschouwde kunstwerken beschreven. In hoofdstuk 2 volgt de werkwijze van de analyses. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten van de analyse van de reeds uitgevoerde beoordelingen en er worden optimalisaties van de scoretabellen aangegeven, de zogenoemde 'laaghangend fruit' maatregelen. In hoofdstuk 4 worden mogelijke (herstel)maatregelen beschreven voor drie dominante kunstwerken. In hoofdstuk 5 zijn de toekomstige, in het ontwerp opgenomen kunstwerken beschouwd. In hoofdstuk 6 is het overzicht van de faalkansen ten aanzien van Betrouwbaarheid Sluiten van de kunstwerken gegeven en in hoofdstuk 7 worden de conclusies en de te nemen maatregelen toegelicht.

2. Werkwijze

Dit hoofdstuk beschrijft de werkwijze die gehanteerd is om de faalkans voor de in paragraaf 1.4 genoemde kunstwerken te optimaliseren. De werkwijze bestaat uit de volgende stappen:

1. De herleidbaarheid vastleggen van de uitgangssituatie voor BSKW voor alle kunstwerken. Dit houdt in dat alle informatie uit voorgaande rapporten wordt bekeken en dat daaruit alle faalkansen worden herleid waarvan uitgegaan wordt. Deze stap heeft als doel een overzicht te krijgen van de faalkansen en daarmee inzicht in het tekort aan faalkansruimte. Verder geeft dit inzicht waar er mogelijk ruimte voor optimalisatie is.
2. De impact van de laatste stand van het BOI wordt beschouwd op de vastgestelde huidige faalkansen. Aan de methodiek voor *betrouwbaarheid sluiting* is weinig aangepast bij de laatste update van het BOI.
3. In kaart brengen van de sluitpeilen van de kunstwerken in relatie tot de maximaal toelaatbare buitenwaterstand waarbij grotere gevolgen (bijvoorbeeld substantiële instroming) plaatsvindt. Aan de hand hiervan kan een inschatting worden gemaakt van de beschikbare hersteltijd bij een gefaalde sluiting van een kunstwerk. Dit dient vervolgens als onderbouwing van mogelijk te nemen herstelmaatregelen en de faalkansreductie die dit kan opleveren.
4. Per kunstwerk eenvoudige maatregelen beschouwen waarmee de faalkans verlaagd kan worden. Daarbij wordt eerst gekeken naar eenvoudig te realiseren maatregelen, oftewel het 'laaghangend fruit', zoals een aanscherping van het protocol.
5. Inventariseren van mogelijke (herstel)maatregelen en adviseren in de te nemen maatregelen om aan de trajecteis te voldoen.

In hoofdstuk 4 worden (herstel)maatregelen voor de situatie van een gefaalde sluiting gegeven. Met deze maatregelen kan aan de eisen voor betrouwbaarheid sluiten worden voldaan. De nadere uitwerking van (herstel)maatregelen is niet gegeven in deze notitie, de uit te werken maatregelen worden in een later stadium afgestemd met WSAM.

3. Resultaten

Dit hoofdstuk doorloopt de genoemde stappen zoals beschreven in de werkwijze (H2). Eerst wordt de uitgangssituatie opgehelderd, vervolgens wordt gekeken naar de laatste stand van het BOI, dan wordt de beschikbare tijd tot herstel uitgelicht en tot slot worden mogelijke eenvoudige maatregelen besproken om tot een nieuwe baseline te komen voor de uitwerking van nood- en herstelmaatregelen.

3.1 Uitgangssituatie BSWK

De faalkans voor BSWK wordt bepaald met de volgende formule:

$$P_{f,KW,NS} = P_{ns} * P_{open} * P_n * P_{f,herstel} \quad [1]$$

Waarin:

$P_{f,KW,NS}$	=	Kans op overstroming na niet-sluiten [per jaar].
P_{open}	=	Kans op open kering bij een sluitvraag [-].
P_{ns}	=	Kans op falen sluiting bij sluitvraag [per sluitvraag].
P_n	=	Kans dat de buitenwaterstand dusdanig hoog is dat dit bij niet gesloten kunstwerk tot substantiële gevolgen in het achterland leidt ($h_{bui} > h_{toel}$), oftewel de kans op een sluitvraag per jaar [sluitvraag/jaar].
$P_{f,herstel}$	=	Kans op falen herstel van gefaalde sluiting [-].

Eerder zijn er drie beoordelingen geweest. Deze beoordelingen zijn in ogenschouw genomen om tot een eenduidige en volledige stand van zaken van de kunstwerken te komen. De volgende beoordelingen zijn beschouwd:

- WBI-beoordeling, uitgevoerd door Greenrivers, 2017 [5];
- pre-verkenning, uitgevoerd door Iv-Infra, 2020 [4];
- verkenning, uitgevoerd door WSP, 2022 [3].

In onderstaande paragrafen worden per beoordeling de invoerwaarden van de parameters, zoals in formule 1 beschreven, uitgelicht. Verschillen tussen de beoordelingen zijn ontstaan door het toepassen van oude of nieuwe scoretabellen, detailniveau van de analyse of andere inzichten van de uitvoerende partij.

3.1.1 WBI-beoordeling

Tabel 3-1 geeft de invoerwaarden voor formule 1 weer vanuit de WBI-beoordeling, uitgevoerd in 2017 door Greenrivers [5].

Tabel 3-1: Overzicht faalkansen behorende tot BSKW voor elk kunstwerk voor de WBI-beoordelingsronde

Kunstwerk	P_{ns} [per sluitvraag]	P_{open} [-]	P_n [aantal sluitvragen / jaar]	$P_{f,herstel}$ [-]	$P_{f,KW,NS}$ [per jaar]
Keersluis Cuijk	3,16E-4	1	0,2	1	6,33E-5
Uitwateringssluist Tochtsloot	3,16E-3 (sluis) 1,0E-3 (wakerdeur)	1	0,25	1	7,9E-7
Uitwateringssluist Gasselseloop	3,16E-3 (sluis) 1,0E-3 (wakErdEur)	1	0,25	1	7,9E-7
Raamsluis Grave	1,0E-3	1	0,5	1	5,0E-4
Coupure Maaspoort Grave	1,0E-3	1	1,0E-4	0,1	1,0E-8
Coupure Maasstraat Grave	1,0E-3	1	2,0E-4	1	2,0E-7
Gemaal van Sasse	3,16E-4	1	0,35	0,01	1,11E-6

3.1.2 Pre-verkenning lv

Tabel 3-2 geeft de invoerwaarden voor formule 1 weer vanuit de pre-verkenning, uitgevoerd in 2020 door lv-Infra [4].

Tabel 3-2: Overzicht faalkansen behorende tot BSKW voor elk kunstwerk voor de pre-verkenningsbeoordeling

Kunstwerk	P_{ns} [per sluitvraag]	P_{open} [-]	P_n [aantal sluitvragen / jaar]	$P_{f,herstel}$ [-]	$P_{f,KW,NS}$ [per jaar]
Keersluis Cuijk	1,1E-3	1	0,17	1	1,87E-4
Uitwateringssluist Tochtsloot	1,0E-2 (sluis) 1,0E-5 (wakerdeur)	1	0,25	1	2,51E-8
Uitwateringssluist Gasselseloop	1,0E-2 (sluis) 1,0E-5 (wakerdeur)	1	0,28	1	2,81E-8
Raamsluis Grave	1,1E-3	1	0,5	0,1	5,5E-5
Coupure Maaspoort Grave	1,1E-3	1	5,8E-4	1	6,38E-7
Coupure Maasstraat Grave	1,79E-3	1	5,8E-4	1	1,04E-6
Gemaal van Sasse	3,19E-3	1	0,4	0,01	1,28E-5

3.1.3 Verkenning WSP

Tabel 3-3 geeft de invoerwaarden voor formule 1 weer vanuit de verkenning, uitgevoerd in 2022 door WSP [3].

Tabel 3-3: Overzicht faalkansen behorende tot BSKW voor elk kunstwerk voor de verkenningsbeoordeling

Kunstwerk	P_{ns} [per sluitvraag]	P_{open} [-]	P_n [aantal sluitvragen / jaar]	$P_{f,herstel}$ [-]	$P_{f,KW,NS}$ [per jaar]
Keersluis Cuijk	1,21E-4	1	0,2	1	2,42E-5
Uitwateringssluiss Tochtsloot	-	-	-	-	-
Uitwateringssluiss Gasselseloop	-	-	-	-	-
Raamsluis Grave	7,63E-5	1	0,5	0,05	1,91E-6
Coupure Maaspoort Grave	-	-	-	-	-
Coupure Maasstraat Grave	-	-	-	-	-
Gemaal van Sasse	3,01E-5	1	0,4	0,01	1,2E-7

3.1.4 Samenvatting faalkans overstrooming bij niet sluiten

Tabel 3-4 geeft een samenvatting van de faalkans voor niet sluiten voor alle kunstwerken voor de verschillende fases.

Tabel 3-4: Samenvatting faalkansen BSKW voor elk kunstwerk voor elke beoordeling

Kunstwerk	$P_{f,KW,NS}$ WBI [per jaar]	$P_{f,KW,NS}$ Iv-Infra [per jaar]	$P_{f,KW,NS}$ WSP [per jaar]
Keersluis Cuijk	6,33E-5	1,87E-4	2,42E-5
Uitwateringssluiss Tochtsloot	7,9E-7	2,51E-8	-
Uitwateringssluiss Gasselseloop	7,9E-7	2,81E-8	-
Raamsluis Grave	5,0E-4	5,5E-5	1,91E-6
Coupure Maaspoort Grave	1,0E-8	6,38E-7	-
Coupure Maasstraat Grave	2,0E-7	1,04E-6	-
Gemaal van Sasse	1,11E-6	1,28E-5	1,2E-7

3.2 Impact laatst stand BOI

Er zijn geen relevante wijzigingen of ontwikkelen opgenomen in het BOI sinds de laatste beoordelingen.

3.3 Tijd voor herstel

De kans op herstel na een gefaalde sluiting is mede afhankelijk van de herstelmaatregel, welke weer mede afhankelijk is van de beschikbare tijd tot herstel. Het is daarom belangrijk een scherp beeld te hebben van de beschikbare tijd voor herstel bij de verschillende kunstwerken. De beschikbare tijd tot herstel is bepaald door middel van de volgende variabelen:

- 1) sluitpeil;
- 2) open keer peil (OKP);
- 3) waterstandsverloop.

Het sluitpeil is voor elk kunstwerk vastgesteld in het sluitprotocol. In de meeste gevallen is het sluitpeil een waterstand niet ter hoogte van het kunstwerk maar ter hoogte van Mook. Een hoogwatergolf zou naar inschatting op basis van meetpunten op waterinfo.rws.nl één tot twee uur later ter hoogte van het kunstwerk aankomen, afhankelijk van de locatie van het kunstwerk. Deze één tot twee uur is, als conservatief uitgangspunt, niet meegenomen in de analyse. De helling van het waterstandsverloop is bepaald met behulp van de Waterstandsverlooptool. Een voorbeeld van het waterstandsverloop bij Mook is gegeven in Figuur 3-1. Zie Tabel 3-5 voor de analyse. Belangrijk om te benoemen dat een nieuwe HOB-database beschikbaar komt waardoor mogelijkerwijs de waterstanden en het waterstandsverloop wijzigen en zo ook de beschikbare tijd tot herstel.

Bij Keersluis Cuijk wordt voldaan aan het faalmechanisme hoogte door gebruik te maken van het kombergend vermogen van de Kraaijenbergse Plassen. Een groot deel van het kombergend vermogen is nodig om te voldoen aan de eisen voor hoogte, uit de analyse in Memo Kombergend Keersluis Cuijk [6] blijkt dat circa 0,33 m in stijging van de Kraaijenbergse Plassen niet gebruikt wordt voor hoogte en daarmee potentieel beschikbaar is als hersteltijd voor BSKW. Met een waterpeilstijging op de Maas van gemiddeld 0,032 m/uur bij naderend hoogwater leidt dit tot circa 10 uur beschikbare hersteltijd bij Keersluis Cuijk. WSAM geeft aan het met de redenering eens te zijn, met de kanttekening dat in die situatie de grenzen van het achterliggende systeem ten aanzien van kombergend vermogen worden benaderd.

Tabel 3-5: Overzicht sluitpeilen, OKP en beschikbare tijd tot herstel voor elk kunstwerk

Kunstwerk	Sluitpeil [m + NAP]	Sluitpeil t.h.v.	OKP [m + NAP]	OKP opmerkingen	Helling waterstandsverloop [m/uur]	Beschikbare tijd tot herstel [uur]
Keersluis Cuijk	8,95	Mook	10	Verkenning [3]	0,032	10
Uitwateringssluis Tochtsloot	8,7	Mook	9,8	Maaiveld achterland	0,032	34
Uitwateringssluis Gasselseloop	8,7	Mook	9,8	Maaiveld achterland	0,032	34
Raamsluis Grave	6,9	Grave Beneden	8	Volgens sluitprotocol	0,032	34
Coupure Maaspoort Grave	11,02	Grave Boven	11,6	Straatniveau	0,032	18
Coupure Maasstraat Grave	11,02	Grave Boven	11,6	Straatniveau	0,032	18
Gemaal van Sasse	6,9	Grave Beneden	8,3	Hoogste maaiveld bovenstrooms kunstwerk	0,032	43



Figuur 3-1: Voorbeeld waterstandsverloop ter plaatse van Mook

3.4 Overzicht Scores scoretabellen Iv-Infra en WSP

Om de faalkans voor betrouwbaarheid sluiten kunstwerk te optimaliseren wordt ingezoomd op de faalkans niet sluiten (P_{ns}). De faalkans niet sluiten kunstwerk (P_{ns}) wordt bepaald middels scoretabellen. Binnen deze scoretabellen wordt het kunstwerk getoetst op vier aspecten, deze zijn: alarmering, mobilisatie, bediening en technisch falen. Hoe hoger de score, hoe kleiner de faalkans op niet sluiten voor dat specifieke onderdeel. De scoretabellen van Iv-Infra en WSP zijn bekend. In het geval dat er voor een bepaald kunstwerk twee scoretabellen beschikbaar zijn, dan is de meest recente scoretabel meegenomen in de onderstaande analyse. Onderstaande tabel (zie Tabel 3-6) geeft per kunstwerk voor elk van de vier aspecten de score weer. In het geval dat de score in groen is weergegeven, is de score kleiner dan de maximale score en is er mogelijk ruimte voor optimalisatie.

Tabel 3-6: Overzicht scores voor de vier aspecten van de scoretabel voor elk kunstwerk. In groen als er ruimte is voor optimalisatie

Kunstwerk	Bron	Alarmering Max score = 7	Mobilisatie Max score = 5	Bediening Max score = 5	Technisch falen Max score = 5
Keersluis Cuijk	WSP	6	5	5	4
Uitwateringssluistochtsloot	Iv	6	5	5	2
Uitwateringssluistochtsloot	Iv	6	5	5	2
Raamsluis Grave	WSP	7	5	5	4.25
Coupure Maaspoort Grave	Iv	7	4	5	3
Coupure Maasstraat Grave	Iv	7	4	5	2.75
Gemaal van Sasse	WSP	7	5	5	5

Op de twee coupures na blijkt er vooral ruimte voor optimalisatie binnen het technisch falen. Hieronder worden voor elk kunstwerk, behalve voor Gemaal van Sasse (kan niet verder worden geoptimaliseerd), de mogelijkheden voor optimalisatie binnen de scoretabellen besproken.

3.5 Actualisatie en optimalisatiemaatregelen scoretabellen

In de volgende paragrafen wordt aangegeven welke wijzigingen doorgevoerd kunnen worden leidend naar een optimalisatie van de scoretabellen. Over het algemeen zijn dit protocollaire wijzigingen, daarmee worden deze maatregelen gezien als 'laaghangend fruit'.

3.5.1 Keersluis Cuijk

Tabel 3-7 geeft voor Keersluis Cuijk de vragen in de scoretabel weer waar er geoptimaliseerd kan worden.

Tabel 3-7 Overzicht van de vragen in de scoretabel die geoptimaliseerd kunnen worden ten opzichte van de vorige fase voor Keersluis Cuijk

Vraag	Antwoord WSP	Score WSP	Motivatie WSP	Antwoord Sweco	Score Sweco	Motivatie Sweco
Technisch falen vraag a1: Is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?	Nee	0	"Onderhoud wordt gericht uitgevoerd op basis van tweejaarlijkse controles (1 kleine inspectie en 1 grote inspectie). Er is echter geen concreet beheer- en onderhoudsplan, deze staat ook nog niet op de planning."	Ja	0,5	Een beheer- en onderhoudsplan (laten) opstellen en borgen dat dit wordt nageleefd
Technisch falen vraag c: Is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	Nee	0	Kan wel maar is arbeidsintensief en duurt lang. Vandaar in pre-verkenning met "nee" beantwoord. Na een sluiting op handkracht dient de keerschuij altijd weer met een mobiele kraan geheven te worden. Testen van deze sluitvorm vormt daarmee een complexe operatie en gebeurt dan ook nauwelijks tot nooit.	Ja	0,5	Er is mogelijkheid tot sluiten op handkracht. Methode van sluiting verdient aandacht

3.5.2 Uitwateringssluis Tochtsloot en uitwateringssluis Gasselseloop

De twee uitwateringssluizen zijn vanuit het oogpunt BSKW identiek waardoor ook de scoretabellen identiek zijn. Tabel 3-8 geeft voor beide uitwateringssluizen de vragen in de scoretabel weer waar er geoptimaliseerd kan worden.

Tabel 3-8: Overzicht van de vragen in de scoretabel die geoptimaliseerd kunnen worden ten opzichte van de vorige fase voor uitwateringssluizen Tochtsloot en Gasselseloop

Vraag	Antwoord lv	Score lv-Infra	Motivatie lv-Infra	Antwoord Sweco	Score Sweco	Motivatie Sweco
Technisch falen vraag a2: Wordt het primaire en indien van toepassing secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?	Nee	0	Wel elk jaar proefsluiting, niet tweemaal per jaar controleren.	Ja	1,5	Start met tweemaal per jaar controleren en borg in de protocollen dat dit wordt nageleefd.
Technisch falen vraag b2: Is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?	Nee	0		Ja	0,5	Ja, want n.v.t. want antwoord vraag g is beantwoord met nee. Dit is in de beoordeling van IV onjuist ingevoerd.

3.5.3 Raamsluis Grave

Tabel 3-9 geeft voor de Raamsluis Grave de vragen in de scoretabel weer waar er geoptimaliseerd kan worden.

Tabel 3-9: Overzicht van de vragen in de scoretabel die geoptimaliseerd kunnen worden ten opzichte van de vorige fase voor Raamsluis Grave

Vraag	Antwoord WSP	Score WSP	Motivatie WSP	Antwoord Sweco	Score Sweco	Motivatie Sweco
Technisch falen vraag c: Is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	Nee	0	De aluminium schuif is op handkracht te sluiten, maar dit wordt niet geoefend. Dit is noodzakelijk om hier betrouwbaarheid aan toe te kunnen kennen.	Ja	0,5	Aluminium schuif is op handkracht te sluiten. Opnemen in protocollen dat dit wordt geoefend.
Technisch falen vraag b2: Is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?	Nee	0		Ja	0,5	Ja, want n.v.t. want antwoord vraag g is beantwoord met nee. Dit is in de eerdere beoordeling onjuist ingevoerd.

3.5.4 Coupure Maaspoort Grave

Tabel 3-10 geeft voor de coupure Maaspoort Grave de vragen in de scoretabel weer waar er geoptimaliseerd kan worden.

Tabel 3-10: Overzicht van de vragen in de scoretabel die geoptimaliseerd kunnen worden ten opzichte van de vorige fase voor de coupure Maaspoort Grave

Vraag	Antwoord WSP	Score WSP	Motivatatie WSP	Antwoord Sweco	Score Sweco	Motivatatie Sweco
Technisch falen vraag a2: Wordt het primaire en indien van toepassing secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?	Nee	0	Jaarlijks wordt er een proefsluiting van de keermiddelen uitgevoerd. Onbekend is of de keermiddelen jaarlijks 2x worden gecontroleerd.	Ja	1,5	Start met tweemaal per jaar controleren en borg in de protocollen dat dit wordt nageleefd.
Technisch falen vraag c: Is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	Nee	0		Ja	0,5	Het keermiddel kan met de hand gesloten worden. De stalen schotten zijn met twee man te tillen.
Technisch falen vraag b2: Is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?	Nee	0		Ja	0,5	Ja, want n.v.t. want antwoord vraag g is beantwoord met nee. Dit is in de eerdere beoordeling onjuist ingevoerd.

3.5.5 Coupure Maasstraat Grave

Tabel 3-11 geeft voor de coupure Maasstraat Grave de vragen in de scoretabel weer waar er geoptimaliseerd kan worden.

Tabel 3-11: Overzicht van de vragen in de scoretabel die geoptimaliseerd kunnen worden ten opzichte van de vorige fase voor de coupure Maasstraat Grave

Vraag	Antwoord WSP	Score WSP	Motivatatie WSP	Antwoord Sweco	Score Sweco	Motivatatie Sweco
Technisch falen vraag a2: Wordt het primaire en indien van toepassing secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?	Nee	0	Jaarlijks wordt er een proefsluiting van de keermiddelen uitgevoerd. Onbekend is of de keermiddelen 2x jaarlijks worden gecontroleerd.	Ja	1,5	Start met tweemaal per jaar controleren.
Technisch falen vraag g: Is er een risico van belemmering waardoor de sluiting faalt?	Nee	1		Ja	0,5	Bijvoorbeeld een geparkeerde auto
Technisch falen vraag b2: Is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?	Nee	0		Ja	0,5	Anticiperen op belemmering. Voorbeeld van geparkeerde auto, deze wegslepen. Tijd voor herstel is aangenomen voldoende.
Technisch falen vraag k: Is er een risico van falen van het keermiddel van betekenis?	Nee	0,25	Nee	Ja	0	Bijvoorbeeld een geparkeerde auto.

3.6 Conclusie optimalisatie scoretabellen

In voorgaande paragrafen zijn de voorziene wijzigingen aangegeven. Onderstaande tabel, Tabel 3-12, geeft de geoptimaliseerde faalkans voor niet sluiten.

Tabel 3-12: Overzicht van de geoptimaliseerde faalkans voor niet sluiten

Kunstwerk	$P_{ns,tot}$ oud [per sluitvraag]	$P_{ns,tot}$ nieuw
Keersluis Cuijk	1,21E-4	3,1E-5
Uitwateringssluistochtloot	1,0E-2 (sluis) * 1,0E-5 (wakerdeur)	1,2E-4 (sluis) * 1,0E-5 (wakerdeur) = 1,2E-9
Uitwateringssluist Gasselseloop	1,0E-2 (sluis) * 1,0E-5 (wakerdeur)	1,2E-4 (sluis) * 1,0E-5 (wakerdeur) = 1,2E-9
Raamsluis Grave	7,63E-5	3,01E-5
Coupure Maaspoort Grave	1,1E-3	3,01E-5
Coupure Maasstraat Grave	1,79E-3	7,63E-5
Gemaal van Sasse	3,01E-5	3,01E-5

De nieuwe waarden voor P_{ns} zijn verwerkt in Tabel 3-13 wat de nieuwste faalkans voor overstrooming is bij falen kunstwerk. Voor de faalkans van herstel is 1 aangehouden omdat de voorgestelde maatregelen eerst opnieuw worden beschouwd.

Tabel 3-13: Overzicht BSKW voor elk kunstwerk met de geoptimaliseerde faalkans voor niet sluiten

Kunstwerk	P_{ns} [per sluitvraag]	P_{open} [-]	P_n [aantal sluitvragen / jaar]	$P_{f,herstel}$ [-]	$P_{f,KW,NS}$ [per jaar]	Faalkansruimte [%]
Keersluis Cuijk	3,0E-5	1	0,2 (WSP)	1	6,0E-6	155
Uitwateringssluist Tochtsloot	1,2E-4 (sluis) * 1,0E-5 (wakerdeur) = 1,2E-9	1	0,25 (lv)	1	3,0E-10	0,02
Uitwateringssluist Gasselseloop	1,2E-4 (sluis) * 1,0E-5 (wakerdeur) = 1,2E-9	1	0,28 (lv)	1	3,4E-10	0,01
Raamsluis Grave	3,0E-5	1	0,5 (WSP)	1	1,5E-5	376
Coupure Maaspoort Grave	3,0E-5	1	5,8E-4 (lv)	1	1,8E-8	0,44
Coupure Maasstraat Grave	7,7E-5	1	5,8E-4 (lv)	1	4,5E-8	1,11
Gemaal van Sasse	3,0E-5	1	0,4 (WSP)	1	1,2E-5	301

De optimalisatie zorgt voor een kleinere $P_{f,KW,NS}$ voor alle kunstwerken (behalve het Gemaal van Sasse). De opgetelde faalkans is echter onvoldoende gedaald om te voldoen aan de trajecteis voor BSKW. De faalkansruimte in Tabel 3-13 geeft aan dat er drie kunstwerken zijn die bepalend zijn voor de te hoge faalkans, te weten Keersluis Cuijk, Raamsluis Grave en Gemaal van Sasse.

4. (Herstel)maatregelen

Zoals in paragraaf 3.6 genoemd zijn er drie kunstwerken (Keersluis Cuijk, Raamsluis Grave en Gemaal van Sasse) bepalend voor de te hoge faalkans op trajectniveau. Dit hoofdstuk gaat in op mogelijke maatregelen om de faalkans voor deze drie kunstwerken te verkleinen. De faalkans voor de overige kunstwerken is dermate klein dat deze hier buiten beschouwing worden gelaten.

4.1 Keersluis Cuijk

De doorstroomopening van de keersluis is dermate groot dat er geen eenduidige herstelmaatregel bepaald kan worden waarvan het effect met zekerheid doeltreffend is. De keersluis wordt maandelijks gesloten en geopend waardoor veel onzekerheden grotendeels worden afgevangen (elke maand een test). Er hebben al veel proefsluiting plaatsgevonden, wat ook een zekere mate van betrouwbaarheid geeft. De standaardbeoordeling conform de vigerende leidraden voor BSKW leidt tot een onderschatting van de betrouwbaarheid van sluiten van de keersluis. Middels een RAMS-analyse van de keersluis is het systeem en de betrouwbaarheid daarvan beter inzichtelijk gemaakt en zijn de componenten die bijdragen aan de robuustheid van het systeem op waarde meegenomen. Voor de uitwerking van deze analyses wordt verwezen naar Bijlage B waar de begeleidende notitie van de analyse staat.

Uit de analyse volgt een faalkans van $5,53E-08$ per jaar, waar dit na geoptimaliseerde scoretabellen $6,0E-6$ per jaar was. Dit is een factor 100 verbetering van de faalkans. De keersluis neemt dan afgerond 1,4% in van de totale faalkansruimte voor BSKW.

In de analyse is de betrouwbaarheid van sluiten door handmatige sluiting niet meegenomen. Handmatige sluiting leidt nog eens tot circa één orde aan extra betrouwbaarheid.

Op basis van de RAMS-analyse wordt derhalve geconcludeerd dat er, afgezien van eerder aangegeven protocollaire maatregelen, geen extra maatregelen nodig zijn bij Keersluis Cuijk.

Duiding resultaat RAMS-analyse

Het verschil tussen de gevonden waarde en eerdere analyse is relatief groot. Hiervoor is een aantal oorzaken te benoemen in het systeem en in het gebruik ervan:

- Het systeem keersluis is qua configuratie zeer robuust, er is een ruime mate van redundantie toegepast:
 - De normale bediening via PLC heeft als back-up een handbediening op de motoren en als noodvoorziening kunnen de hefdeuren ook handmatig worden neergelaten.
 - De keermiddelen (hefdeuren) zijn ook redundant, tot en met de aandrijving.
 - De energievoorziening is voorzien van back-up door de mogelijkheid om een NSA aan te voeren, hiervoor zijn leverafspraken met zeker twee leveranciers.
- Om onmerkbaar falen door geringe missie-frequentie en -duur tegen te gaan wordt de sluiting maandelijks geoefend, waarvan eenmaal per jaar de handmatige sluiting en eenmaal per half jaar de sluiting 'op noodstroom'. Hierdoor is het routineniveau bij de bedienaars voldoende groot.
- Er wordt gewerkt met protocollen en instructies voor de diverse bedienhandelingen.
- Na een sluitvraag (noodzaak tot sluiting) is er ruim voldoende tijd voor mobilisatie via diverse kanalen.
- De tijd om herstelmaatregelen te treffen bij optredend falen is voldoende groot om in de meeste gevallen te voorkomen dat optredend falen ook fataal wordt voor het vervullen van de sluitvraag.

Voor verdere toelichting wordt verwezen naar Bijlage B waar de begeleidende notitie van de RAMS-analyse is bijgevoegd.

4.2 Raamsluis Grave

De waterkerende constructieonderdelen van de raamsluis bestaan uit een aluminium schuif en per instroomopening een stalen schuif. De stalen schuiven zijn in alle voorgaande analyses meegenomen als zijnde tweede keermiddel. Deze stalen schuiven en bewegingswerken zijn relatief oud maar functioneren volgens het waterschap nog naar behoren. Doordat de stalen en aluminium schuiven relatief dicht achter elkaar gelegen zijn worden de keermiddelen niet als volledig onafhankelijke keermiddelen beschouwd. Met de stalen schuiven als secundair keermiddel wordt er nog steeds niet aan de gestelde veiligheidseis voldaan. Een additionele maatregel is noodzakelijk.

Op 28 mei 2024 heeft een ontwerpssessie met het waterschap plaatsgevonden. Vanuit het waterschap waren er medewerkers van zowel beheer als ecologie aanwezig. Het doel van deze ontwerpssessie was om allereerst meer inzicht te krijgen in het huidige sluitproces en ten tweede om samen met de beheerders kansen te ontdekken die de betrouwbaarheid van het sluiten kunnen verbeteren. Het besprekingsverslag is toegevoegd in Bijlage A.

Tijdens deze ontwerpssessie is er een aantal realistische maatregelen bedacht, die hieronder zijn toegelicht:

1. **De raamsluis vroegtijdig sluiten:** Dat wil zeggen, de raamsluis eerder sluiten dan het moment dat het met betrekking tot naderend hoogwater noodzakelijk zou zijn. Het voordeel van vroegtijdig sluiten is dat dit de zogenoemde 'tijd voor herstel' genereert. Indien het sluiten faalt is er meer tijd voor het herstel van de sluiting dan wel voor een eventuele noodmaatregel. Wanneer de tijd voor herstel groter is, vergroot dit logischerwijs ook de kans van slagen van de herstelmaatregel(en). Beheer geeft aan dat sluiten twee dagen voor hoogwater, of wanneer hoogwater in Maastricht is gesignaleerd, goed uitvoerbaar is aangezien er vlak voor hoogwater geen inlaatvraag is.
In de ontwerpssessie is er door beheer aangegeven dat vroegtijdig sluiten ook praktisch een goed uitvoerbare maatregel is. Dit aangezien de aluminium schuif op afstand aangestuurd wordt en zo, wanneer nodig, gemakkelijk met beperkte inspanning geactiveerd kan worden.
2. **Proefsluiting:** Er wordt voorgesteld een maandelijkse proefsluiting uit te voeren van de aluminium schuif. Het voordeel hiervan is dat de sluitprocedure wordt getraind, eventuele knelpunten in de procedure worden gefilterd en eventuele defecte onderdelen tijdig worden opgemerkt. De aluminium schuif wordt op afstand aangestuurd waardoor het uitvoeren van een proefsluiting volgens beheer makkelijk in te regelen en uit te voeren is zonder dat dit grote inspanning van de beheerorganisatie vereist.
3. **Schoonmaken van de raamsluis:** De raamsluis wordt ieder jaar door een duiker grondig schoongemaakt. Het voordeel hiervan is dat de kans op falen van het sluitproces door een belemmering wordt verminderd. Dit wordt reeds uitgevoerd dus is dit geen aanvullende maatregel. Het draagt echter wel bij aan een hogere betrouwbaarheid dan in voorgaande hoofdstukken is aangenomen, omdat hiermee tot dusver nog geen rekening was gehouden.
4. **Doorspoelen:** De waterkerende schuiven kunnen op elke gewenste hoogte worden stilgezet. De doorstroomopening kan zo worden verkleind tot een kier waardoor de stroomsnelheid omhoog gaat en zo obstakels zoals bijvoorbeeld zand, slib of schelpen worden weggespoeld. Het voordeel hiervan is dat de kans dat obstakels de sluiting belemmeren wordt verminderd. Deze doorspoelprocedure kan op elk gewenst moment, zo ook bij een proefsluiting of voor een noodzakelijke sluiting, worden uitgevoerd. Dit geeft vertrouwen dat het sluiten niet zal falen door een belemmering. Om voldoende hoge stroomsnelheid door de kier te krijgen is een verval over de schuif nodig. Bij het inregelen van deze maatregel moet een procedure worden opgesteld waarbij de stand van de aluminium schuif én de kantelstuw dusdanig worden aangestuurd dat een verval over de schuif en grote stroomsnelheid ontstaat.

5. **De schuiven dicht tot aan stilwaterniveau:** De schuiven, zowel de aluminium als stalen, kunnen als standaardhoogte dichtgezet worden tot aan het stilwaterniveau. Het voordeel hiervan is dat de doorstroomopening kleiner wordt. De doorstroomopening bepaald mede het instromend debiet. Bij een kleinere doorstroomopening is er een kleiner instromend debiet ten opzichte van een grotere doorstroomopening. Kortom, wanneer het sluitproces, de herstel- en noodmaatregelen zouden falen, is het instromend debiet kleiner wanneer de schuiven alvast tot aan het stilwaterniveau dichtgezet zijn dan wanneer de schuiven nog volledig open staan. Het beheer heeft aangegeven dat het mogelijk is de schuiven op elke gewenste hoogte in te stellen. Verder is er aangegeven dat de schuiven het instromend debiet onder normale omstandigheden niet mogen beïnvloeden in verband met de debietgeregelde stuw, verderop in het kunstwerk.
6. **Koppeling aluminium schuif met stuw:** Een volgende maatregel is een alternatieve bedieningswijze van de aluminium schuif. De stand van de aluminiumschuif (open of gesloten) wordt hierbij gekoppeld aan de inlaatvraag geregeld door de klepstuw. Bij een inlaatdebet staat de schuif geopend, indien er geen inlaatvraag is wordt de schuif door de koppeling in het beheersysteem automatisch gesloten. Doordat hoogwater normaliter in natte perioden optreedt en er dan geen inlaatvraag is, zal in deze situatie de schuif automatisch gesloten staan. Door toepassing van deze maatregel zal de schuif in principe altijd gesloten staan bij naderend hoogwater.⁵

Noodmaatregelen

7. **Een rijplaat voor de doorstroomopening:** Aan de voorkant, voor de stalen schuiven, kan in geval dat sluiten faalt als noodmaatregel een rijplaat aangebracht te worden. Deze noodoplossing dient ook ruim voor hoogwater aangebracht te worden in verband met de bereikbaarheid van het kunstwerk. Dit is echter mogelijk wanneer deze noodoplossing een reactie is op maatregel 1. Het beheer heeft aangegeven veel vertrouwen te hebben in een dergelijke noodoplossing. Een nadere analyse moet uitwijzen wanneer er exact overgegaan moet worden op de noodmaatregel indien herstel van een gefaalde sluiting faalt. De noodoplossing verkleint de faalkans, er wordt daarom een factor 10 aan zekerheid meegenomen indien deze maatregel wordt toegepast.

Bovenstaande maatregelen verkleinen het risico van niet sluiten. Het is echter niet eenvoudig te kwantificeren in hoeverre de faalkans exact verbeterd met elke maatregel. Wel geven de maatregelen een zeker vertrouwen in het sluitproces.

Door de aluminium schuif maandelijks te sluiten (maatregel 2) wordt dit keermiddel dermate vaak gesloten dat faalkansen voor alarmering, mobilisatie en bediening niet van toepassing zijn. De standaardfaalkans voor een schuif, $P_{ns} = 10^{-4}$ per sluitvraag [1], kan hierdoor worden toegekend. Dit is een aanscherping van een factor 3 ten opzichte van faalkans aan de hand van de geoptimaliseerde scoretabellen. De stalen schuiven zijn door de afstand tot de aluminium schuif niet volledig onafhankelijk waardoor deze niet als tweede keermiddel met betreffende faalkans meegenomen kunnen worden. Oefening van sluiting van de schuiven wordt jaarlijks uitgevoerd. Daarnaast wordt hetzelfde onderhoud gepleegd als bij de aluminium schuif. De faalkans per sluitvraag voor de stalen schuiven wordt daarom conservatief ingeschat op 10^{-2} per sluitvraag. De totale faalkans per sluitvraag voor de combinatie van aluminium schuif met stalen schuiven wordt door toepassing van maandelijks oefenen $P_{ns, totaal} = 1E-6$ per sluitvraag. Dit leidt tot een totale verbetering van de faalkans met een factor 30.

⁵ De technische uitvoerbaarheid en mogelijkheid tot implementatie van deze maatregel wordt door WSAM nader onderzocht en uitgewerkt. Op basis van de gevoerde gesprekken en informatie wordt ervan uitgegaan dat de maatregel toegepast kan worden.

Door toepassing van een eerdere sluiting wordt de mogelijkheid tot herstel bij technische mankementen vergroot. Het kunstwerk wordt reeds jaarlijks onderhouden, daarnaast worden de inlaatopeningen jaarlijks door duikers gereinigd waardoor aangegroeide flora en fauna en vuil worden verwijderd. De schuif kan bij sluiting op een kierstand gezet worden om bij sluiting de drempel schoon te spoelen. De verkregen informatie van de beheerders ten aanzien van onderhoud, beheer en kennis van sluiting van het kunstwerk geeft veel vertrouwen dat falen van sluiting door belemmering zeer klein is. Door de beschikbare hersteltijd te vergroten naar twee dagen voor het huidige sluitpeil wordt het risico op technisch falen zeer verkleind. Op basis van bovenstaande informatie, in combinatie met het toepassen van vroegtijdig sluiten, wordt een factor 10 aan zekerheid toegewezen aan het sluitproces.

- Er wordt een factor 10 aan zekerheid toegekend wanneer de volgende maatregelen worden gebundeld:
 - De raamsluis vroegtijdig sluiten bij naderend hoogwater (maatregel 1).
 - Jaarlijkse schoonmaak van de raamsluis (maatregel 3).
 - Regelmatig op kierstand doorspoelen van de Raamsluis (maatregel 4).

Maatregel 6 is een koppeling tussen de aansturing van de klepstuw met de stand van de aluminium schuif. In natte perioden is de grootste kans dat hoogwater optreedt op de door neerslag gedomineerde Maas. Na toepassing van maatregel 6 wordt de betrouwbaarheid van sluiting significant vergroot. Doordat de haalbaarheid van de maatregel nog niet vaststaat, wordt deze maatregel niet meegenomen in de faalkans van sluiten. Indien de maatregel wordt toegepast is ingeregeld dat de aluminium schuif gesloten is vóórdat een hoogwatergolf optreedt. De kans dat het kunstwerk open staat is dan gelijk aan de kans dat het elektrische aansturingssysteem faalt. Deze kans wordt ingeschat op een factor 10^{-3} , dit wordt gezien als een conservatieve inschatting. De kans op open staan is daarmee $P_{\text{open}} = 10^{-3}$ per jaar waardoor de faalkans van niet sluiten een factor 1000 aan zekerheid groter wordt door deze maatregel.

Maatregel 5 verkleint niet zozeer de faalkans op niet sluiten maar meer de impact op het achterland indien het sluitproces en de herstel- dan wel noodmaatregel falen. Daarnaast vergroot het de kans op slagen van een noodmaatregel (maatregel 7) doordat een kleiner oppervlak gesloten hoeft te worden. De beheerder geeft aan veel vertrouwen te hebben in uitvoering van de noodmaatregel. De combinatie van het verkleinen van het doorstroomoppervlak met de noodmaatregel geeft het vertrouwen een factor 10 aan zekerheid toe te kennen aan de maatregelen.

Conclusie Raamsluis Grave

Er zijn twee oplossingen (combinaties van maatregelen) die beiden tot een acceptabel resultaat leiden. Het waterschap moet nog een keuze maken welke richting van maatregelen wordt doorgezet. In afstemming met WSAM is besloten beide oplossingen te presenteren in deze notitie. Het effect van de beide maatregelen op de faalkans is hieronder toegelicht.

- 1) Wanneer maandelijkse proefsluitingen (maatregel 2) samen met maatregelen (1: vroegtijdig sluiten), (3: schoonmaken) en (4: doorspoelen), zonder de koppeling tussen klepstuw en schuif, worden toegepast wordt de totale faalkans een factor 300 kleiner. De totale faalkans gaat daarmee van $1,5E-5$ per jaar naar $5,0E-8$ per jaar. De raamsluis neemt dan afgerond 1,25% in van de totale faalkansruimte voor BSKW.
- 2) Als de maatregel waarbij de aluminium schuif geopend of gesloten is afhankelijk van de inlaatvraag middels de klepstuw (maatregel 6) wordt toegepast, resulteert dit in een faalkans van $1,5E-8$ per jaar. Dit is een factor 1000 kleiner dan de huidige situatie, doordat de kans op open staan kleiner is.

Toepassen en meenemen van zekerheid voor de **noodmaatregel** (maatregel 7) zorgt voor één orde aan extra zekerheid. Dit zorgt voor de volgende faalkansen voor de twee oplossingen:

- 1) maatregel proefsluitingen (maatregel 2) in combinatie met maatregelen (1), (3) en (4) én noodmaatregel (maatregel 7) in faalkans $5,0E-9$ per jaar, oftewel 0,13% van de faalkansruimte;
- 2) maatregel 6, koppeling stand schuif aan inlaatvraag én noodmaatregel (maatregel 7) in faalkans $1,5E-8$ per jaar, oftewel 0,04% van de faalkansruimte.

Voor de analyse trajectaanpak BSKW wordt uitgegaan van de hoogste faalkans, $5,0E-8$ per jaar, daarmee 1,25% van de totale faalkansruimte voor BSKW, voor de Raamsluis Grave. Hierbij is sterkte voor een noodmaatregel niet meegenomen omdat de voorkeur van WSAM uitgaat naar een ontwerp waarbij betrouwbaarheid sluiten voldoende geborgd is zonder noodmaatregelen.

4.3 Gemaal van Sasse

De zwakke schakel bij Gemaal van Sasse is de vispassage. Bij de vispassage zijn de keermiddelen twee direct achter elkaar gelegen schuiven waardoor de schuiven geen onafhankelijke keermiddelen zijn (kans op blokkade door één en hetzelfde object). Een additionele maatregel is noodzakelijk. Ook hier wordt dat gezocht in de vorm van een procedurewijziging in combinatie met noodmaatregelen.

Op 28 mei 2024 heeft er een ontwerpessie met het waterschap plaatsgevonden. Het besprekingsverslag is toegevoegd in Bijlage A.

Uit deze ontwerpessie zijn een aantal maatregelen naar voren gekomen. Deze worden hieronder uitgelicht:

1. **Doorspoelen van de vispassage:** De waterkerende schuiven kunnen op elke gewenste hoogte worden stilgezet. De doorstroomopening kan zo worden verkleind tot een kier waardoor de stroomsnelheid omhoog gaat en zo obstakels zoals zand, slib of schelpen worden weggespoeld. Het voordeel hiervan is dat de kans dat obstakels de sluiting belemmeren wordt verminderd. Deze doorspoelprocedure kan op elk gewenst moment, zo ook bij een proefsluiting of voor een noodzakelijke sluiting, worden uitgevoerd. Dit geeft vertrouwen dat het sluiten niet zal falen door een belemmering.
2. **Schoonmaken van de vispassage:** De vispassage wordt ieder jaar grondig schoongemaakt. Het voordeel hiervan is dat de kans op falen van het sluitproces door een belemmering wordt verminderd. Dit wordt reeds uitgevoerd dus is geen aanvullende maatregel, echter draagt het wel bij aan een hogere betrouwbaarheid dan in voorgaande hoofdstukken is aangenomen.
3. **De doorstroomopening gedeeltelijk dicht:** Er wordt voorgesteld om de doorstroomopening gedeeltelijk dicht te zetten, waarmee wordt bedoeld dicht van boven tot aan het stilwaterniveau. Het voordeel hiervan is dat de doorstroomopening kleiner wordt. De doorstroomopening bepaald mede de grootte van het instromend debiet. Wanneer het sluitproces, de herstel- en noodmaatregelen zouden falen is, wanneer de schuiven alvast tot aan het stilwaterniveau dichtgezet zijn, het instromend debiet en daarmee de binnendijkse wateroverlast kleiner dan wanneer de schuiven nog volledig open staan. De schuiven kunnen volgens het beheer op elke gewenste hoogte stilgezet worden. De schuiven mogen de waterstroming niet beïnvloeden in verband met vismigratie.
4. **Maandelijkse proefsluiting:** Er wordt voorgesteld een maandelijkse proefsluiting uit te voeren. Het voordeel hiervan is dat de sluitprocedure wordt getraind, eventuele knelpunten in de procedure worden gefilterd en eventuele defecte onderdelen tijdig worden opgemerkt. De sluiting wordt op afstand gestuurd waardoor het uitvoeren van een proefsluiting volgens beheer gemakkelijk te implementeren en uit te voeren is.

5. **Proefsluiting voor naderend hoogwater:** Er wordt voorgesteld twee dagen voor huidig sluitpeil een proefsluiting uit te voeren. Het voordeel hiervan is dat de sluitprocedure kort voor een noodzakelijk sluiten nogmaals wordt getraind en eventuele defecten tijdig worden opgemerkt. De sluiting wordt op afstand gestuurd waardoor het uitvoeren van een proefsluiting volgens beheer makkelijk uit te voeren is.
6. **De vispassage vroegtijdig sluiten:** Dat wil zeggen de vispassage eerder sluiten dan het moment dat het met betrekking tot naderend hoogwater noodzakelijk zou zijn. Het voordeel van vroegtijdig sluiten is dat eventuele defecten tijdig worden opgemerkt en hersteld of verholpen kunnen worden. Indien het sluiten faalt is er meer tijd voor het herstel van de sluiting dan wel voor een eventuele noodmaatregel. Wanneer de tijd voor herstel groter is, vergroot dit logischerwijs ook de kans van slagen van de herstelmaatregel(en).
- In de ontwerpessie is er door beheer aangegeven dat vroegtijdig sluiten een goed uitvoerbare maatregel is. Volgens de ecoloog van het waterschap kan de vispassage zeker ten minste twee dagen voor naderend hoogwater worden gesloten. Dit heeft namelijk minimaal nadelig effect op de vismigratie.

Noodmaatregelen

De doorstroomopening van de vispassage is bij grove benadering 2,2 x 2,4 m. Dit is net zoals bij de raamsluis een te grote doorstroomopening om alleen met bigbags te kunnen sluiten. Daarnaast is de opening lastig met een kraan te bereiken door beperkte beschikbare ruimte en de aanwezige bewegings- en aansturingswerken (zwarte bakken op onderstaande foto). Uitvoerbaarheid van noodmaatregelen wordt hierdoor als risicovol gezien. Er worden daardoor geen noodmaatregelen opgenomen in de faalkansbeschouwing.



Figuur 4-1: Aanzicht op buitenzijde Gemaal van Sasse met locatie schuiven bij vispassage rood omcirkelt

Bovenstaande procedurele maatregelen (maatregelen 1 t/m 6) verkleinen het risico van niet sluiten. Het is echter niet eenvoudig te kwantificeren in hoeverre de faalkans exact verbetert met elke maatregel. Wel geven de maatregelen een zeker vertrouwen in het sluitproces.

Door de schuiven maandelijks te sluiten (maatregel 4) wordt dit keermiddel dermate vaak gesloten dat faalkansen voor alarmering, mobilisatie en bediening niet van toepassing zijn. De standaardfaalkans conform de WOWK [1] $P_{ns} = 10^{-4}$ per sluitvraag [1] wordt daarom toegekend. De schuiven zijn door de onderlinge afstand niet volledig onafhankelijk waardoor deze niet als tweede keermiddel met betreffende faalkans meegenomen kan worden. De tweede schuif zorgt voor robuustheid in het ontwerp en vergroot de betrouwbaarheid van sluiten. De tweede schuif is voor een groot deel afhankelijk van dezelfde aansturing en W&E. De faalkans per sluitvraag voor de tweede schuif wordt daarom conservatief ingeschat op 10^{-1} per sluitvraag. De totale faalkans per sluitvraag voor de combinatie van de schuiven wordt door toepassing van maandelijks oefenen $P_{ns,totaal} = 1E-5$ per sluitvraag en is een verbetering van de faalkans met een factor 3.

Het kunstwerk wordt reeds jaarlijks onderhouden. Daarnaast wordt de opening jaarlijks door duikers gereinigd waardoor aangegroeide flora en fauna en vuil worden verwijderd. De schuif kan bij sluiting op een kierstand gezet worden om bij sluiting de drempel schoon te spoelen. Na toepassing van maandelijkse proefsluiting kan dit met grotere frequentie gebeuren. De verkregen informatie van de beheerders ten aanzien van onderhoud, beheer en kennis van sluiting van het kunstwerk geeft veel vertrouwen dat falen van sluiting door belemmering zeer klein is.

Door toepassing van een proefsluiting voor naderend hoogwater (maatregel 5) of vroegtijdige sluiting (maatregel 6) wordt de mogelijkheid tot herstel bij technische mankementen vergroot. Wanneer een termijn van twee dagen voorafgaand aan sluitpeil een (proef)sluiting wordt uitgevoerd geeft dit veel vertrouwen in het succesvol laten verlopen van het sluitproces en de mogelijkheid voor eventueel herstel.

- Er wordt een factor 10 aan zekerheid toegekend wanneer de volgende maatregelen gebundeld worden toegepast:
 - Regelmatig op kierstand doorspoelen van de vispassage (maatregel 1).
 - Jaarlijkse schoonmaak van de vispassage (maatregel 2).
 - Proefsluiting voor naderend hoogwater (maatregel 5) óf,
 - De vispassage vroegtijdig sluiten (maatregel 6).

Maatregel 3 verkleint niet zozeer de faalkans op niet sluiten maar meer de impact op het achterland indien het sluitproces en de herstel- dan wel noodmaatregel falen.

Wanneer bovenstaande maatregelen (maatregelen 1, 2, 4 en 5/6) worden toepast wordt de totale faalkans een factor 30 kleiner. De totale faalkans gaat daarmee van $1,2E-5$ per jaar naar $4,0E-7$ per jaar. Het Gemaal van Sasse neemt dan 10% in van de totale faalkansruimte voor BSKW.

4.4 Conclusie maatregelen

Zowel voor de Raamsluis Grave als het Gemaal van Sasse zijn er additionele maatregelen voorgesteld die de faalkans reduceren. De som van maatregelen geeft voor de Raamsluis Grave een reductiefactor van circa 300 op de faalkans en bij het Gemaal van Sasse een reductiefactor van circa 30 op de faalkans. De uitwerking hiervan is weergegeven in Tabel 4-1.

Tabel 4-1 geeft de faalkans niet sluiten van de zeven significante kunstwerken weer voor de situatie met en zonder (huidig) additionele maatregelen.

Tabel 4-1: Impact van maatregelen op faalkans niet sluiten

Kunstwerk	$P_{f,KW,NS}$ Huidig [-]	Faalkansruimte Huidig [%]	Verbetering door Maatregelen [factor]	$P_{f,KW,NS}$ Nieuw [-]	Faalkansruimte Nieuw [%]
Keersluis Cuijk	6,0E-6	151	109 ⁶	5,5E-8	1,4
Uitwateringssluis Tochtsloot	8,4E-10	0,02	-	8,4E-10	0,02
Uitwateringssluis Gasselseloop	3,4E-10	0,01	-	3,4E-10	0,01
Raamsluis Grave	1,5E-5	376	300	5,0E-8	1,25
Coupure Maaspoort Grave	1,8E-8	0,44	-	1,8E-8	0,44
Coupure Maasstraat Grave	4,4E-8	1,11	-	4,4E-8	1,11
Gemaal van Sasse	1,2E-5	301	30	4,0E-7	10,0
Totaal traject	3,3E-05	830	-	5,7E-7	14,2

Er zijn mogelijk nog meerdere nieuwe kunstwerken (waaronder coupures en demontabele keringen) voorzien op het dijktraject. Uit de hiervoor uitgevoerde analyse volgt dat er **maximaal nog 85% aan faalkansruimte beschikbaar is voor eventuele nieuwe kunstwerken**.

⁶ De verbetering is het resultaat van een objectspecifieke analyse, niet door aanvullende maatregelen.

5. Toekomstige kunstwerken

Alle kunstwerken binnen het traject moeten samen aan de trajecteis voldoen. Dit is inclusief toekomstige kunstwerken. Binnen het traject zijn er een aantal toekomstige kunstwerken voorzien. Het gaat om de volgende kunstwerken:

- KW174 – Coupure Everdinweerd
- Demontabele kering (Maaskade, Oude Haven, coupure Bomvrije, Rondeel Prinsenstal)
- KW273 + 50 – Coupure nieuwe haven oost
- KW274 + 50 – Coupure nieuwe haven west
- KW285 – Coupure Sasse oost
- KW285 – Coupure Sasse west

De kans op overstroming na niet-sluiten [per jaar] zoals beschreven in 3.1 wordt voor de toekomstige kunstwerken op dezelfde manier bepaald als voor de bestaande kunstwerken. Deze zal hieronder worden uitgewerkt.

5.1 Demontabele keringen

Op twee langere strekkingen is een demontabele kering voorzien, daarnaast is op een aantal locaties een coupure c.q. demontabele kering opgenomen in het ontwerp (Figuur 5-1). De nieuwe coupures (Bomvrije en Rondeel Prinsenstal) zijn in de analyse meegenomen als onderdeel van de faalkans voor de demontabele kering aangezien de drempelhoogte en daarmee inzetfrequentie vergelijkbare is. Voor het detailniveau van het VO wordt dit als voldoende gezien. De laagst aanwezige kruinhoogte is aangehouden als sluitpeil voor de gehele analyse. De volgende locaties zijn in deze notitie meegenomen in de beschouwing van BSKW:

- Coupure Bomvrije, ca. 10 m
- Oude Haven, ca. 45 m
- Rondeel Prinsenstal, ca. 6 m
- Maaskade, ca. 250 m

De totale strekking van de demontabele keringen is daarmee ca. 310 m. Figuur 5-1 geeft een overzicht van de locatie van de hoogtemaatregelen in Grave, met de demontabele keringen weergegeven in paars.

De uitwerking van de kans op overstroming na niet-sluiten voor de demontabele kering is bepaald in rapport [7] en zal daarom in dit rapport niet verder behandeld worden. De kans op overstroming na niet sluiten ($P_{f,a,ns}$) van de demontabele keringen komt uit op $6,81E-7$ per jaar.



Figuur 5-1: Overzicht demontabele kering Grave.

5.2 Coupures

In het traject zijn 6 nieuwe coupures voorzien. Coupure Bomvrije is reeds opgenomen in de faalkans van demontabele keringen gezien de locatie en sluitpeil. De overige 5 coupures zijn hier gegeven. De faalkans ten aanzien van BSKW van deze 5 coupures wordt in deze paragraaf toegelicht.

- KW174 – Coupure Everdinweerd
- KW273 + 50 - Coupure nieuwe haven oost
- KW274 + 50 - Coupure nieuwe haven west
- KW285 - Coupure Sasse oost
- KW285 - Coupure Sasse west

5.2.1 Kans op open kering bij sluitvraag

Coupures zijn het gehele jaar geopend en worden pas gesloten wanneer hoogwater zich aandient. De kans op open staan bij sluitvraag is dus gelijk aan 1.

5.2.2 Kans op herstel van gefaalde sluiting

De kans op herstel van fouten binnen alarmering, mobilisatie, bediening en technisch falen wordt in principe meegenomen in de faalkansanalyse bij het bepalen van de kans op niet sluiten. Er is geen alternatieve wijze van sluiting opgenomen in de bepaling van de faalkans. Voor de kans op herstel van gefaalde sluiting wordt daarom een waarde van 1 aangehouden.

5.2.3 Kans op een sluitvraag per jaar / sluitfrequentie

Coupures moeten gesloten zijn wanneer de buitenwaterstand een hoogte bereikt zodanig dat het overslagdebiet bij het open keerpeil (OKP) hoger is dan 1,0 l/s/m. In het geval van coupures is het OKP gelijk aan de drempelhoogte, ook wel open keerhoogte genoemd. Er is rekening gehouden met 0,10 m bodemdaling.

De terugkeertijd van de maatgevende buitenwaterstand is bepaald met Hydra-NL. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 5-1.

Tabel 5-1: Kans op sluitvraag per jaar toekomstige kunstwerken

Kunstwerk	OKP [m +NAP]	Kans op sluitvraag per jaar
KW174 – Coupure Everdineweerd	13,50	9,72E-5
KW273 + 50 - Coupure nieuwe haven oost	12,05	3,74E-4
KW274 + 50 - Coupure nieuwe haven west	12,05	3,74E-4
KW285 - Coupure Sasse oost	12,00	2,21E-4
KW285 - Coupure Sasse west	12,00	2,21E-4

5.2.4 Kans op niet sluiten

De kans op niet sluiten wordt bepaald door vier faalgebeurtenissen: falen hoogwateralarmering (HAS), falen mobilisatie (MOB), falen bediening (BED) en technisch falen (STO). De kans op niet sluiten wordt bepaald aan de hand van scoretabellen. De toekomstige coupures lijken sterk op de bestaande twee coupures, namelijk de Maaspoort en Maasstraat. Het verschil tussen de Maaspoort en de Maasstraat is met name de grootte van het kunstwerk wat resulteert in het wel of niet handmatig kunnen sluiten. Verder is er onderscheidt in het optreden van een belemmering waardoor de sluiting faalt. De nieuwe kunstwerken zijn op basis van bovenstaande criteria gelijkgesteld aan ofwel de Maaspoort ofwel de Maasstraat. De scoretabellen voor de toekomstige coupures zijn daarom ook vergelijkbaar aan de scoretabellen van de bestaande kunstwerken. De kans op niet sluiten is weergegeven in Tabel 5-2.

Tabel 5-2: Kans op niet sluiten toekomstige kunstwerken

Kunstwerk	Vergelijkbaar met	Kans op niet sluiten per jaar
KW174 – Coupure Everdineweerd	Coupure Maasstraat	7,63E-5
KW273 + 50 - Coupure nieuwe haven oost	Coupure Maasstraat	7,63E-5
KW274 + 50 - Coupure nieuwe haven west	Coupure Maasstraat	7,63E-5
KW285 - Coupure Sasse oost	Coupure Maasstraat	7,63E-5
KW285 - Coupure Sasse west	Coupure Maaspoort	3,01E-5

5.3 Kans op overstroming na niet-sluiten

De kans op overstroming na niet-sluiten is voor elk toekomstig kunstwerk weergegeven in Tabel 5-3.

Tabel 5-3: Kans op overstroming na niet-sluiten toekomstige kunstwerken

Kunstwerk	Kans op open kering bij sluitvraag [-]	Kans op herstel van gefaalde sluiting [-]	Kans op sluitvraag [per jaar]	Kans op niet sluiten [per jaar]	Kans op overstroming na niet-sluiten [per jaar]
KW174 – Coupure Everdineweerd	1	1	9,72E-5	7,63E-5	7,42E-09
KW273 + 50 - Coupure nieuwe haven oost	1	1	3,74E-4	7,63E-5	2,85E-08

KW274 + 50 - Coupure nieuwe haven west	1	1	3,74E-4	7,63E-5	2,85E-08
KW285 - Coupure Sasse oost	1	1	2,21E-4	7,63E-5	1,69E-08
KW285 - Coupure Sasse west	1	1	2,21E-4	3,01E-5	6,66E-09
Demontabele keringen [7]					6,81E-07

6. Totaaloverzicht kunstwerken traject Cuijk – Ravenstein

Tabel 6-1 geeft een totaaloverzicht voor de kans op overstroming na niet-sluiten voor alle kunstwerken binnen het traject. Dit betreft de huidige kunstwerken en de toekomstige kunstwerken. Hierbij is wel in acht genomen dat alle eerder genoemde maatregelen voor de bestaande kunstwerken zijn toegepast.

De som van de kans op overstroming na niet-sluiten is 1,34E-6 per jaar. De beschikbare faalkansruimte is 4,00E-6 per jaar. Er wordt daarmee voldaan aan de eis voor BSKW. Er wordt, met zowel de bestaande als toekomstige kunstwerken, 33,5 % van de totale faalkansruimte ingenomen, er blijft nog 66,5% van het faalkansbudget beschikbaar.

Tabel 6-1: Totaaloverzicht kans op overstroming na niet-sluiten voor alle kunstwerken binnen het traject Cuijk-Ravenstein

Kunstwerk	Kans op open kering bij sluitvraag [-]	Kans op herstel van gefaalde sluiting [-]	Kans op sluitvraag [per jaar]	Kans op niet sluiten [per jaar]	Kans op overstroming na niet-sluiten [per jaar]
KW188 - Keersluis Cuijk [Bijlage B]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	5,53E-08
KW232 - Uitwateringsloot Tochtsloot	1	1	0,25	1,20098E-09	3,00E-10
KW245 - Uitwateringssluis Gasselseloop	1	1	0,28	1,20098E-09	3,36E-10
KW266 - Raamsluis Grave	1	1	0,5	1,00E-07	5,00E-08
KW269 - Coupure Maaspoort Grave	1	1	5,80E-04	3,01E-05	1,75E-08
KW270 - Coupure Maasstraat Grave	1	1	5,80E-04	7,63E-05	4,43E-08
KW286 - Gemaal van Sasse	1	1	0,4	1,00E-06	4,00E-07
KW174 – Coupure Everdinweerd	1	1	9,72E-5	7,63E-5	7,42E-09
KW273 + 50 - Coupure nieuwe haven oost	1	1	3,74E-4	7,63E-5	2,85E-08
KW274 + 50 - Coupure nieuwe haven west	1	1	3,74E-4	7,63E-5	2,85E-08
KW285 - Coupure Sasse oost	1	1	2,21E-4	7,63E-5	1,69E-08
KW285 - Coupure Sasse west	1	1	2,21E-4	3,01E-5	6,66E-09
Demontabele keringen [7]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	6,81E-07
Totale faalkans BSKW =					1,34E-06

7. Conclusie

Uit de uitgevoerde analyses blijkt dat bij veel bestaande kunstwerken de bijbehorende scoretabel kan worden geoptimaliseerd. Hierdoor worden de faalkansen over het algemeen één tot twee ordes kleiner. Het optimaliseren van de scoretabellen is echter onvoldoende om direct al aan de trajecteis voor BSKW te voldoen. Om dit te bewerkstelligen zijn er (herstel)maatregelen opgenomen, een opsomming van de benodigde maatregelen is in dit hoofdstuk gegeven. Door toepassing van de maatregelen wordt de faalkans van zowel de Raamluis als het Gemaal van Sasse met twee ordes verkleind. Voor de keersluis Cuijk is er een aparte RAMS-analyse uitgevoerd welke de kans op overstroming bij niet-sluiten significant verkleint. Met inachtneming van de RAMS-analyse voor de keersluis en de onderstaand genoemde maatregelen voor de Raamluis en het gemaal van Sasse wordt voldaan aan de faalkanseisen voor BSKW. Er zijn meerdere nieuwe kunstwerken voorzien in het dijktraject. Ook met deze toekomstige kunstwerken wordt voldaan aan de eisen voor BSKW.

7.1 Maatregelen maatgevende kunstwerken

Keersluis Cuijk

De standaardbeoordeling conform de vigerende leidraden voor BSKW leidt tot een onderschatting van de betrouwbaarheid van sluiten van de keersluis. Middels een RAMS-analyse van de keersluis is het systeem en de betrouwbaarheid daarvan beter inzichtelijk gemaakt en zijn de componenten die bijdragen aan de robuustheid van het systeem op waarde meegenomen. Uit deze analyse is gebleken dat het kunstwerk voldoet aan de gestelde eisen binnen de trajectaanpak BSKW. Er zijn dus geen aanvullende maatregelen nodig.

Raamluis Grave

Om een faalkansverbetering van een factor 300 te verkrijgen zijn de volgende maatregelen voorzien:

- Maandelijks proefsluiting.
- Jaarlijkse schoonmaak van de raamluis.
- Regelmatig op kierstand doorspoelen van de Raamluis.
- De raamluis vroegtijdig sluiten bij naderend hoogwater.

Tevens is een alternatieve maatregel uitgewerkt. Er is door WSAM nog geen keuze gemaakt of voorgenoemde maatregelen of deze alternatieve maatregel wordt uitgevoerd, daarom is de hoogste faalkans van de maatregelen aangehouden in de BSKW-trajectanalyse. De alternatieve maatregel resulteert in een faalkansverbetering van een factor 1000.

- Koppeling van de stand van de aluminium schuif (geopend of gesloten) aan het inlaatdebiet. Bij geen inlaatvraag volgt automatische sluiting van de schuif. Dit leidt tot een significante reductie van de kans op open staan.

Gemaal van Sasse

Om een faalkansverbetering van een factor 30 te verkrijgen zijn de volgende maatregelen voorzien:

- Maandelijks proefsluiting.
- Jaarlijkse schoonmaak van de vispassage.
- Regelmatig op kierstand doorspoelen van de vispassage.
- Proefsluiting voor twee dagen voor naderend hoogwater, OF,
- De vispassage vroegtijdig (twee dagen) sluiten bij naderend hoogwater.

7.2 Protocolaire wijzigingen kunstwerken

Om te voldoen aan de hiervoor afgeleide faalkansen m.b.t. BSKW, dienen de volgende protocolaire wijzigingen, volgend uit de aanscherping van de scoretabellen, bij de kunstwerken te worden doorgevoerd:

Uitwateringssluizen:

De protocollen zijn voor de kunstwerken identiek waardoor dezelfde maatregelen doorgevoerd kunnen worden.

- Tweemaal per jaar het kunstwerk controleren en borgen in de protocollen dat dit wordt nageleefd.

Raamsluis:

- In het sluitprotocol opnemen dat de aluminium schuif op handkracht te sluiten is.

Coupure Maaspoort Grave

- Tweemaal per jaar het kunstwerk controleren en borgen in de protocollen dat dit wordt nageleefd.

Coupure Maasstraat Grave

- Tweemaal per jaar het kunstwerk controleren en borgen in de protocollen dat dit wordt nageleefd.
- In sluitprotocol maatregel opnemen indien een object in de coupure zorgt voor belemmering van sluiting. Er is voldoende tijd voor herstel dus hiervoor hoeft geen sterkte-reductie toegepast te worden t.a.v. BSKW.

8. Referenties

- [1] Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken (WOWK), groene versie, RWS-WVL Waterkeringen, 01-11-18;
- [2] 221018 Nota Voorkeursalternatief Dijkversterking Cuijk-Ravenstein vastgesteld, WSP, 18-11-2022;
- [3] WAB013032-D-037-Ontwerprapport Kunstwerken, Verkenning Cuijk – Ravenstein, v7, WSP, 17-06-2022;
- [4] INFR190581-R01, Kunstwerken traject 36-2, Preverkenning, Iv-Infra, 17-02-2020;
- [5] P17-011-002, Analyse kunstwerken dijktraject 36-2, Verkenning waterveiligheid van kunstwerken, Greenrivers, 10-10-2017;
- [6] Memo Komberging Keersluis Cuijk D1.0, Sweco, 29-05-2024;
- [7] Betrouwbaarheid sluiten, Demontabele kering Grave, Dijkverbeteringstraject Cuijk-Ravenstein, WSB.20.3,14-02-2025.

Bijlage A. Besprekingsverslag ontwerpsessie 28-05-2024



28-05-2024

Besprekingsverslag ontwerpssessie BSKW

Plaats	Grave	Locatie	Gemaal van Sasse
Datum	28-05-2024	Tijd	14:00
Aanwezig			

Auteur: Menno Rekveld
 Projectnummer: 51018049-001
 Onderwerp: Planuitwerking CuRa - Fixed price
 Klant: Waterschap Aa en Maas
 Projectleider: Stephan Laaper
 Gecontroleerd door: Frank Smorenburg

Kopie aan

Onderwerp Ontwerpssessie mogelijke maatregelen voor BSKW voor het Gemaal van Sasse en de Raamsluis

Op 28 mei 2024 heeft er bij het gemaal van Sasse een ontwerpssessie plaatsgevonden met het waterschap en Sweco. Hierbij waren vanuit het waterschap beheerders aanwezig en een ecoloog. Het doel van deze ontwerpssessie was allereerst om meer inzicht te krijgen in het sluitproces en mogelijke risico's en ten tweede kansen te extraheren om BSKW te verbeteren.

Gemaal van Sasse

Het gemaal bestaat uit 4 kokers waarvan 1 koker gebruikt wordt als vispassage. De drie kokers waar geen vispassage aanwezig is, zijn voldoende veilig t.a.v. BSKW door de aanwezigheid van een combinatie van schuiven en terugslagkleppen en daarom zijn geen aanscherpingen of maatregelen benodigd. Het knelpunt voor BSKW bij het gemaal ligt bij de koker met vispassage aangezien bij de vispassage de keermiddelen bestaan uit 2 dicht op elkaar gelegen schuiven, waardoor er sprake kan zijn van een gecorreleerde faaloorzaak. Onderstaand heeft betrekking op de vispassage. De volgende punten zijn besproken.

Toelichting beheer op het sluiten van de keermiddelen:

- Het beheer geeft aan dat als ze een reden aan moeten geven dat de schuif niet gesloten kan worden, dat mogelijk is door aanslibbing of aanwezige schelpen.
- Er is door beheer aangegeven dat de vispassage ieder jaar door duikers grondig wordt schoongemaakt. Dit geeft vertrouwen dat de kans op belemmering klein is en dat er succesvol gesloten kan worden wanneer nodig.

Sweco
 T +31 (0) 88 811 6600
 www.sweco.nl

De Holle Bilt 22
 NL 3732 HM De Bilt
 Netherlands

Sweco Nederland B.V.
 Handelsregister 30129769
 Statutair gevestigd te De Bilt

Documentreferentie Besprekingsverslag ontwerpssessie BSKW_C1.0

1/4

- Het schoonspoelen van de vispassage. Het beheer heeft aangegeven dat wanneer er sprake is van obstakels in de vorm van slib en/of schelpen deze weggespoeld kunnen worden voordat de sluiting volledig sluit. De schuiven van de vispassage kunnen namelijk op een kier worden gezet. Beide schuiven kunnen op elke gewenste hoogte stilgezet worden. De schuiven kunnen op die manier op een zodanige hoogte gezet worden dat de opening verkleind wordt tot een smalle kier. Door de smalle opening wordt de stroomsnelheid in de vispassage en onder de schuiven vergroot. Beheer geeft aan dat de stroomsnelheid dermate groot is dat obstakels, bijvoorbeeld slib en/of schelpen, worden weggespoeld. Wanneer de obstakels zijn weggespoeld kunnen de schuiven volledig gesloten worden. Dit is al herhaaldelijk uitgevoerd en geeft vertrouwen in het succes ervan.
- Obstakels die door het beheer bij de sluiting aangetroffen worden zijn slib en/of schelpen. Zoals eerder beschreven worden deze jaarlijks verwijderd en kan door middel van sluiten tot een kier eventueel aanwezige obstakels weggespoeld worden. De kans dat aanwezige obstakels de sluiting belemmeren is daarmee klein.

Mogelijke maatregelen; volledige sluiting in de winter of standaard gedeeltelijke sluiting.

- De ecooloog van het waterschap geeft aan dat er in de winter weinig vismigratie is, echter is het sluiten van de vispassage gedurende de gehele winter ongewenst. De mogelijkheid tot migratie moet blijven.
- Een voorgestelde maatregel is om de schuiven van de vispassage gedeeltelijk dicht te zetten. De doorstroomopening wordt hierdoor verkleind wat het toepassen van een noodmaatregel vergemakkelijkt. Bovendien stroomt er bij falen een kleiner debiet door de vispassage naar het achterland. De ecooloog van het waterschap geeft echter aan dat er bij een stroomsnelheid >1 m/s geen vismigratie meer kan plaatsvinden en dat een dergelijke maatregel daarom ongewenst is.
- De schuiven, die van boven naar onder de doorstroomopening afsluiten, kunnen op elk gewenste hoogte worden stilgezet. Hiermee kan de hoogte van het doorstroomprofiel van de koker worden beïnvloed. Wanneer op deze wijze de doorstroomopening van boven tot aan het waterniveau zou worden dichtgezet heeft het uitvoeren van een noodmaatregel een grotere kans van slagen. Bovendien, omdat de doorstroomopening kleiner is, is het instromend debiet bij falen kleiner. Doordat de schuiven niet tot in het water worden neergelaten maar er net boven blijven hangen, wordt de stroming niet beïnvloed waardoor ook vismigratie hier geen hinder van ondervindt.

Mogelijke maatregelen; proefsluitingen.

- De schuiven worden op afstand aangestuurd. Er hoeft geen medewerker lokaal aanwezig te zijn om de vispassage te sluiten.
- Het beheer geeft aan dat het periodiek uitvoeren van een proefsluiting gemakkelijk uitvoerbaar is. Een periodieke proefsluiting kan binnen de door het waterschap gebruikte software worden geïmplementeerd waardoor het beheer een periodieke melding krijgt wanneer de schuiven voor een test gesloten moet worden. Bij een oproep tot een proefsluiting kan de sluiting vervolgens op afstand gesloten worden.
- Doordat een proefsluiting gemakkelijk uitvoerbaar is geeft het beheer aan dat zij een extra proefsluiting kunnen uitvoeren een x aantal dagen voor hoogwater.

- Het waterschap heeft aangegeven dat de koker tenminste twee dagen voor hoogwater dichtgezet kan worden. Dit heeft een minimaal negatief effect op vismigratie. De sluiting eerder uitvoeren genereert meer tijd voor zowel herstelmaatregelen als eventuele noodmaatregelen.

28-05-2024

Projectnummer 51018049-001
Onderwerp Planuitwerking CuRa - Fixed price

Raamsluis Grave

De raamsluis heeft twee instroomopeningen die samenkomen in één centrale gang. Er is één aluminium schuif aanwezig die de volledig instroom dicht kan zetten en 2 stalen schuiven die beide toegangen kunnen sluiten. Het bedieningsmechaniek van de stalen schuiven is gedateerd (heugels) maar functioneert.

Toelichting beheer op de keermiddelen:

- Er is door het beheer aangegeven dat zowel de aluminium schuif als de stalen schuiven ieder jaar worden getest en doorgespoeld. Dit geeft vertrouwen dat de kans op belemmering klein is en succesvol gesloten kan worden wanneer nodig.
- De aluminium schuif wordt op afstand aangestuurd. Dit vergemakkelijkt het sluitproces. De beide stalen schuiven kunnen alleen lokaal handmatig bediend worden.

Mogelijke maatregelen; stand aluminium schuif koppelen aan inlaatdebiet.

De raamsluis heeft behalve de functie als waterkering ook de functie van waterinlaat. De waterinlaat is geregeld door middel van een stuw. Deze stuw wordt geregeld op basis van een gevraagd debiet. Op afstand wordt er een debiet ingesteld waarna de stuw zichzelf automatisch zo instelt dat de juiste hoeveelheid water wordt ingelaten. De volgende alternatieven zijn hierbij besproken:

- De stalen schuiven kunnen op elke hoogte worden ingesteld. Wanneer de schuiven standaard tot aan het waterniveau gesloten worden zou dit de slagingskans van een noodsluiting aanmerkelijk groter maken. Bovendien, omdat de doorstroomopening kleiner is, is het instromend debiet bij falen van de sluiting kleiner. Sweco geeft aan dat dit tot een verbetering van de betrouwbaarheid van sluiten geeft. De beheerders geven aan dat dit een mogelijkheid is, echter kan het peil variëren. Als de schuif in het water steekt beïnvloedt dit het stromingspatroon naar de kantenstuw en daarmee de debietgestuurde inregeling. Een vaste hoogte die met redelijke zekerheid boven het gestuurde Maaspeil zit is wel een optie, hierbij worden geen risico's voorzien. Wat de benodigde hoogte zou zijn om een significante reductie te geven op het instromend debiet bij niet-sluiten, kan, indien dit de gewenste maatregel is, nader geanalyseerd worden.
- De waterkering standaard dicht en alleen openen bij vraag voor inlaatdebiet. Als deze acties door menselijk handelen moeten worden uitgevoerd is het door het beheer aangemerkt als ongewenst. Dit in verband met foutgevoeligheid wat betreft de communicatie tussen werknemers. Voorbeeld: medewerker heeft de kering opengezet, heeft dit niet gecommuniceerd, vervolgens gaat de desbetreffende medewerker op vakantie, de vervanger gaat er vervolgens vanuit dat de kering dicht zit, want dat is tenslotte de standaard.
- Kans: koppeling tussen stuw en aluminium schuif middels aansturing via de PLC's of centrale. De stuw wordt op afstand door middel van gevraagd debiet geregeld. De aluminiumschuif wordt ook op afstand

geregeld. Een idee vanuit beheer is, om de stuw en de aluminium schuif softwarematig aan elkaar te koppelen. Dat wil zeggen, wanneer het gevraagd debiet $0 \text{ m}^3/\text{s}$ is, dan wordt niet alleen de stuw opgetrokken, maar ook de wordt de aluminium schuif automatisch dichtgestuurd. Een dergelijke maatregel zorgt ervoor dat in een natte periode, wanneer het gevraagd debiet $0 \text{ m}^3/\text{s}$ is en de kans op hoogwater hoog is, de schuif bij voorbaat al dicht staat. Wanneer het gevraagd debiet groter is dan $0 \text{ m}^3/\text{s}$, dan gaat de aluminium schuif automatisch weer open. Door toepassing van deze maatregel zal de betrouwbaarheid van sluiten aanzienlijk vergroten.

Mogelijke maatregelen; vroegtijdig sluiten

Door het kunstwerk ruim voor hoogwater dicht te zetten geeft dit, indien de sluiting faalt, extra tijd voor herstelmaatregelen dan wel eventuele noodmaatregelen.

- Het waterschap heeft aangegeven dat de sluis ruim voor hoogwater dichtgezet kan worden aangezien in die situatie naar aller waarschijnlijkheid geen inlaatvraag is. De sluiting kan x aantal dagen (zegge 5) voor hoogwater dichtgezet worden. Of voorbeeld, wanneer er hoogwater in Limburg gesignaleerd wordt kan de sluis al dichtgezet worden.

Mogelijke noodmaatregel:

- In het gesprek geeft het beheer aan veel vertrouwen te hebben in de uitvoerbaarheid van een noodmaatregel in de vorm van een rijplaat aan de buitenzijde van de kering, mits deze noodmaatregel ruim voor hoogwater wordt uitgevoerd. Rondom de kering worden er coupures en mogelijk demontabele keringen geplaatst. Deze constructies belemmeren de bereikbaarheid van de Raamsluis en zo het uitvoeren van de noodmaatregel. Indien de noodmaatregel uitgevoerd wordt voordat de coupures en eventuele demontabele keringen geplaatst worden heeft deze noodmaatregel een hele grote kans van slagen, aldus beheer.

Bijlage B. RAMS-analyse Keersluis Cuijk

In deze bijlage is de begeleidende notitie van de RAMS-analyse toegevoegd.

RAMS Analyse Keersluis Cuijk

Beschikbaarheidsanalyse Keersluis Cuijk

Kenmerk		Status	Versie
		Definitief	2.0
Autorisatie	Naam	Paraf.	Datum
			28-02-2025

Inhoudsopgave

1.	<u>INLEIDING</u>	5
1.1	CONTEXT	5
1.1.1	KADER ANALYSE	5
1.1.2	AANLEIDING ANALYSE	5
1.1.3	DOELSTELLING	6
1.2	AFKORTINGEN	6
1.3	REFERENTIES	7
1.4	VERSIEHISTORIE	8
2.	<u>OPZET RISICOANALYSE</u>	9
2.1	HET RAMS STAPPENPLAN	9
2.2	SYSTEEMBESCHRIJVING EN -FUNCTIE	9
2.2.1	SYSTEEMBESCHRIJVING	9
2.2.2	SYSTEEMFUNCTIE	10
2.2.3	BEDIENING	10
2.2.4	RAM(S) PRESTATIE SYSTEEMFUNCTIE	11
2.3	RAMS EISEN EN FAALDEFINITIES	11
2.3.1	RAMS EISEN OP SYSTEEMNIVEAU	11
2.3.2	FAALDEFINITIES	12
2.3.3	ANALYSE FAALDEFINITIE	12
2.4	BESCHRIJVING OPBOUW RISICOANALYSE	13
2.4.1	KWALITATIEF: FMECA	13
2.4.2	KWANTITATIEF: FTA	13
2.4.3	RESERVEDELENANALYSE	14
2.4.4	ONDERHOUDSANALYSE	14
3.	<u>UITWERKING RISICOANALYSE</u>	15
3.1	FMECA UITWERKING	15
3.1.1	TOEGEPASTE BENADERING	15
3.1.2	WIJZE VAN VERWERKING RESULTATEN FMECA	17
3.2	FTA UITWERKING	17
3.2.1	TOEGEPASTE BENADERING	17
3.2.2	BESCHRIJVING INRICHTING MODEL IN RWB, KOPPELING AAN FAALDEFINITIES	17
3.2.3	GEbruik TYPICALS	18
3.2.4	GENERIEKE DATA EN BRONNEN	18
3.3	UITWERKING RESERVEDELENANALYSE	20
3.4	UITWERKING ONDERHOUDSANALYSE	20

4.	RESULTATEN RAMS ANALYSE	21
4.1	RESULTATEN FMECA	21
4.1.1	AANDRIJVING	21
4.1.2	BEDIENING EN BESTURING	21
4.1.3	CIVIELE CONSTRUCTIE	21
4.1.4	DEUREN	22
4.1.5	ENERGIEVOORZIENING	22
4.2	RESULTATEN FTA	22
4.2.1	REKENRESULTATEN FTA	22
4.2.2	CUT SETS	23
5.	CONCLUSIE RAMS ANALYSE	25
5.1	RESULTATEN V&V	25
5.1.1	REKENRESULTATEN	25
5.1.2	CUT SETS	25
5.1.3	DUIDING RESULTAAT	26
5.2	AANDACHTSGEBIEDEN ONDERHOUD EN GEBRUIK	26
6.	VERVOLGSTAPPEN	27
6.1	VERVOLGSTAPPEN	27
6.1.1	EVALUEREN ONDERHOUDSCONCEPTEN	27
6.1.2	UPDATEN RISICOANALYSE	27
BIJLAGE 1.	SYSTEEMOVERZICHT	28
BIJLAGE 2.	FMECA RESULTATEN	29
BIJLAGE 3.	FTA EN RESULTATEN	30

Tabel 1-1 Faalkanseis niet sluiten kunstwerken dijktraject 36-2	5
Tabel 2-1 Faalkanseis niet sluiten Keersluis	12
Tabel 2-2 Afleiding faalkanseis keermiddelen	13
Tabel 3-1 System breakdown op basis van discipline	16
Tabel 3-2 Overzicht gidswoorden, faaltypen en faalgedrag (Kolommen niet gekoppeld)	17
Tabel 4-1 Resultaten belangrijke gates FTA.....	23
Tabel 4-2 Top 25 cut sets SLUITEN_PR_FLT	24
Tabel 5-1 Verificatie faalfrequentie keermiddelen richting gewenst resultaat	25
Tabel 5-2 Verificatie faalkanseis keermiddelen Keersluis Cuijk richting BSKW	25

Figuur 3-1 Indeling FTA model Keersluis Cuijk	18
Figuur 3-2 Generieke datasheet FTA	19
Figuur 4-1 Instellingen RWB	22
Figuur B1-1 Overzicht Systeem Keersluis Cuijk	28
Figuur B2-1 Kritische Faalwijzen FMECA	29

1. Inleiding

Dit hoofdstuk schetst het kader en de randvoorwaarden van deze RAMS analyse. Wat is het doel van de analyse, binnen welk groter geheel past de analyse en waarvoor wordt hij gebruikt?

1.1 Context

1.1.1 Kader analyse

Alle dijken in Nederland moeten voldoen aan de nieuwe normen voor waterveiligheid. Ook de dijken langs de Maas. We werken hiervoor samen in het landelijke hoogwater beschermingsprogramma (HWBP). Samen met Rijkswaterstaat, provincie Noord-Brabant, gemeenten en bewoners gaat waterschap Aa en Maas aan de slag om de dijk tussen Cuijk en Ravenstein te verbeteren.

Het dijktraject is circa 21 km lang en bestaat voor een groot deel uit een gronddijk. Halverwege het traject, in de vestingstad Grave, is een kademuur aanwezig als primaire waterkering. Daarnaast zijn ook diverse constructieve objecten in de dijk aanwezig (kunstwerken) zoals onder andere de Keersluis Cuijk en het Gemaal van Sasse.

Deze rapportage is onderdeel van de planuitwerking. Voorafgaand aan deze fase zijn de voorverkenning en verkenning uitgevoerd van het dijktraject, waaronder analyses van Keersluis Cuijk. In de planuitwerkingsfase is een gedetailleerde analyse gemaakt van de Keersluis.

1.1.2 Aanleiding Analyse

Voor Keersluis Cuijk was de kans-bijdrage aan overstroming door niet-sluiten bepaald in de WBI-beoordeling [2]. Vervolgens zijn de voorverkenning [4] en verkenning [5] uitgevoerd met als resultaat het advies voor een trajectaanpak voor het faalmechanisme Betrouwbaarheid Sluiting Kunstwerk (BSKW) [1].

Voor de faalkans van sluiting van kunstwerken is cf. de standaard faalkansverdeling in OI2014v4 [6] een totaal budget van 4% toegewezen als toelaatbare bijdrage aan de overstromingskans.

Dit levert voor de sluiting van alle kunstwerken gezamenlijk een maximale faalkans van 4% van 1/10.000 per jaar op (= 4 e-6 / jaar), zie Tabel 1-1.

Faalkans oorzaak	Eis traject 36-2	BSKW
Faalkans niet sluiten kunstwerk	< 1 e-4 / jaar	< 4 e-6 / jaar

Tabel 1-1 Faalkanseis niet sluiten kunstwerken dijktraject 36-2

De WBI-beoordeling is uitgevoerd door Greenrivers eind 2017 [3]. Het resultaat van de beoordeling leidde tot zorg, omdat uit die beoordeling een faalkans door niet sluiten van Keersluis Cuijk resulteerde van 6,33 e-5 per jaar.

In 2024 is daarom de trajectaanpak BSKW gestart voor het normtraject 36-2, het dijktraject Cuijk-Ravenstein. De algemeen gehanteerde formule voor berekening van de faalkans van het faalmechanisme 'niet sluiten' ($P_{f, KW, NS}$) is als volgt gegeven:

$$P_{f, KW, NS} = P_{ns} \times P_{open} \times P(h_{bui} > h_{toel})$$

Hierin is:

P_{ns} : Faalkans van het sluiten van de keersluis (dus het geheel laten zakken van tenminste één hefschuif) per sluitvraag;

P_{open} : De kans dat de keersluis open staat als een hoogwatergolf zich aandient. Dat zal in dit geval een kans van 1 zijn, omdat de keersluis normaal gesproken altijd open staat;

$P(h_{bui} > h_{toel})$: de kans dat de buitenwaterstand dusdanig hoog is dat dit bij niet gesloten keersluis tot substantiële gevolgen in het achterland leidt.

Dus $P_{f, KW, NS}$ wordt dan $= P_{ns} \times P(h_{bui} > h_{toel})$

De initiële risicoscan is niet langer afdoende, een nadere analyse van het kunstwerk is noodzakelijk. Deze leidt tot 1 van 2 mogelijke uitkomsten:

1. Uit een nadere (kwantitatieve) analyse van de faalkans voor niet sluiten van de keermiddelen van de Keersluis volgt dat de faalkans kleiner is en voldoet aan de eisen; of:
2. Uit een nadere (kwantitatieve) analyse van de faalkans voor niet sluiten van de keermiddelen van de Keersluis volgt dat de faalkans inderdaad niet voldoet aan de eisen. Op basis hiervan is dan aanpassing van (de wijze van gebruik van) de Keersluis noodzakelijk. Indien dit het geval is worden hiervoor in dit rapport aanbevelingen gedaan, inclusief het effect op de faalkans;

1.1.3 Doelstelling

Dit rapport bevat de nadere (kwantitatieve) analyse van de te verwachten faalkans van sluiten van de keermiddelen van de Keersluis. Hierbij is een kwantitatieve, veel nauwkeuriger analysemethode toegepast dan in de uitgevoerde beoordeling in het WBI.

De verwachting a priori is dat door een veel nauwkeuriger bepaling van de faalkans van sluiten van de Keersluis blijkt dat deze wel voldoet aan de gestelde faalkanseisen, in tegenstelling tot wat de WBI-beoordeling aangeeft en dat daarmee aanvullende maatregelen in ontwerp en gebruik van de Keersluis niet noodzakelijk zijn.

Reden hiervoor is dat de geringe vereiste gebruiksfrequentie (0,2 maal per jaar functionele sluitvraag) en de daarbij horende korte tijdsduur van het sluitproces (15 minuten per keer) sterk meewegen in de effectieve faalkans van het sluiten van de Keersluis.

1.2 Afkortingen

Afkorting	Omschrijving
BSKW	Betrouwbaarheid Sluiting Kunstwerk
CCF	Common Cause Failure (gelijktijdig optredend falen, systematisch)
CCTV	Closed Circuit TV
EM	Elektromechanisch
FMECA	Failure Mode, Effect and Criticality Analysis (kwalitatieve analysetechniek op faalgedrag)

Afkorting	Omschrijving
BSKW	Betrouwbaarheid Sluiting Kunstwerk
FTA	Fault Tree Analysis (kwantitatieve analysetechniek op faalgedrag)
IEC	International Electrotechnical Commission
MTTR	Mean Time To Repair (gemiddelde tijd van herstel van falen)
NSA	Noodstroom Aggregaat
OHC	Onderhoudsconcept
PDCA	Plan, Do, Check & Act (Deming cycle)
PLC	Programmable Logic Controller
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability & Safety
RWB	Reliability Workbench, software voor FTA (Isograph, versie 15.0.2.5)
SVG	Storingsvoorspellende Grootheid
TAW	Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
V&V	Verificatie & Validatie

1.3 Referenties

Referentie	Titel	Auteur	Versie	Datum
[1]	Trajectaanpak BSKW, Analyse en maatregelen Dijkverbeteringstraject Cuijk-Ravenstein	Waterschap Aa en Maas	C1.0	05-04-2024
[2]	WBI 2017 (via www.helpdeskwater.nl , website vervallen per 18 september 2024)	RWS		2017
[3]	P17-011-002, Analyse kunstwerken dijktraject 36-2, Verkenning waterveiligheid van kunstwerken	Greenrivers		10-10-2017
[4]	Kunstwerken traject 36-2, Preverkenning	IV-Infra	0	17 feb 2020
[5]	Ontwerprapport Kunstwerken (WP25), Verkenning Cuijk- Ravenstein, WAB013032-D-037	WSP	7.0	17 juni 2022
[6]	Handreiking ontwerpen met overstromingskansen (OI2014v4) (https://iplo.nl/thema/water/waterveiligheid/primaire-waterkeringen/ontwerpen-primaire-waterkeringen/@190108/ontwerpen/)	RWS	4	Feb 2017
[7]	Achtergrondrapport Ontwerpinstrumentarium 2014, behorende bij Handreiking Ontwerpen met Overstromingskansen (OI2014v4)	RWS	1	Dec 2016
[8]	Leidraad Kunstwerken, ISBN 90-369-5544-0	TAW		Mei 2003
[9]	Leidraad RAMS - Sturen op prestaties van systemen	RWS	1	17-03-2010
[10]	Sluitingsprotocol voor kunstwerken in primaire waterkeringen, Keersluis Cuijk, AKW 188	WSP, i.o.v. Waterschap Aa en Maas		12-01-2023
[11]	Inspectierapport Instandhoudingsinspectie Beheerobjectcode: 46A-xxx-01 (46A-xxx-01- totaalAdviesrapport v3.0)	Iv-Infra b.v.	3.0	28-05-2021

1.4 Versiehistorie

Versie	Wijzigingen	Datum
0.1	Eerste concept (documentopbouw, opzet analyse)	17-06-2024
0.2	Invulling hoofdstukken (systeemopbouw + -overzicht, beschrijvingen, opzet analyse)	22-08-2024
0.3	Uitwerking hoofdstukken en verwerking analyseresultaten in rapportage, eerste volledige versie voor review	30-08-2024
0.4	Verwerking reviewcommentaar F. Smorenburg & R. Delhez	13-09-2024
0.5	Verwerking aanvullende tekstuele review F. Smorenburg & R. Delhez	18-09-2024
1.0	Definitieve versie	20-09-2024
1.1	Versie na verwerking collegiale toetsing door RWS: - Toevoeging beschrijving bediening (incl. bijlage)	17-02-2025
2.0	Definitieve versie	28-02-2025

2. Opzet Risicoanalyse

In dit hoofdstuk worden, uitgaand van het RAMS stappenplan uit de Leidraad RAMS van RWS [9] de gevolgde stappen en analyses als onderdeel van de RAMS analyse omschreven alsmede hun samenhang. Een systeem- en functieanalyse, de faaldefinities en de kwalitatieve en kwantitatieve analyse vormen hier onderdeel van.

2.1 Het RAMS stappenplan

Hieronder staan de hoofdstappen uit het RAM(S) stappenplan gegeven zoals deze worden gedefinieerd in hoofdstuk 5 van de Leidraad RAMS [9]:

1. Bepaal wat de benodigde RAM(S)-prestaties zijn die de functies van het systeem moeten leveren;
2. Bepaal welke RAM(S)-eisen aan het systeem worden gesteld;
3. Bepaal hoe de verificatie en validatie van de invulling van de eisen worden uitgevoerd;
4. Bepaal de geschikte RAM(S)-analysemethode(n);
5. Maak het systeemontwerp;
6. Voer de RAM(S)-analyse uit;
7. Voer de verificatie en validatie uit.

In de paragrafen hierna wordt eerst een systeem- en functiebeschrijving gegeven en vervolgens worden hierop de relevante stappen uit het stappenplan toegepast. Het betreft een bestaand systeem, dus stap 5 slaan we over.

2.2 Systeembeschrijving en -functie

2.2.1 Systeembeschrijving

De Keersluis bevindt zich in de ringdijk bij Katwijk (Cuijk) en verschaft vanaf de Maas toegang tot het achterliggende havengebied, waar zich industrie bevindt die toegang tot de Maas nodig heeft voor toe- en afvoer van goederen.

Over de opening heen is een heftoren gebouwd, waarin twee waterkerende hefdeuren zijn opgehangen. Ieder van deze waterkerende hefdeuren kan de doorvaartopening volledig afsluiten, waardoor deze hoogwater-kerend is afgesloten.

In de heftoren bevindt zich aan twee zijden een trappenhuis om toegang tot de hefdeuren in geheven toestand mogelijk te maken, met name voor het verrichten van onderhoud en inspecties.

Aan rivierzijde en havenzijde van de doorvaartopening zijn boven en onder water civiele constructies aangebracht ter bescherming van bodem, dijk en de beweegbare waterkering zelf.

De hefdeuren zijn ieder zo goed als volledig gebalanceerd opgehangen aan kabels die over evenwichtswielen aan beide zijanten lopen. Aan deze kabels hangen contragewichten die samen ongeveer even zwaar zijn als de hefdeuren zelf.

De hefdeuren kunnen verticaal bewegen via sponningen in de heftoren, hierbij aangedreven door een elektromechanische aandrijving, die de deuren bijna 'vrij' kan bewegen. Hierdoor is de aandrijving relatief licht uitgevoerd en het energieverbruik gering. De elektromechanische aandrijving zorgt via een constructie van tandwielkast-as-reductiekast voor het 'kruipen' langs een pennebaan omhoog en omlaag. De aandrijving hoeft zo vrijwel geen massa te dragen.

Voor deze aandrijving is in de technische ruimte in het keersluisgebouw een standaard groepenkast aanwezig, die binnenkomende stroom verdeelt richting de aandrijving en de overige elektrisch aangedreven zaken (remmen, besturing, verlichting, bewaking) binnen het complex.

Als extra mogelijkheid is een aansluiting voor een noodstroomvoorziening gekoppeld aan de energieverdeler. Een noodstroomvoorziening kan binnen korte tijd ter plaatse worden gebracht.

De besturing van de keersluis vindt plaats via een veiligheids-PLC met bediening via touchscreen. Als back-up hiervoor is rechtstreekse bediening van de elektrische installatie mogelijk op de schakelkast van de aandrijving.

2.2.2 Systeemfunctie

De functie van de Keersluis is het keren van een hoge waterstand op de Maas, die kan ontstaan door langdurige (sterke) regenval in het stroomgebied van de Maas. Deze waterstand kan, indien niet gekeerd, in de haven van Cuijk en het achterliggende land voor waterbezwaar en overstromingsgevolgen zorgen. De haven van Cuijk is in de eerdere risico-scan als bergende kom beschouwd voor eventueel binnentredend water langs, over of onder de keersluis (door lekkage, overslag of piping).

De kerende functie van de Keersluis wordt ingevuld door één of beide hefdeuren te laten zakken tot op de bodem van de doorvaartopening. Bij voorkeur worden hierbij beide hefdeuren neergelaten, maar één is in principe voldoende voor het invullen van de kerende functie.

Voor het nemen van de beslissing tot sluiten van de Keersluis is er regelmatig contact tussen de verantwoordelijke partijen (RWS, Waterschap Aa en Maas en Gemeente Land van Cuijk) om te komen tot de juiste informatie omtrent naderend hoog water op de rivier. Op deze wijze kan worden gezorgd dat de Keersluis tijdig operationeel is en bemand. Tijdens een sluiting van de Keersluis zijn hiervoor steeds tenminste twee personen ter plaatse.

Indien de Keersluis niet via het elektromechanische bewegingswerk kan worden gesloten, is als terugvaloptie een handmatige sluiting (en opening) van de Keersluis mogelijk. Dit wordt periodiek geoefend.

2.2.3 Bediening

In het Sluitingsprotocol [10] staat een overzicht van de belangrijkste zaken rondom het kunstwerk, hierna een samenvatting van deze zaken:

- Basisgegevens kunstwerk, zoals bereikbaarheid en praktische zaken;
- Betrokkenen bij sluiting inclusief contactgegevens;
- Fasering van de sluiting:
 - o Alarmering en mobilisatie, sleutelbeheer;

- Bediening en monitoring, stap voor stap beschreven;
- Wat te doen bij technisch falen en wie verantwoordelijk;
- Opening na operationele inzet;
- Bijlagen, met name 3: het actieplan hoogwater gemeenten Cuijk, Grave en Mill en Sint Hubert.

Om een volledig beeld van de wijze van sluiten en mogelijke faaloorzaken bij het sluiten te verkrijgen, is op locatie het sluitprotocol in detail met de beheerder van het kunstwerk besproken.

2.2.4 RAM(S) prestatie systeemfunctie

Het keren van een hoge waterstand op de Maas moet zodanig worden ingevuld, dat de kans op falen van dijktraject 36-2 waardoor overstromingsgevolgen in het achterland ontstaan niet groter is dan $1 / 10.000$ per jaar, dit is de norm-eis voor het traject.

De Keersluis draagt hieraan bij, voor de Keersluis is echter geen separate prestatie-eis afgeleid van de norm-eis van $1 / 10.000$ per jaar die geldt voor het gehele dijktraject. In plaats daarvan wordt de faalkansprestatie van de Keersluis getoetst aan de faalkanseisen voor kunstwerken op trajectniveau. Dit betreft 4% van de norm-eis en komt dus op $4 \text{ e-}6$ /jaar.

2.3 RAMS eisen en faaldefinities

Om de bijdrage van de Keersluis aan de totale faalkans van het dijktraject volgens [6] te bepalen zijn faalkanseisen aan de sluiting van de Keersluis afgeleid.

2.3.1 RAMS eisen op systeemniveau

De faalkanseis voor het falen van sluiten van alle kunstwerken in het dijktraject beperkt zich tot het niet of niet volledig kunnen sluiten van de afsluitmiddelen. Deze faalkanseis bedraagt 4% van de norm-eis, zoals beschreven in Tabel 1-1. Dit geldt bij de trajectaanpak voor de sommatie van de faalkansen voor betrouwbaarheid sluiten van alle kunstwerken in het dijktraject.

Deze faalkanseis 'werkt' dus voor de Keersluis voor de duur van iedere neerwaartse beweging van geheel geopende naar geheel gesloten toestand van de hefdeur(en).

Het optreden van piping of het constructief bezwijken van kunstwerken indien eenmaal gesloten is expliciet uitgesloten, hiervoor zijn in [6] en [7] aparte faalkansbudgetten binnen de norm-eis begroot (respectievelijk 2% voor piping en 2% voor constructief bezwijken per dijktraject).

De Keersluis Cuijk is 1 van de complexere kunstwerken in het dijktraject. Om een richtpunt te hebben is in deze analyse als uitgangspunt gekozen dat de keersluis maximaal 20% van de faalkansruimte voor BSKW in mag nemen. Dit leidt tot $0,8\% (=4\% \times 0,20)$, of $8 \text{ e-}7$ /jaar als doel voor de maximale faalkans voor het falen van sluiten van afsluitmiddelen. De totale faalkanseis van 4% ($4 \text{ e-}6$ /jaar) wordt getoetst op dijktrajectniveau, niet in deze analyse.

Gedurende de tijdsduren van neerwaarts bewegen van de afsluitmiddelen, met als doel sluiting van de Keersluis voor het keren van hoog water, mag de kans op falen van het dijktraject als

gevolg van het falen van sluiten van de afsluitmiddelen in de Keersluis dan niet vaker dan 0,008 maal $1/10.000$ ($= 8 \text{ e-}7$) per jaar optreden. We gaan ervan uit dat de Keersluis normaal gesproken open is en dat het falen van het sluitproces zeker substantiële gevolgen heeft.

De opgetelde tijdsduren van het sluitproces om hoog water te keren vormen de blootstellingsduur aan deze faalkanseis; alleen tijdens deze tijdsduren valt falen onder dit specifieke faalkansbudget. De faalkans voor de Keersluis waar we ons dan ook op richten in de foutenboomanalyse is gegeven in Tabel 2-1:

Faalkans oorzaak	Norm dijktraject (-/jaar)	Uitgangspunt max. bijdrage Keersluis aan overstromingskans traject	Eis (-/jaar)	Faalfrequentie (-/uur)
Falen sluiten keermiddelen Cuijk	$1/10.000$	0,8%	$< 8 \text{ e-}7$	$< 9,1324 \text{ e-}11$

Tabel 2-1 Faalkanseis niet sluiten Keersluis

Dit is de faalkansdoelstelling van de topgebeurtenis van de foutenboom voor het falen van sluiten van de Keersluis: het technische systeem, de alarmering en de mobilisatie.

2.3.2 Faaldefinities

We moeten een faaldefinitie bepalen om vast te stellen wanneer juist niet aan deze eis wordt voldaan. De faaldefinitie die we hanteren is:

De afsluitmiddelen sluiten niet, indien na het (willen) starten van het afsluiten van de opening onder de Keersluis, niet of niet tijdig tenminste één van de hefdeuren de laagste stand (op de bodem) bereikt en zo de doorstroming door de opening geheel afsluit.

2.3.3 Analyse faaldefinitie

De hierboven gegeven faaldefinitie houdt in, dat indien het systeem Keersluis Cuijk niet in staat is of tijdig kan worden gebracht de doorstroomopening helemaal af te sluiten voor hoog water, de keermiddelen hebben gefaald.

De tijdsduur waarin falen juist onder deze faalkans valt, volgt uit het aantal operationele sluitvragen per jaar, de werkelijke sluitingen. Dit betreft 0,2 maal per jaar [1]. Tijdens ieder van deze sluitingen dient het systeem 15 minuten te functioneren zoals bedoeld om de sluisdeur op de bodem te zetten zodat deze kerend is. Dit betekent theoretisch een missieduur van $0,2 \times 15 = 3$ minuten ($= 1/20 = 0,05$ uur) per jaar.

Een jaar telt 8760 uur, dus de fractie van blootstelling aan de specifieke faalkans voor het niet sluiten van de keermiddelen is gelijk aan $0,05 / 8760 = 5,7078 \text{ e-}6$. Dit wil zeggen dat de werkelijke faalsnelheid van de keermiddelen tijdens missie hoger mag zijn.

Deze faalsnelheid wordt bepaald door de in Tabel 2-1 berekende faalfrequentie per uur te delen door de fractie van de tijd dat de keermiddelen in missie zijn, zie Tabel 2-2.

Faalkans oorzaak	Faalfrequentie sluiten (-/uur)	Fractie missie Keersluis	Faalfrequentie Keersluis (-/uur missie)
------------------	--------------------------------	--------------------------	---

Falen sluiting keermiddelen Cuijk	< 9,1324 e-11	5,7078 e-6	< 1,600 e-5
-----------------------------------	---------------	------------	-------------

Tabel 2-2 Afleiding faalkanseis keermiddelen

Dit is de faalfrequentie waaraan de sluitfunctie van de Keersluis moet voldoen (techniek inclusief bediening en mobilisatie). Dit is de doelstelling voor de faalsnelheid die met de foutenboom wordt getoetst.

2.4 Beschrijving opbouw Risicoanalyse

2.4.1 Kwalitatief: FMECA

In 1.1.2 is duidelijk geworden dat een kwantitatieve analyse noodzakelijk is om vast te stellen of / aan te tonen dat de Keersluis voldoet aan de gestelde faalkanseisen. Hiervoor wordt als startpunt een FMECA uitgevoerd.

Met een FMECA brengen we systematisch in kaart welke onderdelen van het systeem bij falen welk gevolg kunnen hebben en of dit bijdraagt aan het niet halen van de faalkanseis. De systeemdelen en componenten die hiertoe bijdragen worden vervolgens kwantitatief beschouwd.

Kritische faalwijzen die zijn geïdentificeerd in de FMECA worden vertaald naar typische gebeurtenissen in een FTA model. Deze typische gebeurtenissen komen in dat model in één of meerdere instanties voor.

2.4.2 Kwantitatief: FTA

De gebeurtenissen die alleen of in combinatie ertoe kunnen leiden dat het sluiten van de Keersluis faalt worden in onderlinge samenhang kwantitatief geanalyseerd, waarbij faalfrequenties, hersteltijden en de aanwezigheid van redundantie worden beschouwd.

Het FTA model kijkt naar de fysiek-functionele opbouw van het systeem, uitgaande van het systeemoverzicht zoals weergegeven in Bijlage 1.

Verschillende zaken worden hierbij nader bekeken: de civiele constructie, de werktuigbouwkundige delen, de aandrijving, de energievoorziening, de besturing maar ook factoren als menselijk handelen en externe gebeurtenissen worden geanalyseerd.

Het resultaat van deze kwantitatieve analyse is een resulterende faalfrequentie voor het sluiten van de Keersluis en inzicht in welke delen van het systeem hier het meest aan bijdragen. Zo kan, indien de faalkans van sluiten van de Keersluis niet aan de eisen voldoet, hierin gericht worden bijgestuurd via aanpassingen in het onderhoud of eventueel het ontwerp van de Keersluis.

Bij het kwantificeren van het FTA model wordt gebruikt gemaakt van generieke faaldata, deze bevinden zich in een generieke datasheet inclusief vermelding van informatie over de bron en opbouw van hersteltijd en eventuele CCF factoren. Indien gewenst kan deze als uitgangspunt dienen voor een beschrijving van de praktijksituatie door er optredend faalgedrag aan toe te voegen via wiskundige technieken, zoals bijvoorbeeld Bayesiaans updaten van faalgetallen.

2.4.3 Reservedelenanalyse

Gebaseerd op het resultaat van de FTA kan een Poisson-analyse op de voorraad aan reservedelen worden uitgevoerd. Hierbij wordt, uitgaand van de impact van optredend falen, bepaald wat de hersteltijd is van optredend falen en de impact op de totale (niet-) beschikbaarheid van het systeem.

Deze aanpak resulteert in een meer "gerichte" voorraad van bepaalde reservedelen, zodat de impact van faalgedrag op de systeemfunctie zoveel mogelijk beperkt blijft. Onderdelen die bij falen een lange wachttijd kennen maar wel een significante impact hebben op de systeemfunctie worden op basis van deze analyse op voorraad gelegd.

Deze analyse wordt slechts uitgevoerd indien levertijden van reservedelen een probleem kunnen vormen voor het halen van de faalkanseisen.

2.4.4 Onderhoudsanalyse

Op basis van het resultaat van de FTA kan tevens worden besloten om het verrichte onderhoud aan de Keersluis aan een nadere analyse te onderwerpen. Dit dient om te zorgen dat faalgedrag minder frequent optreedt of dat herstel bij falen sneller plaatsvindt, zodat de duur van functieverlies als gevolg van falen korter wordt.

Door de optimalisatie van deze MTTR van componenten en eventuele testintervallen van onmerkbaar falende delen van het systeem kan worden gezorgd dat voldoende en voldoende snel wordt onderhouden. Dit kan vervolgens worden vertaald in onderhoudsconcepten (OHC) en eventueel ook in werkinstructies.

3. Uitwerking Risicoanalyse

3.1 FMECA uitwerking

3.1.1 Toegepaste benadering

De aanpak van de FMECA is gebaseerd op de opbouw van het systeem. Dit is op te delen in een aantal disciplines. Er is voor de volgende disciplines gekozen voor de opdeling van het systeem:

- Aandrijving
- Bediening & Besturing
- Beveiliging (brand/inbraak)
- Civiele constructie (beton en vast staal)
- Communicatie
- Deuren
- Energievoorziening
- Noodenergievoorziening

Binnen deze disciplines is een overzicht gemaakt van de belangrijkste componenten (zie Tabel 3-1), deze zijn geanalyseerd op de impact van hun falen op lokaal en op systeemniveau.

Discipline	Onderdeel binnen discipline
Aandrijving	Elektromotor
	Tandwielkast
	Aandrijftras
	Rem (elektrisch, trommel)
	Rem (mechanisch, hand)
	Reductiekast
	Rondsel
	Pennenbaan
	Hijskabel bevestiging (evenaar)
	Hijskabel
Bediening & Besturing	Touchscreen bedientableau
	Failsafe PLC
	Noodstop bedientableau
	Noodstop reset bedientableau
	Schakelaar bedientableau (aan-uit)
	Schakelkast deurbediening
	Sleutelschakelaar (hand-0-auto)
	Noodstop schakelkast
	Noodstop reset schakelkast
	Noodstop algemeen
	Noodstop reset algemeen
	Eindschakelaar (inductie)
	Noodeindschakelaar (mechanisch)
	Stuurstroom elektromotor

Discipline	Onderdeel binnen discipline
Beveiliging	CCTV Dome-camera
	Terreinverlichting
Civil	Fundering keersluis
	Vloer keersluis
	Kwelschermen keersluis
	Bodembescherming keersluis
	Sponning sluisdeur
	Heftoren sluisdeur
	Aanvaarconstructie keersluis
	Kelder Heftoren
	Lenspomp kelder
Communicatie	Akoestisch signaal
	Telemetrie
	Inbraakdetectie
Deuren	Sluisdeur (keermiddel)
	Geleidewiel sluisdeur
	Aanslag sluisdeur
	Geleidewiel contragewicht
	Contragewicht
	Evenwichtswielen
	Inlaatopeningen sluisdeur
Energievoorziening	(Hoofd-)verdeler energie
	Voedingskabels Motoren
	Voedingskabels Eindschakelaars
	Voedingskabels EM remmen
	Voedingskabels Lenspompen
	Voedingskabels Seinen
Noodenergievoorziening	Noodstroomaggregaat (NSA)
	Aansluiting NSA

Tabel 3-1 System breakdown op basis van discipline

Op deze systeemopdeling is een lijst met gidswoorden, type falen en faalgedrag toegepast (Tabel 3-2, de kolommen hierin zijn niet gekoppeld). Hiervoor is vervolgens een categorisering bepaald: Frequentie, Ernst en Detecteerbaarheid.

Gidswoorden	---	Type falen	---	Faalgedrag
Anders		Geen		Extern
Evenzo		Bedienfout		Random
Langzamer		Falen op vraag		Systematisch
Meer		Falen tijdens missie		Veroudering
Minder		Merkbaar falen		
Niet		Onmerkbaar falen		
Onterecht		Onvoldoende onderhoud		
Sneller		Overbelasting		
Te Laat		Random falen		

Gidswoorden	---	Type falen	---	Faalgedrag
Te Vroeg		Veroudering		
Wel		Vervuiling		

Tabel 3-2 Overzicht gidswoorden, faaltypen en faalgedrag (Kolommen niet gekoppeld)

Deze categorisering heeft geresulteerd in een lijst met kritische faalwijzen, zie Bijlage 2, welke nader kwantitatief geanalyseerd zijn in de FTA. In hoofdstuk 4.1 worden de resultaten van deze FMECA analyse nader gepresenteerd.

3.1.2 Wijze van verwerking resultaten FMECA

Het resultaat van de FMECA is een overzicht van faalwijzen die kritisch zijn voor het sluitproces van de Keersluis. Deze faalwijzen worden als 'typical' gebeurtenissen naar de FTA meegenomen, waar ze allemaal één of meerdere keren voorkomen in het kwantitatieve model.

De typicals uit de FMECA krijgen dus bij de opbouw van het FTA model elk een aantal instanties in dat model. Hiermee wordt het faalgedrag vervolgens kwantitatief geanalyseerd.

3.2 FTA uitwerking

3.2.1 Toegepaste benadering

Uitgaand van het systeemoverzicht (zie Bijlage 1) dat resulteerde uit de systeemanalyse is in de FMECA bepaald welke bijdrage de diverse onderdelen van het systeem aan de te vervullen systeemfunctie hebben.

Op basis van de indeling in disciplines met bijbehorende componenten en systeemdelen (zie 3.1.1) is in het FTA model dezelfde groepering gehanteerd.

3.2.2 Beschrijving inrichting model in RWB, koppeling aan faaldefinities

De topgebeurtenis van het FTA model is de faalsnelheid van het proces sluiten van de Keersluis. Deze is samengesteld uit de faalkans van het technische systeem dat de functie invult en het deel van de tijd dat het systeem is blootgesteld aan falen, tijdens het sluiten ervan.

Alle eenheden zijn hierbij omgerekend naar faalsnelheden per uur. Het eindresultaat wordt uiteindelijk terugvertaald naar een faalkans per jaar voor de verificatie ten opzichte van de eis.

In Figuur 3-1 is een overzicht van het FTA model weergegeven. De poort SLUITEN_FAALT is de poort waar wordt berekend of de faalkanseis van de sluitfunctie van de Keersluis wordt gehaald. Deze poort is samengesteld uit het falen van het sluitproces van de keermiddelen (poort "Z23" uit de risicoscan) en de faalkans op herstel achteraf (poort "Z24" uit de risicoscan).

Dit is zo gemodelleerd om te kunnen vaststellen of het technische gedeelte op zich voldoende betrouwbaar is, of dat de herstelactie door de mens een noodzakelijke toevoeging blijft.

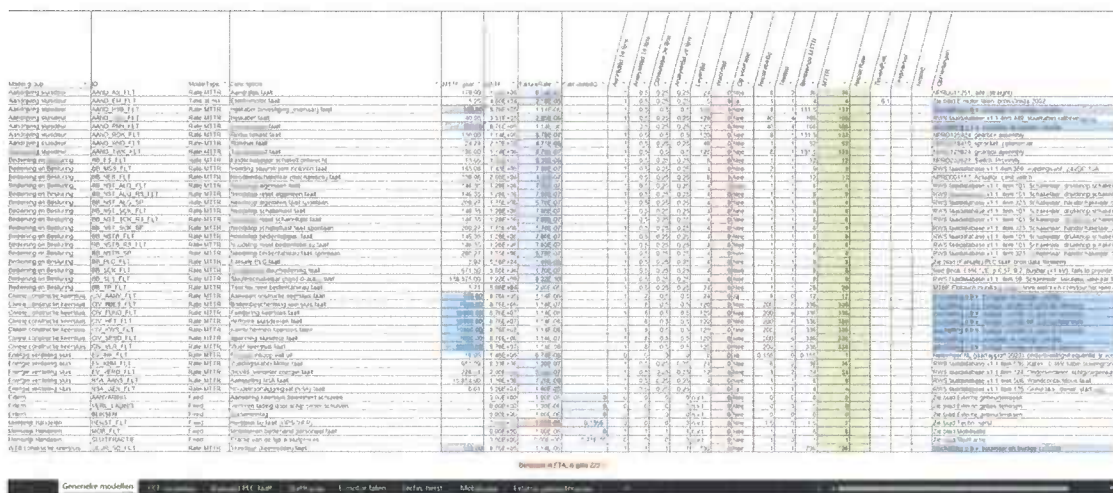
Hieronder is een verdere opdeling gemaakt in technisch falen en falen door een externe factor. Hierbij hoort ook het niet mogen sluiten van de Keersluis door een optredende calamiteit zoals bijvoorbeeld een arbeidsongeval.

de Keersluis vastgesteld.

Belangrijke aanname bij alle faaldata is dat er geen sprake was van:

- Aanwezigheid van kinderziektes;
- Aanwezigheid van merkbare veroudering, dit blijkt uit de rapportage aangaande de instandhoudingsinspectie [11]. Op basis van de bevindingen hieruit zijn correctieve acties voor de conditie van de Keersluis in gang gezet;
- CCF modellen
 - Beschouwing Common Cause Falen per redundant component volgens IEC 13849;
- (Failsafe) PLC faalt
 - Opbouw van de PLC, met faalgegevens volgens Siemens;
- Sluitfractie
 - Onderbouwende berekening van de blootstellingsfractie aan de deel-faalkans niet sluiten keermiddelen;
- E-motor falen
 - Analyse van de faalfrequentie van elektromotoren volgens Oreda-2002. Hierbij is gekeken naar diverse aspecten als niet starten, uitval en afwijkend gedrag;
- Techn. Herst.
 - Analyse faalkans menselijk handelen in het kader van technisch herstel-actie;
- Mobilisatie
 - Nadere analyse van de faalkans van mobilisatie, rekening houdend met aantal bedienaars, bereikbaarheid en communicatie;
- Externe gebeurtenissen
 - Analyse faalkans ten gevolge van externe gebeurtenissen:
 - Uitval door verloren lading onder deuren;
 - Uitval door aanvaring (beide deuren uitgeschakeld);
 - Uitval keersluis door blikseminslag;

De analyseresultaten in de diverse werkbladen zijn gekoppeld aan cellen in het werkblad Generieke modellen.



The image shows a detailed screenshot of a software-generated FTA (Fault Tree Analysis) data sheet. The table is organized into several main sections, each with a header row. The columns include event names, their associated probabilities (e.g., 1.0E-05, 1.0E-06), and various reference codes or IDs. The data is presented in a structured, grid-like format typical of engineering software outputs.

Figuur 3-2 Generieke datasheet FTA

De werkmap wordt geïmporteerd in het FTA model vanuit de RWB software van Isograph met behulp van de import-template in Bijlage 3. Zo wordt geborgd dat met consistente brondata wordt gerekend in de FTA. Eventuele wijzigingen in brondata zijn zo eenvoudig door te voeren.

3.3 Uitwerking Reservedelenanalyse

De reservedelenanalyse wordt slechts uitgewerkt indien hiertoe de noodzaak ontstaat. Dit wil zeggen dat hiertoe wordt overgegaan indien uit de FTA blijkt dat de faalkanseis niet wordt gehaald in verband met levertijden van vervanging voor bepaalde gefaalde onderdelen, waardoor het op voorraad leggen hiervan noodzakelijk wordt.

3.4 Uitwerking Onderhoudsanalyse

In het kader van de FMECA is samen met de beheerder gekeken naar de hersteltijden van falende componenten en systeemdelen. Er is gekeken naar werkinstructies en testprotocollen die voorhanden zijn voor de Keersluis.

Het advies is gegeven om in ieder geval wel een protocol vast te leggen voor de handmatige sluiting van de Keersluis. Dit wordt al wel periodiek getest, maar lag nog niet vast in een protocol.

Een nadere analyse en eventuele aanscherping van de wijze en frequentie van onderhoud en te verrichten tests wordt slechts uitgevoerd indien hiertoe uit de FTA een noodzaak blijkt, omdat anders de faalkanseis niet wordt gehaald.

4. Resultaten RAMS Analyse

4.1 Resultaten FMECA

Uit de FMECA is een lijst naar voren gekomen met kritische faalwijzen die kwantitatief geanalyseerd dienen te worden. Zie Bijlage 2 voor de volledige lijst, hieronder staat een korte samenvatting.

4.1.1 Aandrijving

Het falen van beide elektromotoren, tandwielkasten, aandrijfassen, reductiekasten, rondsels, pennenbanen, hijskabels (inclusief bevestigingen) zorgt ervoor dat geen van beide deuren kan worden gesloten. In dat geval faalt het sluitproces. Dit moet nader worden geanalyseerd.

4.1.2 Bediening en besturing

Het falen van een combinatie van PLC, touchscreen en schakelkast, of het spontaan activeren van een noodstop zorgt in ieder geval voor een vertraging in het sluiten van de deuren van de Keersluis en moet dus ook nader worden geanalyseerd.

4.1.3 Civiele constructie

Het falen van de civiele constructie leidt zonder meer tot het niet kunnen sluiten van de Keersluis. De kans hierop is zeer klein vanwege de dimensionering, maar het dient toch nader te worden geanalyseerd vanwege de lange duur van eventuele gevolgen ervan.

Het betreft falen door oorzaken anders dan belasting door hoog water. Het gaat om oorzaken als betonrot, verweren, slijtage, diverse schades. Hierdoor wordt de 'vrije loop' van de hefdeuren belemmerd. Deze faalwijzen zijn gekwantificeerd op basis van cijfers van andere civiele objecten.

Specifiek benoemd wordt de mogelijkheid tot scheeflopen van een deur (via faalwijze CIV_05 in de FMECA, het niet geleiden van de deurbeweging). Gegeven de gebalanceerde ophanging, het aandrijfmechanisme met rondsels en pennenbanen en de geleiding door middel van geleidewielen zouden meerdere onderdelen gelijktijdig moeten falen om scheefloop van de deur überhaupt mogelijk te maken.

De combinatie van kansen hierop is zodanig klein dat deze niet meer als realistisch wordt gezien. Dit geldt nog sterker voor scheefloop van beide deuren tegelijk, deze zijn geheel onafhankelijk opgehangen en aangedreven.

Het mechanisme scheefloop is hiermee beschouwd maar als niet maatgevend niet meegenomen in de FTA.

Eenzelfde beschouwing kan worden gemaakt over de aanvaarconstructie. Het scheepvaartverkeer dat de keersluis nadert, doet dat met voorgeschreven geringe maximumsnelheid. De mogelijke aanvaarsnelheid is gezien de vaarroute vanuit de Maas naar de Keersluis ook beperkt.

Er zijn twee gelijke deuren met een onderlinge tussenafstand van een paar meter, gegeven de scheepvaartklasse en de voorgeschreven geringe maximumsnelheid is het niet realistisch denkbaar dat door alleen technisch falen een schip dat nadert beide deuren zodanig beschadigt dat de kerende functie van de Keersluis niet meer kan worden ingevuld.

Overige (externe) faaloorzaken worden als niet realistisch en dus verwaarloosbaar beschouwd in .

4.1.4 Deuren

Indien beide deuren zelf constructief falen, faalt de functie sluiten van de Keersluis. Ook hiervoor geldt dat de kans zeer klein is, maar de gevolgen langdurig. Ook dit wordt nader geanalyseerd.

Dit falen van de deuren wordt veroorzaakt door andere oorzaken dan belasting met hoog water. Denk aan zaken als metaalmoeheid, slijtage, roest, etc. Dit kan de deurbeweging belemmeren.

4.1.5 Energievoorziening

Het uitvallen van de energieverdeling en back-up energievoorziening leidt tot tenminste vertraging in het sluiten van de Keersluis en om deze reden wordt dit nader geanalyseerd.

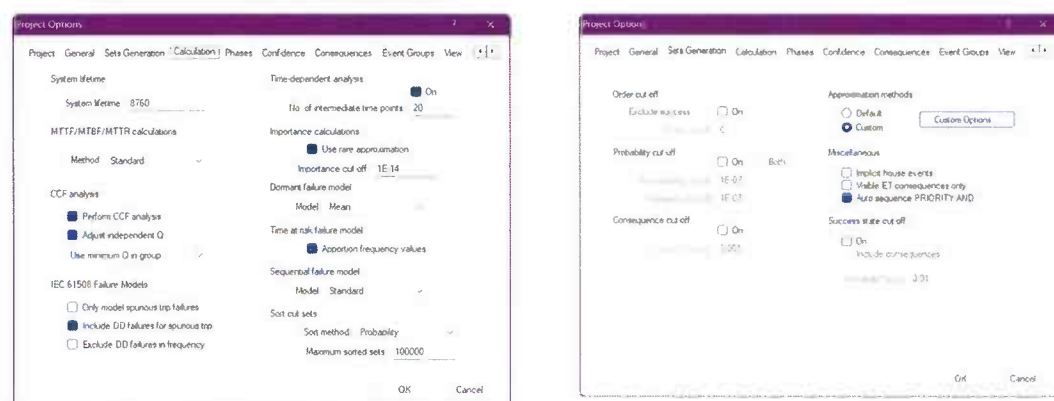
4.2 Resultaten FTA

4.2.1 Rekenresultaten FTA

De FTA is gemodelleerd als hiervoor beschreven en in overleg met de Keersluisbeheerder van faalgegevens en herstelgegevens voorzien. De resultaten staan in Bijlage 3 (de genoemde bestanden), hierna wordt (kort) besproken wat de belangrijkste rekenresultaten zijn.

Het model is doorgerekend met de volgende belangrijkste parameters:

System life time	:	8760 uur (d.w.z. resulterende waarden gelden voor 1 jaar!)
CCF analyse	:	Ja
Time-dependent analysis	:	On, 20 time points
Importance cut-off	:	1 e-14
Order cut-off	:	Off



Figuur 4-1 Instellingen RWB

De berekende resultaten voor de belangrijke gates in het FTA model zijn hieronder weergegeven in Tabel 4-1:

Gate	Unavailability	CFI (/u)	Verwacht falen (aantal / jaar)	Total down time (u/jr)
KSLS_SLUIT_NIET	1,402 e-9	7,874 e-13	6,925 e-9	1,177 e-6 (*)
SLUITEN_FAALT	2,456 e-5	1,379 e-7	0,001213	0,2063 (**)
SLUITEN_PR_FAALT (Z23)	0,0001811	1,016 e-6	0,008936	1,521 (**)
SLUITEN_HERST_FAALT (Z24)	0,1356			

Tabel 4-1 Resultaten belangrijke gates FTA

(*) Dit is uren per kalenderjaar, de rekenperiode van het model

(**) Dit is uren per jaar sluitproces, dit is uitgesmeerd over vele jaren

4.2.2 Cut sets

De cut sets of deelverzamelingen van een FTA laten zien welke onderdelen van het systeem de grootste bijdragen leveren aan het overall rekenresultaat. Op basis hiervan kan worden bepaald waar eventuele optimalisaties het meest effectief kunnen zijn.

De belangrijkste resultaten voor deze FTA zijn de cut sets van de gate SLUITEN_PR_FAALT. Deze geven de bijdragen van het technische systeem aan het niet kunnen sluiten van de Keersluis, los van een eventuele herstelactie of de blootstelling aan de faalkans van de techniek. In Tabel 4-2 staat de top 25 hiervan weergegeven.

Cut Sets for Gate SLUITEN_PR_FLT							
RWB V15.0							
Keersluis Cuijk							
Nr	Cut set	Cut set event descriptions	Unavailability	Frequency	Unavailability importance	Frequency importance	Order
1	CCF Deur	Common cause falen sluisdeur	4,197e-5	5,703e-8	23,17%	5,61%	1
2	CIV_BBES_FLT	Bodembescherming keersluis faalt	3,835e-5	1,142e-7	21,17%	11,24%	1
3	CCF Hijskabel	Common cause falen hijskabel	2,364e-5	1,424e-7	13,05%	14,02%	1
4	CCF Rondsel	Common cause falen rondsel	1,224e-5	2,354e-7	6,76%	23,17%	1
5	CCF Pennenbaan	Common cause falen pennenbaan	9,473e-6	5,707e-8	5,23%	5,62%	1
6	CCF Hijskabelbevestiging	Common cause falen hijskabelbevestiging	7,533e-6	5,707e-8	4,16%	5,62%	1
7	CCF E-motor	Common cause falen elektromotor	6,636e-6	7,575e-10	3,66%	0,07%	1
8	CCF Tandwielkast	Common cause falen tandwielkast	5,795e-6	4,39e-8	3,20%	4,32%	1
9	CCF Reductiekast	Common cause falen reductiekast	5,795e-6	4,39e-8	3,20%	4,32%	1
10	CIV_VLR_FLT	Vloer keersluis faalt	3,836e-6	1,142e-8	2,12%	1,12%	1
11	CIV_HFT_FLT	Heftoren sluisdeuren faalt	3,836e-6	1,142e-8	2,12%	1,12%	1
12	CIV_KWS_FLT	Kwelschermen keersluis falen	3,836e-6	1,142e-8	2,12%	1,12%	1
13	CIV_FUND_FLT	Fundering keersluis faalt	3,836e-6	1,142e-8	2,12%	1,12%	1
14	CCF Sponning	Common cause falen sponning	1,918e-6	5,708e-9	1,06%	0,56%	1
15	CCF Aandrijfas	Common cause falen aandrijfas	1,142e-6	3,171e-8	0,63%	3,12%	1
16	DEUR_SD_VU_RZ. DEUR_SD_VU_HZ	Sluisdeur (keermiddel) faalt RZ Sluisdeur (keermiddel) faalt HZ	6,36e-7	1,728e-9	0,35%	0,17%	2
17	DEUR_SD_VU_RZ. AAND_HSK_VU_H ZW	Sluisdeur (keermiddel) faalt RZ Hijskabel faalt HZ West	3,583e-7	2,645e-9	0,20%	0,26%	2
18	AAND_HSK_VU_R ZO.DEUR_SD_VU_ HZ	Hijskabel faalt RZ Oost Sluisdeur (keermiddel) faalt HZ	3,583e-7	2,645e-9	0,20%	0,26%	2
19	AAND_HSK_VU_R ZW.DEUR_SD_VU_ HZ	Hijskabel faalt RZ West Sluisdeur (keermiddel) faalt HZ	3,583e-7	2,645e-9	0,20%	0,26%	2
20	DEUR_SD_VU_RZ. AAND_HSK_VU_H ZO	Sluisdeur (keermiddel) faalt RZ Hijskabel faalt HZ Oost	3,583e-7	2,645e-9	0,20%	0,26%	2
21	CCF Noodeindschakelaar	Common cause falen noodeindschakelaar	2,891e-7	2,409e-8	0,16%	2,37%	1
22	CCF Voedingskabel E-motor	Common cause falen voedingskabel E-motor	2,16e-7	6e-9	0,12%	0,59%	1
23	AAND_HSK_VU_R ZO.AAND_HSK_VU_ HZO	Hijskabel faalt RZ Oost Hijskabel faalt HZ Oost	2,018e-7	2,431e-9	0,11%	0,24%	2
24	AAND_HSK_VU_R ZW.AAND_HSK_V U_HZO	Hijskabel faalt RZ West Hijskabel faalt HZ Oost	2,018e-7	2,431e-9	0,11%	0,24%	2
25	AAND_HSK_VU_R ZO.AAND_HSK_VU_ HZW	Hijskabel faalt RZ Oost Hijskabel faalt HZ West	2,018e-7	2,431e-9	0,11%	0,24%	2

Tabel 4-2 Top 25 cut sets SLUITEN_PR_FLT

5. Conclusie RAMS Analyse

5.1 Resultaten V&V

5.1.1 Rekenresultaten

In de resultaten in Tabel 4-1 is één resultaat gearceerd. Dit is het rekenresultaat dat we toetsen aan de gewenste faalkans voor het sluiten van de Keersluis, zoals die is afgeleid in 2.3.1 en vastgelegd in Tabel 2-2.

Faalkans oorzaak	Faalfrequentie Keersluis (-/uur missie)	Faalfrequentie-resultaat (-/uur missie)	Resultaat voldoet aan wens
Falen sluiting keermiddelen Cuijk	< 1,600 e-5	1,016 e-6	Ja

Tabel 5-1 Verificatie faalfrequentie keermiddelen richting gewenst resultaat

Conclusie: de faalfrequentie van sluiten van de keermiddelen van de Keersluis (het technische systeem inclusief alarmering en mobilisatie) voldoet aan de gewenste maximale waarde.

Dit betekent, omgerekend voor de faalkans per kalenderjaar, als we rekening houden met de missieduur van 0,05 uur per jaar, ter beoordeling in de BSKW rapportage, het volgende, in relatie tot Tabel 1-1:

Faalkans oorzaak	Faalfrequentie-eis BSKW	Faalfrequentie-resultaat sluiten	Aandeel Keersluis Cuijk faalkans-ruimte BSKW
Faalkans niet sluiten kunstwerk	< 4 e-6 / jaar	5,53 e-8 / jaar (= 0,05 uur missie / jaar * 1,016 e-6 / uur missie)	1,4 %

Tabel 5-2 Verificatie faalkanseis keermiddelen Keersluis Cuijk richting BSKW

Het falen van het sluiten van Keersluis Cuijk draagt ongeveer 1,4% bij aan het totaal budget voor de faalkans van sluiting van kunstwerken in het normtraject 36-2. In deze bijdrage is de herstelactie via handmatige sluiting niet meegerekend, deze blijft als extra maatregel mogelijk.

5.1.2 Cut sets

Uit de top 25 cut sets in Tabel 4-2 blijkt, dat de eerste 15 hiervan 1^e orde cut sets zijn. Pas daarna komt de eerste 2^e orde cut set. Van die 1^e orde cut sets in dit overzicht zijn 10 van de 15 CCF factoren. De gezamenlijke bijdrage hiervan bedraagt 84%.

Dit wil zeggen dat voor het systeem het maximale effect van redundantie vrijwel is bereikt. De 5 overige 1^e orde cut sets in de top 15 zijn allemaal civiele onderdelen van het systeem. Hieruit valt op te maken dat het systeemontwerp min of meer optimaal is, er valt qua faalfrequentie/niet-beschikbaarheid niet veel winst te boeken via het ontwerp. Eventueel benodigde verbeteringen liggen dan ook in wijzigingen van het gebruik en het onderhoud van de Keersluis.

De top-25 van de cut sets laat verder zien dat op de bodembescherming na, de 'vaste' civiele onderdelen samen ongeveer 10% bijdragen aan de totale niet beschikbaarheid ten gevolge van falen. Dit is in lijn met analyseresultaten van andere (water-)infrastructuur.

De bodembescherming (steenbestorting) kan door omwoelen vanwege schroefbewegingen van scheepvaart ondermijnd worden en schade ondervinden, de faalkans van de bodembescherming is mede op basis hiervan groter ingeschat.

Deze gevonden waarden geven het vertrouwen, dat zelfs als de schattingen voor de civiele onderdelen iets te optimistisch blijken, nog altijd kan worden voldaan aan de faalkanseis.

5.1.3 Duiding resultaat

Het verschil tussen de gevonden waarde en eerdere analyse is relatief groot. Hiervoor zijn een aantal oorzaken te benoemen in het systeem en in het gebruik ervan:

- Het systeem keersluis is qua configuratie zeer robuust, er is een ruime mate van redundantie toegepast:
 - De normale bediening via PLC heeft als back-up een handbediening op de motoren en als noodvoorziening kunnen de hefdeuren ook handmatig worden neergelaten;
 - De keermiddelen (hefdeuren) zijn ook redundant, tot en met de aandrijving;
 - De energievoorziening is voorzien van back-up door de mogelijkheid om een NSA aan te voeren, hiervoor zijn leverafspraken met zeker twee leveranciers;
- Om onmerkbaar falen door geringe missie-frequentie en -duur tegen te gaan wordt de sluiting maandelijks geoefend, waarvan 1 maal per jaar de handmatige sluiting en 1 maal per half jaar de sluiting 'op noodstroom'. Hierdoor is het routine-niveau bij de bedienaars voldoende groot;
- Er wordt gewerkt met protocollen en instructies voor de diverse bedienhandelingen;
- Na een sluitvraag (noodzaak tot sluiting) is er ruim voldoende tijd voor mobilisatie via diverse kanalen. Externe factoren die het bereiken van de Keersluis zouden hinderen spelen hierbij slechts een geringe rol;
- De tijd om herstelmaatregelen te treffen bij optredend falen is voldoende groot om in de meeste gevallen te voorkomen dat optredend falen ook fataal wordt voor het vervullen van de sluitvraag.

5.2 Aandachtsgebieden onderhoud en gebruik

Er zijn weinig gebieden die extra onderhoud verdienen. Wel is het conditioneren van de civiele infrastructuur en de deuren belangrijk, dit om de geldigheid van de gedane aannames over faalfrequentie/levensduur hiervan te borgen.

De aanbeveling is gedaan om ook de handmatige sluitingsprocedure, die wel regelmatig geoefend wordt, vast te leggen in de protocollen. Dit wordt gedaan.

6. Vervolgstappen

6.1 Vervolgstappen

6.1.1 Evalueren onderhoudsconcepten

Het maandelijks uitvoeren van de testsluiting is een goede frequentie om enerzijds het ongemerkt falen van delen van het systeem te voorkomen. Wel verdient het aanbeveling om voor de handmatige sluiting van de Keersluis nog een protocol op te stellen, dit om de kennis hieromtrent te borgen naar de toekomst. Bijkomend voordeel is dat zo de faalkans van de herstelactie nog verder verkleind wordt.

Algemeen geldt tevens, dat het te verrichten periodiek onderhoud, alsmede de resultaten ervan, goed gedocumenteerd dienen te zijn. Op deze wijze is het beheer van de Keersluis ook toekomstbestendig.

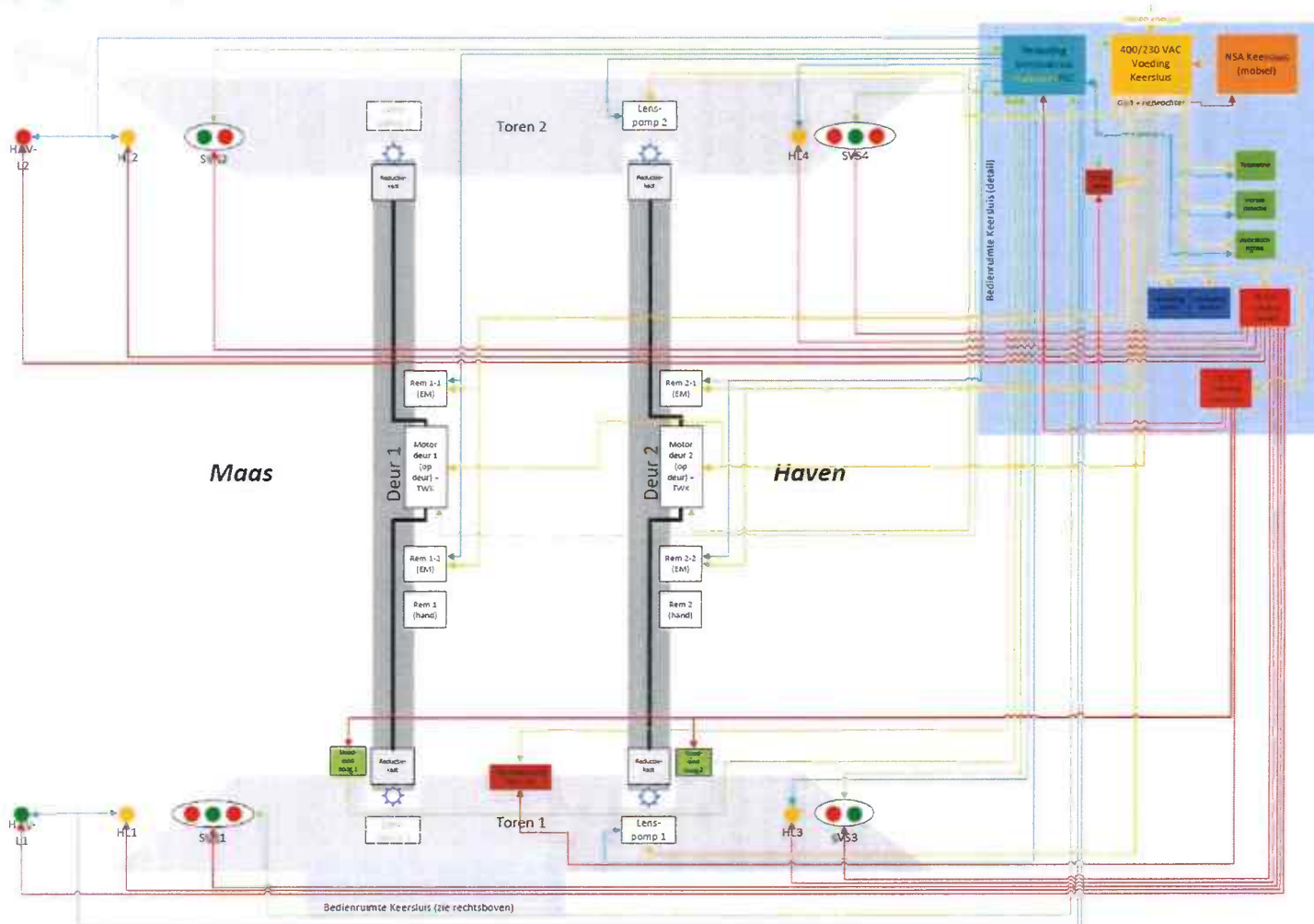
6.1.2 Updaten Risicoanalyse

Het is een mogelijkheid om, in het geval dat gestelde faalkanseisen verder worden aangescherpt in de toekomst, hierop te anticiperen door het beheer van de risicoanalyse periodiek te maken.

Hiervoor zou dan een PDCA cyclus (Deming cycle) kunnen worden ingericht, waarbij periodiek onderhouds- en faaldata worden verwerkt in een actualisatie van de risicoanalyse. Deze groeit hiermee steeds verder toe naar de praktijksituatie. Ook wordt de ontwikkeling van het faalgedrag door de tijd zichtbaar, waardoor toekomstig groot onderhoud of benodigde aanpassingen voorspelbaar worden.

Het resultaat hiervan is inzicht in de kwetsbaarheden in het systeem (waar en hoe) en de mogelijkheid hierop gericht te optimaliseren. Zo blijft de Keersluis ook in de toekomst voldoen aan de faalkanseisen.

Bijlage 1. Systeemoverzicht



Figuur B1-1 Overzicht Systeem Keersluis Cuijk

Bijlage 2. FMECA Resultaten

Zie bestand FMECA_Keersluis_Cuijk_2.0.xlsm voor de FMECA die is uitgevoerd. Hieronder staat een overzicht van de gevonden kritische faalwijzen, deze is in het gelijknamige werkblad te vinden

[illegible]

Figuur B2-1 Kritische Faalwijzen FMECA

Bijlage 3. FTA en resultaten

Zie bestanden:

Model:

- Keersluis_Cuijk_v2.0.rwb
- Keersluis_Cuijk_diagram.pdf

Input data:

- Generieke data_Cuijk v2.0.xlsx
- RWS Opschepmodel 2013 v2.0 keersluis Cuijk (met wachtwoord).xls
- Tool beslismodel externe gebeurtenissen - versie 2.0 keersluis Cuijk.xls
- Analyse externe gebeurtenissen - Keersluis Cuijk.pdf

Resultaat:

- Cut_sets_gate_sluiten faalt.pdf
- Cut_sets_gate_sluitproces faalt_Z23.pdf
- Cut_sets_gate_sluiten herst faalt_Z24.pdf

Extra:

- Cuijk_import_models_1.rwb-imp

Sluitprotocol:

- AKW 188 Keersluis Cuijk_sluitprotocol