MEMO

PROJECT	HWBP Roerdelta
PROJECTNUMMER	WAB024254
ONDERWERP	Faalkansanalyse flexibele coupure De Ster
AAN	Waterschap Limburg
AUTEUR	Shawnee Bandhoe en Tim van Cuyck
REVIEWER	John Roubos en Ruben Jongejan
DATUM	18 april 2025

1 AANLEIDING

In het Voorkeursalternatief (VKA) van dijkversterking Roerdelta is ter plaatse van de entree van het toekomstige dijkenpark (aan de zijde van de weg De Ster) een flexibele coupure voorzien, zie Figuur 2-1. Op deze locatie is een coupure noodzakelijk, omdat dit naast de recreatieve toegang tot het dijkenpark ook een belangrijke route is voor de hulpdiensten (brandweer, politie, ambulance) die via deze route alle hoofdentrees van de appartementengebouwen kunnen bereiken. Het maatgevende voertuig voor de coupure is een brandweervoertuig, waarbij in het ontwerp van de coupure rekening wordt gehouden met de vereiste draaicirkels van dit voertuig.

In de Verkenningsfase is op basis van een eerste faalkansanalyse hiervoor uitgegaan van een zelfsluitend systeem in de flexibele coupure. Voor het project is het van belang om de eerdere faalkansanalyse te evalueren en te komen tot een definitieve onderbouwing van het type keermiddel dat voor deze coupure voldoende betrouwbaarheid kan bieden.

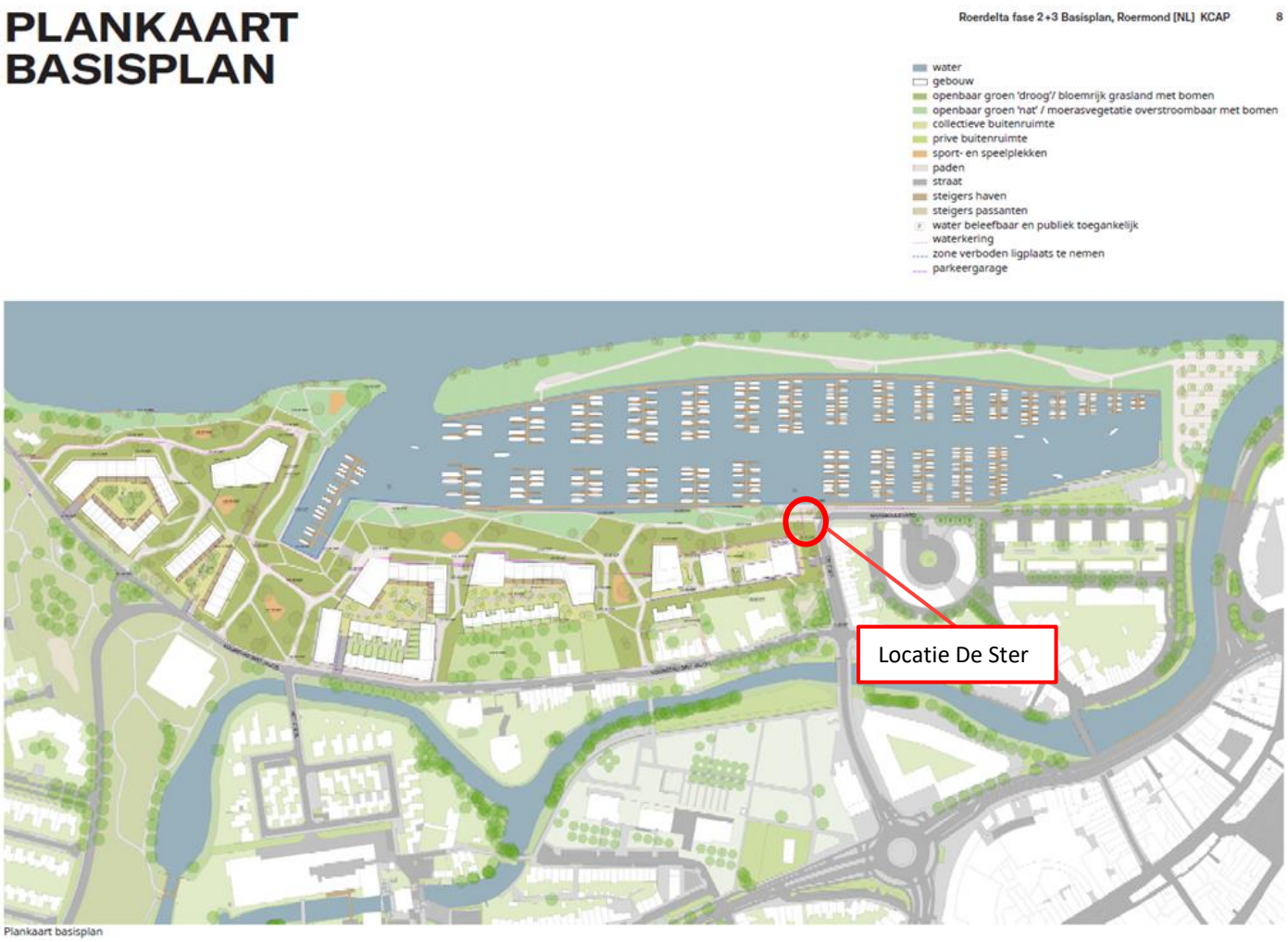
Momenteel zit er een zelfsluitend systeem in het ontwerp voor het project Roerdelta. Echter is een zelfsluitend systeem alleen een sober en doelmatige oplossing op het moment dat aangetoond kan worden dat een ander systeem (zoals een demontabele kering of een vaste deur) niet aan de faalkanseisen kan voldoen. In dit memo is dus opnieuw gekeken naar de faalkansen van verschillende systemen op deze locatie. Daarvoor wordt met een aantal gevoeligheidsanalyses onderzocht of het aanscherpen van enkele conservatieve aannames die voorheen zijn toegepast mogelijk zouden leiden tot een andere conclusie.

2 HUIDIGE STAND VAN ZAKEN

Uit de WBI-beoordeling [2] blijkt dat de bestaande kunstwerken in de huidige situatie niet voldoen aan de faalkanseisen voor betrouwbaarheid sluiting (BSKW). In het Voorkeursalternatief vervallen de bestaande coupures binnen dijktraject Roerdelta en worden deze vervangen door één flexibele coupure op de locatie De Ster, zie Figuur 2-1.

De benodigde kruinhoogte van de flexibele coupure is NAP +22,90 m (HBN bij zichtjaar 2125). Dat is een forse verhoging ten opzichte van de hoogte van de bestaande coupures. De kerende hoogte van de flexibele coupure zal hiermee ca. 3 meter bedragen. Dit betekent dat in alle varianten voor de coupure ook onder de grond een forse funderingsconstructie nodig zal zijn.

PLANKAART BASISPLAN



Figuur 2-1: Plankaart Basisontwerp met de locatie De Ster [7]

Op 25 april 2024 heeft een schetssessie plaatsgevonden waarbij varianten voor de flexibele coupure bij De Ster zijn ontwikkeld. Deze varianten zijn vervolgens uitgewerkt en gerapporteerd in een notitie [1].

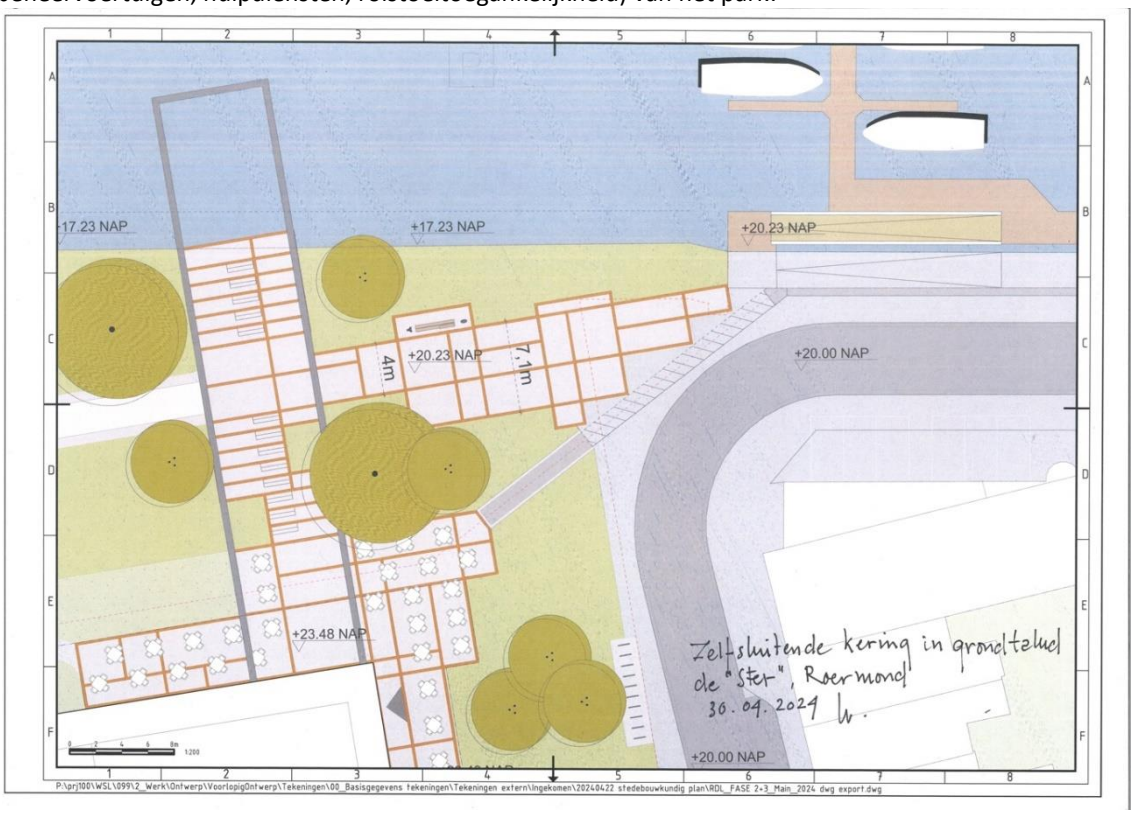
Drie varianten zijn ontwikkeld met enerzijds oog voor een sobere en doelmatige oplossing en anderzijds voldoende aandacht voor de landschappelijke inpassing in het stedenbouwkundig plan met behoud van een zicht- en functionele relatie tussen de stad en rivier. Alle varianten starten vanuit verschillende invalshoeken, zodat hiermee de bandbreedte aan denkbare integrale oplossingen in beeld is gebracht. De volgende varianten zijn verkend [1]:

1. Zelfsluitende coupure (28 meter) opgenomen in grondtalud
2. Coupure met deuren (6 meter) en kering met glasvenster
3. Verhoging en zelfsluitende coupure (14 meter)

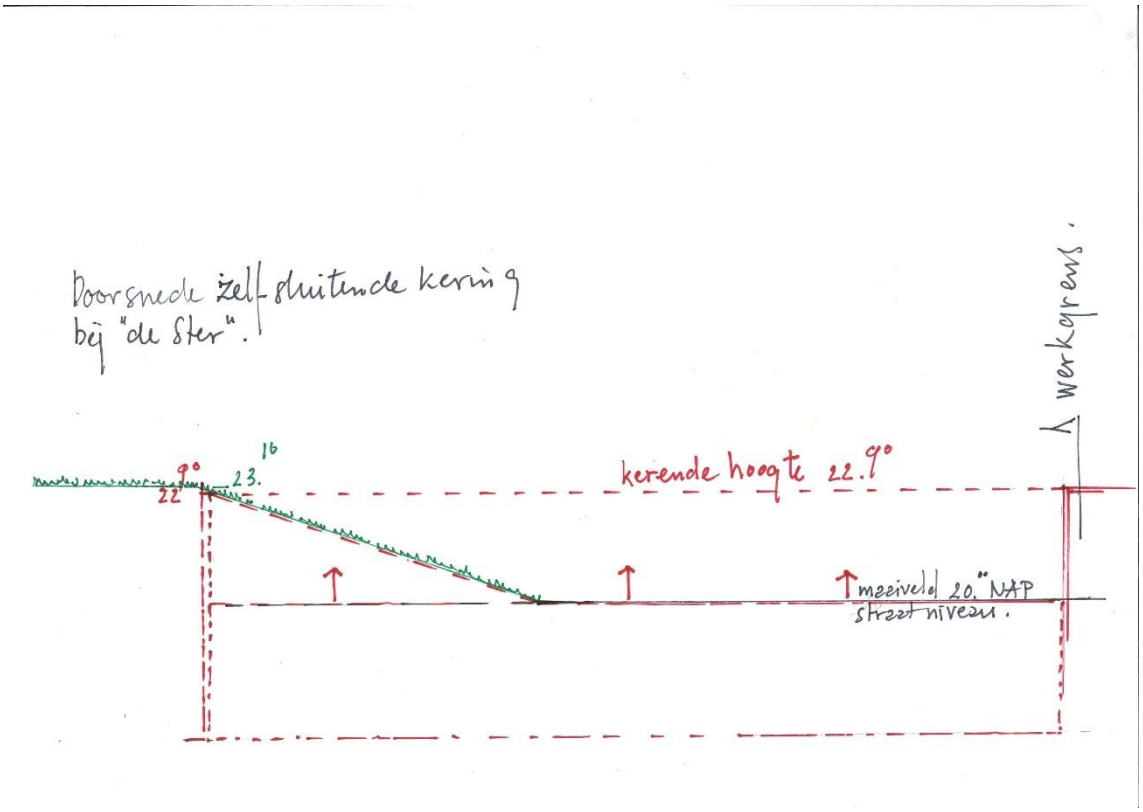
Oplossing 1: Zelfsluitende coupure

In deze variant wordt het hoogteverschil tussen de bouwblokken en de flexibele coupure bij De Ster (ruim 3 meter hoogteverschil) overbrugd met een groen talud. Een zelfsluitende kering van ca. 28 meter lang wordt deels in het grondtalud opgenomen, waardoor een royaal zichtvenster op de Maas ontstaat. Het maaiveldniveau ligt op de locatie van de flexibele coupure vast op NAP +20,0

m, vanwege de aanwezigheid van de bestaande weg, te handhaven bestaande bebouwing naast de weg en de maximale hellingen die mogelijk zijn vanwege de functionele toegang (voor o.a. beheervoertuigen, hulpdiensten, rolstoeltoegankelijkheid) van het park.



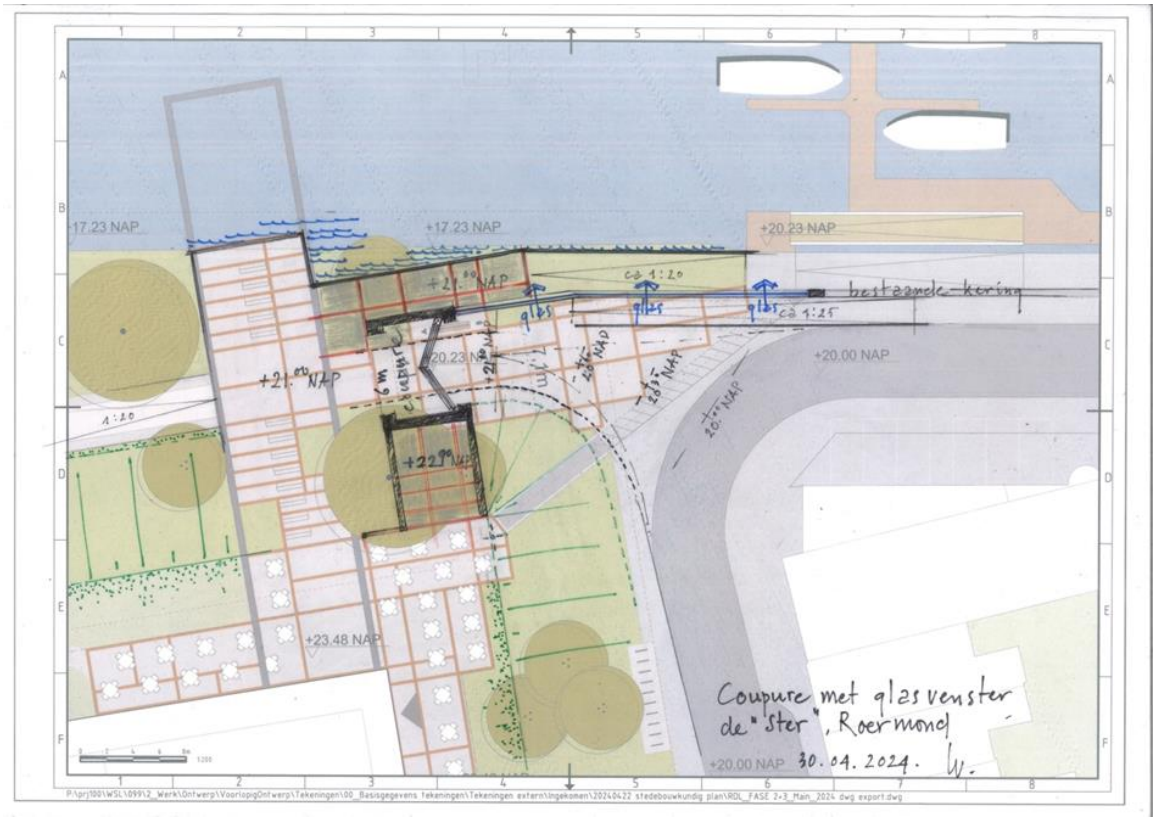
Figuur 2-2: Afbeelding: variant 1



Figuur 2-3: Afbeelding: dwarsdoorsnede zelfsluitende kering incl. grondtalud, variant 1

Oplossing 2: Coupure met deuren

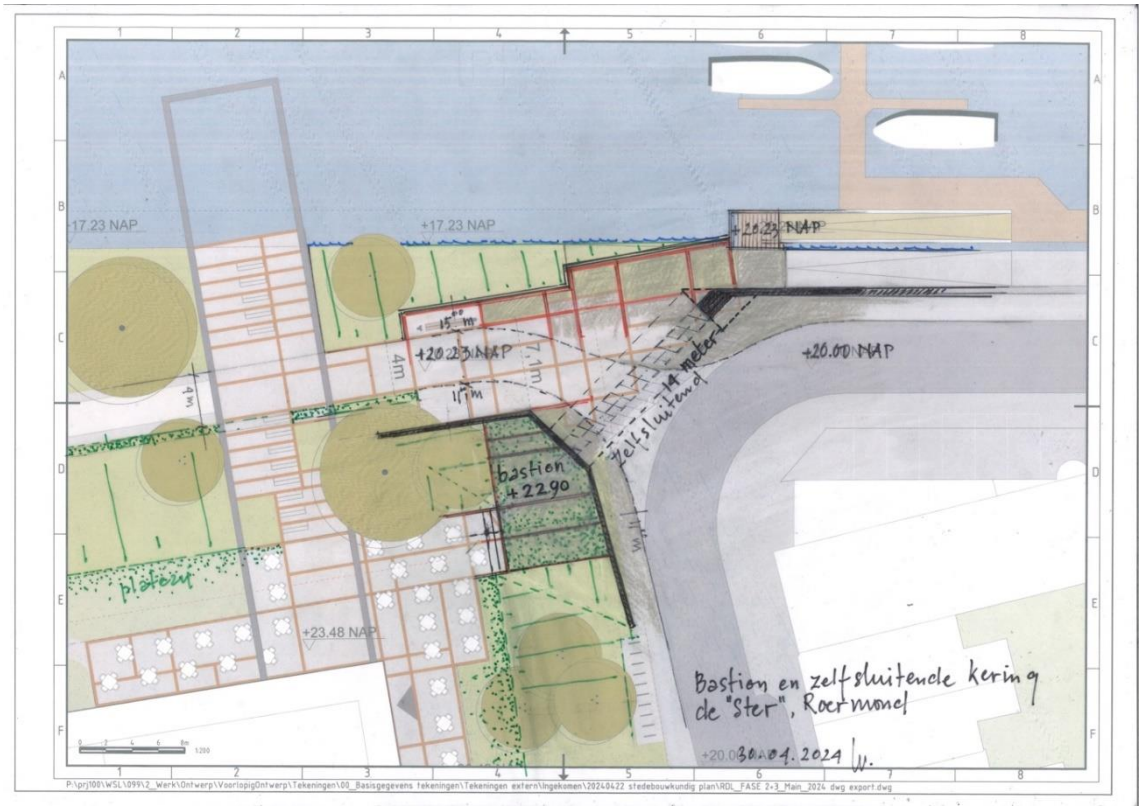
Deze variant onderzoekt de minimale maatvoering van een afsluitbare doorgang in de kering, wanneer in de coupure een keringconcept met vaste deuren wordt toegepast. Hiervoor is, vanwege de faalkanseisen voor BSKW, een verhoogde drempelhoogte nodig, waarbij in de variantenstudie is uitgegaan van een niveau van NAP +21,0 m. Rekening houdend met de maximale hellingen die mogelijk zijn vanwege de functionele toegang (voor o.a. beheervoertuigen, hulpdiensten, rolstoeltoegankelijkheid) van het park, betekent dit dat de locatie van de coupure verder het dijkenpark in schuift. De coupure wordt gecombineerd met een glasvenster in de zichtlijn om zicht op de rivier te behouden.



Figuur 2-4: Afbeelding: variant 2

Oplossing 3: Verhoging en zelfsluitende coupure

Deze variant onderzoekt de minimale lengte van een zelfsluitende kering met een drempelhoogte van NAP +20.00 m. Het maaiveldniveau ligt op de locatie van de flexibele coupure vast op NAP +20.00 m, vanwege de aanwezigheid van de bestaande weg, te handhaven bestaande bebouwing naast de weg en de maximale hellingen die mogelijk zijn vanwege de functionele toegang (voor o.a. beheervoertuigen, hulpdiensten, rolstoeltoegankelijkheid) van het park.
Door het grondplateau te verhogen en het aansluitpunt te verleggen, kan de lengte van de kering worden teruggebracht tot 14 meter. Deze breedte is minimaal nodig om de toegankelijkheid van het dijkenpark te waarborgen, rekening houdend met de draaicirkels van het maatgevende voertuig van de hulpdiensten. De verhoging markeert het einde van het stedenbouwkundig plan en biedt een extra hooggelegen uitzichtpunt op de Maas, waarbij zowel een verticale- als klepkering mogelijk is.



Figuur 2-5: Afbeelding: variant 3

Van deze varianten zijn kostenramingen gemaakt op basis waarvan variant 3 de meest sobere en doelmatige optie is gebleken. Deze variant is daarom opgenomen in het VKA. Daarnaast overweegt de gemeente mogelijk nog gebruik te maken van variant 1. Variant 2 is inmiddels afgevallen, omdat deze niet sober en doelmatig is en omdat de gemeente en projectontwikkelaar deze variant niet vinden passen bij de beoogde stedenbouwkundige ontwikkeling.
In Bijlage 1 is een analyse uitgevoerd om te onderzoeken of het inpassen van een coupure met deur een kansrijke oplossing is. Uit deze analyse is gebleken dat het benodigde drempelniveau behorende bij een coupure met deur significant hoger ligt dan het benodigde drempelniveau van een zelfsluitende coupure of het bestaande maaiveldniveau. Er is daarmee geen optimalisatie van variant 2 denkbaar die goedkoper wordt dan variant 3.

Op basis van de resultaten van de variantenstudie is de locatie van de flexibele coupure inmiddels vastgesteld. Zowel variant 1 als variant 3 gaan uit van een coupure direct grenzend aan de weg De Ster. Dit betekent dat het bestaande maaiveldniveau op deze locatie (NAP +20,0 m) ook het drempelniveau van de flexibele coupure is. Het maaiveldniveau kan op deze locatie niet worden verhoogd maar blijft gehandhaafd op NAP +20,0 m, vanwege de aanwezigheid van een bestaande weg en bebouwing die behouden moeten blijven.

Als de buitenwaterstand het maaiveldniveau van NAP +20,0 m overschrijdt, is er nog niet direct sprake van een overstroming. Het maaiveldniveau loopt op deze locatie vrijwel horizontaal richting het achterland en de aanwezige bebouwing. Op basis van de overstromingsdefinitie uit de Waterwet, geldt dat er bij 20 cm water op straat sprake is van een overstromingsgevolg. Daarom wordt in het vervolg van deze notitie een open keerpeil van NAP +20,2 m aangehouden. Als het vereiste drempelniveau voor een keringconcept kleiner of gelijk is aan het open keerpeil van NAP +20,2 m is het keringconcept toepasbaar binnen de faalkanseisen voor BSKW.

3 HUIDIGE UITGANGSPUNTEN

3.1 FAALKANSEIS VOLGENS HET WBI MET STANDAARD UITGANGSPUNTEN

Voor dijktraject Roerdelta (traject 76-1) geldt een maximaal toelaatbare overstromingskans (ondergrens) van 1/100 per jaar.

De faalkanseis voor BSKW is afhankelijk van de faalkansverdeling en de lengte-effect factor. Voor de faalkansruimtefactor geldt in eerste instantie de default-waarde van 0,04. De lengte-effect factor voor Betrouwbaarheid Sluiting is gelijk aan de helft van het aantal kunstwerken dat betrokken is bij de gedetailleerde toets [8]. In de huidige situatie zijn er 24 kunstwerken, maar de 17 coupures met schotbalken worden in 5 batches geplaatst. Dit brengt het totale aantal huidige relevante kunstwerken op 12 en het lengte-effect op 6. Een batch bestaat uit een team en een vrachtwagen, en elke batch coupures wordt daarna gezien als een onafhankelijk kunstwerk.
Het is belangrijk op te merken dat bij het bepalen van de faalkanseis voor BSKW alle kunstwerken van het gehele normtraject dienen te worden beschouwd.

In het VKA verandert de faalkanseis omdat het aantal coupures veranderd. De bestaande coupures binnen dijktraject Roerdelta verdwijnen en er komt één flexibele coupure terug. Omdat coupure 1204 verdwijnt, vervalt de 5^{e} batch, zie Tabel 3-1. Doordat er een aantal coupures vervallen, is aangenomen dat de nieuwe coupure ook in te passen is in één van de bestaande batches. Dus netto valt er één batch af. Het aantal relevante kunstwerken reduceert daardoor met één. Dit resulteert in de volgende faalkanseis:

$$P_{eis;dsn} = \frac{\omega P_{eis}}{N_{dsn}}$$

Waarin:

$P_{eis;dsn}$	Faalkanseis per doorsnede of kunstwerk [1/ jaar].
Peis	Norm van het dijktraject [1/jaar]. (=1/100)[1]
ω	Faalkansruimtefactor voor het betreffende toetsspoor [-]. (=0,04)
N_{dsn}	Lengte-effectfactor voor een doorsnede of kunstwerk [-]. (=5,5 zie hierboven)

$P_{eis;dsn} = \frac{\omega P_{eis}}{N_{dsn}}$ = 0,04*0,01/5,5 = 7,27*10^-5 (=1/13750) per jaar

[1] De nieuwe woningen worden op hoogwatervrij niveau aangelegd. Hierdoor is de verwachting dat dit geen invloed zal hebben op de normstelling van het normtraject.

Tabel 3-1: Aantal kunstwerken en het lengte effect [2] .

Aantal kunstwerken	Werkelijk aantal kunstwerken	Gemodelleerd aantal kunstwerken huidige situatie	Gemodelleerd aantal kunstwerken stedenbouwkundig ontwerp
Coupures	17	5	4
Deur (coupure 1201)	1	1	1
Duikers	4	4	4
Sluizen	2	2	2
Totaal	24	12	12
Lengte- effect	12	6	5,5

3.2 FAALKANS PER SLUITVRAAG

FAALKANS PER SLUITVRAAG ZELFSLUITEND SYSTEEM

Waterschap Limburg heeft in de notitie Betrouwbaarheid sluiting – Limburg als 1 dijktraject [6] een analyse uitgevoerd om de faalkans voor de demontabele keringen te bepalen. In deze notitie is de faalkans per sluitvraag voor een zelfstandig sluitende kering vastgesteld op een kans van 1/10.000 (10^{-4}). Deze faalkans is tevens gebruikt bij de dijkversterkingen Steyl-Maashoek [5] en Venlo 't Bat [3].

Tabel 3-2: Faalkans per sluitvraag van het zelfsluitend systeem.

Type	$P_{sluitvraag}$ [1/vraag]
Zelfsluitend systeem	1/10.000

FAALKANS PER SLUITVRAAG COUPURE MET SCHOTTEN

In de WBI-beoordeling van BSKW [2] is de faalkans per sluitvraag bepaald met de Excelsheet 'Faalkansen demontabele keringen Limburg'. Deze faalkans is afhankelijk van het aantal benodigde teams en vrachtwagens om de coupure te sluiten, de mogelijke aanwezigheid van een auto of zwaar object op het tracé, de bereikbaarheid van de locatie bij hoogwater en de afstand tussen het depot en de coupure. Voor Roermond, waar de afstand tot het depot 28 kilometer bedraagt, wordt per batch één team en één vrachtwagen ingezet, wat resulteert in een faalkans per sluitvraag van 1/378 voor alle coupures binnen een batch van coupures.

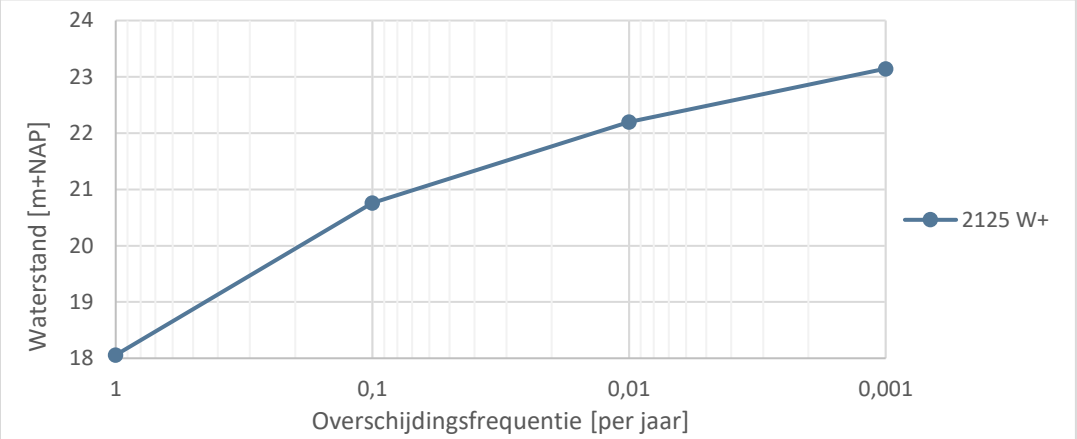
Tabel 3-3: Faalkans per sluitvraag voor een coupure met schotten.

Type	$P_{sluitvraag}$ [1/vraag]
Coupure met schotten	1/378

3.3 UITGANGSPUNTEN WATERSTANDSTATISTIEK

Om het vereiste drempelniveau en de faalkanseis te bepalen, is de waterstandstatistiek nodig om vast te stellen welk drempelniveau hoort bij de gewenste overschrijdingsfrequentie. Hiervoor zijn waterstandsfrequentielijnen opgesteld. Voor de berekening van de waterstandsfrequentielijn zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De hydraulische randvoorwaarden zijn bepaald voor de volgende zichtjaren:
  - 2015
  - 2023 (lineaire interpolatie)
  - 2050
  - 2100
  - 2125 (lineaire extrapolatie)
- De waterstand is berekend bij de volgende terugkeertijden:
  - Een terugkeertijd van 1/1 per jaar (Overschijdingsfrequentie = 1)
  - Een terugkeertijd van 1/10 per jaar (Overschijdingsfrequentie = 0,1)
  - Een terugkeertijd van 1/100 per jaar (Overschijdingsfrequentie = 0,01)
  - Een terugkeertijd van 1/1000 per jaar (Overschijdingsfrequentie = 0,001)
- De waterstanden zijn bepaald met Hydra-NL versie 2.8.2 en HRD “HOR_F1_Maas_Oever_Netto_2050.mdb” voor het zichtjaar 2050 en “HOR_F1_Maas_Oever_Netto_2100.mdb” voor het zichtjaar 2100.
- Het klimaatscenario W+ is gehanteerd.



Figuur 3-1: De waterstandsfrequentielijn voor het jaar 2125 en klimaatscenario W+.

3.4 VEREIST DREMPELNIVEAU MET HUIDIGE UITGANGSPUNTEN

De bepaling van het vereiste drempelniveau om de faalkanseis te kunnen halen, wordt als volgt uitgevoerd:

- De eerste stap is het bepalen van de kans op een open keerpeil dat hoort bij de faalkanseis en de faalkans per sluitvraag. Door de faalkanseis te delen door de faalkans per sluitvraag, wordt de vereiste overschrijdingsfrequentie van het drempelniveau berekend.
- Vervolgens wordt, op basis van waterstandstatistiek van 2125[2], het vereiste drempelniveau bepaald dat hoort bij deze overschrijdingsfrequentie. Dit resulteert in de vereiste drempelniveaus zoals aangegeven in onderstaande tabel. Het vereiste drempelniveau wordt vergeleken met het open keerpeil om te beoordelen of het keringconcept toepasbaar is binnen de faalkanseis.

In het VKA (en het stedenbouwkundig plan) is het maaiveldniveau op de locatie van de flexibele coupure NAP +20,0 m. Dit betekent dat alleen een oplossing met een vereist drempelniveau van NAP +20,2 m of lager ingepast kan worden in dit ontwerp (er wordt vergeleken met het open keerpeil van NAP +20,2 i.p.v. NAP +20,0 omdat pas bij het overschrijden van NAP +20,2 m overstromingsgevolg optreedt). Bij het vergelijken van de twee opties kan geconcludeerd worden dat alleen het zelfsluitend systeem een benodigd drempelniveau heeft dat lager is dan het open keerpeil, zie Tabel 3-4. Dit betekent dat met de huidige uitgangspunten enkel het zelfsluitend systeem in te passen is in het ontwerp.

Tabel 3-4: Samenvatting van de faalkansen en vereist drempelniveau van de verschillende oplossingen (rood = >OKP NAP +20,2 m niet toepasbaar, groen = <OKP NAP +20,2 m is wel toepasbaar).

Type	**P_{eis} [1/jaar]**	**$P_{sluitvraag}$ [1/vraag]**	**$P_{open\ keerpeil}$ [1/jaar]**	**Vereist drempelniveau [m+NAP]**
Coupure (schotten)	13750	378	37	21,55
Zelfsluitend systeem	13750	10000	1	18,45

[2] Het zichtjaar 2125 is hier in eerste instantie gekozen omdat dit hoort bij de standaard ontwerplevensduur voor constructies van 100 jaar, zoals WL hanteert [9]. Het is voor deze flexibele coupure niet mogelijk om een adaptieve strategie te implementeren en na een aantal jaar van keringsysteem te wisselen. Dit komt door de grote kerende hoogte van de coupure (ca. 3 meter) en de forse funderingsconstructie die daarvoor nodig is. Het is daardoor niet mogelijk om bijvoorbeeld nu een demontabel systeem te installeren en dit over 50 jaar te veranderen naar een zelfsluitend systeem. Op dat moment zou de volledige constructie (zowel bovengronds als ondergronds) vervangen moeten worden. Dit wordt beoordeeld als niet sober en doelmatig. Er worden daarom in deze notitie geen varianten met een kortere levensduur uitgewerkt.

4 GEVOELIGHEIDSANALYSES VEREIST DREMPELNIVEAU

Standaard uitgangspunten voor een coupure met schotten leiden tot een vereiste drempelhoogte van NAP +21,55 m, zoals weergegeven in Tabel 3-4. Bij deze berekeningen zijn enkele mogelijk conservatieve uitgangspunten gehanteerd. In deze paragraaf wordt onderzocht in hoeverre deze uitgangspunten invloed hebben op het vereiste drempelniveau van de coupure met demontabele schotten.

Er zijn verschillende factoren die het vereiste drempelniveau van de demontabele kering kunnen beïnvloeden. Daarom zijn enkele uitgangspunten gecontroleerd om te bepalen hoe deze het vereiste drempelniveau van de coupure met schotten beïnvloeden:

1. Verschuiving in de faalkansbegroting.
2. Correctie van de eis per sluitvraag voor de coupure met schotten op basis van ENW-advies.
3. Invloed van klimaatscenario G.

4.1 VERSCHUIVING IN DE FAALKANSBEGROTING

Bij verschillende dijkversterkingsprojecten van Waterschap Limburg wordt een verschuiving in de faalkansbegroting toegepast. Zo is voor Venlo 't Bat een wijziging van de faalkansbegroting voor het hele traject voorgesteld, waarbij BSKW meer faalkansruimte krijgt (24% in plaats van 4%). Bij andere projecten van WL wordt regelmatig meer ruimte aan GEKB gegeven om de hoogteopgave beter inpasbaar te maken.

Op basis van de huidige kennis is gereflecteerd op de faalkansbegroting die het best passend is bij normtraject 76-1. Vanwege het grote belang van betrouwbaarheid sluiting (BSKW) bij dit traject, is een relatief groot faalkansbudget voor dit faalmechanisme mogelijk economisch optimaal. Daarom is berekend wat de invloed op het vereiste drempelniveau zou zijn, wanneer de faalkansruimte verandert van 4% naar 12% en 24%.

Het verschuiven van de faalkansbegroting van 4% naar 12% resulteert in een vereist drempelniveau van NAP+20,9 m in plaats van NAP+21,55 m, wat een winst van 65 cm oplevert. De verschuiving naar 24% resulteert in een vereist drempelniveau van NAP+20,2 m, wat een winst van 135 cm oplevert.

Tabel 4-1: Resultaten van het verschuiven van de faalkansbegroting. Dit zijn de resultaten bij klimaatscenario W+ en zonder de correctie op basis van het ENW-advies (rood = >OKP NAP +20,2 m niet toepasbaar, groen = <OKP NAP +20,2 m is wel toepasbaar)

Ontwerp	Faalkansbegroting	$P_{eis;dsn}$ [1/jaar]	$P_{sluitvraag}$ [1/vraag]	$P_{open\ keerpeil}$ [1/jaar]	Vereist drempelniveau [m+NAP]
Demontabele coupure	4%	13750	378	37	21,55
Demontabele coupure	12%	4583	378	12	20,9
Demontabele coupure	24%	2291	378	6	20,2

4.2 CORRECTIE EIS PER SLUITVRAAG OP BASIS VAN ENW-ADVIES

In 2017 werd advies gevraagd aan het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) over de betrouwbaarheidsanalyse die de kans op niet-sluiten in LBO-1 bepaalt. Het ENW adviseerde om te onderzoeken wat het effect zou zijn van het vermijden van conservatieve aannames in de kwantificering, vooral als de kans op niet-sluiten leidt tot een versterkingsopgave. In hun advies illustreerden ze enkele duidelijke conservatieve aannames, zoals falen door sneeuwval (1/1825) en falen door stroomstoring (1/1862).

In deze gevoeligheidsanalyse is gekeken naar het effect wanneer de kansen op deze gebeurtenissen een orde kleiner worden ingeschat. Als aan deze gebeurtenissen kansen wordt toegedicht die een orde kleiner zijn, dan komt de faalkans per sluitvraag uit op 1/378 – 9/10*1/1825 – 9/10*1/1862 = 1/599 per sluitvraag. Dit is als uitgangspunt voor deze gevoeligheidsanalyse aangehouden.

Tabel 4-2 toont de resultaten van het vereiste drempelniveau bij klimaatscenario W+ en een standaard faalkansbegroting van 4%. De resultaten voor de andere klimaatscenario's en faalkansbegrotingen zijn weergegeven in paragraaf 4.4.

Tabel 4-2: De resultaten van het opvolgen van het ENW-advies. Dit zijn de resultaten bij klimaatscenario W+ en de standaard faalkansbegroting (4%) (rood = >OKP NAP +20,2 m niet toepasbaar, groen = <OKP NAP +20,2 m is wel toepasbaar).

Ontwerp	**$P_{eis;dsn}$ [1/ jaar]**	**Correctie ENW?**	**$P_{sluitvraag}$ [1/vraag]**	**$P_{open\ keerpeil}$ [1/jaar]**	**Vereist drempelniveau [m+NAP]**
Demontabele coupure	13750	Nee	378	37	21,55
Demontabele coupure	13750	Ja	599	23	21,30

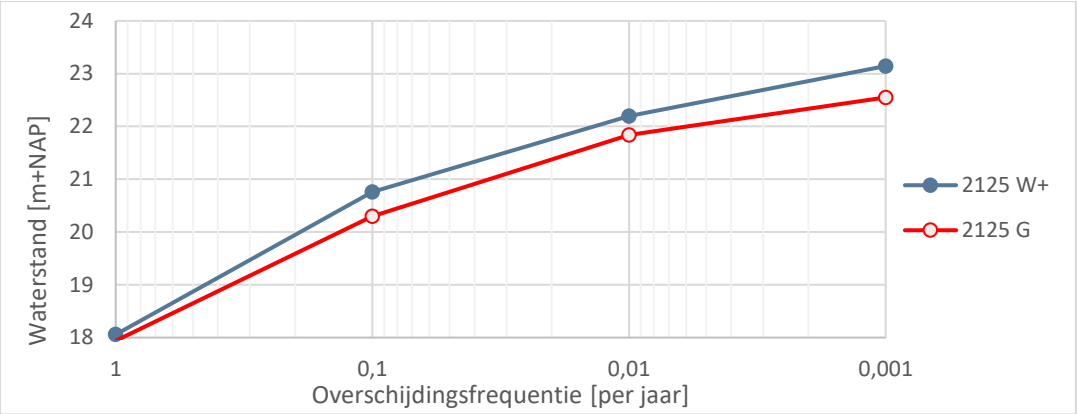
NB: Voor ontwerpverificaties en de selectie van keringconcepten achtte het ENW deze conservatismen minder bezwaarlijk, vanuit de gedachte van scherp toetsen en robuust ontwerpen.

4.3 KLIMAATSCENARIO G

Voor de laatste gevoeligheidsanalyse is gekeken naar de invloed op het vereiste drempelniveau wanneer er wordt uitgegaan van klimaatscenario G in plaats van W+.

De invloed van het klimaatscenario is getest door een nieuwe waterstandsfrequentielijn op te stellen. Hiervoor zijn dezelfde uitgangspunten gebruikt zoals beschreven in paragraaf 3.3, maar dan met het klimaatscenario G in HydraNL.

De waterstandsfrequentielijn voor het jaar 2125 voor de klimaatscenario's G en W+ zijn weergegeven in Figuur 4-1. Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat de waterstandsfrequentielijn 35 tot 45 cm lager ligt wanneer klimaatscenario G wordt gehanteerd in plaats van W+.



Figuur 4-1: De waterstandsfrequentielijnen voor het jaar 2125 bij klimaatscenario's G en W+.

Tabel 4-3: De resultaten van de invloed van het klimaatscenario G. Dit zijn de resultaten zonder het ENW-advies en de standaard faalkansbegroting (4%) (rood = >OKP NAP +20,2 m niet toepasbaar, groen = <OKP NAP +20,2 m is wel toepasbaar).

Ontwerp	**$P_{eis;dsn}$ [1/ jaar]**	**Klimaatscenario**	**$P_{sluitvraag}$ [1/vraag]**	**$P_{open\ keerpeil}$ [1/jaar]**	**Vereist drempelniveau [m+NAP]**
Demontabele coupure	13750	W+	378	37	21,55
Demontabele coupure	13750	G	378	37	21,15

4.4 SAMENVATTING RESULTATEN

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende gevoeligheidsanalyses en het onderlinge verband wanneer verschillende scenario's met elkaar gecombineerd worden.

Uit de resultaten kan geconcludeerd worden dat het opvolgen van het ENW-advies een winst in het vereiste drempelniveau van 25 tot 55 cm oplevert. Het hanteren van klimaatscenario G in plaats van klimaatscenario W+ resulteert in een winst in het vereiste drempelniveau van 35 tot 45 cm.

De meeste winst in het vereiste drempelniveau wordt behaald door het aanpassen van de faalkansbegroting. Wanneer de faalkansbegroting wordt ingesteld op 12% in plaats van 4%, resulteert dit in een winst in het vereiste drempelniveau van 65 tot 85 cm. Wanneer de faalkansbegroting wordt opgeschroefd tot 24%, zou dit zelfs resulteren in een winst van 1,35 m tot 1,65 m.

Tabel 4-4: Een overzicht van de invloed van de verschillende gevoeligheidsanalyses op het vereiste drempelniveau. In tegenstelling tot de bovenstaande paragrafen zijn de verschillende scenario's met elkaar gecombineerd. Dit toont de invloed van een combinatie van verschillende gevoeligheden (rood = >OKP NAP +20,2 m niet toepasbaar, groen = <OKP NAP +20,2 m is wel toepasbaar).

Keringconcept	Klimaat-scenario	Faalkansbegroting	$P_{eis;dsn}$ [1/ jaar]	Correctie ENW?	$P_{sluitvraag}$ [1/jaar]	$P_{open\ keerpeil}$ [1/jaar]	Vereist drempelniveau [m+NAP]
Zelfsluitend	W+	4%	13750	NVT	10000	1	18,45
Demontabel	W+	4%	13750	Nee	378	37	21,55
Demontabel	W+	12%	4583	Nee	378	12	20,9
Demontabel	W+	24%	2291	Nee	378	6	20,2
Demontabel	W+	4%	13750	Ja	599	23	21,3
Demontabel	W+	12%	4583	Ja	599	8	20,45
Demontabel	W+	24%	2291	Ja	599	4	19,65
Demontabel	G	4%	13750	Nee	378	37	21,15
Demontabel	G	12%	4583	Nee	378	12	20,45
Demontabel	G	24%	2291	Nee	378	6	19,8
Demontabel	G	4%	13750	Ja	599	23	20,85
Demontabel	G	12%	4583	Ja	599	8	20,05
Demontabel	G	24%	2291	Ja	599	4	19,3

5 CONCLUSIE

In dit memo is onderzocht wat de invloed is van een aantal conservatieve aannames op het vereiste drempelniveau van de flexibele coupure De Ster. In het VKA-ontwerp is een maaiveldniveau van NAP +20,0 m gehanteerd op de locatie van de coupure. Er wordt rekening gehouden met een overstromingsgevolg bij 20 cm water op straat, waardoor in deze analyse een open keerpeil van NAP +20,2 m is gehanteerd.

Ten eerste is getest wat de invloed is van het **verschuiven van de faalkansbegroting** op het vereiste drempelniveau. Het verschuiven van de faalkansbegroting heeft een grote invloed op het vereiste drempelniveau: Wanneer de faalkansbegroting wordt ingesteld op 12% in plaats van 4%, resulteert dit in een winst in het vereiste drempelniveau van 65 tot 85 cm. Wanneer de faalkansbegroting wordt opgeschroefd tot 24%, zou dit zelfs resulteren in een winst van 1,35 m tot 1,65 m.

Ten tweede is onderzocht wat opvolgen van het **ENW-advies** kan opleveren: Er is onderzocht wat de invloed is van het vermijden van een aantal conservatieve aannames op de eis per sluitvraag en daarmee op het vereiste drempelniveau. Het opvolgen van dit ENW-advies levert een winst in het vereiste drempelniveau van 25 tot 55 cm op.

Tot slot is onderzocht wat de invloed van een ander klimaatscenario is op het vereiste drempelniveau. Deze laatste gevoeligheidsanalyse toont aan dat het hanteren van **klimaatscenario** G resulteert in een waterstandsfrequentielijn die 35 tot 45 cm lager ligt dan bij klimaatscenario W+. Hierdoor is de winst op het vereiste drempelniveau ook 35 tot 45 cm.
Het waterschap concludeert dat voor de flexibele coupure binnen Roerdelta het beste gekozen kan worden voor klimaatscenario W+. In de toekomst zal er op enig moment overgestapt worden naar de KNMI ’23 scenario’s, waarvan de voorlopige resultaten voor de bovenrivieren lijken te wijzen op hogere hydraulische belastingen (maar hierbij zijn nog onzekerheden). Gezien de forse investering in de flexibele coupure en de onzekerheid in toekomstige klimaatscenario’s past hier een robuust klimaatscenario (W+) het beste.

Uit de faalkansanalyse blijkt dat in de meeste combinaties van uitgangspunten het vereiste drempelniveau voor een demontabel systeem nog ruim boven NAP +20,2 m uitkomt. Een demontabel systeem kan alleen toegepast worden bij een forse verschuiving van de faalkansbegroting richting BSKW.
Er zitten echter een aantal uitdagingen/beperkingen aan het verschuiven van de faalkansbegroting. Normtraject 76-1 heeft namelijk een grote opgave voor verschillende faalmechanismen, waaronder hoogte, piping en macrostabiliteit. Het hele normtraject heeft een hoogtetekort. Met name de groene keringen langs de Roeroverlaat (buiten de scope van Roerdelta, maar binnen normtraject 76-1) hebben daarnaast een grote afstand tot de norm voor piping en macrostabiliteit vanwege een steil binnentalud en de aanwezigheid van de Roer die aan de binnendijkse zijde dicht bij de kering ligt. Het ligt daarom niet voor de hand om faalkansruimte bij GEKB of STPH (de faalmechanismen waar de meeste faalkansruimte te halen is) weg te halen. Daarnaast zitten in het normtraject een groot aantal kunstwerken met een forse afkeur op betrouwbaarheid sluiting kunstwerken. Voor alle overige coupures binnen normtraject 76-1 geldt al een afkeur op BSKW en daarnaast een forse hoogteopgave, wat betekent dat bij het handhaven van het keringconcept demontabel voor deze coupures veel meer schotbalken nodig zullen zijn, waardoor het aantal batches met coupures zeer waarschijnlijk groter zal worden. Naast een groot aantal coupures bevinden zich in normtraject 76-1 ook de twee keersluizen in de Roer die maatgevend zijn voor BSKW, met berekende faalkansen van orde 1/300 - 1/500 per jaar zoals blijkt de WBI-beoordeling. Voor deze keersluizen is het goed denkbaar dat een groot deel van de totale faalkansruimte van

BSKW nodig is om te komen tot een financieel optimaal versterkingsontwerp. Het is daarom belangrijk om vanuit project Roerdelta nu niet te veel faalkansruimte naar deze ene coupure te halen.

Het waterschap concludeert op basis van voorliggende faalkansanalyse dat voor de flexibele coupure binnen Roerdelta een zelfsluitend systeem een doelmatig keringconcept is en dat variant 3 uit de variantenstudie van de Verkenningsfase (zoals ook opgenomen in het VKA) de basis vormt voor de verdere uitwerking van een sober en doelmatig ontwerp.

Als er nu voor de coupure bij De Ster met te gunstige uitgangspunten zou worden ontworpen om een ander keringconcept mogelijk te maken, kan dit resulteren in veel hogere kosten bij de andere dijkvakken en/of kunstwerken binnen het normtraject. Dit zou bijvoorbeeld tot gevolg kunnen hebben dat bij het ontwerp van de overige coupures een demontabel systeem niet meer mogelijk is, dat er voor de keersluizen veel duurdere maatregelen nodig zijn om aan de faalkanseis te voldoen of dat de groene dijken extra hoog en breed gemaakt moeten worden.

Door voor de flexibele coupure De Ster nu te kiezen voor een zelfsluitend systeem is het niet noodzakelijk om nu keuzes te maken in het herverdelen van de faalkansruimte over de faalmechanismen of tussen de verschillende kunstwerken onderling. Dit kan worden uitgesteld tot de versterking van de rest van normtraject 76-1. De keuze voor een zelfsluitend systeem maakt dit niet onmogelijk, aangezien de faalkans van een zelfsluitend systeem binnen de standaard faalkansbegroting past.

6 REFERENTIES

[1] Variantenstudie flexibele coupure De Ster, L. van Nieuwenhuijze en T. van Cuyck, 21-06-2024, Roerdelta-D-024
[2] Logboek Beoordeling Dijktraject 76-1 Roermond; Betrouwbaarheid sluiten kunstwerk (BSKW), Waterschap Limburg, 18 december 2019
[3] Faalkanseisen Venlo ’t Bat, 23-04-2024
[4] Faalkansanalyse locatiespecifieke analyse alternatieve oplossingen voor demontabele waterkeringen te Arcen, Well, Steyl en Buggenum, Waterschap Limburg, 25-09-2017
[5] Waterschap Limburg, Technisch Programma van Eisen zelfsluitende waterkering Steyl-Maashoek 2021.
[6] Betrouwbaarheid sluiting - Limburg als 1 dijktraject; Betrouwbaarheid sluiten demontabele keringen Limburg, Waterschap Limburg, 6 juni 2023.
[7] Roerdelta fase 2+3_Basisplan, KCAP (in opdracht van Gemeente Roermond), 20 oktober 2023
[8] Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017; Bijlage III Sterkte en veiligheid, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Uitgevoerd door Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving.
[9] IO.PROG.29.002-Nota van uitgangspunten ontwerp – Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei v1.0, Witteveen+Bos en Arcadis, 24 november 2020.

BIJLAGE 1

INVLOED VAN EEN PERMANENT AANWEZIG KEERMIDDEL

In deze bijlage is berekend wat de winst is wanneer er wordt uitgegaan van een permanent aanwezig keermiddel (coupure met deur) in plaats van een demontabele kering. In de rapportage “Faalkansanalyse locatiespecifieke analyse alternatieve oplossingen voor demontabele waterkeringen te Arcen, Well, Steyl en Buggenum” [4] is de faalkans per sluitvraag van verschillende systemen vergeleken. Tabel 2 in [4] toont de faalkans per sluitvraag voor een demontabele kering (3,5E-3) en een permanent aanwezig keermiddel (2,9E-3).

Omdat een permanent aanwezig keermiddel een ander systeem is dan een demontabele wand, is de faalboom anders. Een permanent aanwezig keermiddel heeft een faalkans per sluitvraag die ongeveer 20% lager is ten opzichte van een demontabel systeem. Ervan uitgaande dat deze aanpassingen in de faalboom vergelijkbare verschillen opleveren voor de locatie bij De Ster wordt hier tevens een reductie van 20% toegepast op de faalkans van het demontabele systeem: 0,8 * 1/378 = 1/473 per sluitvraag.

Een reductie van 20% op de faalkans per sluitvraag (door toepassen van een permanent aanwezig keermiddel) zorgt voor een vereist drempelniveau van NAP +21,45 m. Deze analyse levert dus ongeveer 10 cm winst op ten opzichte van een demontabel systeem.

Ontwerp	**$P_{eis;dsn}$ [1/ jaar]**	**Correctie?**	**$P_{sluitvraag}$ [1/jaar]**	**$P_{open\ keerpeil}$ [1/jaar]**	**Vereist drempelniveau [m+NAP]**
Demontabele coupure	13750	Nee	378	37	21,55
Coupure met deur	13750	Ja	473	29	21,45