

ALTERNATIEF VOOR DE TERUGSLAGKLEPPEN AAN DE MAAS

Zoeken naar veiligheid zonder natuurschade



Infram | Waterschap Limburg | University of Twente
Bachelor Thesis

6 Juli 2018

Idwer de Vries | s1743457

Voorwoord

Elk jaar gaan zowel talloze buitenlandse toeristen als Nederlanders naar de zuidelijke provincie Limburg om te genieten van de prachtige omgeving. Met name de gebieden rondom de Limburgse Maas zijn erg geliefd bij deze mensen en worden dan ook vaak bezocht. In deze delta stromen verschillende kleine beekjes en riviertjes, bijna allemaal uitkomend of beginnend bij de Maas. Deze kalm kabbelende stroompjes creëren de illusie dat deze stille omgeving een onaantastbaar paradijs is. Echter is gebleken dat zelfs daar een voldoende sterke waterverdediging essentieel is.

Waterschap Limburg is constant bezig met het moderniseren en verbeteren van de waterverdediging rondom de Maas. Hier kwam in de jaren oplopend naar mijn onderzoek meer druk op te liggen toen aan het licht kwam dat nog veel verschillende dijktrajecten van Waterschap Limburg niet voldoen aan alle nieuwe wetgevingen. Samen met het adviesbureau Infram is Waterschap Limburg bezig deze verdediging weer te laten voldoen aan de wettelijke eisen voor waterdefensie. Op moment van schrijven was Infram bezig de waterkeringen rondom Venlo te verbeteren. Als stagiair bij Infram ben ik bezig gegaan om hier aan bij te dragen via mijn onderzoek.

Als student civiele techniek heb ik de afgelopen drie jaar toegewerkt naar de mogelijkheid om alle opgedane kennis te kunnen gebruiken in de praktijk. Met dit onderzoek hoop ik dit te kunnen verwezenlijken en tegelijk de Bachelor opleiding Civil Engineering te kunnen afronden en een stap te kunnen zetten naar mijn Master Water Management.

Verder wil ik graag mijn begeleiders van zowel de UT als Infram bedanken voor hun inzet en enthousiasme bij de hulp en feedback die ik gedurende mijn onderzoek heb mogen ontvangen. Wanneer ik vast kwam te zitten kon ik altijd op hun inzichten rekenen waardoor mijn onderzoek relatief soepel is verlopen. Hierbij bedank ik Koen Reef, PHD-student en mijn begeleider van de UT en Ir. Kees Dorst, expert op het gebied van watermanagement en mijn begeleider bij Infram.

Idwer R. de Vries

6 Juli 2018

Samenvatting

De huidige terugslagkleppen en spindels die de waterkeringen vormen tussen de beken en de Maas in Limburg voldoen niet aan de wettelijke eisen. Zowel de ecologische als veiligheidseisen worden niet gehaald in de huidige toestand. Het doel is om een alternatief terugslagklep ontwerp te vinden dat voldoet aan zowel de wettelijke veiligheidseisen als de ecologische doelstellingen die gelden voor de Limburgse beken.

Gestart is met een inventarisatie van de huidige kleppen en lokale vissoorten. Hieruit kan geconcludeerd worden dat met name de controle- en registratie protocollen van Waterschap Limburg verbeterd moesten worden. Ook werd duidelijk dat bij normaal gebruik de kleppen een enorm negatieve impact hebben op de lokale vissoorten, hierom was besloten de terugslagkleppen in de regio met kettingen vast te zetten in de open stand om zo altijd een doorstroom te creëren. Dit verslechterd echter de faalkans van de kleppen aanzienlijk doordat extra menselijke handelingen nodig zijn om de klep te laten werken bij een hoge waterstand.

Als oplossing voor deze situatie zijn een tiental ontwerpen van terugslagkleppen bekeken. Hierbij is nog gezocht naar andere verbeteringsvlakken die de veiligheid of de milieuvriendelijkheid zouden verbeteren. Hieruit is een combinatie van verschillende oplossingen gekomen. De meest effectieve oplossing bestaat uit een terugslagklep die vastgemaakt is met behulp van een zogeheten constante veer, een veer die nagenoeg permanent dezelfde kracht vraagt om uit te rekken. Deze klep heeft als voordeel dat het alleen twee standen had, volledig open of gesloten. Als gevolg hebben de vissen het gehele jaar door een doorstroom en de mogelijkheid om te migreren.

Bij dit nieuwe klepontwerp wordt ook geadviseerd de controle- en registratie protocollen van Waterschap Limburg aan te passen om zo tot een veiligere waterkering te komen. De laatste aanbeveling is om bij de nieuwe kleppen een extensie te maken aan de bovenkant waardoor ze ook handmatig te sluiten zijn door de beheerder bij calamiteiten. Samen zouden deze aanpassingen ervoor moeten zorgen dat de faalkans per kering met 3000% per jaar zal verminderen en hiermee weer ruim onder de wettelijke maximale faalkans komt. Bovendien zou het nieuwe ontwerp ervoor zorgen dat negen inheemse vissoorten weer kunnen migreren door de Limburgse beken en hierdoor weer kunnen leven en voortplanten in Limburg.

Als eindresultaat zullen na implementatie de Limburgse waterkeringen weer voldoen aan de nieuwe Waterwet én aan de ecologische doelstellingen.

Inhoudsopgave

1. Introductie	4
2. Onderzoeksopzet	8
3. Inventarisatie: waterkerende kleppen.....	10
4. Huidige situatie	16
5. Ecologie eisen.....	22
6. Alternatieven.....	26
7. Conclusie	34
8. Discussie & aanbevelingen	36
9. Adviesrapport.....	40
10. Referenties	42
11. Appendices.....	44

Introductie

In het voorjaar van 2018 is tot op heden viermaal voorgekomen dat de waterkeringen in Limburg door hevige regenval het deels begeven hebben, wat op veel plekken zoals Roermond en Venlo voor wateroverlast gezorgd heeft (De Limburger 2018). Dit actuele nieuws weerspiegelt de urgentie bij de verbetering van de Limburgse waterverdediging. Als land is Nederland constant bezig met kustverdediging, maar de focus bij onderzoek en vervangingen heeft jarenlang vaak vrijwel alleen bij de kustverdediging gezeten. Hierdoor zijn relatief “droge” provincies als Limburg kwetsbaarder geworden en kan er gesproken worden van een aandacht tekort in de regio voor waterverdediging. (*Flood Risk and Water Management in the Netherlands*, 2012). Hierna zal gekeken worden naar de mogelijke verbeteringsvlakken van de waterkeringen van Limburg.

1.1 Achtergrondinformatie

Dit onderzoek focust zich op de dijktrajecten bij de Maas rondom Venlo. Deze waterkeringen bestaan op moment van schrijven nog voor het merendeel uit demontabele tijdelijke keringen. Dijken die met de hand moeten worden opgebouwd wanneer het water in de Maas een bepaalde kritieke hoogte heeft bereikt (zie figuur 1 en 2).

In Nederland is in totaal 20 kilometer van dit soort tijdelijke dijken te vinden, hiervan is 16 kilometer te vinden in het gebied rondom Venlo. Het gebruik van dit soort waterkering vereist relatief veel menselijke stappen voordat de kering veiligheid kan bieden. Deze menselijke handelingen zorgen ervoor dat de huidige aanwezige waterkering systemen rondom Venlo niet voldoen aan de wettelijk vastgelegde eisen rondom waterveiligheid. Bij elke stap waar de werking van een waterkering afhankelijk is van een mens is er immers de mogelijkheid dat door menselijk falen (communicatie, misverstand, fysiek) de demontabele dijk niet goed wordt opgezet.

Hier bovenop kwam de wijziging van de Waterwet op 1 Januari 2017, die met strengere normeringen en een nieuwe systematiek hebben bijgedragen aan de noodzaak achter het verbeteren van de dijktrajecten in Limburg.

Waterschap Limburg is bezig met het verbeteren van deze risicovolle dijktrajecten en zoekt een alternatief voor de demontabele dijken. Infram heeft hierbij een adviserende rol waarbij het bedrijf onderzoekt wat het optimale alternatieve dijkontwerp zou zijn om de demontabele stukken dijk bij de Maas te vervangen. De gemeentes en provincie van Limburg hebben er het meeste baat bij om een waterkering te verkrijgen die voldoet aan de wettelijke veiligheidseisen, zichtbehoud heeft richting de Maas en lage onderhouds- en investeringskosten met zich meebrengt. Maar om in de huidige situatie aan de nieuwe eisen vanuit de Waterwet te voldoen zijn erg hoge en dure dijken nodig.

Omdat als geheel gekeken wordt naar een dijktraject is het ook mogelijk om verbeteringen toe te passen op andere delen dan de demontabele dijken om het gehele dijktraject aan de wettelijke standaarden te laten voldoen. Door grote bijdragers aan de faalkans in hetzelfde dijktraject te verbeteren kan de nieuwe



Figuur 1 Tijdelijke kering in gebruik



Figuur 2 Tijdelijke kering niet in gebruik bij de Maas

dijkkring rondom Venlo veel goedkoper en lager gebouwd worden omdat als het ware de veiligheid die je met de lagere dijk verliest wordt opgevangen en gecompenseerd door de andere verbeteringen.

1.2 Probleemstelling

Een erg significante bijdrager aan de faalkans zijn de verschillende beken die uitmonden op de Maas in Limburg. Er zijn een relatief groot aantal kleine beken rondom Venlo dat door het waterstand verschil in de Maas een risico vormen. De uitmondingen komen namelijk erg laag uit in de Maas zelf. Wanneer de Maas een hoge waterstand heeft is het mogelijk dat er door de hoge druk water terugstroomt vanuit de Maas door de beken, wat een overstroming kan veroorzaken in het binnendijkse gebied. Omdat dit voorkomen moet worden, hebben alle beken die een significant risico vormden een terugslagklep of spindel gekregen. Spindels en terugslagkleppen zijn hoogwater kerende mechanismen die als een klep fungeren om zo water tegen te houden. Zo'n mechanisme zou er voor moeten zorgen dat er geen kans meer zou moeten zijn dat er rivierwater door de beken terug zou kunnen stromen.

Echter is gebleken dat er verschillende problemen zijn ontstaan rondom deze huidige mechanismen. De faalkans van de spindels zijn door de vele menselijke handelingen die benodigd zijn bij gebruik, gecombineerd met tekortkomende onderhoudsregelingen boven het wettelijke maximum gekomen. Eveneens zijn de huidige terugslagkleppen door hun vrij simpele werking ook een probleem geworden voor de lokale vispopulaties omdat door de klep vissen niet meer stroomopwaarts kunnen migreren. Ook de faalkans van deze kleppen voldoet nog niet aan de maximale faalkans gegeven door de nieuwe Waterwet.

Zowel op het gebied van betrouwbaarheid als op het gebied van het minimaliseren van de impact op vissen zijn dus nog significante verbeteringen vereist in Limburg.

1.3 Doelstelling

Om de gewenste dijkverbeteringen rondom Venlo mogelijk te maken zijn dus verbeteringen nodig op andere locaties in het dijktraject. Dit lijkt dus mogelijk bij de kleppen die gebruikt worden bij de uitmondingen van de Limburgse beken op de Maas. Tegelijk lijken er veel verbeteringen mogelijk op het gebied van milieuvriendelijkheid van de huidige mechanismen. Uit deze stellingen volgt de doelstelling van het onderzoek:

“Een alternatief is gevraagd voor de huidige tekortkomende kleppen in de beken die uitmonden op de Maas, het alternatief dient het liefst ruim te voldoen aan de wettelijke maximale faalkans, en het alternatief moet significant minder negatieve impact hebben op de lokale vispopulaties”

Gekeken moet dus worden naar een nieuw ontwerp van de terugslagklep dat als vervanging kan dienen voor alle huidige falende spindels en terugslagkleppen die nu in het gebied bestaan. Met dit nieuwe ontwerp kunnen zouden én de ecologische doelstellingen én de veiligheidsnormen weer gehaald moeten worden in de beken van Limburg.

Samengevat zijn drie subdoelen aan te wijzen, met aflopend belang geeft dit:

- De nieuwe klep moet voldoen aan de eisen omtrent de veiligheid gegeven door Rijkswaterstaat en moet gezien de veiligheid een significante verbetering zijn ten opzichte van de kleppen in de huidige situatie.
- Ook moet de negatieve impact op de lokale natuur van de kleppen sterk verminderd worden zodat de beken weer voldoen aan de ecologische doelstellingen.
- Waterschap Limburg wenst dat de nieuwe kleppen geen verhoging van onderhoudsduur of -kosten met zich mee brengt en dat de investeringskosten relatief laag zijn. Ook moet het nieuwe klepontwerp toepasbaar zijn op verschillende groottes beken en wisselende waterhoogtes.

1.4 Maatschappelijke relevantie

Het verbeteren van de huidige kleppen maakt het niet alleen mogelijk een kleinere en daarmee niet-horizonvervuilende dijk rondom Venlo neer te zetten, het zorgt ook voor een enorme groei van de lokale vispopulaties en als geheel voor een veiliger en natuurrijker Nederland.

De Limburgers rond de Maas kunnen met nieuwe verbeterde kleppen weer nieuwe vissoorten aantreffen in de lokale beken, soorten die mogelijk al jaren niet meer te vinden waren in de beken. Tegelijk zullen falende mechanismes vervangen worden door betrouwbaardere kleppen, waardoor rond de Maas, maar mogelijk ook in andere delen van de Nederland, de veiligheid verbeterd wordt op plekken waar kleppen gebruikt worden.

1.5 betrokken partijen

In dit onderzoek zijn er drie hoofdrolspelers te benoemen, zijnde Waterschap Limburg, Infram en een verzameling lokale gemeenten rondom Venlo.

Waterschap Limburg is beheerder van de kleppen in kwestie en is verantwoordelijk voor het voldoende functioneren van de kunstwerken. Uiteindelijk zou het waterschap het advies, mits ze het plan goedkeuren, gaan uitvoeren. Omdat zij er baat bij hebben om zowel de ecologische doeleinden als een lagere faalkans te behalen in hun regio zijn zij dicht betrokken bij het onderzoek. Ook is de betrokkenheid van Waterschap Limburg essentieel geweest voor het goed verlopen van dit onderzoek door de grote scala aan data die zij bezitten over de Limburgse gebieden.

Infram, als directe opdrachtgever van mijn onderzoek, heeft ook veel belang bij het onderzoek. Wanneer de resultaten van dit onderzoek positief zijn kan er namelijk gekeken worden naar een mogelijke meer haalbare oplossing voor een van Infram's huidige projecten.

De verzameling gemeentes, bestaande uit gemeentes Venlo, Beeksel en Roermond, hebben vergeleken met de andere twee partijen minder belang bij de resultaten van het onderzoek. Bij deze gemeenten staat naast de veiligheid de maatschappelijke relevantie voorop.

1.6 Locatiespecificatie

Om een beter te beeld te schetsen waar deze problemen zich voordoen geeft figuur 5 (onder) een overzicht van de verschillende dijktrajecten waarover dit project zich uitstrekt. De specifieke trajecten waar de demontabele dijken vervangen moeten worden en waar ook verbeteringen zijn te boeken bij het verbeteren van de terugslagkleppen zijn de trajectnummers: 67 – 74. In dit gebied rond Venlo bevindt zich 110 kilometer aan dijktraject waarvan dus 16 km vervangen zal worden.

In dit gebied liggen een aantal beken waar de kleppen in kwestie aanwezig zijn, de faalkansbijdrage relatief hoog is en de ecologische doelstellingen nog niet gehaald worden. Deze beken zullen worden gebruikt als cases voor dit onderzoek en zullen fungeren als voorbeeld waarvan de gegevens gebruikt zullen worden om potentiële verbeteringen mee aan te tonen. Kijkend van Noord naar Zuid Limburg zijn de beken in kwestie:

Kwistbeek – Springbeek – Aalsbeek – Wilderbeek – Venloze Molenbeek

Omdat dijktrajecten 68-1 en 69 (tabel 1) geen enkele vergelijkbare beek bevatten worden deze twee stedelijke dijktrajecten niet meegenomen in dit onderzoek.

Echter zullen de resultaten van dit onderzoek niet gelimiteerd zijn aan deze specifieke locaties.

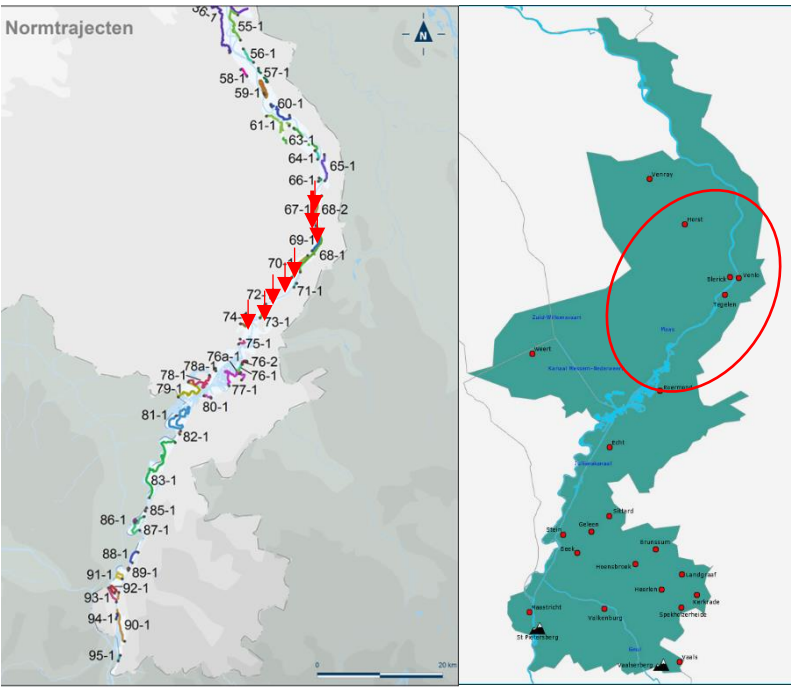
Naast het advies over een optimaal alternatief voor de huidige kleppen op de specifieke locaties zijn er ook generaliseerde regels te concluderen uit de bevindingen. Deze zullen worden samengevat in het laatste onderdeel van de appendix, hoofdstuk 11.10.



Figuur 3 Kwistbeek



Figuur 4 Aalsbeek



Figuur 5 Dijktrajecten Limburg – Projectgebied

Tabel 1 Overstromingskans per jaar -
Signaleringswaarde (links) en Ondergrens (rechts)

Dijktraject	Overstromingskans per jaar	Ondergrens
67-1	1:300	1:100
68-2	1:300	1:100
70-1	1:300	1:100
71-1	1:300	1:100
72-1	1:300	1:100
73-1	1:300	1:100
74-1	1:300	1:100

1. Onderzoeksopzet

In deze paragraaf wordt de opbouw van het onderzoek besproken. Beginnend bij de hoofdonderdelen van het onderzoek, waaruit de onderzoeksvragen volgen en eindigend met een bespreking van de gebruikte onderzoeksmethoden.

2.1 Hoofdonderdelen

Er zijn vier onderdelen te identificeren in dit onderzoek naar de meest optimale terugslagklep voor de regio. Onderstaand zijn de verschillende onderdelen van het onderzoek in chronologische volgorde te zien.

- i. **Inventarisatie huidige situatie**
- ii. **inventarisatie terugslagkleppen en ecologische eisen**
- iii. **Vergelijking en faalkansberekening**
- iv. **Alternatief selectie**

2.2 Hoofdvragen

Vanuit de probleemstelling zijn enkele hoofdvragen af te leiden. De 6 onderzoeksvragen worden hieronder weergegeven per hoofdonderdeel. Elk van de vragen beschrijft een gedeelte van het gevraagde in de probleemstelling, wat bij hoofdstuk vier als hoofdvraag terugkomt. In de komende paragrafen zal elk van deze vragen specifiek worden uitgelegd.

- i. **Onderzoeksvragen: oriëntatie huidige situatie**
 Wat zijn de staat van onderhoud, maaiveld hoogte en beek breedte van de huidige kleppen?
 Welke waterdieren zijn aanwezig in de relevante beken en onder welke ecologische omstandigheden gedijen deze dieren het beste?
- ii. **Onderzoeksvragen inventarisatie terugslagkleppen**
 Welke alternatieve terugslagklep-ontwerpen zijn mogelijk bij de Limburgse beken?
 Welke ontwerp-eisen volgen uit de ecologische doelstellingen van de aanwezige vissen?
- iii. **Onderzoeksvragen: Vergelijking en faalkansberekening**
 Wat is de faalkans van het huidige terugslagklep mechanisme?
 Wat zijn de mogelijke faalkansen van alternatieve ontwerpen?
- iv. **Hoofdvraag: Alternatief selectie**
 Welke combinatie van alternatieven zou de beste resultaten opleveren gezien de faalkansvermindering en de minimalisatie van de negatieve ecologische gevolgen in de regio?

2.3 Onderzoeksmethoden

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt worden van een combinatie van verschillende onderzoeksmethoden, elk om zo op de meest efficiënt mogelijke manier de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden. Onderstaand staat aangegeven welke methoden gebruikt zijn in het onderzoek en bij welke onderdelen deze gebruikt zijn.

Deskresearch - literatuuronderzoek

Een groot deel van dit onderzoek zal het literatuuronderzoek zijn naar relevante informatie, wetten en formules. Ook zal door middel van dit literatuuronderzoek gekeken worden naar vergelijkbare projecten en onderzoeken. Deskresearch zal terugkomen gedurende alle onderdelen van het onderzoek, met hierbij een nadruk op de initiële periodes waarin een inventarisatie gemaakt wordt van zowel de mogelijkheden als de huidige situatie.

Gebruikt bij: onderdeel I, II, III

Descriptief - inventariserend onderzoek

Vanuit de verkregen informatie via de deskresearch is een inventariserend onderzoeksmethode gehanteerd worden om de opgedane data te verwerken om zo een goed inzicht te krijgen in de huidige situatie. Ten tijde van het begin van het onderzoek misten nog veel data over de kenmerken van de huidige kleppen en dit is verholpen door deze inventariserend onderzoeksmethode te hanteren.

Gebruikt bij: onderdeel I

Surveyonderzoek

Dit descriptieve onderzoek zal naast literatuuronderzoek bestaan uit een series interviews met de medewerkers van Waterschap Limburg. De eisen, kennis en ervaring van het Waterschap met hun eigen kleppen is essentieel voor de inventarisatie van de huidige situatie.

Gebruikt bij: onderdeel I, II, IV

Veldonderzoek

Bovenop de interviews die gehouden zijn was het ook essentieel om verschillende keren naar de beken in kwestie te gaan om inzicht te krijgen in de situatie en om belangrijke informatie om de kenmerken van de kleppen en omgeving te verkrijgen.

Gebruikt bij: onderdeel I, IV

Kwantitatief onderzoek & kwalitatief onderzoek

Alle verkregen relevante informatie, wetten en formules wordt door middel van een kwantitatief onderzoek omgerekend naar de bijbehorende faalkansen per jaar voor de verschillende kleppen. Wanneer dit onmogelijk blijkt te zijn bij een gebrek aan data zal gebruik gemaakt worden van een kwalitatief onderzoek waarin alle kenmerken van de kleppen omtrent de faalkans zo accuraat mogelijk besproken zijn.

Gebruikt bij: onderdeel III

2.4 Kader van onderzoek

In dit onderzoek zal een geschikt alternatief voor de kleppen gezocht worden door met name gebruik te maken van de beschikbare informatie over vergelijkbare projecten en relevante rapporten uitgegeven door Arcadis, Rijkswaterstaat en Deltares. Dit soort vervang- en verbeteringsonderzoek vindt vaker plaats bij verschillende waterschappen en de expertise die hierdoor werd opgebouwd in Nederland is gebruikt worden om dit onderzoek uit te voeren.

De nadruk zal dus ook liggen op literatuuronderzoek. Als gevolg hiervan zal er dus ook niet gezocht worden naar een volledig nieuw ontwerp voor de nieuwe kleppen. Aangezien de tijd genodigd om alle benodigde experimenteren uit te voeren niet toereikend is in het tijdsbestek van dit onderzoek. En wordt er in dit onderzoek met name gezocht naar een geschikte combinatie van oplossingen.

3. Inventarisatie: waterkerende kleppen

In dit inleidende hoofdstuk zal een overzicht gegeven worden van de benodigde kennis rondom waterkerende kleppen. Naast het geven van een voldoende inzicht in de benodigde basiskennis zullen de cruciale vragen: “Hoe functioneren deze kleppen en wanneer falen ze” hierin beantwoord worden. Ook zal een greep gedaan worden naar de mogelijke alternatieven voor de huidige kleppen.

3.1 Taak en werking: terugslagklep

Wanneer het water in een rivier hoger staat dan de waterstand in de beken die op de rivier uitmonden ontstaat een overdruk op de buis die de binnendijkse dijk verbindt met de rivier. Als gevolg hiervan wil het water uit de rivier door de buis terugstromen naar het binnendijkse berggebied van de beek. Hierdoor kan zoveel water het binnendijkse gebied instromen dat het water daar dezelfde hoogte bereikt als de waterstand van de rivier, wanneer dit plaatsvindt vindt een overstroming plaats. Om dit tegen te gaan zijn terugslagkleppen en spindels ontworpen. Deze kleppen worden in de verbindende buizen geplaatst.



Figuur 6 Voorbeeld conventionele terugslagklep

Terugslagkleppen zijn te zien als een deksel op de verbindende buis, het is een afsluitklep die openstaat in zijn ruststand. Rechtsboven is een voorbeeld te zien van een conventionele *top-hinged* klep. In de ruststand staat de klep open, wat wil zeggen dat normaliter het water uit de beek zonder veel hinder langs de klep kan stromen. De klep staat in relatief los in evenwicht in deze ruststand. Wanneer de waterstand in de rivier hoger komt te staan zal de klep steeds meer ondergedompeld zijn in het water. Uiteindelijk zal door de verticale druk van het water op de schuinstaande klep en het drukverschil tussen het water in de rivier en in de buis de klep dichtklappen. Dit mechanisme zorgt ervoor dat de beken op een normale manier kunnen stromen wanneer er een relatief lage waterstand in de rivier staat en zorgt er ook voor dat bij een vooraf bepaalde waterstand in de rivier er geen water meer door de buis kan stromen. Als gevolg hiervan zorgen een goedwerkende terugslagklep ervoor dat bij een hoge waterstand in de rivier er geen kans is dat dit via de beek terugstroomt naar het binnendijkse gebied.



Figuur 7 Voorbeeld spindel

Het bovenstaande betekent dat de kleppen ook in “open” toestand relatief maar een kleine opening hebben voor de doorstroming van het water (zie figuur 6). En het proces van het sluiten van de kleppen zeer geleidelijk gebeurt. Dit bijkomende effect van de kleppen zorgen ervoor dat een groot deel van het jaar er een maar een klein oppervlak bestaat waar de lokale vissen langs kunnen zwemmen, wat migratieproblemen oplevert.

Belangrijk om te weten is dat wanneer de verbindende buis tussen de rivier en het binnendijkse gebied een diameter heeft van kleiner dan 0.5 meter de faalkansbijdrage van de terugslagklep nul wordt, ongeacht werking, onderhoud of toestand van de klep. Dit heeft te maken met de maximale schade die de hoeveelheid water zou kunnen aanrichten wanneer de terugslagklep volledig zal haperen. De kleine diameter zal ervoor zorgen dat er niet genoeg water doorheen kan stromen om een significant hoge overstroming te veroorzaken en daarom verwaarloost mag worden.

Verder is het bij de Waterschappen algemeen geaccepteerd dat onder normale omstandigheden terugslagkleppen tot de meest betrouwbare hoogwaterkeringen behoren en ze ook ervaren worden als degelijke, solide oplossingen (Handreiking Kunstwerken 2017).

3.2 Verschillende klepontwerpen

Er zijn een groot aantal verschillende terugslagklep ontwerpen, elk met verschillende voor- en nadelen. In appendix 11.1 worden al deze ontwerpen kort besproken en beoordeelt.

Op dit moment is in Limburg een tweetal waterkering ontwerpen te vinden; de *top-hinged* klep, dit basis ontwerp is simpel in zijn werking en vergt relatief weinig onderhoud, maar door het primitieve mechanisme is de faalkans vergeleken met andere ontwerpen hoger en is de negatieve ecologische impact significant. De tweede waterkerende kunstwerk is de spindel, een schuivend luik dat handmatig voor een buis geplaatst kan worden. Een spindel kan gezien worden als een handmatige versie van de terugslagklep.

Naast de twee huidige waterkerende ontwerpen zijn er verschillende alternatieve klepmechanismen, onder andere het gebruiken van drijvers die de klep kunnen sturen bij een bepaalde waterhoogte, of het gebruik van een “kattenluikje” waarmee een significant langere tijd een voldoende stroming gecreëerd kan worden waar de lokale waterdieren van gebruik kunnen maken. In de appendix wordt een tiental van deze verschillende ontwerpen toegelicht met elk hun eigen beoordeling waarin ze vergeleken worden met de *top-hinged* klep. In hoofdstuk 6 wordt verder ingegaan op deze beoordeling en zal een selectie gemaakt worden van de mogelijke alternatieve ontwerpen.

3.3 Falende kleppen

Er zijn verschillende faalmechanismen die kunnen optreden waardoor een klep geclassificeerd zal staan als gefaalde waterkering. De drie elementen waardoor een klep kan falen, alsmede gegeven door Handreiking kunstwerken van Deltares (2014):

- 1 Hoogte (HT) van de constructie, de afsluitmiddelen en het aanliggende grondlichaam
- 2 Stabiliteit en sterkte (ST) van het waterkerend kunstwerk zelf, de waterkerende onderdelen van het waterkerend kunstwerk, de afsluitmiddelen en het aanliggende grondlichaam
- 3 Betrouwbaarheid sluiting (BS)

In dit onderzoek naar de veiligheid van kleppen zal alleen gekeken worden naar de betrouwbaarheid sluiting van de mechanismen. Dit in verband met beperkingen gecreëerd door het tijdsbestek van dit onderzoek. Dit houdt in dat er niet gekeken zal worden naar overloop, constructief falen of het wegglijden van het grondlichaam.

Bij betrouwbaarheid sluiting zijn er vier aspecten die zorgen voor de faalkans: falende alarmering, mobilisatie, bediening en technisch falen. Door een complicatie is een van deze aspecten kan de klep falen. Maar voordat een klep bestempeld mag worden als een gefaalde waterkering zijn er enkele randvoorwaarden waar de klep, en de nabije omgeving aan moet voldoen.

“Falen ten gevolgen aan betrouwbaarheid sluiting reedt pas op wanneer een specifieke hoeveelheid water door de niet-gesloten klep is gegaan, dat dit tot dusdanige gevolgen aan de binnenzijde van waterkering leidt, dat significante gevolgen optreden”. (handreiking waterkering Deltares 2014). Wat betekent dat er allereerst gekeken moet worden naar de mogelijke gevolgen van een bepaalde overschrijdende waterstand. Echter zijn er geen richtlijnen beschikbaar waarin bepaald is wat precies significante gevolgen zijn. Hierom wordt er bij dit onderzoek vanuit gegaan dat er sprake is van significante gevolgen wanneer de waterstand het OKP (openkeerpeil) bereikt. Dit gebeurt wanneer de oevers van de beek door het water



Figuur 8 Voorbeeld huidig terugslagklep-ontwerp



Figuur 9 Huidig spindel ontwerp

overschreden zullen worden bij een falende klep. Bij de beken in kwestie betekent dit dat bij een waterstand van 100 cm in de ten opzichte van de onderkant van de klep er sprake is van een falende kering (oeveren zijn 1 meter hoog). Het openkeerpeil bij dit onderzoek heeft dus ook een waarde van 100 cm.

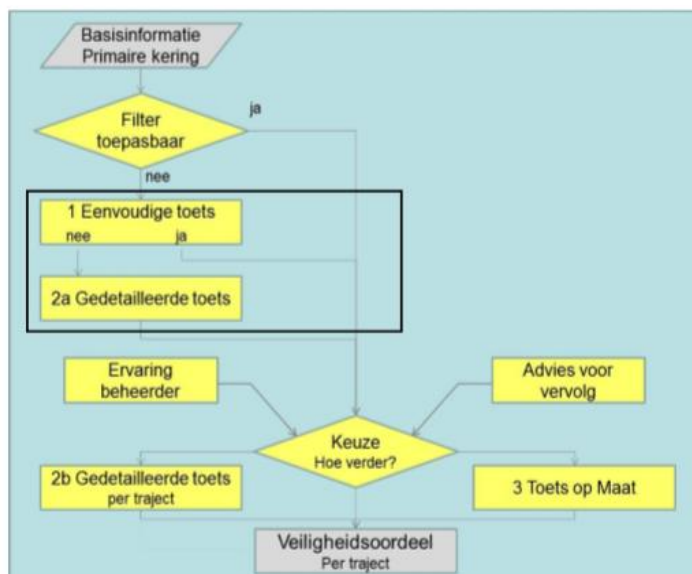
Hiernaast mag er ook niet gesproken worden over een falende kering wanneer de pijp waarbij de klep gefaald heeft een diameter heeft van minder dan 50 cm. Bij een kleinere diameter zou de hoeveelheid water die terug het binnenland in zou kunnen stromen verwaarloosbaar klein zijn en zou er geen kans op schade bestaan. Bij de vijf specifieke beken van dit onderzoek heeft het veldbezoek aangetoond dat bij elke beek er een pijp door de dijk zit met een diameter groter dan 0.5 m.

3.4 Faalkansberekeningen terugslagkleppen

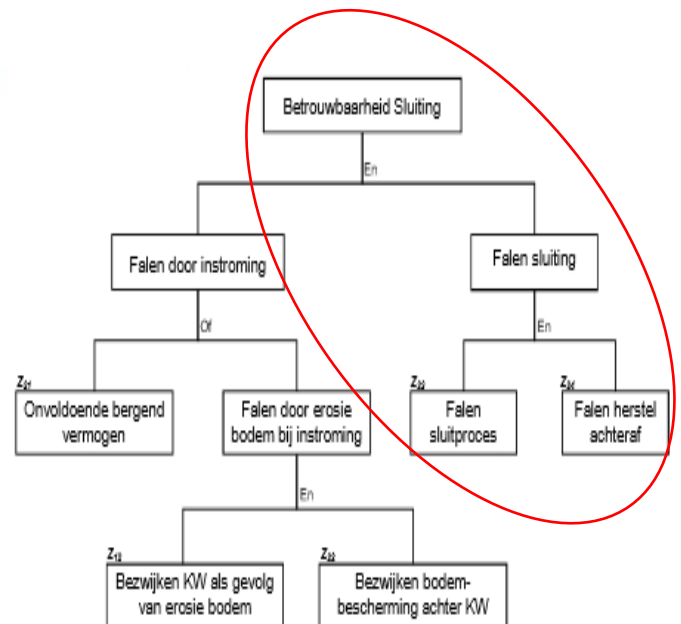
Dit faalmechanisme waar op gefocust wordt, betrouwbaarheid sluiting, kan bepaald worden door het lopen van een bepaalde veiligheidsanalyse, waarop gedetailleerder ingegaan zal worden in het volgende hoofdstuk. Deze analyse bestaat uit een eenvoudige toets en een gedetailleerde toets. In deze situatie van de Limburgse terugslagkleppen geeft het alleen uitvoeren van een eenvoudige toets onvoldoende resultaten om voldoende accuraat de kleppen te kunnen beoordelen (appendix 11.2) en dus zal ook een gedetailleerde toets uitgevoerd moeten worden.

Deze gedetailleerde toets is op probabilistisch objectniveau en vereist het opstellen van een faalboom en het doorlopen van een faalmechanismen scoretabel. Deze termen zullen in het volgende hoofdstuk worden uitgelegd waarna ermee de faalkans van zowel de huidige situatie als de alternatieven benaderd zullen worden.

In figuur 10 is een voorbeeld van een faalboom voor een terugslagklep te zien. Door de hiervoor genoemde beperking zal alleen gekeken worden naar de berekeningen achter *falen sluiting* (rechter gedeelte van de boom). Door het gebruik van de scoretabellen krijgt men een faalkans per vraag die weer omgerekend moet worden naar een faalkans per jaar.



Figuur 11 Veiligheidsanalyse model



Figuur 10 Relatief simpele faalboom waterkering

Om de faalkans berekening haalbaarder te maken en om ervoor te zorgen dat de berekening beter te gebruiken is voor de gehele Limburgse regio zal niet een specifieke faalkans per beek berekend worden maar zal een gemiddelde gemaakt worden van de omstandigheden van alle beken om zo tot één faalkans te komen. De omstandigheden bij de verschillende beken zijn relatief vergelijkbaar en bij alle kenmerken die wel significant verschillen zal een toelichting gegeven worden en zou worden genoemd in de discussie en aanbevelingen.

3.5 Eisen en wetten

Omdat terugslagkleppen en spindels behoren tot de groep hoogwaterkeringen bij kunstwerken moeten alle kleppen ook voldaan aan de bijbehorende wetgeving. In deze paragraaf wordt een kleine samenvatting gegeven van de wetgeving omtrent kleppen en wordt de wettelijke maximale faalkans berekend voor spindels en terugslagkleppen in Limburg.

Hieronder staat in percentages uitgedrukt hoeveel elk faalmechanisme bijdraagt aan de totale faalkans van de geselecteerde Limburgse dijktrajecten. Deze richtlijnen geven een bepaalde maximale faalkans per specifiek faalmechanisme.

Tabel 2 Faalkansruimtefactor per faalmechanisme [WBI, 2013].

Type waterkering	Faalmechanisme	Type traject
		Dijken
Dijk	Overloop en golfoverslag	0.24
	Opbarsten en piping	0.24
	Macrostabiliteit binnenwaarts	0.04
	Beschadiging bekleding en erosie	0.10
Kunstwerk	Niet sluiten	0.04
	Piping	0.02
	Constructief falen	0.02
Duin	Duinafslag	0.00/0.10
Overig		0.30/0.20
Totaal		1.0

Wat te zien is, is dat voor *kunstwerken niet sluiten* er een percentage van 0.04 is gesteld. Dit betekent dat in totaal, 4% van de totale faalkans van een dijktraject (in Limburg 1/300) mag maar worden bijgedragen door kunstwerken. Dit wil zeggen dat er bovenop de maximale faalkans per jaar voor het gehele dijktraject ook nog een specifieke maximale faalkans per jaar voor het faalmechanisme “niet sluiten” bestaat.

Dus naast de verbetering die het vervangen van de terugslagkleppen heeft op de faalkans van het totale dijktraject heeft, is het ook van belang dat de bijdrage van de kunstwerken per dijktraject onder de 4% komt te liggen. In het volgende hoofdstuk wordt bekeken of de beken in Limburg hier ook aan voldoen.

Voor betrouwbaarheid sluiting kan de faalkanseis worden bepaald met de volgende formule (Handreiking ontwerpen kunstwerken, 2017):

$$P_{\text{eis,dsn,BS}} = \frac{P_{\text{max}} * \omega_{\text{BS}}}{N_{\text{BS}}}$$

Waarin

$P_{\text{eis,dsn,BS}}$ Faalkanseis die voor het individuele kunstwerk aan het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting* wordt gesteld (per jaar)

P_{max} Maximaal toelaatbare overstromingskans van het dijktraject (per jaar)

ω_{BS} Faalkansruimtefactor voor falen door het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting* (0.04) (-)

N_{BS} Lengte-effectfactor voor *betrouwbaarheid sluiting* (-)

De maximaal toelaatbare overstromingskans van het dijktraject is gegeven door de Waterwet, benoemd in de introductie, wel is het gebruikelijk om bij de ontwerpfase uit te gaan van de ondergrens. Dit komt neer op eens in de honderd jaar voor de Limburgse trajecten. Hier bovenop moet nog een factor worden meegenomen gebaseerd op de mogelijke toekomstscenario's voor de waterkering. Deze toelichting is te vinden in hoofdstuk 8, de discussie.

De faalkansruimtefactor is hierboven al benoemd en komt neer op 4%, 0.04 voor de bijdrage van *betrouwbaarheid sluiting kunstwerken*.

Handreiking ontwerpen kunstwerken (2017) geeft een aanname voor de lengte-effectfactor als hieronder uitgelegd:

“Voor nieuw te ontwerpen of te verbeteren kunstwerken wordt aanbevolen in eerste instantie uit te gaan van het aantal kunstwerken in het dijktraject waar betrouwbaarheid sluiting een relevant aspect is met een maximum van $N_{\text{BS}} = 10$. Vermoedelijk is dit voor veel dijktrajecten zeer conservatief.”

Het invullen van de gevraagde gegevens geeft de volgende formule:

$$P_{\text{eis,dsn,BS}} = \frac{\frac{1.0}{100} * 0.04}{10} = 4 * 10^{-5}$$

Elk waterkerende kunstwerk mag wettelijk gezien maximaal een faalkans hebben van $4 * 10^{-5}$ op jaarbasis in de desbetreffende gebieden rondom de Maas.

In het volgende hoofdstuk wordt berekend of hier in de huidige situatie al aan wordt gehouden of dat de kleppen op dit moment al onvoldoende functioneren. De faalkans per specifiek kunstwerk kan berekend worden met de hiervoor genoemde gedetailleerde toets.

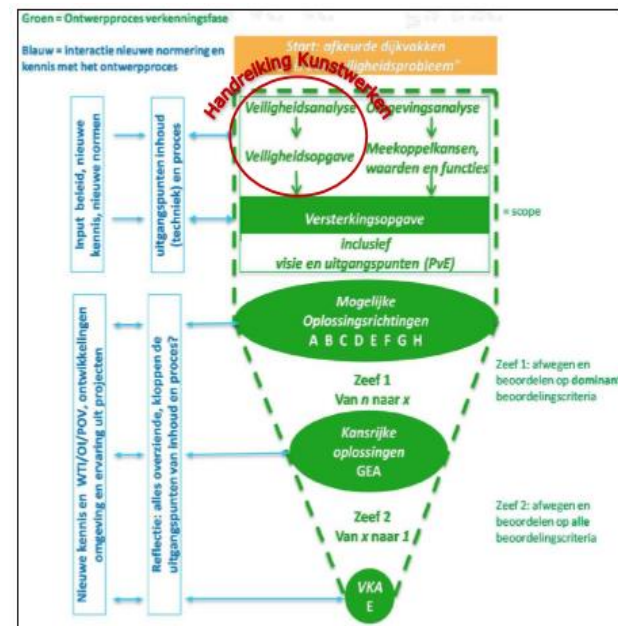


4. Huidige situatie

Het doel van dit hoofdstuk is om te weten in hoeverre de huidige terugslagkleppen voldoen aan de faalkanseis van maximaal 4.0×10^{-5} en welke locatie specifieke factoren hier een negatieve invloed op hebben. *Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen* (2014) geeft aan dat een ontwerpproces voor een nieuw kunstwerk in een waterkering begint met een veiligheidsanalyse van het huidige kunstwerk (zie figuur 12). Hieruit volgt dan een beoordeling waarna gekeken kan worden naar mogelijke verbeterpunten. Dit laatste proces is de veiligheidsopgave.

4.1 Veiligheidsanalyse

Om te kunnen weten wat de faalkansbijdrage is van de huidige terugslagkleppen én om te weten wat de verbetering zal zijn bij bepaalde alternatieven moet een veiligheidsanalyse worden uitgevoerd. Dit is noodzakelijk om aan de opgestelde wettelijke eisen te voldoen en om tot de meest optimale oplossing te komen.



Figuur 12 Ontwerpproces kunstwerken

Bij het uitvoeren veiligheidsanalyse kunnen de volgende onderwerpen aan bod komen:

1. Inventariseren van beschikbare kennis over het kunstwerk.
2. Functie(s) van het waterkerende kunstwerk.
3. Daadwerkelijk gebruik van het kunstwerk.
4. Gehanteerde gegevens bij de toetsing.

Stappen 1 t/m 3: Deze eerste stappen in de analyse hebben betrekking op de praktische zaken omtrent het kunstwerk. Hierbij wordt niet alleen gekeken naar de huidige situatie, maar wordt ook getracht de significante veranderingen in de korte termijn te betrekken. Het geeft inzicht in de basiskenmerken van het te onderzoeken kunstwerk.

Stap 4: Heeft betrekking op het analyseren van de uitgevoerde toetsen en faalkansberekeningen. De gegevens, uitgangspunten en aannames die hierbij zijn gehanteerd worden geanalyseerd en beoordeeld. Tijdens deze stap worden de verzamelde gegevens gecombineerd en m.b.v. scoretabellen en formules zal een beoordeling gegeven kunnen worden van de faalkans van de terugslagkleppen in kwestie.

Na het uitvoeren van stap 4 is het mogelijk een accurate benadering te bepalen van de onderzochte terugslagkleppen. Hierna volgt, conform *het ontwerpproces* de zogenaamde veiligheidsopgave.

Samengevat bestaat deze veiligheidsopgave uit twee delen:

- Het in kaart brengen van verwachte significant veranderingen voor het gebruik van de klep in de toekomst (kort en lang termijn), voorbeeld hiervan is het kijken naar de steeds heviger wordende jaarlijkse regenval.
- Het kijken naar mogelijke oplossingsrichtingen, op welke vlakken zijn er nog relatief grote verbeterpunten, bijvoorbeeld materiaal keuze of organisatorisch omtrent het onderhoud.

4.2 Conditie van het kunstwerk

In deze paragraaf zal stap 1 van de veiligheidsanalyse besproken worden. In deze stap worden de kenmerken van de terugslagkleppen in kwestie geïnventariseerd en wordt een kort overzicht gegeven van de data verkregen door meerdere veldbezoeken en interviews.

De huidige kleppen, bestaande uit terugslagkleppen en spindels, zijn op dit moment in redelijke toestand. Het onderhoudsschema van Waterschap Limburg berust zich op eenmaal een controle in het voorjaar waarbij de klep wordt getest of hij volledig sluit. Hiernaast kijkt het Waterschap ook of de kleppen voldoende functioneren wanneer er een extreem hoge afvoer wordt verwacht in de Maas. Qua conditie waren de keringen zelf in vrij goede staat. Echter waren de omgevingen en daarmee de toegankelijkheid van de keringen in een slecht onderhouden staat, wat het voor de beheerder moeilijker maakt verschillende acties uit te voeren.

Naast het onderhoud is er bij de terugslagkleppen ook een speciaal beleid ingevoerd, dit heeft er mee te maken dat de kleppen een te grote ecologische impact hadden op de lokale vispopulaties. Hierom heeft het Waterschap Limburg gekozen om een kleinere faalkans te offeren voor het behalen van de ecologische doelstellingen. Dit hebben ze gedaan door alle terugslagkleppen vast te zetten in hun volledig open stand met een ketting (figuur 13).



Figuur 14 Omgeving spindel bij de Kwistbeek



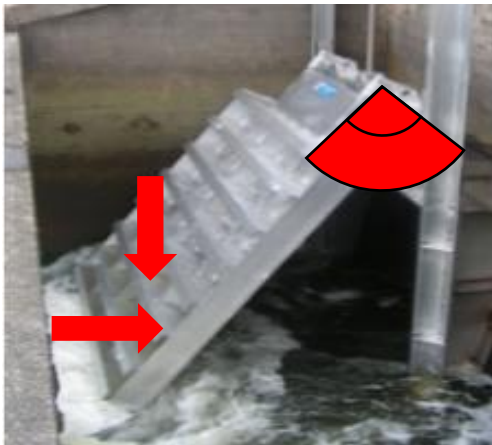
Figuur 13 "Vastgezette" terugslagklep

De dimensies van de waterkeringen zijn relatief gelijk bij alle beken, de kleppen zijn allemaal 190 tot 210 cm breed en de hoogte ligt tussen de 90 en 120 cm. In het vervolg van het onderzoek wordt er uitgegaan van 2 meter in breedte en 1 meter in hoogte voor de kleppen. Er zijn geen gegevens beschikbaar over de exacte diameter van de verbindende buis. Maar visueel kon al opgemerkt worden dat de diameter groter is dan 50 centimeter, wat in ieder geval betekent dat de verschillende beken niet als verwaarloosbare afvoer kunnen worden geclassificeerd.

4.3 Huidige mechanismen

Zoals al genoemd is het standaard ontwerp een *top-hinged* terugslagklep of een spindel voor alle relevante beken. Voor het functioneren van de terugslagklep gebruikt de klep een relatief simpel mechanisch systeem. In zijn rustpositie staat de klep in een schuine stand, zou er geen water zijn om dit te beïnvloeden dan zou de klep in deze stand blijven staan en zou het water nagenoeg vrij door de klep kunnen stromen. De hoek van de rustpositie kan met toegevoegde gewichten en materiaalkeuzes gevarieerd worden. Hierdoor kan de hoek van de rust positie gevarieerd worden tot een maximale 90 graden. Bij de kleppen in Limburg heeft de rust positie echter een relatief lage waarde van 6 graden. Maar door het vastzetten

van de kleppen staan de kleppen permanent open en is voor de huidige situatie de hoek niet relevant. De spindel werkt met een schuif-principe. Wanneer het water een kritieke hoogte heeft bereikt maakt de beheerder de klep los en zakt die naar beneden voor de opening.



Figuur 15 Bij conventionele werking zou door de krachten van het water zal de klep automatisch dichtgedrukt worden



Figuur 16 Wanneer het OKP is bereikt zal de beheerder de klep losmaken en de zwaartekracht zal hem vast schuiven in zijn positie voor de buis

De schuine klep van een terugslagklep zou normaliter dus automatisch dicht worden geduwd door gebruik te maken van de druk van het water dat boven en langs de klep komt, het mechanisme dat is uitgelegd bij paragraaf 3.1. Maar bij de terugslagkleppen in kwestie functioneren ze niet meer automatisch en zijn de terugslagkleppen door de kettingen afhankelijk van menselijke acties om hun werking te doen.

Het verzetten van de kettingen van de huidige kleppen hangt af van de afvoer van de Maas, bij een afvoer van 1280 wordt de ketting een bepaalde afstand verzet. Zo wordt bij een afvoer van 1627 m³ water per seconde de ketting volledig losgelaten en zit de klep volgens de conventionele werking dicht. In appendix 11.3 is met behulp van de betrekkinglijnen (*grafische voorstelling van de gemeten waterstanden*) van de Maas een overzicht gemaakt van hoe vaak en hoe lang de klep dicht.

Tabel 3 Sluitingsprotocollen handmatige waterkeringen - handboek calamiteiten Waterschap Limburg

Stand	Afvoer Maas	Aantal dagen benodigd per jaar	Percentage tijd in deze stand per jaar
Ketting wordt verzet tot een hoek van 4 graden gemaakt wordt	1280	4	1.1%
Ketting wordt verzet tot een hoek van 2 graden wordt gemaakt	1500	2	0.55%
Ketting losmaken om de klep volledig te sluiten	1627	0.5	0.14%

Wanneer de klep dicht gaat, kan ook de afvoer van de beek nergens meer heen. Bij de beken in Limburg (met een significante afvoer) zorgt dit voor een opeenhoping van water in het binnendijkse gebied. Bij de meeste beken zit ook een pompsysteem waarmee dit overschot vrij gemakkelijk overgepompt kan worden, mits er een beheerder bij komt. Bij een enkel geval is dit systeem niet aanwezig naar hiervoor bezit waterschap Limburg een serie mobiele pompen die daarvoor ingezet kunnen worden. De kans dat de pompen falen of er iets misloopt bij de menselijke handelingen is hierbij verwaarloosbaar (Interview Ir. Erik Raaijmakers, Waterschap Limburg 2017). Samengevat zou de ophoping van beekwater niet voor significante problemen kunnen zorgen.

4.4 Faalkans berekening

Voor het bepalen van de faalkans worden de volgende twee rapporten gebruikt: *Bepaling faalkansbijdrage afsluiters en toekomstige ontwikkelingen* (2017) gemaakt door Arcadis in opdracht van Rijkswaterstaat samen met Leidraad Waterkerende Kunstwerken (2014). Bij deze methode wordt gebruik gemaakt van een combinatie tussen een benadering via een scoretabel waarmee de vraagkans per vraag bepaald wordt en een serie formules waarmee de faalkans per jaar per kunstwerk bepaald kan worden.

4.4.1 Waarom deze methode

Het hoofdonderdeel van de methode die wordt gebruikt komt voort uit een uitvoerig onderzoek in 2017 gedaan door Arcadis waarin de faalkansen van terugslagkleppen zijn bepaald (*Bepaling faalkansbijdrage afsluiters en toekomstige ontwikkelingen*). De scoretabellen, verkregen uit Leidraad Waterkerende Kunstwerken (2014), nemen de grootste bijdragers van faalkans mee in de berekening en geven zo de meest plausibele benadering voor de faalkans. Het is de meest recente werk over dit onderwerp en, wat belangrijk is voor dit specifieke onderzoek, er zijn relatief veel variabelen. Deze grote hoeveelheid variabelen is belangrijk wanneer er een onderscheid gemaakt moet worden tussen de faalkans van verschillende klep-ontwerpen. De gebruikte scoretabellen zijn te vinden in appendix 11.4.

4.4.2 Eerste stappen

Allereerst wordt er onderscheid gemaakt tussen de vier faalkans bijdragers: alarmering, mobilisatie, bediening en technisch falen. In de huidige situatie met de standaard *top-hinged* terugslagklep en de spindel dragen alle vier bij aan de faalkans. Zelfs de "automatische" terugslagklep is door het beleid dat ze vastgezet worden met een ketting geclassificeerd als handmatige kering (en in faalkansberekeningen gelijk aan een spindel). Dit houdt in dat bij het gebruik van de scoretabellen gebruikt gemaakt moet worden van alle vier de tabellen.

4.4.3 Faalkansbepaling per sluitvraag

In appendix 11.3 staan de gebruikte tabellen en bijbehorende toelichtingen bij de gekozen scores beschreven. Resultaat hiervan kunt u hieronder vinden in tabel 4.

Tabel 4 Faalkans bijdragers huidige kleppen (zowel spindel als terugslagklep)

Faalkans bijdrager	Faalkans per sluitvraag
Alarmering	$1.00 * 10^{-6}$
Mobiliteit	$1.00 * 10^{-5}$
Bediening	$1.00 * 10^{-1}$
Technisch	$1.00 * 10^{-1}$
TOTAAL	$2,00 * 10^{-1}$

Zoals te hierboven te zien is, komt de helft van de faalkans vanuit het faalmechanisme technisch falen. De andere helft komt uit de faalmechanismen waar een menselijke actie benodigd is. Dit lijkt relatief weinig, men zou kunnen zeggen dat de menselijke factoren niet eens het grootste probleem zijn bij de huidige kleppen. Echter, kijkend naar appendix 11.4, is duidelijk te zien dat bepaalde onderdelen waaruit de faalkans van alarmering en mobiliteit zijn bepaald nog niet volledig duidelijk zijn gemaakt door Waterschap Limburg, wat veiligheidsrisico's met zich mee brengt. Dit betekent dat bij een uitgebreider

onderzoek het kan blijken dat de faalkans gecreëerd door de menselijke factoren vele malen groter is. Bij deze kleppen geeft het afhankelijk zijn van menselijke acties een enorm faalkans risico met zich mee (dat zich niet direct vertaalt in de score). Getracht moet worden om zowel de faalkans van het technisch falen te verminderen als het proberen te vermijden van de menselijke handelingen bij het nieuwe klepontwerp.

4.4.4 Faalkansbepaling per jaar

Om de faalkans per vraag te vertalen naar een faalkans per jaar moet gekeken worden naar de hoeveelheid sluitvragen per jaar. Dit houdt in dat gekeken moet worden naar bij welke afvoer van de Maas de klep gesloten wordt en hoe vaak deze afvoer per jaar voorkomt. In de leidraad Kunstwerken vinden we de volgende formule:

$$P_{fa,ns} = P\{V_{open} > V_{toef}\} = P_{ns} \cdot N\{h_{bu} > OKP\} \cdot P_{open} \cdot P_{f,herstel}$$

Hierin is:

$P_{fa,ns}$	[1/jaar]	Kans op falen van het kunstwerk ten gevolge van falende afsluitmiddelen [1/jaar]
$P\{V_{open} > V_{toef}\}$	[1/jaar]	Kans van overschrijding van het toelaatbaar instroomvolume als gevolg van falende afsluitmiddelen [1/jaar]
P_{ns}	[1/vraag]	Kans dat de sluiting van het kunstwerk faalt
$N\{h_{bu} > OKP\}$	[vragen/jaar]	Gemiddeld aantal keer per jaar dat een hoogwatergolf passeert met een maximale buitenwaterstand hoger dan de toelaatbare buitenwaterstand bij een niet gesloten kunstwerk (resultierend in een sluitvraag bij open kunstwerk)
P_{open}	[-]	Kans dat het kunstwerk vanuit de optiek van waterkeren open staat
$P_{f,herstel}$	[-]	Kans dat een eventueel benodigd herstel faalt

Figuur 17 Bepaling aantal vragen per jaar volgens Leidraad Kunstwerken (2014)

Van deze parameters hebben we de gegevens:

Tabel 5 Gegevens bepaling aantal vragen per jaar

Parameter	Waarde
P_{ns}	$2.0 \cdot 10^{-1}$
$N\{h_{ou} > OKP\}$	0.5 x per jaar (zie tabel 3)
P_{open}	1 (al meegenomen in de scoretabellen en dus n.v.t.)
$P_{f,herstel}$	1 (al meegenomen in de scoretabellen en dus n.v.t.)

Dit invullen geeft:

$$P_{fs,ns} = 0.2 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 1 = 0.1$$

De faalkans per jaar van de huidige kleppen komt neer op $1 \cdot 10^{-1}$ per jaar.

Vergeleken met de voorgeschreven waarde van $4 \cdot 10^{-5}$ is de huidige faalkans een extreem veelvoud groter, een significant veiligheidsrisico. Dit weergeeft het probleem in Limburg en daarmee de urgentie waarmee een nieuw terugslagklep ontwerp moet komen om de huidige kleppen te vervangen.

4.5 Veiligheidsopgave

Voor een slagende transitie naar het selectieproces van de alternatieven is het ook benodigd om tijdens deze laatste veiligheidsopgave-fase te kijken naar de mogelijke verbeteringsvlakken en naar mogelijke toekomst scenario's. Deze mogelijke verbeteringsvlakken zijn te vinden in appendix 11.5 en zullen worden besproken bij hoofdstuk 6. De toekomstscenario's zijn aan de orde komen hoofdstuk 8.



5. Ecologie eisen

Een van de grote tekortkomingen van de huidige kleppen is de negatieve impact die ze zouden hebben op de lokale vispopulaties (als ze zonder kettingen gebruikt werden). In deze paragraaf wordt gekeken naar de negatieve invloed die een terugslagklep zonder kettingen heeft op de natuur en kijken we naar de eisen die gesteld moeten worden aan een mogelijk nieuw alternatief om dit nieuwe ontwerp te onthouden van enig negatieve impact op het milieu.

5.1 Natuurbeken

Elk van de vijf benoemde beken vallen onder de classificatie natuurbeken, dit houdt in dat elke beek moet voldoen aan een serie ecologische doelstellingen. Kortgezegd wil dit zeggen dat de beken beschermd gebied zijn waar de lokale flora en fauna ongestoord zou moeten floreren zonder schadelijke gevolgen van menselijke aard. Er zijn geen specifieke getallen hiervoor beschikbaar, dus de precieze eisen zijn niet exact. Echter voor dit onderzoek is als eis gegeven dat de kleppen geen obstakel vormen voor de migratie van de lokale vispopulaties, wat betekent dat de klep en de daarbij behorende stroming door de pijp aan de eisen omtrent de leefbaarheid van de vissen voldoet.

5.2 Ecologiebeoordeling

Er moet gekeken worden naar de huidige impact op de lokale fauna van de terugslagkleppen. In de Limburgse beken leeft een breed scala aan vissoorten, door de kleppen kunnen deze populaties verstoord worden. Het schema rechts (figuur 18) geeft een stappenplan hoe gewerkt moet worden. Zo kan zowel de huidige situatie als de potentiële toekomstscenario's geanalyseerd en beoordeeld worden.

Evenals de veiligheidsanalyse geeft het ecologie-stappenplan gegeven door *Handboek voor visherstel* (2004) een houvast om bij alternatieven te komen die voldoen aan de Nederlandse wetgeving en de ecologische doelstellingen. Deze methode van het werken met stappenplannen om de verschillende kleppen te beoordelen geeft een structuur waardoor de vergelijking tussen de huidige situatie en de alternatieven makkelijker zal verlopen. Het is ook gemakkelijk te combineren met de veiligheidsanalyse.

Van deel 1 is stap 1 al reeds aan bod gekomen in hoofdstuk 4, stap 2 zal in paragraaf 5.3 besproken worden, stap 3 is hieronder benoemd en stap 4 en deel 2 zal in hoofdstuk 6 besproken worden. Deel 3 van het ecologische stappenplan zal in het concluderende hoofdstuk 7 behandeld worden.

Stap 2 bestaat uit het inventariseren van de vissen die oorspronkelijk migreren naar de beek en het in kaart brengen van de ecologische eisen om dit te laten gebeuren. Dit wordt besproken in de volgende paragraaf.

Stap 3 is een vrij rudimentaire stap voor dit onderzoek aangezien in deze situatie er alleen gekeken kan worden naar een technische oplossing omdat er gezocht wordt naar een ecologisch verantwoorde terugslagklep. Echter is aangegeven door Waterschap Limburg dat het volledige stappenplan doorlopen moet worden bij dit onderzoek. De stappen uit de richtingswijzer die zijn doorlopen in stap drie zijn te vinden in appendix 11.6.



Figuur 18 Stappenplan ecologisch verbetering

5.2 Aanwezige vissoorten

In de beken rondom Venlo komen van oorsprong een elftal vissoorten (zie tabel 6) voor (*Analyse van de visfauna in de Limburgse beken 1993*). Elk met een preferenties qua stroomsnelheid, temperatuur en watersamenstelling. In tabel 6 staat een samenvatting van de vissen waarmee rekening gehouden mee moet worden (waar de ecologische doelstellingen voor gelden). Bij elk aanwezige staat ook de bijbehorende maximale zwemsnelheid die de vis kan hebben. Hierbij moet genoemd worden dat de maximale zwemsnelheden getest zijn door te kijken of de vissen bij een bepaalde stroomsnelheid nog stroomopwaarts zwommen. Ze hebben hierbij dus niet de absolute zwemsnelheid getest, maar gekeken bij welke maximale stroomsnelheid de vissen nog gingen migreren.

Tabel 6 Aanwezige vissoorten en gewenste stroomsnelheden volgens *Analyse van de visfauna in de Limburgse beken (1993)*

Vissoort	Maximale zwemsnelheid
Bermpje	0.9 m/s
Beekprik	0.9 m/s
Rivierdonderpad	0.8 m/s
Riviergrondel	1.1 m/s
Elrits	<i>Onbekend (0.5 m/s geprefereerde stroomsnelheid)</i>
Alver	0.8 m/s
Winde	1.5 m/s
Kopvoorn	2.7 m/s
Serpeling	<i>Onbekend</i>
Barbeel	1.1 m/s
Sneep	1.0 m/s

Naast de stroomsnelheid zijn er verschillende aspecten die invloed hebben op het migratiegedrag van de vissen, locatie en diepte van klep en het de openingsmomenten van de klep om als voorbeeld te noemen. Echter heeft de stroomsnelheid de grootste impact op het mogelijk maken van vismigratie. Voor dit onderzoek is in overleg met de betrokken partijen besloten alleen te focussen op de eisen omtrent de maximale stroomsnelheid. Wat wil zeggen dat de enige significante eis wordt of de vissen door de opening bij de klep (waar een hogere stroomsnelheid is) stroomopwaarts kunnen zwemmen.

De beken in Limburg hebben gewoonlijk een stroomsnelheid van 0.2 – 0.4 m/s (Natura Vista, *Rivieren en beken*, 2008). Dit betekent dat door de klep maar een snelheidsverhoging mag optreden van 0.4 – 0.6 m/s. Conservatief genomen mag er maar een snelheidsverhoging van 0.4 m/s optreden door de drukverhoging als gevolg van de klep. Dit omdat de eis is dat alle vissoorten van de lijst ook door de buis heen kunnen zwemmen en zo naar de beek kunnen migreren. Om dit te doen moeten ze wel de stroming kunnen overwinnen. De Rivierdonderpad en de Alver geven beide de maximum stroomsnelheid aan van 0.8 m/s, de maximale snelheid waar alle vissen tegenin kunnen zwemmen

5.3 Gerelateerde eisen

Om het debiet in de beken te bepalen wordt er uitgegaan van een stroomsnelheid van 0.4 m/s in beken met een afmeting van (generalisatie van de afmetingen van de Kwistbeek) 2.2 meter in breedte en 0.35 meter in hoogte. Over de andere beken zijn geen gemiddelde breedtes en hoogtes beschikbaar. Dit vertaald zich in een afvoer van: $Q = V * A$, $Q = 0.4 * 0.35 * 2.2 = 0.306 \text{ m}^3/\text{s}$

Er wordt uitgegaan dat de beken dus gemiddeld genomen een afvoer hebben van $0.306 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze afvoer moet door de klep heen naar de rivier toe. In het gebied rond de klep wordt door de kleinere A de benodigde stroomsnelheid een stuk groter. De maximale stroomsnelheid verhoging is 0.4 m/s , met de maximum stroomsnelheid van 0.8 m/s . Dit vertaald zich weer in de eisen van de klep op de volgende manier:



Figuur 19 De klep zorgt ervoor dat water door een veel kleinere oppervlak naar buiten moet stromen waardoor het water naar buiten spuit en de vissen er niet tegenin kunnen zwemmen note: dit is een vrij extreme visualisatie met een erg kleine hoek

Het oppervlak waar nog wel water langs kan is de onderkant en de 2 zijanten van de klep. Een minimaal oppervlak is te berekenen wat nodig is om alle vissen stroomopwaarts te kunnen laten zwemmen. Dit minimale oppervlak kan weer omgerekend worden naar een minimale hoek waarin de klep moet blijven staan voor langere tijd om zo de vismigratie te kunnen garanderen.

$Q = V * A$ geeft $0.306 \text{ m}^3/\text{s} = 0.8 \text{ m/s}$ (de maximale stroomsnelheid) * oppervlak

$$\text{Oppervlak} = \frac{0.306 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 \text{ m/s}} = 0.3825 \text{ m}^2$$

Gebruikmakend van de basis verhouding van goniometrie is deze oppervlakte opgebouwd uit:

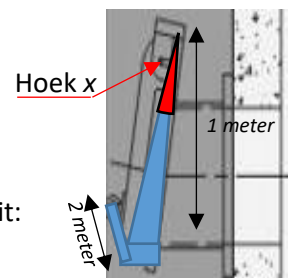
Tabel 7 Gegevens doorstromend oppervlakte

Onderdeel	Aantal	Afmetingen
Onderkant	1	2 meter bij $(\tan(\text{hoek } x) * \text{zijkant van 1 meter})$
Zijkanten	2	1 meter bij $(\tan(\text{hoek } x) * \text{zijkant van 1 meter}) * 0.5$
Totaal	1	$3 * \tan(\text{hoek } x)$

0.3825 m^2 was de minimale oppervlakte die het water nodig had om de watersnelheid van 0.8 m/s te behouden. Dit wordt: $3 * \tan(\text{hoek } x) = 0.3825 \text{ m}^2$, gebruikmakend van ARCTAN wordt dit:

$$\text{ARCTAN}(0.3825/3) = x$$

De hoek x heeft een minimale waarde van 7.27 graden. Om aan de ecologische doelstellingen te komen die een natuurbek draagt moet de klep gedurende het merendeel van zijn werking in een minimale "open" hoek staan van 7.27 graden. Deze hoek vertaald zich weer in een opening van 13 cm tussen de klep en de pijp. Een opening die groot genoeg is voor de lokale vissoorten.



Figuur 20 Alleen de twee zijanten en de onderkant kan het water stromen

Deze eis is een van de randvoorwaarden bij het selecteren van de alternatieven terugslagklep ontwerpen. Het alternatief met de klep die het langst open kan blijven staan (en zo doorstroming voor de vissen levert) zonder de faalkans onveilig te vergroten zal een optimaal alternatief zijn. Deze eigenschap zal terugkomen als eis in de Multi Criteria Analyse die toegelicht zal worden in hoofdstuk 6.

5.4 Effect van vastzetten

Met dezelfde methode als bij 5.3 is ook de impact op de vispopulaties van de huidige kleppen te berekenen. Maar bij deze berekening is de stroomsnelheid onbekend en is de hoek van de rustpositie van de klep wel bekend (5 graden).

$$Q = V * A$$

Met $A = 3 \tan(\text{hoek } 5) = 0.261 \text{ m}^2$

Q is hetzelfde = $0.306 \text{ m}^3/\text{s}$

V is de onbekende, dit geeft:

$$\frac{0.306}{0.261} = 1.2 \text{ m/s}$$

Een stroomsnelheid van 1.2 m/s zou door de klep heen komen, zelfs in zijn rust positie. Dit zou betekenen dat 2 van de 11 vissoorten maar zouden kunnen migreren naar de Limburgse beken. Alleen de Winde en Kopvoorn hebben een zwemsnelheid die sterk genoeg is om door de opening te gaan. Deze dringende cijfers geven een goede uitleg waarom Waterschap Limburg ervoor gekozen heeft om de huidige terugslagkleppen met een ketting vast te zetten. Daarmee wordt ervoor gezorgd dat alle 11 de vissoorten vrij kunnen bewegen en migreren tussen alle beken.

6. Alternatieven

Er moet dus gekeken worden naar een nieuw terugslagklep ontwerp die zowel de faalkans significant verbeterd als de lokale natuur ondersteunt. Uit hoofdstuk 4 en 5 kan gesteld worden dat dit wordt behaald door de criteria op de score tabel te verbeteren en door de hoek bij rustpositie te vergroten. In dit hoofdstuk zullen de verschillende mogelijke oplossingen besproken worden en zal bij een selectie van deze alternatieven een faalkans- en ecologische impact berekening gedaan worden.

Hieruit zal dan een overzicht volgen waaruit de voor- en nadelen van de verschillende alternatieven tegenover de huidige situatie zichtbaar zijn.

6.1 Voorselectie alternatieven

Het totale aantal alternatieven bestaat voornamelijk uit de verschillende terugslagklep ontwerpen. Ook zijn er oplossingen mogelijk op andere gebieden, organisatorisch en in de directe omgeving van de huidige kleppen zijn ook verschillende verbeteringen mogelijk waarmee de doelstellingen gehaald kunnen worden. De verschillende klep-ontwerpen, elk met hun voor- en nadelen en werking zijn te vinden in appendix 11.1. Met deze verschillende oplossingsrichtingen en klepontwerpen kan een Multi-Criteria-Analyse uitgevoerd worden om zo tot een selectie te komen van de meest efficiënte alternatieven.

De criteria voor deze analyse volgen uit de doelstelling in paragraaf 1.3. Deze zijn:

Tabel 8 MCA criteria + weging

Criteria	Weging
Faalkansvermindering onder de wettelijke eis	30%
Minimalisering ecologische impact	30%
Betrouwbaarheid exclusief variabelen scoretabel	25%
Onderhoudsduur – en kosten	5%
Minimalisering investeringskosten	5%
Robuustheid (toepasbaarheid op andere locaties en toekomst scenario's)	5%

Het belangrijkste hoofddoel is de waarborging van de veiligheid met daarop volgend de minimalisering van de ecologische impact. Aangezien als randvoorwaarde gegeven is dat de nieuwe klep moet voldoen aan de wettelijke maximale faalkans, is de eerste criteria gericht op hoe veel kleiner de faalkans zou worden bovenop het behalen van de randvoorwaarde.

De wegingen van de verschillende criteria die hieruit volgen zijn weergegeven in tabel 8. Uit de doelstelling (paragraaf 1.3) is te halen dat de drie subdoelen in aflopend belang veiligheid, milieuvriendelijkheid en kostenbesparing zijn. Hiernaast is een extra eis toegevoegd, namelijk de toepasbaarheid van het alternatief, aangezien in alle Limburgse beken het alternatief gebruikt zouden moeten kunnen worden. Zo is uitgekomen op een weging van 55% (het merendeel) omtrent de veiligheid, 30% voor de ecologische impact, 10% voor de kosten en 5% voor de robuustheid.

Deze criteria vertaald naar een MCA is weergegeven in appendix 11.7. Op de volgende pagina zijn in de tabel de alternatieven met de beste MCA-score weergegeven. In de volgende paragrafen worden deze geselecteerde alternatieven toegelicht. Een korte toelichting bij de overige oplossingen is te vinden bij appendix 11.1 en 11.5.

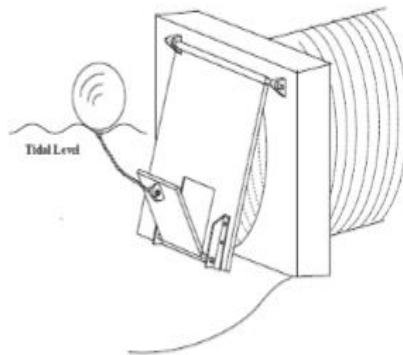
Op de volgende pagina is te zien dat de faalkans van deze selectie terugslagkleppen volgens de scoretabel allemaal vrij gelijk zijn, dit omdat er in de score tabel niet genoeg onderscheid gemaakt wordt bij de kleine details die deze ontwerpen met elkaar verschillen. Hierom is de kolom betrouwbaarheid exclusief variabelen toegevoegd waarin kenmerken van de ontwerpen die niet meegenomen worden in de scoretabel beoordeeld worden, kenmerken zoals het risico van vastlopen door rondrijvend puin of door onderdelen die een hogere faalkans hebben.

Tabel 9 Selectie Multi Criteria Analyse

Oplossingsrichting	Faalkans vermindering	Minimalisering ecologische impact	Betrouwbaarheid	Robuustheid	Onderhoudsduur-en kosten	Investerings-kosten	SCORE
Weging	0.3	0.3	0.25	0.05	0.05	0.05	1
Terugslagkleppen							
Drijver-terugslagklep	50	70	60	80	40	30	58.5
Kattenluik-terugslagklep	50	80	50	100	25	35	57.5
Constance veer - terugslagklep	45	100	60	80	30	30	65.5
Organisatorisch							
Tests twee keer per jaar	80	50	60	100	20	90	64.5
Storingsregistratie	70	50	65	100	25	90	63
Directe omgeving							
Handmatig kunnen sluiten	80	50	60	60	40	40	61



Figuur 23 Drijver-terugslagklep



Figuur 21 Kattenluik - terugslagklep



Figuur 22 Constance veer terugslagklep

Toelichting selectie

De bovenstaande selectie oplossingen kwam als beste uit de MCA, deze selectie bestaat uit een drietal klepontwerpen:

Toevoeging van een drijver:

Dit ontwerp maakt gebruik van de toevoeging van een drijver aan de bestaande terugslagklep, deze drijver zorgt ervoor dat de klep gedurende een langere tijd open staat en er in die langere periode sprake is van een doorstroming door de klep waar de vissen gebruik van kunnen maken.

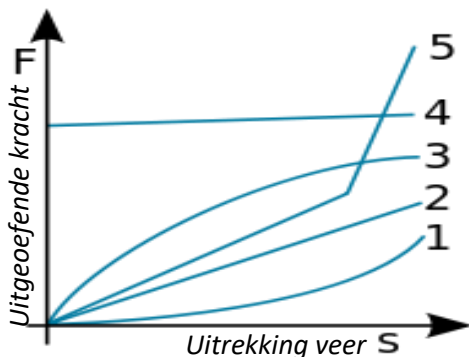
Toevoeging van een "kattenluikje":

Hierbij wordt er een extra luik gemaakt in de huidige kleppen die met een drijver pas bij een extreem hoge afvoer in de rivier dicht gaan. Als gevolg is er nagenoeg altijd een voldoende doorstroom aanwezig voor de vissen. Het is een relatief goedkope oplossing die ervoor zorgt dat de huidige kleppen niet meer open hoeven te staan voor een voldoende doorstroming. De benodigde grootte van de extra klep zal berekend worden in paragraaf 6.3, hierbij zal ook gekeken worden naar de mogelijke extra risico's die dit meebrengt.

Toevoeging constante veer:

Deze klep vereist een kleine aanpassing ten opzichte van de huidige kleppen. De huidige kettingen die worden gebruikt om de klep vast te zetten worden bij dit ontwerp vervangen door een constante veer. Om deze veer uit te rekken is een bepaalde kracht nodig, ten opzichte van andere veren is voor deze veer een specifieke constante kracht nodig om hem helemaal uit te rekken in plaats van een steeds groter wordende kracht (zie figuur 24).

Dit betekent dat de veer de klep open zou trekken totdat een bepaalde kracht op de klep is gehaald door de omgeving. Dit betekent dat er ingesteld kan worden dat de klep bij een bepaalde afvoer in de rivier dicht gaat. Dit omdat de druk op de klep geleidelijk hoger wordt, maar door de veer zou de klep in één beweging dichtklappen. Dit zorgt ervoor dat deze klep alleen een compleet open – en compleet dichte stand heeft. Wat erg voordelig is voor de lokale vissen aangezien dit betekent dat er alleen geen migratiemogelijkheid is voor de vissen bij een erg hoge afvoer in de rivier.



Figuur 24 Vijftal verschillende soorten veren - nr. 4 als de constante veer



Figuur 25 Aanhechtingspunt en controlepaneel veer

Organisatorische oplossingen

Verder bestaat de selectie uit een tweetal organisatorische oplossingen

- De eerste organisatorische oplossing berust zich op het simpele principe dat bij de scoretabel een minimum van 2 controles per jaar wordt geëist. Op dit moment staat in de protocollen van Waterschap Limburg beschreven dat ze minimaal 1x per jaar (gebruikelijk in het voorjaar) de verschillende waterkeringen controleren. Hiernaast controleren en testen ze ook wanneer er een extreem hoge afvoer verwacht wordt. In totaal komt dit in de praktijk vaak op neer dat er tweemaal getest wordt per jaar. Echter omdat in de waterkerings-gebruikshandleiding van Waterschap Limburg niet specifiek beschreven staat dit tweemaal per jaar te doen kunnen er geen punten vergeven worden voor het onderdeel controle in de score tabel.
- Een vergelijkbaar verbeterpunt is het verbeteren van de registratie procedures bij Waterschap Limburg. Dit wil zeggen dat er bij calamiteiten, controles en tests er notitie van gemaakt wordt waar, wanneer en hoe het plaatsvond. Dit zou dan teruggekoppeld kunnen worden aan de bedienings- en controle protocollen.

Mechanische aanpassing

Als laatste van de geselecteerde oplossingen is een fysieke aanpassing mogelijk aan de kleppen:

- Deze aanpassing gaat uit van een verlenging van de terugslagklep in de hoogte waardoor de beheerders ook handmatig bij calamiteiten de klep kunnen dichtschoeven. Echter kan deze toevoeging een grotere onderhoudsduur en investeringskosten met zich meebrengen. Wanneer de maximale veiligheid de enige prioriteit is, kan dit een toevoeging zijn waardoor de terugslagkleppen nog veiliger scoren.

6.2 Faalkansspecificatie alternatieven

In deze paragraaf zal gekeken worden naar de specifieke verbetering omtrent de veiligheid van de verschillende alternatieven ten opzichte van de huidige situatie. Hierbij moet wel gesteld worden dat de onveiligheid van de huidige terugslagkleppen met name ontstaat door het vastzetten met kettingen en het maken van organisatorische en registratiefouten. Goed onderhouden en gecontroleerde conventionele terugslagkleppen zijn qua faalkans erg veilig. De faalkansscores met toelichting van het drietal onderstaande terugslagkleppen zijn terug te vinden in appendix 11.7.

Toevoeging drijver

In de MCA is te lezen dat dit alternatief een score heeft van 50 voor de faalkans en 60 voor de betrouwbaarheid. Hierin is te zien dat ten opzichte van een huidige vastgezette *top-hinged* terugslagklep, dit nieuwe ontwerp alleen verbeteringen biedt doordat menselijke acties niet meer nodig zijn. Iets wat de andere kleppen ook bieden.

De betrouwbaarheidsscore van 60 komt voort uit de extra kracht die achter de drijver zit. Dit geeft een klein voordeel ten opzichte van de huidige situatie gezien de veiligheid. Wel is het mogelijk dat de drijver door een obstakel niet of slecht gaat functioneren waardoor de klep zou falen, deze extra mogelijkheid tot falen zorgt ervoor dat de totale betrouwbaarheid relatief net boven de huidige situatie zit.



Figuur 26 Klepontwerp I: toevoeging drijver

Faalkans per jaar: $5.0 * 10^{-2}$

Toevoeging "kattenluikje"

Het plaatsen van een extra klep in de huidige kleppen levert een vrijwel permanente doorstroom voor de vissen op, echter geeft deze toevoeging geen directe verbetering (of verslechtering) voor de faalkans van de conventionele automatische terugslagkleppen. Dit is geen significant probleem, maar hieruit volgt wel de score voor de faalkans en betrouwbaarheid van 50 en 50. Wat betekent dat er op het gebied van veiligheid geen verandering zal komen met dit ontwerp.

Faalkans per jaar: $5.0 * 10^{-2}$

Toevoeging constante veer:

Dit ontwerp heeft als enige in de selectie een negatieve score ten opzichte van de faalkans van een conventionele klep. Dit komt door het vergrote risico van niet-merkbaar falen, een mogelijk defect in de veer kan ervoor zorgen dat te laat (te vroeg zou geen negatief effect hebben op de veiligheid) zou dichtklappen. Echter heeft dit negatieve effect weinig effect op de uiteindelijke faalkans per jaar doordat het door andere aspecten van het ontwerp wordt gecompenseerd. Ook hier geldt weer dat het een verbetering is ten opzichte van de huidige situatie omdat er geen menselijke handelingen meer benodigd zijn bij gebruik.

Hiernaast heeft de veer als effect dat de klep tot een specifiek voorbedacht waterpeil open staat en daarna gelijk sluit. Gedurende deze lange tijd dat de klep open staat is de doorstroom door de buis ongehinderd. Als gevolg is de kans op blokkades bij dit ontwerp aanzienlijk verlaagd, dit omdat een ongehinderde stroming gemakkelijker obstakels meeneemt en de klep met meer kracht sluit dan bij een conventionele klep. Hieruit volgt de score van 60 voor betrouwbaarheid.

Faalkans per jaar: $5.0 * 10^{-2}$

Tweemaal controle per jaar

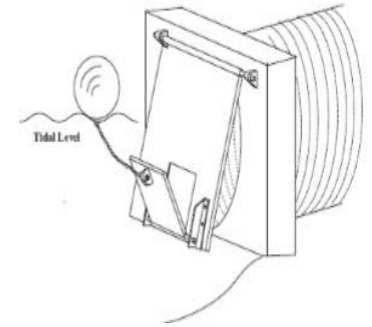
De simpele toevoeging om minstens tweemaal per jaar controles en tests uit te voeren heeft een grote uitwerking op de uiteindelijke faalkans per jaar. Zo zou bijvoorbeeld deze extra controle de faalkans van een waterkering van eens in de duizend jaar naar eens in de tweeëndertigduizend jaar veranderen (zie appendix 11.9 onderdeel 4)

Faalkans verminderd per jaar: $\frac{\text{faalkans per jaar}}{31.6}$

Registratie procedures

Vergelijkbaar brengt een verbetering van de registratie protocollen een verlaging van de faalkans teweeg (appendix 11.9 onderdeel 5).

Faalkans verminderd per jaar: $\frac{\text{faalkans per jaar}}{3.16}$



Figuur 27 Klepontwerp II: toevoeging "kattenluikje"



Figuur 28 Klepontwerp III: toevoeging constante veer

Handmatige sluiting

Deze toevoeging zorgt ervoor dat er een extra eis van de score tabel behaald wordt, namelijk dat er een tweede aandrijving is. Hierdoor wordt de faalkans extra verminderd (appendix 11.9 onderdeel 6)

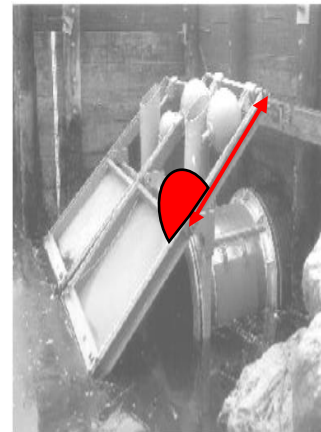
Faalkans verminderd per jaar: $\frac{\text{faalkans per jaar}}{10}$

6.3 Ecologische impact alternatieven

De verschillende terugslagklep-ontwerpen hebben met name een positieve invloed op de ecologische impact. In deze paragraaf wordt hier verder op ingegaan. De verschillende organisatorische en fysieke aanpassingen hebben geen invloed op de lokale natuur.

Toevoeging drijver

De terugslagklep met de drijver heeft zoals genoemd een positief effect doordat de klep langer open kan staan, dit omdat de klep niet meer dan de waterdruk sluit maar juist sluit door het naar boven drijven van de drijver. De waterhoogte waarbij de klep sluit kan dus bepaald worden door de lengte van de drijver in te stellen (figuur 29). In de situatie van de Limburgse kleppen zal de drijver ook fungeren als een contragewicht om zo de kleine hoek die de kleppen normaliter maken te vergroten.



Figuur 29 Lengte en hoek van de drijver

Vier keer per jaar komt het water op dermate hoogte dat het water tot aan het midden van de klep staat. Ten tijde van deze dagen zal de drijver door het water gaan drijven en daarmee de klep zover dichtdrukken dat er geen enkele vissoort meer door kan. Op alle andere dagen is vismigratie mogelijk voor alle lokale vissoorten, mits rekening gehouden wordt met de hoek met de klep en optimale lengte van de drijver zodat de drijver alleen de klep dicht drukt wanneer het water het OKP bereikt.

Toevoeging "kattenluikje"

Het kattenluik-ontwerp zou ervoor moeten zorgen dat er permanent een voldoende stroming aanwezig zou moeten zijn dat alle lokale vissoorten ten alle tijde zouden kunnen migreren. In tegenstelling tot het drijver ontwerp zou het mogelijk zijn deze permanente situatie te creëren, wel moet gekeken worden naar de benodigde opening en of dit een risico zou vormen voor het binnendijkse gebied. We nemen weer de gemiddelde afvoer van $0.306 \text{ m}^3/\text{s}$ en de maximale snelheid van 0.8 m/s om alle vissen doorgang te kunnen bieden.

$$A = \frac{Q}{V}, A = \frac{0.306}{0.8} = 0.383 \text{ m}^2$$

$A = 0.383 \text{ m}^2$ als cirkelvormige klep geeft een straal van:

$$A = r^2\pi, \sqrt{\frac{A}{\pi}} = r = 0.35 \text{ m}, \quad \text{straal} = 0.35\text{m}, \quad \text{diameter} = 0.7\text{m}$$

Een diameter van 0.7 meter geeft aan dat wel degelijk een drijver nodig is bij dit ontwerp om bij een hoge waterstand het kattenluikje te sluiten. Want 0.7 m is groter dan de maximale 0.5 meter in diameter waar de stroming verwaarloost mag worden (hoofdstuk 3). Deze drijver zal vergelijkbaar met het eerste

alternatief ingesteld worden en het komt er in de praktijk dus op neer dat maar 4 dagen per jaar de klep in een dermate gesloten stand staat dat er geen migratie mogelijk is.

[Toevoeging constante veer](#)

Van de 3 geselecteerde alternatieven heeft dit alternatief de meest positieve werking op de lokale vissoorten. Dit omdat dit ontwerp dezelfde situatie creëert als het vastzitten van de kleppen met kettingen zou creëren. De terugslagkleppen staan vastgemaakt met een constante veer in een horizontale open toestand, wat betekent dat alleen wanneer het water boven de buis en daarmee boven de horizontale klep uitkomt, de kracht op de klep groter wordt dan de veer. Alleen gedurende die periodes, die eens per 2 jaar voorkomen, zullen de vissoorten verhinderd worden om te migreren.



7. Conclusie

In dit hoofdstuk zal ingegaan worden op de resultaten van de MCA en zal geconcludeerd worden wat het beste alternatief zou zijn ter vervanging voor de spindels en vastgezette terugslagkleppen in Limburg. De doelstellingen uit hoofdstuk 1 meenemend zal een finale selectie gemaakt worden van de mogelijke oplossingen.

7.1 Optimale combinatie van alternatieven

Vanuit dezelfde criteria en wegingen als bij de MCA is een alternatief ontstaan dat op het gebied van veiligheid en ecologie de beste resultaten zal hebben bij implementatie. Deze moet allereerst voldoen aan de randvoorwaarde dat hij een faalkans lager dan $4.0 \cdot 10^{-5}$ per jaar heeft. Om dit te behalen zijn, opmerkelijk genoeg, de geselecteerde oplossingen niet voldoende. De scoretabel in appendix 11.10 geeft aan dat de combinatie van de 2 organisatorische oplossingen en het handmatig maken van de klep niet voldoende faalkansvermindering oplevert. Hierom is het dus nodig om naast die 3 oplossingen ook het alternatief waarin een tweede waterkering geplaatst (appendix 11.5, fysieke verbeteringen II) wordt mee te nemen in het eind ontwerp. Bij de combinatie van deze vier oplossingen wordt voldoen aan de maximale faalkanseis.

Hiernaast is de belangrijkste eis dat de ecologische impact wordt geminimaliseerd. Om deze doelstelling te behalen kan gekozen worden uit de drie geselecteerde klepontwerpen uit het vorige hoofdstuk. Alle drie de ontwerpen reduceren de ecologische impact significant. Echter komt maar een enkel ontwerp uit de MCA als positiefst naar voren. Het gebruik van een constante veer om de klep open te houden tot het OKP is gehaald heeft als voordeel dat naast de minimalisering van de negatieve ecologische gevolgen ook het implementeren en bijkomende kosten relatief laag liggen.

Door het terugslagklep ontwerp met de veer toe te passen gecombineerd met het viertal organisatorische en fysieke aanpassingen wordt een alternatief gecreëerd die aan de randvoorwaarde voldoet en tegelijk de ecologische zo min mogelijk stoort in zijn werking. Zelfs de bijkomende kosten zijn relatief laag en zijn voor het Waterschap te overzien. Samenvattend wordt op deze manier aan alle gegeven doelen voldaan die nodig waren om midden Limburg veiliger en milieuvriendelijker te maken.

7.2 Behalen doelstelling: faalkans

De combinatie van het tweetal organisatorische oplossingen, waarin de controle- en registratie protocollen worden aangepast conform de scoretabellen, met het tweetal fysieke aanpassingen, waarbij de kleppen handmatig gesloten kunnen worden en er een tweede kering geplaatst wordt, zorgt ervoor dat de faalkans sterk wordt verminderd. Geïmplementeerd samen met het nieuwe terugslagklep ontwerp zal de faalkans van $1 \cdot 10^{-1}$ per jaar naar $3.16 \cdot 10^{-5}$ gaan. Wat binnen de normen valt van de maximale faalkans gegeven in hoofdstuk 3, namelijk maximaal $4.0 \cdot 10^{-5}$ per jaar. Omdat de faalkans lager ligt dan het maximum wordt er zelfs een compensatie opgebouwd die weer voordelig is voor het uiteindelijke doel van Infram om een kleinere dijk bij Venlo neer te kunnen zetten.

7.3 Behalen doelstelling: minimale ecologische impact

Het vervangen van de huidige kleppen met de nieuwe terugslagklep heeft als gevolg dat er maar twee dagen per jaar geen mogelijkheid is voor de vissen om te migreren. De overige 363 dagen zou dit volledig mogelijk moeten zijn. Dit is een enorme verbetering is ten opzichte van de huidige terugslagkleppen die gedurende het gehele jaar de migratie van vissen bemoeilijkt. Van 365 naar 2 dagen per jaar migratieproblemen is een significante verbetering gezien de milieuvriendelijkheid van de klep.

7.4 Behalen doelstelling: Rekening houden met onderhouds- en implementatie kosten

Het vervangen van de huidige kettingen met veren is een relatief simpel proces, ook de aanpassingen aan de gebruiksprotocollen creëren weinig investeringskosten. Alleen de investeringskosten van de toevoeging van de tweede keringen en het aanpassen van de kleppen dat ze ook handmatig gesloten kunnen worden is relatief prijzig in de begin fase. Maar dit is te overzien door de kleine simpele mechanismen die worden gebruikt bij deze twee aanpassingen. Vergeleken met andere alternatieven vallen de kosten nog wel mee. Samenvattend zijn de toekomstige kosten meegenomen gedurende het gehele ontwerpproces en als resultaat is er een kostenefficiënt totaalalternatief uitgekomen die met alle drie de doelen voldoende rekening heeft gehouden.

7.5 Adviesrapport en overige resultaten

Direct volgend uit deze conclusie volgt het opgestelde adviesrapport, alsmede is vereist vanuit opdrachtgever Infram. Dit onderdeel, te vinden bij hoofdstuk 10, zal ingaan op hetgeen geëist door Infram en zal in een kort A4 een overzicht geven van de aangeraden oplossingen en is een toelichting gegeven bij de gemaakte keuzes. Hiernaast zijn een aantal bijkomstige resultaten: een tweetal adviezen bij andere criteria en een verzameling vuistregels bij het selecteren van terugslagkleppen, te vinden onder appendix 11.10.

8. Discussie & aanbevelingen

In dit hoofdstuk zal kritisch worden gereflecteerd op het gedane onderzoek. Hierbij zal in worden gegaan op de betrouwbaarheid van het onderzoek. Mogelijke beperkingen en onzekerheden zullen worden uitgelicht en toegelicht. En waar nodig zullen aanbevelingen gedaan worden voor vervolg onderzoek.

8.1 Discussie

Allereerst moet genoemd worden dat veel van de gegevens van de beken gegeneraliseerd en aangenomen zijn gebaseerd op een klein aantal beken. Zo zijn de stroomsnelheid, OKP en breedte tussen verschillende beken erg verschillend en dit is niet meegenomen in dit onderzoek. Er is getracht een gemiddelde te gebruiken die toepasbaar is voor alle beken, maar dit neemt onzekerheid met zich mee en het kan betekenen dat de geselecteerde oplossingen minder effectief kunnen zijn bij een aantal beken die niet overeenkomen met het gemiddelde. Hierdoor kan het zijn dat het gekozen alternatief niet het meest geschikte alternatief is bij alle beken in Limburg, mogelijk kan door de dimensie verschillen van sommige beken een ander alternatief als beste uit de MCA komen. Zo zou bij een veel grotere beek (waar het debiet hoger is) de benodigde hoek van de klep veel groter. Echter is dit geen probleem voor het gekozen alternatief omdat hier de klep volledig open zal staan 99% van de tijd en de hoek dus 90 graden zal zijn.

Bij de berekening van de ecologische impact is uitgegaan van een de simpele formule afvoer = oppervlak keer stroomsnelheid. Bij het gebruik van deze formule worden enkele aspecten zoals de waterstand in de buis en het drukverschil niet meegenomen. Deze aannames hebben invloed op de betrouwbaarheid van de ecologische eisen. Tegelijk moet hierbij gesteld worden dat de bronnen waaruit de maximale stroomsnelheden en aanwezige vissoorten is verkregen relatief oud was, het desbetreffende rapport is opgesteld in 1993. Hiernaast moet aangegeven worden dat er ook gekeken is naar het gebruik van de wet van Bernoulli voor het berekenen van de ecologische eisen. Hierbij is gebleken dat de formule $Q = V * A$ de minste aannames en benaderingen benodigd had. Het gebruik van bijvoorbeeld Bernoulli bracht teveel onbekende variabelen met zich mee die erg verschillend zouden zijn per aparte beek. Als consequentie van het hiervoor genoemde mogen de ecologische eisen en variabelen niet als volledig accuraat aangenomen worden. Echter moet hierbij bedacht worden dat gezien de vele onbekende variabelen bij deze berekeningen de gebruikte methodes op een effectieve manier toch een bruikbaar resultaat bieden waaruit de bruikbare eisen berekend zijn.

In het gekozen terugslagklep ontwerp zit een constante veer, wat op papier een uiterst effectief ontwerp lijkt, maar echter in de praktijk nog zelden getest is. Er zijn enkele gedocumenteerde buitenlandse cases waarbij met succes een dergelijk ontwerp is gebruikt (Jueltide tidal flaps, 2016). Maar dit zijn individuele gevallen, vaak in niet-Europese gebieden met andere wetgevingen en niet vergelijkbare omgevingen. Er zijn dus verschillende mogelijke problemen waar nog erg weinig literatuur over geschreven is. Zo kunnen de veren beginnen te falen na enkele jaren, wat een hogere faalkans met zich mee zou brengen. Op dit moment is alleen nog erg weinig bekend over de levensduur en mogelijke faalmechanismen. Er bestaat dus een kans dat het alternatief slechter uitvalt in de praktijk dan verwacht, en dit moet meegenomen worden. Ook bestaat er natuurlijk een kans dat het ontwerp beter uitvalt.

In het onderzoek is ervan uitgegaan dat niet alleen alle beken maar ook alle terugslagkleppen dezelfde afmetingen en mechanismen hebben. In de meeste gevallen komt deze aanname relatief dicht bij de realiteit. Echter hebben enkele terugslagkleppen al extra systemen zoals een tweede waterkering of een tweede aandrijving. Dit zou voor deze specifieke kleppen betekenen dat de faalkans veel kleiner zou zijn.

Nu is het aantal van dit soort bijzondere keringen erg klein en zal het over de gehele regio weinig effect op de faalkans hebben. Maar wanneer gekeken wordt naar specifieke dijktrajecten, wat in dit onderzoek gebeurt, kan het een significante impact hebben op het resultaat. Hierom wordt ook in de aanbevelingen voor vervolg onderzoek gepleit naar dit aspect. De gevolgen voor dit onderzoek zijn te overzien, aangezien gevraagd werd voor een algemene vervanging voor alle kleppen in de regio, en die is gegeven. Wanneer bij enkele kleppen al verschillende extra systemen zijn toegevoegd om de veiligheid te waarborgen kan bij deze specifieke gevallen gekeken worden of het meerwaarde heeft om de nieuwe klep ook daar te plaatsen.

In paragraaf 3.6 werd genoemd dat de ondergrens (faalkans van de dijktrajecten) gebruikt moest worden bij een ontwerpproces. In plaats van de signaalwaarde, die hoger ligt en daarmee veiliger zou zijn. Dit komt omdat bij de ondergrens de toekomstscenario's moeten worden meegenomen in de berekening. Wat inhoudt dat de er een onderzoek gedaan moet worden naar de verwachte veranderingen (regenval, debiet Maas, temperatuurstijging) en wat dit voor invloed zou hebben op de faalkans van de waterkering. Deze factor en de ondergrens samen is dan de ontwerpwaarde. Kijkend naar de speling die er is tussen de maximale faalkans van $4 \cdot 10^{-5}$ per jaar en de faalkans van het alternatief van $3.16 \cdot 10^{-5}$ kan het verschil gecreëerd door het toekomst scenario's maximaal 26% zijn. De ondergrens kan met een kwart vergroot worden en het alternatief zou nog steeds voldoen. Echter was gedurende dit onderzoek er geen tijd om dit onderzoek naar de toekomstige significante veranderingen uit te voeren. Hierom is het niet zeker of een verwachte vergroting van de ondergrens van meer dan 25% realistisch of niet. Wanneer dit wel het geval is, is het mogelijk dat het alternatief niet meer voldoet aan de randvoorwaarde. In die aanbevelingen wordt hier sterk naar verwezen om dit onderzoek naar de toekomstscenario's uit te voeren.

Als laatste belangrijke punt, in essentie zijn alle gebruikte formules en scoretabellen bij de veiligheidsanalyse niet volledig accuraat, alle gebruikte methodes zijn opgesteld om een inschatting te geven van de faalkansen van verschillende, anders onmogelijk te berekenen, waterkeringen. Ze benaderen de faalkans en de verkregen resultaten moeten ook niet als volledig accuraat gezien worden. Ook hierbij geldt hetzelfde als bij de berekening van de ecologische eisen. Vanuit de mogelijke methodes is de meest haalbare en effectieve methode geselecteerd om zo de meest bruikbare resultaten op te leveren.

8.2. Aanbevelingen voor verder onderzoek

In deze paragraaf zullen enkele punten benoemd worden die niet zijn meegenomen in dit onderzoek die wel significante invloed hebben op de behaalde resultaten en waarbij toekomstig onderzoek mogelijk meer duidelijkheid kan bieden.

Om te beginnen bij de 3 faalmechanismen die genoemd zijn in hoofdstuk 3. Naast betrouwbaarheid sluiting wordt normaliter de faalkans ook bepaald door de mechanismen Stabiliteit en sterkte (ST) en Hoogte (HT). Overslag en constructief falen is in dit onderzoek niet meegenomen en brengt een significante faalkans met zich mee. Mogelijk zijn enkele van de geselecteerde oplossingen effectiever of juist minder effectief wanneer deze twee punten meegenomen worden. Om zeker te zijn van de effectiviteit van het aangedragen alternatief moet een onderzoek opgezet worden naar de invloed van de twee andere faalmechanismen.

Als tweede is het erg belangrijk voor de betrouwbaarheid van het onderzoek om een onderzoek uit te voeren naar de verwachte toekomstscenario's en het verwachte effect op de faalkans van de waterkeringen. Op dit moment is er in het onderzoek niet meegenomen wat deze veranderingen zijn en is er bij gebrek aan data uitgegaan van een neutrale-hypothese waarin er in de toekomst niks veranderd. Dit is echter onwaarschijnlijk en er wordt sterk aanbevolen hier onderzoek naar te doen. Ook omdat er een mogelijk bestaat dat de faalkans van het alternatief boven de wettelijke maximum komt (bij een extreem toekomst scenario).

Hiernaast is ook sterk aanbevolen om een kleinschalig onderzoek in te richten die kijkt naar de verschillen tussen de beken in Limburg. In dit onderzoek zijn enkele aannames genomen die ervan uit gingen dat de verschillende beken relatief overeen kwamen. Een efficiënter en beter alternatief kan mogelijk ontworpen worden wanneer gekeken wordt naar individuele beken. Ook moet gekeken worden naar de afvoeren van de verschillende beken gedurende de verschillende seizoenen. In dit onderzoek is aangenomen dat de afvoer gedurende een jaar vrij constant blijft, echter is het mogelijk dat bij enkele beken dit erg schommelt.

De gebruikte formules en scoretabellen, zoals ook al benoemd in de discussie, zijn niet gedetailleerd en specifiek. Een preciezer resultaat is te verkrijgen wanneer een toets op maat wordt uitgevoerd voor de kleppen specifiek voor het gebied. Wanneer er specifiek naar de regionale omstandigheden in Limburg gekeken wordt kan een duidelijke faalkans berekend worden en zodoende kan de accuraatheid van het resultaat van het onderzoek ook verbeterd worden.

Verder, wederom genoemd in de discussie, is het belangrijk te kijken naar de frequentie van de extra systemen zoals een tweede aandrijving of een tweede waterkering bij de huidige kleppen in de regio. Het is belangrijk om te weten of er bij een bepaald dijktraject al meerdere kleppen deze systemen hebben, bij deze dijktrajecten ligt de urgentie voor een nieuw klepontwerp dan lager.

Zoals te lezen is in appendix 11.5 (bij mobilisatie en bediening) zijn er nog enkele onduidelijkheden over de registratie en verbeteringsprocessen bij de mobilisatie en bediening protocollen voor de huidige kleppen bij Waterschap Limburg. Het Waterschap was erg onduidelijk bij het beantwoorden van deze vragen en aangeraden wordt om nader onderzoek te doen naar deze registratie. Op dit moment lijkt alleen de bediening niet te voldoen, maar als ook de mobilisatie protocollen onvoldoende fungeren kan dit extreme gevolgen hebben voor de faalkansen van alle Limburgse waterkeringen. Een nader onderzoek kan uitsluitsel geven of er sprake is van een groot veiligheidsrisico.

Als laatste wordt ten zeerste aangeraden om te kijken naar de mogelijkheden van het gebruik van een constante veer in dergelijke terugslagkleppen. Het wordt nog niet grootschalig toegepast en gezien de voordelen kan het een kleine revolutie op terugslagklep-gebied veroorzaken. Echter is, zoals genoemd in de discussie, nog veel onduidelijk over de mogelijk faalmechanismen die juist door het gebruik van de veer ontstaan. Een onderzoek naar de potentiële problemen van het gebruik van veren bij waterkeringen zou enorm helpen bij de innovaties bij regionale waterkeringen.



9. Adviesrapport

In deze laatste paragraaf zal ingegaan worden op de verkregen resultaten en deze als advies uitbrengen voor de betrokken partijen, zijnde Infram en Waterschap Limburg. Onderstaand is een korte samenvatting gegeven van de onderzoeksresultaten.

Achtergrondinformatie

Samenvattend kan gesteld worden dat er zeker een groot probleem aanwezig is bij de huidige waterkeringen die de Limburgse beken verbinden met de Maas. De ecologische impact was zo groot dat er gekozen is om de kleppen vast te zetten en hiermee ze handmatig te maken. Hierdoor zijn menselijke handelingen vereist bij gebruik, deze extra handelingen gecombineerd met ontoereikende controle- en registratieprotocollen zorgen ervoor dat de faalkans per jaar van de huidige kleppen niet voldoen aan de wettelijke eisen voor de specifieke dijktrajecten. Hierdoor zit er een grote urgentie achter het vinden van een geschikt alternatief.

Wat is het advies:

Een *top-hinged* terugslagklep waarbij het sluiten geregeld wordt door een constante veer en het mogelijk is bij calamiteiten de klep handmatig te sluiten door een extensie bij de bovenzijde aan de klep. Hiernaast moet bij elke waterkering een supplementaire kleine (goedkope) en simpele kering bijgevoegd worden die handmatig gesloten kan worden bij calamiteiten. Tegelijkertijd is het aan te bevelen om zowel de controle protocollen als de registratie protocollen aan te passen aan de normen gegeven door de score tabel van Handreiking Water 2017 van Arcadis. Het advies uit dit onderzoek is dus om vijf van de geselecteerde mogelijke alternatieven te bundelen en gecombineerd uit te voeren om zo het beste resultaat te krijgen.

Wat biedt het:

Het resultaat biedt een zeer efficiënte combinatie van veiligheid en natuurvriendelijkheid, de lokale vispopulaties zullen altijd ongestoord kunnen leven behalve bij een extreem hoge afvoer in de Maas. Tegelijkertijd zijn de investeringskosten laag en is het gehele plan snel en efficiënt te implementeren.

Voordeel ten opzichte van huidige situatie

De faalkans van een waterkering zal van $1.0 * 10^{-1}$ naar $3.16 * 10^{-5}$ per jaar. Dit betekent dat de kleppen weer aan de wettelijke eisen zullen voldoen, die eisen dat elke niet-stedelijke waterkering een faalkans van $4 * 10^{-5}$ of kleiner had. De faalkans gaat zelfs zo significant naar beneden dat met deze veiligheidsmarge een kleinere dijk bij Venlo gecompenseerd kan worden.

Bovendien krijg je een doorstroom door de kering die voor alle vissen toegankelijk zal zijn voor migratie, en deze doorstroom zal alleen sluiten wanneer het water boven de OKP komt en daarmee een kritiek niveau bereikt. Dit zal allemaal automatisch gebeuren en de enige menselijke handelingen die benodigd zijn, is de extra controle per jaar (dus 2x per jaar) en het daarbij extra vereiste registratie.

Voordeel ten opzichte van de alternatieven

De combinatie tussen dit specifieke terugslagklep ontwerp en de drie andere oplossingen geeft een allesomvattend alternatief dat van zowel de veiligheid als de impact op de natuur de beste situatie creëert. Ook is het terugslagklep ontwerp met de constante veer volgens de MCA het beste terugslagklep ontwerp en dit vertaalt zich in de meest natuurlijke doorstroom voor de vissen en een zeer veilig ontwerp.

Met name op het gebied van het gemak waarmee deze selectie alternatieven kan worden toegepast staat ver boven de andere mogelijkheden. Het is simpelweg een kwestie van het vervangen van de kettingen door een constante veer en het aanpassen (en uitvoeren) van de huidige onderhouds- en registratie protocollen om al een enorme verbetering voort te brengen. Op lange termijn kan dan overal een extensie en een tweede kering aan de kleppen toegevoegd worden om zo tot een uiterst gunstige situatie te komen gezien de waterveiligheid en ecologie van Midden-Limburg.

Er zit zoveel onontdekte potentie achter het gebruik veren bij terugslagkleppen, een potentie die de veiligheid van zowel alle Nederlanders als alle Nederlandse zoetwatervissen kan gaan garanderen.

““You cannot discover new oceans unless you have the courage to lose sight of the shore.” - André Gide”

10. Referenties

- Arcadis, Witteveen & Bos. (2018). *Bepaling faalkansbijdrage afsluiters en toekomstige ontwikkelingen*. Amsterdam
- Casteleijn, A. (1 November 2017). *Werkwijze bepalen kans op niet sluiten per sluitvraag met scoretabellen*. Den Haag: Rijkswaterstaat.
- Beers, M. (2005, Maart). *Kennisdocument riviergrondel*. Retrieved from Sportvisserij Nederland.
- Bree, V. (2017). *Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken*. RWS.
- Jacobs, D. (2007). *Watersheds of the World*. Chicago State University.
- Delhez, R. (2017). *WTI 2017 Kunstwerken: toetsspoorrapport Betrouwbaarheid Sluiting*. Arnhem: Deltares.
- Haro, A. (2013, March 30). *Proceedings of a Workshop on American Eel Passage Technologies*. Retrieved from asmfc.org
- Koning, R. B. (2014). *Werkwijze bepalen kans-op-niet-sluiten-per-sluitvraag met scoretabellen*. Amsterdam: Arcadis.
- Jansen, F. V. (1993). *Analyse van de visfauna in Limburgse beken*. Nieuwegein: Organisatie ter verbetering van de binnenvisserij.
- John F. Staton, P. J. (2009). *Michigan civil engineering board*. Retrieved from https://www.michigan.gov/documents/mdot/MDOT_Research_Report_R1528_267028_7.pdf
- Juel, G. (2008). *Flap Gate / Tide Gate Alternatives*. Retrieved from jueltide.com
- Juel, G. (May 2010). *Tide gate alternatives*. Seattle : Jueltide.
- Speelman, J. M. (2015). *Maatregelprogramma Maas 2016-2021*. Roermond: Waterschap Limburg.
- Abraham, J. (2011). *Water and Climate Change in the 21st century*.
- Perry, V. (2010). *Planbureau voor de leefomgeving*. Retrieved from Pbl: http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/PBL_2013_Demografische%20ontwikkelingen-2010-2040_1044.pdf
- Waterschap Zuiveringsschap Limburg (1990). *Vismigratie in Limburgse beken: mogelijkheden voor herstel en optimalisatie*. Eindhoven: Waterschap Zuiveringsschap Limburg
- Manshanden, G. (2009). *ACE Installations, Operation and Maintenance instructions*. York: ACE.
- Manshanden, G. (2018). *Fishflow.nl/innovations-on-valves*. Retrieved from Fishflow innovations: fishfow.nl
- Ministerie van Milieu, (2012). *WERKPROGRAMMA STROOMGEBIEDBEHEERPLANNEN 2015*. Den Haag: Rijksoverheid.

- Ministerie van Milieu, (2017). *Handreiking ontwerpen met overstromingskansen: Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansnormen*. Den Haag: Rijksoverheid.
- Miller, T. (2007). *Delevering benefits through evidence: self-regulating tide gate: a new design*. Indianapolis .
- Ministerie van Milieu, (2015). *Stroomgebiedbeheerplannen Maas 2016-2021*. Den Haag: Rijksoverheid.
- Mourik, L. R. (2006). *Vismigratie Een handboek voor herstel in Vlaanderen en Nederland*. Hoogeveen: Woortman Grafisch Bureau.
- Rollaken, B. (2010). *Schematiseringshandleiding betrouwbaarheid sluiting kunstwerk*. Den Haag: Rijkswaterstaat.
- Raaijmakers, E. (2018, Mei). Huidige toestand terugslagkleppen en spindels Limburg. (I. d. Vries, Interviewer)
- Rijkswaterstaat. (2018). *EEn frisse blik op warmEr watEr*. Den Haag: Watermozaïk.
- Rijkswaterstaat (2 Januari, 2017). *Schematiseringshandleiding betrouwbaarheid sluiting kunstwerk*. Den Haag.
- Rijkswaterstaat (2012). *Werkprogramma stroomgebiedbeheerplannen 2015*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Rijkswaterstaat (2016). *Waterbeschermingsprogramma: Handreiking kunstwerken*. Den Haag.
- Rijkswaterstaat (2017). *Handreiking ontwerpen met overstromingskansen* . Den Haag.
- Smeets, B. (2018, Mei). Onderhoudsprocedures kleppen Waterschap Limburg. (I. d. Vries, Interviewer)
- Solomon, D. D. (September 2010). *Eel passage at tidal structures and pumping station*. Salisbury: Environment Agency.
- stevige-onweersbuien-trekken-over-limburg-op-meerdere-plekken-wateroverlast*. (2018, Mei). Retrieved from De Limburger: https://www.limburger.nl/cnt/dmf20180430_00060809/stevige-onweersbuien-trekken-over-limburg-op-meerdere-plekken-wateroverlast
- Boomkamp, T. (2014). *Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen*. Den Haag: Rijkswaterstaat.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. (1999). *Technisch rapport Zandmeevoerende wellen*. Delft.
- Jansen, W. (2016). *HWBP in samenwerking met Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier Handreiking kunstwerken* . Amsterdam: Hollands Noorderkwartier.
- Witteveen en Bos, A. (2017). *Bepaling faalkansbijdrage afsluiters en toekomstige ontwikkelingen*. Den Haag: Rijkswaterstaat

11. Appendices

11.1 Alternatieve terugslagklep ontwerpen

In deze bijlagen worden de verschillende terugslagklep-ontwerpen besproken en wordt kort de voor- en nadelen besproken, zoals aangegeven in hoofdstuk 3.1.

Ontwerp 0: *top-hinged* terugslagklep

De werking van deze klep is relatief simpel en gaat uit van de twee benoemde krachten in hoofdstuk 3, zwaartekracht en het differentiaal verschil, beiden gecreëerd door het water. Door het steeds stijgende water wordt de klep, die in zijn rust positie net open staat dichtgeduwd. Dit is het basis ontwerp, alle andere alternatieve ontwerpen die zullen worden besproken zullen vergeleken met dit ontwerp. Dit omdat deze terugslagkleptype gebruikt wordt bij de huidige terugslagkleppen in Limburg.



- | | |
|------------|---|
| Voordelen: | <ul style="list-style-type: none"> Simpele werking – relatief minder kans op technische problemen Robuust en duurzaam ontwerp |
| Nadelen: | <ul style="list-style-type: none"> Geen mogelijkheid voor puin om er langs te stromen Moeilijke doorgang voor vissen omdat de klep altijd bijna dicht zit Veel slijtage in het scharnier door constante druk |

Figuur 30 Voorbeeld basisontwerp terugslagklep

Ontwerp I: Vervanging kleppen voor *deuren*

Dit ontwerp gaat uit van een side-hinged *deur*. In plaats van een scharnier aan de bovenkant zit bij dit ontwerp het scharnier aan de zijkant. Hierdoor drukt de zwaartekracht niet op de klep en staat hij in zijn ruststand gemakkelijker open, waardoor vissen langer kunnen migreren. Bij dit ontwerp wordt naast het differentiaal tussen de twee stromen ook gebruikt gemaakt van de stroming van de rivier (die steeds meer kracht krijgt, hoe hoger de waterstand in de rivier komt).



- | | |
|------------|--|
| Voordelen: | <ul style="list-style-type: none"> Langere periode een waterstroom waar vissen doorheen kunnen zwemmen Robuust en duurzaam ontwerp |
| Nadelen: | <ul style="list-style-type: none"> Minder (geen) mogelijkheid voor puin om er langs te stromen Meer kracht nodig om de klep te sluiten Meer kans op falen bij sluiting dan conventionele ontwerpen Kan alleen geplaatst worden bij een stromend deel van de rivier |

Figuur 31 Voorbeeld waterkering-deur

Ontwerp II: Blokkeren van de kleppen

Hierbij worden de kleppen geblokkeerd met een object waardoor ze niet volledig kunnen sluiten. Hierdoor is er altijd een voldoende stroming door de klep heen voor de vissen. Echter betekent deze permanente stroming dat het water binnendijs kan stromen in gevaarlijke hoeveelheden.



- | | |
|------------|---|
| Voordelen: | <ul style="list-style-type: none"> Goedkope oplossing wanneer de focus ligt op het faciliteren van vismigratiestromen |
| Nadelen: | <ul style="list-style-type: none"> Klemmende materiaal kan gemakkelijk losraken wat elk voordeel weghaalt Altijd een stroming door de buis (ook terug richting binnendijs gebied) Hogere faalkans op niet-sluiten doordat de klep praktisch gezien nooit sluit |

Figuur 32 Voorbeeld blokkeren kleppen

Ontwerp III: Lichtgewicht materiaal

Het gebruik van zeer lichtgewicht materialen voor de kleppen zorgt ervoor dat gemakkelijker de hoek van de klep in ruststand vergroot kan worden. Hierdoor kan ervoor gezorgd worden dat pas bij een relatief hoge waterstand de kleppen onderwater komen en daarmee sluiten.



- Voordelen:** Robuuste oplossing wanneer de focus ligt op het faciliteren van vismigratiestromen
- Nadelen:** Altijd een stroming door de buis (ook terug richting binnendijks gebied)
Hogere faalkans op niet-sluiten doordat de klep praktisch gezien nooit sluit
Duur om alles te laten vervangen met een duurder materiaal

Figuur 33 Voorbeeld lichtgewicht kleppen

Ontwerp IV: Tegengewichten

Het gebruik van tegengewichten bij terugslagkleppen kan ervoor zorgen dat de ruststand van de klep een grotere hoek heeft waardoor er langer een voldoende stroming aanwezig is voor de vissen. Hierbij hebben de gewichten ook als effect dat er meer water nodig is om de kleppen te sluiten. Dit betekent weer dat pas bij een hogere waterstand de kleppen sluiten dan bij het basisontwerp.



- Voordelen:** Simpele werking – relatief minder kans op technische problemen
Robuust en duurzaam ontwerp
Langere periode een waterstroom waar vissen doorheen kunnen zwemmen
- Nadelen:** Meer kracht nodig om de klep te sluiten wat een hogere faalkans met zich meebrengt vergeleken met conventionele ontwerpen
Relatief tijdrovend proces om alle kleppen om te bouwen met een extra verzwaring aan de bovenzijde



Figuur 34 Voorbeelden kleppen met tegengewichten

Ontwerp V: Drijvers

Terugslagkleppen met een toegevoegde drijver staan in de ruststand verder open dan de kleppen bij het basisontwerp en sluiten met meer kracht waardoor de kans op blokkeren verminderd wordt. De kleppen werken, naast de kracht van de zwaartekracht en het drukverschil ook door de drijfkrachten van de drijvers wanneer de waterstand suffiënt hoog is geworden.



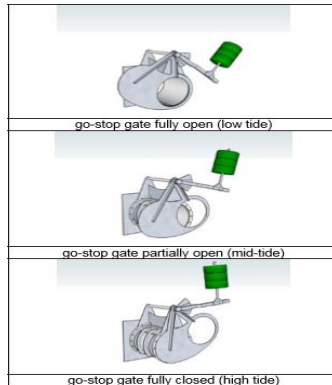
- Voordelen:** Zelf bepalen bij welke waterhoogte klep sluit
Bij hogere waterhoogte pas sluiten waardoor vissen langer erdoor kunnen
Relatief goedkope ingreep om een conventionele klep aan te passen naar een klep met een drijver
- Nadelen:** Drijver kan door puin mogelijk niet goed naar het wateroppervlak drijven



Figuur 35 Voorbeeld klep met drijver

Ontwerp VI: Draaiend ontwerp met drijver

Bij dit ontwerp wordt gebruik gemaakt van de waterstand van de rivier op zo'n manier dat alleen door een drijver de klep op de goede plek komt. Zoals te zien is op figuur 35. Deze nieuwe werking kan makkelijker ingesteld worden waardoor de beheerder kan zorgen dat bij een voorbedachte specifieke hoogte de klep volledig gesloten is. Dit kan door de drijver op een andere hoogte te zetten.



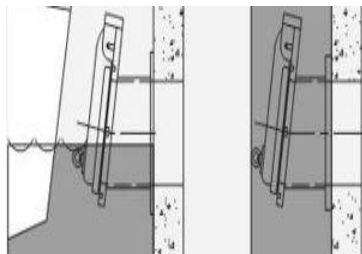
Voordelen: Zelf bepalen bij welke waterhoogte klep sluit

Nadelen: Heeft extra voordelen wanneer klep ook gesloten moet zijn bij een lage waterstand in de rivier, wat niet van toepassing is in Limburg
Relatief dure ingreep om geheel nieuwe kleppen te ontwerpen, produceren en laten vervangen

Figuur 36 Voorbeeld roterende klep met drijver

Ontwerp VII: Schuingeplaatste kleppen

Dit ontwerp zorgt ervoor dat de klep in een schuine stand wanneer die gesloten is. Als gevolg hiervan staat er altijd druk op de klep, zelfs wanneer die volledig is gesloten zal er nog een extra zwaartekrachtsdruk van het water op de klep aanwezig zijn. Wel zou er altijd een extra druk op de klep zijn, wat ervoor zorgt dat zelfs bij een lagere waterstand de klep al bijna gesloten is. Bij dit ontwerp is er erg weinig doorstroming en bijna geen mogelijkheden voor vismigratie.



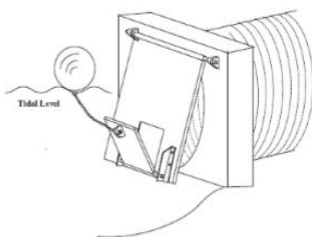
Voordelen: Veiliger omdat er meer druk komt op de klep om dicht te gaan zitten
Relatief goedkope oplossing om de faalkans te verkleinen

Nadelen: Klep sluit bij lagere waterstand wat de doorstroming voor vissen verslechterd

Figuur 37 Voorbeeld schuine kleppen

Ontwerp VIII: Kattenluikje

Het kattenluikje is een extra klep midden in de huidige klep, deze extra klep zal open en dicht gaan met behulp van een drijver. Pas bij extreem hoge waterstanden zou dit luikje dichtgaan, waardoor de overige tijd altijd een stroming aanwezig is waardoor het mogelijk wordt gemaakt voor de vissen om te migreren.



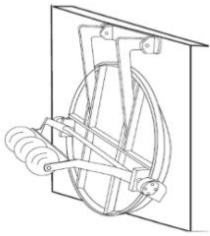
Voordelen: Goedkope en snelle aanpassing om de doorgang voor vissen sterk te verbeteren

Nadelen: Geen positief effect op de faalkans

Figuur 38 Voorbeeld klep met kattenluikje

Ontwerp IX: Klep opdelen in meerdere delen

Vergelijkbaar met het ontwerp met het kattenluikje, dit ontwerp berust zich op een extra klep onderaan de hoofdklep. Deze alternatieve klep zal, net als het kattenluikje, later sluiten dan de hoofdklep. Wel komt dit ontwerp met dezelfde negatieve gevolgen als het kattenluikje. Doordat een deel van de klep nog open staat bestaat er een grotere kans dat er een overstroming plaatsvindt in het binnendijkse gebied.



- Voordelen:** Langere tijd een toegankelijke stroom aanwezig voor de vispopulaties
- Nadelen:** Grotere kans op technisch falen door grotere hoeveelheid sluitingen en mechanismen
Ook stroom richting binnendijkse gebieden mogelijk wat kleine overstromingen kan veroorzaken



Figuur 39 Voorbeeld opgedeelde klep

Ontwerp X: Zelf regulerend door middel van een constante veer

Hierbij wordt gebruik gemaakt van een veer die bij een bepaalde kracht volledig los rekt. Deze veer maakt de klep vast waardoor de klep door open wordt getrokken totdat er een specifieke kracht op de klep komt waardoor die in een keer dicht zou klappen. Hierdoor zal alleen de klep dicht zijn bij een extreem hoge waterstand en is nagenoeg permanent een stroming aanwezig voor de vissen.



- Voordelen:** Nagenoeg permanent toegankelijke stroom aanwezig voor de vispopulaties
Kosten efficiënt ontwerp om een zo milieu vriendelijk ontwerp te creëren
- Nadelen:** Grotere kans op onmerkbaar technisch falen door grotere hoeveelheid sluitingen en mechanismen
Weinig bekend over de technische complicaties omtrent de veer, levensduur en mogelijke problemen zijn tot nu toe niet onderzocht in Nederland



Figuur 40 Voorbeeld klep met toegevoegde veer

11.2 Eenvoudige toets

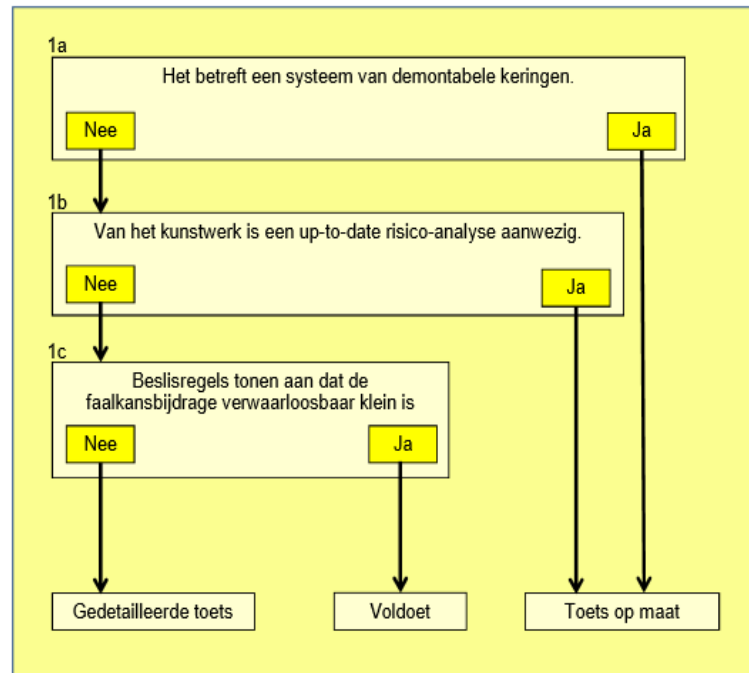
Rechts is een model van de eenvoudige toets te vinden. Met deze toets wordt bepaald of een gedetailleerde toets benodigd is. Voor de situatie van de Limburgse terugslagkleppen gelden de volgende stellingen:

1a. Nee (de kleppen vallen niet onder een demontabele kering, er wordt nu **niet** gekeken naar de omliggende wel demontabele keringen)

1b. Nee, sterker nog, er missen relatief veel onderhoudsgegevens bij Waterschap Limburg.

1c. Nee, voor alle relevante beken is de diameter van de buis groter dan 0.5 m. Betekend dat er niet vanuit gegaan kan worden dat de faalkans bijdrage verwaarloosbaar is.

Conclusie: gedetailleerde toets is benodigd.



Figuur 41 Eenvoudige toets bij veiligheidsanalyse kunstwerken

11.3 Afvoer en waterstand Maas

Hieronder zijn de herhalings tijden van de verschillende waterstanden en afvoeren van de Maas. Hierbij is gebruik gemaakt van de gegevens die Waterschap over verschillende decennia heeft verzameld.

Tabel 10 Betrekkingslijnen Maas - waterstanden en afvoeren versie 2017-2018

Betrekkingslijnen Maas

Waterstand Borgharen-dorp [m]	41.86	42.26	42.55	43.30	43.84	44.31	44.55	44.68	44.78
Afvoer St. Pieter [m³/s]	1280	1500	1640	1994	2264	2534	2689	2790	2867
herh. tijd v/d topafvoer in jaren	0.25	0.5	2	5	10	20	30	40	50

Volgens Waterschap Limburg komt het water bij de meeste beken boven het openkeerpeil te zitten bij een afvoer van 1640 m³/s. De herhalings tijd van deze gebeurtenis is 2 jaar. Er moet dus rekening gehouden worden met dat er 0.5 keer per jaar er een sluitvraag zal zijn voor de terugslagkleppen.

11.4 Faalkansbepaling per sluitvraag huidige situatie

In deze bijlage zal toegelicht worden hoe de faalkans per sluitvraag van $3.16 \cdot 10^{-2}$ is bepaald. Hierbij zal gekeken uit welke faalmechanismen deze faalkans is opgebouwd en naar welke criteria allemaal wordt gekeken in de scoretabel. Ook zal er per antwoord bij elke criteria een korte toelichting gegeven worden waarom de keuze gemaakt is.

			Antwoord	Score	Faalkans per sluitvraag
			Invoerveld antwoord op de vraag	Score behorend bij antwoord	
stap	vraag	score			
Alarmering (pag. 5)					
a	Wordt het contact met Rijkswaterstaat tenminste jaarlijks geverifieerd?	Ja = 4 Nee = 0	ja	4	
b	Is er een tweede methode voor hoogwateralarmering?	Ja = 2 Nee = 0	ja	2	
c	Is er een mogelijkheid dat de bevolking tijdig waarschuwt?	Ja = 1 Nee = 0	Nee	0	
E1	Kunstwerk niet sluiten door falen Alarmering	Optelling a + b + c			Hoogwateralarmering: 1,00E-06
Mobilisatie - pag. 9					
a1	Is er een schriftelijke vastgelegde up to date mobilisatieregeling inclusief standby regeling en terugmeldingssysteem?	Ja Nee	ja		
a2	Wordt de mobilisatie jaarlijks geoefend?	Ja Nee	ja		
a3	Worden de ervaringen van de oefening en mobilisaties teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling?	Ja Nee	ja		
a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord? Indien één of meer van de vragen a1, a2 of a3 met "nee" zijn beantwoord is, dan is de faalkans 1. In dit geval is herstel ook niet mogelijk.	Ja = 4 Nee = 0	ja	4	
b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de mobilisatieregeling? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk NB2: voor een kunstwerk in het kust- of merengebied alleen van toepassing als er een permanent keermiddel aanwezig is	Ja = 1 Nee = 0	ja	1	
c	Indien coupure zonder permanent keermiddel: zijn de kerende elementen op dezelfde plaats opgeslagen als de reserve elementen?	Ja = -1 nee/nvt = 0	nee/nvt	0	
E2	Kunstwerk niet sluiten door falen Mobilisatie	a4 + b + c			Mobilisatie: 1,00E-05

Toelichting:

Gegeven door Waterschap Limburg

Gegeven door Waterschap Limburg – ze houden permanent met verschillende methodes en instanties de waterstand- en afvoer in de gaten

Kleppen liggen vaak uit zicht van de openbare weg

Hieruit volgt dat er 6 punten zijn behaald voor alarmering, wat omgerekend wordt naar de faalkans via $10^{-\text{score}}$

Onderzocht en vastgesteld door Arcadis

Gegeven door Waterschap Limburg. Tegelijk bij de controle en het uitvoeren van tests.

Hierover was Waterschap Limburg vrij onduidelijk maar bleek wel dat dit in een kleine mate gebeurt.

Onderzocht en vastgesteld door Arcadis

Onderzocht en vastgesteld door Arcadis

Hieruit volgt dat er 5 punten behaald zijn voor mobilisatie wat zich vertaalt in een faalkans van 0.00001 per jaar door het faalmechanisme mobilisatie via de formule, faalkans = $10^{-\text{score}}$

Figuur 42 Scoretabel alarmering en mobilisatie - Arcadis, Witteveen & Bos, Bepaling faalkansbijdrage afsluiters en toekomstige ontwikkelingen 2017

Bediening - pag. 13					1.00E-1
a1	Is een sluitprocedure aanwezig?	Ja Nee	ja		
a2	Wordt de sluitingsprocedure minstens eenmaal per jaar uitgevoerd of geoefend?	Ja Nee	ja		
a3	Worden de ervaringen van de oefening en bediening teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de sluitprocedure?	Ja Nee	nee		
a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord? • Indien één of meer van de vragen a1, a2 of a3 met "nee" zijn beantwoord is, dan is de faalkans 10-1 per vraag	Ja = 3 Nee = 0	nee	0	
b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zij die opgenomen in de sluitprocedure? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk NB2: voor een kunstwerk in het kust- of merengebied alleen van toepassing als een permanent keermiddel aanwezig is.	Ja = 2 Nee = 0	ja	2	
E3	Kunstwerk niet sluiten door falen Bediening	a4 + b			

Toelichting

Gegeven door Waterschap Limburg

Gegeven door Waterschap Limburg. Tegelijk bij de controle en het uitvoeren van tests.

Waterschap Limburg was hier onduidelijk over en er kan van uitgegaan worden dat dit niet volledig wordt uitgevoerd

Onderzocht en vastgesteld door Arcadis

Hieruit volgt dat er 2 punten behaald zijn voor *bediening*. Bij a4 staat dat dit resulteert in een faalkans van 0.1 voor het faalmechanisme bediening.

Figuur 43 Scoretabel bediening - Arcadis, Witteveen & Bos, Bepaling faalkansbijdrage afsluiters en toekomstige ontwikkelingen 2017

Op de volgende pagina zal verder gegaan worden op de andere grote bijdrager aan de faalkans, namelijk het faalmechanisme technisch falen.

Technisch - pag. 15				
a1	Is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?	Ja = 0,5 nee = 0	ja	0,5
a2	Wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minsten tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?	Ja = 1,5 nee = 0	nee	0
a3	Worden de ervaringen van de controles, tests en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling en bedieningsprotocol of zonodig aan het sluitmiddel zelf?	Ja = 0,5 nee = 0	nee	0
c	Is het sluitmiddel op handkracht te sluiten?	Ja = 0,5 nee = 0	ja	0,5
b1	Is er een tweede aandrijfsysteem?	Ja = 1 nee = 0	nee	0
d	Aandrijving faalt (tussen score)	c+b1		0,5
e	Is er een risico van merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	Ja = 1 nee = 1,5	Nee	1,5
f	Is er een risico van niet merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	Ja = 1,25 nee = 1,5	Nee	1,5
g	Is er een risico van betekenis op belemmering waardoor de sluiting faalt?	Ja = 0,5 nee = 1	ja	0,5
b2	Is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?	Ja = 0,5 nee = 0	nee	0,5
h	Falen tijdens sluiten: belemmering (tussenscore)	g+b2		1
i	Keermiddel 1 faalt (tussenscore)	min(e,f,h)		1
j	Sluiting keermiddel 1 faalt (tussenscore)	min(d,i)		0,5
b3	Is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerste keermiddel niet gesloten kon worden? Indien ja: beantwoord de vragen k en l voor het tweede keermiddel	Ja = 0,75 nee = 0	Nee	0
k	Is er een risico van falen van het keermiddel van betekenis?	Ja/nvt = 0 nee = 0,25		0
l	Is dit tweede afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	Ja = 0,25 nee = 0		0
m	Keermiddel 2 faalt (tussenscore)	min(b3+k,b3+l)		0
E4	Kunstwerk niet sluiten door technisch falen en falen herstelacties	a1+a2+a3+j+m		1

 $1 \cdot 10^{-1}$

Toelichting

Ja, aangegeven door Waterschap Limburg

Minimaal 1x per jaar in het voorjaar

Er wordt niks specifiek genoteerd

Zowel de terugslagkleppen als de spindels zijn handmatig te sluiten.

Nee, aangegeven door Waterschap Limburg

Relatief simpele werking waar weinig mechanismen kunnen falen

Relatief simpele werking waar weinig mechanismen kunnen falen

Bijvoorbeeld drijfhout kan de klep blokkeren bij sluiting

Ja, aangegeven door Waterschap Limburg

Bij bijna alle keringen in de regio is dit niet het geval

De faalkans wordt bepaald door $10^{-\text{score}}$ te berekenen, en bij e4 is de score 1

Figuur 44 Scoretabel technisch falen - Arcadis, Witteveen & Bos Bepaling faalkansbijdrage afsluiters en toekomstige ontwikkelingen

11.5 Veiligheidsopgave: verbeteringsvlakken

Naast het volledig vervangen en verbeteren van de terugslagklep zijn er ook een aantal andere aanpassingen die gedaan kunnen worden om het falen van de sluiting van keermiddelen (P_{ns}) te verkleinen. Dit kan zowel organisatorisch of fysiek zijn.

Fysieke verbeteringsvlakken

- Wanneer er bij een waterkering nog niet een tweede kering aangebracht is, kan er gedacht worden om aan de andere zijde van de dijk een extra tweede (handmatig sluitende) kering aan te brengen. De scoretabel geeft aan dat zo'n toevoeging voor een grotere vermindering in faalkans kan leiden. Wel moet hierbij gezegd worden dat de meeste keringen in kwestie in Limburg al reeds een tweede kering geplaatst hebben. *Case*-specifiek zal gekeken moeten worden of een tweede kering voordelig kan zijn.
- Het aanbrengen van een tweede (handmatige) aandrijvingsmechanisme voor de klep. Dit tweede systeem kan dienen als back-up wanneer het eerste systeem (namelijk de waterdruk) door een bepaalde calamiteit niet functioneert. Vaak is een extra mechanisme die de beheerder met de hand kan gebruiken al een grote verbetering om het falen door het niet functioneren van de aandrijving te minimaliseren.
- Het voorkomen van vervuiling en daarmee blokkades. Door een object voor de terugslagklep te plaatsen minimaliseert men hiermee de faalkans die gecreëerd wordt door obstakels (bijv. drijfhout). Een voorbeeld van zo'n verbetering is het aanbrengen van een krooshek om elke klep.
- Toegankelijkheid van de terugslagklep (en pompsysteem) voor de beheerder verbeteren. De faalkans van een terugslagklep kan verlaagd worden door de toegankelijkheid van het keermiddel vanaf de openbare weg te verbeteren. In geval van een calamiteit kan de beheerder dan makkelijker en sneller naar de kering in kwestie komen om het probleem op te lossen voordat een kritiek moment is bereikt.



Figuur 45 Toegankelijkheid
Aalsbeek

Organisatorische verbeteringsvlakken

De kans op het falen van de sluiting van keermiddelen (P_{ns}) kan procesmatig worden verkleind door:

- Het vaker testen en daarmee gebruiken van de huidige terugslagkleppen. Aan de werkwijze kan bijvoorbeeld toegevoegd worden dat elke maand een keer de kleppen handmatig gesloten worden door de beheerder. Door het testen krijgt de beheerder inzicht in de verschillende falingsverschijnselen, waardoor de kans niet merkbaar falen sterk wordt verminderd. Ook minimaliseert deze organisatorische verandering de kans op een fysieke blokkade van de klep door bijvoorbeeld rond drijvend puin of door slibophopingen.
- Er een beter protocol wordt opgesteld voor storingsregistratie. Op dit moment wordt niet bijgehouden waardoor een klep op een moment niet gewerkt heeft. Het is beter in een register bij te houden wanneer en hoe vaak een terugslagklep gefaald heeft te functioneren en hierbij te zetten waardoor dit kwam. Deze kennis kan dan weer gebruikt worden om frequent terugkomende kleine complicaties op te lossen.
- De terugslagkleppen zo instellen dat ze bij een relatief lage hoogte al dichtklappen (mits rekening houdend met de lokale vispopulaties). Dit zorgt ervoor dat wanneer er een complicatie optreedt er voldoende tijd is voordat de waterhoogte in het binnenland een kritieke hoogte bereikt.

Alternatieve oplossingen

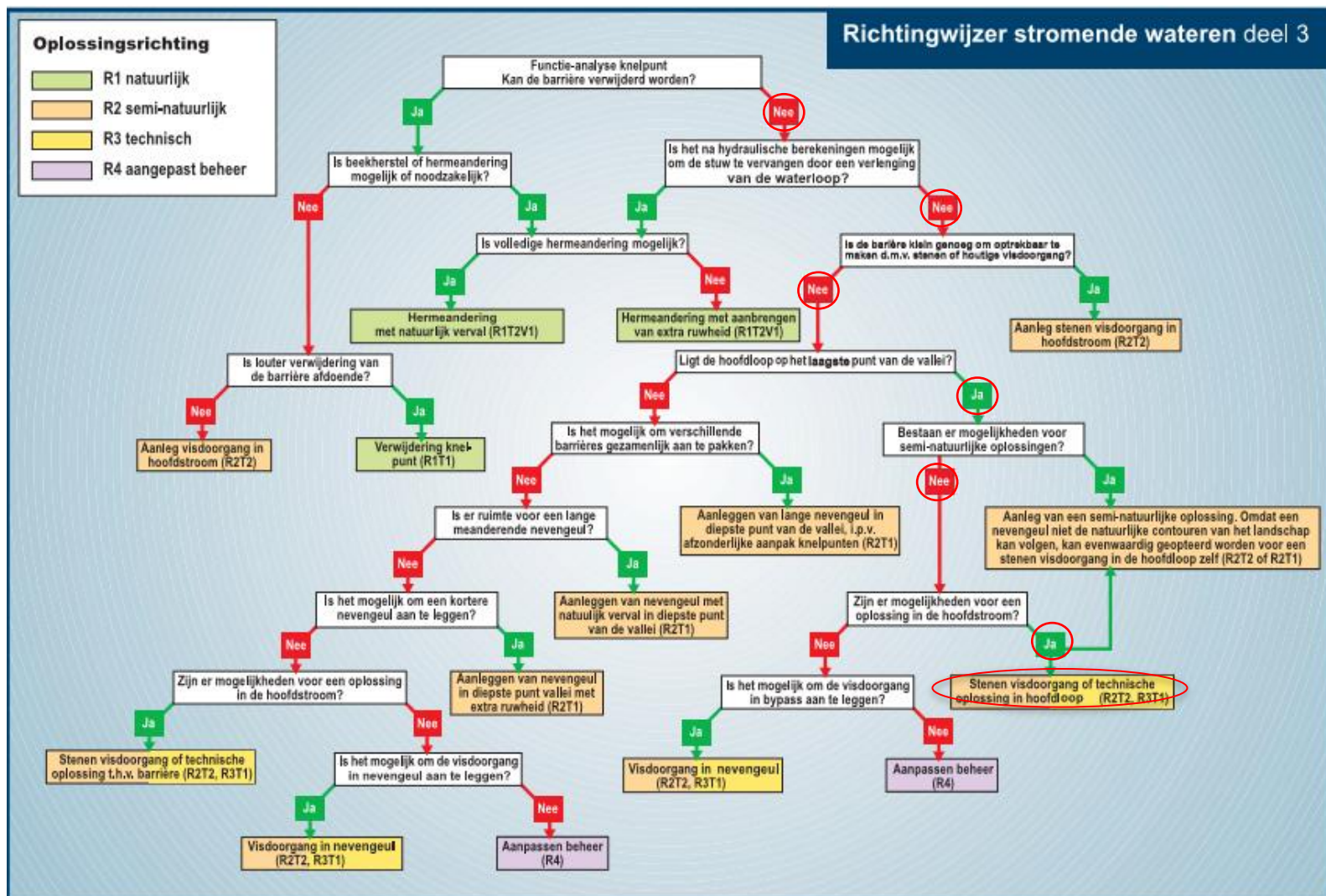
Naast het aanpassen en daarmee verbeteren van de terugslagkleppen zijn er ook andere oplossingen waarmee de faalkans of de ecologische impact significant verminderd kan worden. In deze paragraaf zullen drie van deze alternatieven besproken en uitgelegd worden.

- Het vergroten van het kombergende volume in het achterland. Zolang een willekeurig hoogwater niet leidt tot substantiële gevolgen in het achterland is een sluiting niet noodzakelijk. Er geldt immers dat hoe hoger de buitenwaterstand des te kleiner de kans (overschrijdingsfrequentie) van optreden van deze buitenwaterstand. Het vergroten van het kombergend vermogen kan bijvoorbeeld plaatsvinden door het verhogen van de maximaal toelaatbare waterstand van de achterliggende keringen. Aandachtspunt is dat de instroming van water zelf niet mag leiden tot erosie van de bodembescherming achter het kunstwerk. Opgemerkt wordt dat deze oplossingsrichting bijzonder kostbaar kan zijn en in veel gevallen niet de voorkeur heeft.
- Het verkleinen van de doorstroomopening. Indien het mogelijk is, dus vanuit de primaire functie leidt het niet tot bezwaren, is het verkleinen van de doorstroomopening wellicht een optie. Hierdoor is het instromende debiet bij een niet gesloten kunstwerk minder groot, waardoor uiteindelijk een hoger Open Keerpeil mogelijk is. Daarnaast is een kleinere opening in geval van nood eenvoudiger op alternatieve wijze (bv zandzakken) te dichten. Deze optie kan gebruikt worden bij met name duikerconstructies.
- Het gebruik van een vistrap bovenop de huidige terugslagkleppen zorgt voor een extra stroming waar de vissen gebruik van kunnen maken om te migreren. Als gevolg is het geen probleem meer wanneer de terugslagkleppen door een dichte klep geen migratie meer toe laten aangezien dit wordt opgevangen en gecompenseerd door de vistrap. Vistrappen bestaan er in tientallen ontwerpen, overeenkomend is dat ze naast of boven de klep een extra doorgang creëren waar de vissen doorheen kunnen zwemmen zonder hierbij de kans op overstroming te vergroten.



Figuur 46 Voorbeeld bijgevoegde vistrap

11.6 Visadvies richtingswijzer voor ecologische wateren



Figuur 47 Richtingswijzer waterkeringen bij ecologische doelstellingen ingevuld voor de Limburgse situatie

Boven is de richtingswijzer voor ecologische stromende wateren te zien, alsmede aanbevolen door het vismigratie handboek voor herstel in Vlaanderen en Nederland (Ministerie van Vlaamse gemeenschap, 2005). Echter richt deze wijzer zich met name op de mogelijkheden voor natuurlijke oplossingen. Bij dit onderzoek wel specifiek gevraagd voor een nieuw terugslagklep ontwerp om de ecologische doelstellingen te behalen. Hierdoor werd de genomen *weg* in de richtingswijzer (rode cirkels) niet een grote ondersteuning voor mijn onderzoek en heb ik deze informatie ook niet meer gebruikt in verdere delen van het onderzoek.

11.7 Multi criteria analyse – alle alternatieven

In deze bijlage zal gekeken worden naar de mogelijke oplossingen en zal, vanuit de voor- en nadelen die besproken zijn in de vorige bijlagen een score gegeven worden voor de verschillende criteria. Van de zes meest geschikte oplossingen is een selectie gemaakt en deze is besproken in hoofdstuk 6.

Tabel 11 MCA met alle mogelijke alternatieven

Oplossingsrichting	Faalkans vermindering	Minimalisering ecologische impact	Betrouwbaarheid	Robuustheid	Onderhoudsduur - en kosten	Investeringskosten	SCORE
Weging	0.3	0.3	0.25	0.05	0.05	0.05	1
Terugslagkleppen							
Basisontwerp	40	0	50	100	100	100	39.5
<i>Klep-deuren</i>	35	50	30	85	70	30	42
<i>Blokkeren klep</i>	25	70	20	60	80	50	43
<i>Lichtgewicht materiaal</i>	40	60	30	70	80	20	46
Tegengewichten	50	60	50	50	50	30	52
Drijver	50	70	60	80	40	30	58.5
Draaiend d.m.v. drijver	45	30	40	50	30	20	37.5
<i>Schuingeplaatst</i>	50	0	80	80	50	50	44
Kattenluik	50	80	50	100	25	35	57.5
Opdelen	40	80	40	90	30	20	53
Constante veer	45	100	60	80	30	30	65.5
Organisatorisch							
Tests twee keer per jaar	80	50	60	100	5	90	64.5
Storingsregistratie	70	50	65	100	15	90	63
<i>Terugslagkleppen instellen zodat ze eerder sluiten</i>	50	0	70	100	90	90	46.5
Directe omgeving							
Tweede waterkering	80	30	60	60	10	10	52
Tweede handmatige aandrijvingsmechanisme	80	50	60	60	40	40	61
Anti-blokkade object (e.g. krooshek)	60	-	60	50	40	30	56
Toegankelijkheid keringen	55	50	50	90	20	90	54

De schuingedrukte alternatieven in de bovenstaande zijn oplossingen die niet voldoen aan de randvoorwaarden. Of de ecologische impact van de kleppen wordt alleen maar verslechterd, of de maximum wettelijke faalkans kan onmogelijk gehaald worden door het alternatief. Gevolg hiervan is dat de alternatieven niet geschikt zijn om als voordelige oplossing te kunnen fungeren.

11.8 Faalkansbepaling per sluitvraag geselecteerde alternatieven

In dit hoofdstuk zal gekeken worden naar de faalkans van de geselecteerde alternatieven berekend met behulp van de scoretabellen. Per alternatief wordt gekeken naar de specifieke veranderingen die het alternatief veroorzaakt in de scoretabel en de daarbij behorende faalkans. De komende waardes moeten vergeleken worden met de faalkans in de huidige situatie van $2 * 10^{-1}$ per sluitvraag. Hierbij moet ook nagedacht worden dat er 0.5 sluitvragen per jaar zullen zijn. (eenmaal per 2 jaar komt het water boven OKP).

Toevoeging drijver

Kijkend naar de scoretabellen is het enige verschil met de huidige situatie het kunnen negeren van de faalmechanismen alarmering, mobilisatie en bediening, aangezien. In de berekening komt dit neer op het niet meer mee hoeven te nemen van de faalkansbijdrages van alarmering, mobilisatie en alarmering in de berekening. Hierdoor moet alleen nog gekeken worden naar het mechanisme technisch falen (die niet verandert). De faalkans van dit alternatief komt dan neer op:

Faalkans per sluitvraag: $1 * 10^{-1}$

Faalkans per jaar: $5 * 10^{-2}$

Toevoeging "kattenluikje"

Het plaatsen van dit alternatief brengt dezelfde veranderingen aan de scoretabel als de toevoeging van de drijver. Dezelfde faalkans komt hier dus ook uit:

Faalkans per sluitvraag: $1 * 10^{-1}$

Faalkans per jaar: $5 * 10^{-2}$

Toevoeging constante veer:

De toevoeging van de constante veer heeft als gevolg ook dat de menselijke delen niet meer hoeven worden meegenomen. Wel veroorzaakt het een grotere kans op niet merkbaar falen. Bij kolom F betekent dit dat de score van 1.5 naar 1.25 gaat. In de volledige berekening heeft deze score verandering echter geen effect en wordt deze gecompenseerd. Hierdoor komt het uiteindelijk op dezelfde faalkans per sluitvraag uit als de andere twee alternatieven.

f	Is er een risico van niet merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	Ja = 1,25 nee = 1,5
---	--	------------------------

Faalkans per sluitvraag: $1 * 10^{-1}$

Faalkans per jaar: $5 * 10^{-2}$

Tweemaal controle per jaar

Deze aanpassing in de protocollen zorgt voor een positieve verandering bij de kolom a2 bij het faalmechanisme technisch falen. Dit zorgt voor een directe score verbetering van 1.5, wat erg groot is.

a2	Wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minsten tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?	Ja = 1.5 nee = 0
----	--	---------------------

Faalkans verminderd sluitvraag: $\frac{\text{faalkans sluitvraag}}{31.6}$

10^{-score} geeft $10^{-1.5}=0.0316$

Registratie procedures

Bij deze aanpassing van de registratie protocollen van Waterschap Limburg wordt de waarde bij kolom a3 0.5 ten opzichte van de 0 die in de huidige situatie ervoor staat. Wat de faalkans direct verkleint.

a3	Worden de ervaringen van de controles, tests en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling en bedieningsprotocol of zonodig aan het sluitmiddel zelf?	Ja = 0.5 nee = 0
----	--	---------------------

Faalkans verminderd per jaar: $\frac{\text{faalkans per jaar}}{3.16}$

10^{-score} geeft $10^{-0.5}=0.316$

Handmatige sluiting

Het handmatig kunnen dichtschoeven van de kleppen zorgt voor een extra mogelijke aandrijving. Wat weer op de scoretabellen terugkomt in kolom b1 en zorgt voor een verbetering van de score met 1. Wat na het uitvoeren van de volledige berekening terugkomt als een vermindering van de faalkans met 10^{-1} .

b1	Is er een tweede aandrijfsysteem?	Ja = 1 nee = 0
----	-----------------------------------	-------------------

Faalkans verminderd per jaar: $\frac{\text{faalkans per jaar}}{10}$

11.9 Faalkansbepaling per sluitvraag gekozen alternatief (advies)

Technisch - pag. 15				
a1	Is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?	Ja = 0,5 nee = 0	ja	0,5
a2	Wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?	Ja = 1,5 nee = 0	ja	1,5
a3	Worden de ervaringen van de controles, tests en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling en bedieningsprotocol of zondig aan het sluitmiddel zelf?	Ja = 0,5 nee = 0	ja	0,5
c	Is het sluitmiddel op handkracht te sluiten?	Ja = 0,5 nee = 0	ja	0,5
b1	Is er een tweede aandrijfsysteem?	Ja = 1 nee = 0	ja	1
d	Aandrijving faalt (tussen score)	c+b1		
e	Is er een risico van merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	Ja = 1 nee = 1,5	nee	1,5
f	Is er een risico van niet merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	Ja = 1,25 nee = 1,5	nee	1,5
g	Is er een risico van betekenis op belemmering waardoor de sluiting faalt?	Ja = 0,5 nee = 1	ja	0,5
b2	Is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?	Ja = 0,5 nee = 0	ja	0,5
h	Falen tijdens sluiten: belemmering (tussenscore)	g+b2		
i	Keermiddel 1 faalt (tussenscore)	min(e,f,h)		
j	Sluiting keermiddel 1 faalt (tussenscore)	min(d,i)		
b3	Is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerste keermiddel niet gesloten kon worden? Indien ja: beantwoord de vragen k en l voor het tweede keermiddel	Ja = 0,75 nee = 0	ja	0,75
k	Is er een risico van falen van het keermiddel van betekenis?	Ja/nvt = 0 nee = 0,25	nee	0,25
l	Is dit tweede afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	Ja = 0,25 nee = 0	ja	0,25
m	Keermiddel 2 faalt (tussenscore)	min(b3+k,b3+l)		
E4	Kunstwerk niet sluiten door technisch falen en falen herstelacties	a1+a2+a3+j+m		5.5

Toelichting

Is ook al sprake van in de huidige situatie

Ja, na uitvoeren alternatief

Ja, na uitvoeren alternatief

Is ook al sprake van in de huidige situatie

Ja, na uitvoeren alternatief

Is ook al sprake van in de huidige situatie

Kleine verslechtering ten opzichte van de huidige situatie, wat neerkomt in deze eind situatie op een punt verlies van 1.25.

Drijfhout en andere belemmeringen hebben minder invloed door de grote kracht op de klep en de langere tijd waar de klep volledig open staat.

Is ook al sprake van in de huidige situatie

Zonder het behalen van deze punten kan niet worden voldaan aan de randvoorwaarde omtrent de faalkans. Berekening heeft aangetoond dat er dus een functionerende tweede kering moet komen

De faalkans wordt bepaald door 10-score te berekenen, en bij E4 wordt de score berekend met een waarde van 5.5

Figuur 48 Scoretabel technisch falen - Arcadis, Witteveen & Bos Bepaling faalkansbijdrage afsluiters en toekomstige ontwikkelingen

11.10 Overige resultaten & conclusies

In dit laatste hoofdstuk zullen de overige resultaten van het onderzoek besproken worden. Allereerst worden twee adviezen voor scenario's waar de criteria en doelstellingen anders zijn.

Advies: focus op kostenefficiënte milieuvriendelijkheid

Naast het gegeven advies is het misschien mogelijk dat er bij enkele relatief kleinere beken gezocht wordt naar een klep die volledig gefocust is op efficiënt de natuur ondersteunen, zonder hierbij de klep vast te zetten. Wanneer dit gewenst wordt kan juist gekeken worden naar het toevoegen van de "kattenluik" klep. Deze goedkope maatregel vergt alleen een kleine aanpassing aan de klep en als gevolg zullen alle vissoorten nagenoeg altijd door de klep kunnen migreren en zullen er geen negatieve gevolgen voor de lokale natuur zijn. Juist bij de kleinere beken, waar een kattenluik nodig is met een diameter kleiner dan 0.5 meter is dit erg kostenefficiënt.

Advies: focus op veiligheid

Wanneer de uitvoerbaarheid, benodigde kosten en ecologische impact niet de prioriteit hebben in een bepaald scenario kan gekeken worden naar deze combinatie oplossingen. Dit advies bestaat uit het terugslagklep ontwerp met de drijver, dit in combinatie met de drie genoemde overige oplossingen en verder nog de toevoeging van een tweede kering aan de binnendijkse kant van de kering. Dit vijftal aanpassingen levert de hoogst mogelijke veiligheid op afgaand op de criteria van de scoretabel. Wanneer in een bepaalde situatie de ecologische impact er helemaal niet toe doet wordt aanbevolen om hetzelfde vijftal aanpassingen te kiezen maar in plaats van de terugslagklep met de drijver wordt dan een schuinstaande terugslagklep (zie appendix 11.1) aanbevolen en wordt daarbij aangeraden om ook het afvoerlimiet waarbij de klep dichtgaat relatief laag te zetten.

Algemene basisregels omtrent terugslagkleppen

Vanuit het onderzoek zijn er een aantal algemene basisregels naar voren gekomen die voor alle mogelijke terugslagkleppen zullen gelden. Dit zijn algemene vuistregels die gebruikt kunnen worden voor een eerste oriëntatie wanneer in een project terugslagkleppen aan bod komen.

Basis ontwerp: veiligheid ten koste van natuur

Het goedkoopste en simpelste terugslagklep ontwerp, namelijk de *top-hinged* klep, is een erg degelijke waterkering gezien de faalkans. De problemen bij deze kleppen zijn over het algemeen (bij voldoende onderhoud en controles) niet gerelateerd aan de veiligheid maar juist gerelateerd aan de ecologische impact van de kleppen. De *top-hinged* klep creëert weinig doorstroom voor vissen wat migratie bemoeilijkt.

Veiligheidsnormen behalen d.m.v. een nieuwe klep

Wanneer er een lagere faalkans gewenst is bij binnenlandse waterkeringen kan er allereerst getracht worden verbeteringen door te voeren in de controle, calamiteitenregistratie en onderhoudsprotocollen. Vaak liggen bij die aspecten veel meer te winnen om de faalkans te verminderen dan bij het vervangen van de klep. Daarnaast kan daarna geprobeerd worden door middel van kleine aanpassingen (bijvoorbeeld het ook handmatig kunnen sluiten van de klep) de klep te verbeteren. Aanbevolen is om niet gelijk de gehele klep te vervangen wanneer gezocht wordt naar een kleine verbetering in de faalkans.

Specifieke focus bij klep-verbeteringen

Wanneer getracht wordt een zo veilige klep te krijgen met zo min mogelijke bijkomende kosten kan gekeken worden naar het gegeven advies hierboven onder het kopje *Focus op veiligheid*. Hetzelfde geldt wanneer gezocht wordt naar een kostenefficiënte oplossing om de ecologische impact te verminderen, hiervoor kan gekeken worden naar het advies onder het kopje *Focus op kostenefficiënte milieuvriendelijkheid*.

Complexiteit bij waterkering ontwerpen

Hoe complexer een klepontwerp in elkaar zit, wat inhoudt dat er meerdere mechanismen en systemen aan het werk zijn tijdens conventioneel gebruik, hoe groter de kans op falen wordt. Dit heeft te maken met de basis van risico analyses. Alles wat fout kan gaan, gaat ooit een keer fout. Ook vergroot de complexiteit de kans op niet-merkbaar falen, omdat bij teveel faalmechanismen de beheerder erg moeilijk alles voldoende kan controleren.

Beken met kleinere afmetingen

Wanneer er gewerkt wordt met een relatief kleine beek moet gekeken worden of de verbindende buis tussen de beek en de rivier een kleinere diameter heeft dan 50 cm. Wanneer dit het geval is kan de faalkans verwaarloost worden en kan dus volledig gefocust worden op het verbeteren van de ecologische gevolgen.

Foutieve faalkansgeneralisaties

In Waterschap Limburg (en mogelijk ook vele andere waterschappen) wordt veel gewerkt met een enkele waarde voor alle terugslagkleppen in de regio. Vanuit het oogpunt van efficiëntie en het minimaliseren van kosten is dit erg logisch. Echter moet hierbij wel gezegd worden dat vaak er verschillende omstandigheden heersen bij de verschillende kleppen en er ook nog vaak sprake is van een verschillend systeem. Bij Waterschap Limburg was er sprake dat er bij enkele kleppen een extra aandrijfmechanisme én kering aanwezig was, toch hadden ze dezelfde faalkans verkregen als alle andere conventionele kleppen in het systeem. Door dit na te rekenen bij alle terugslagkleppen in een bepaald dijktraject kan de faalkans per jaar voor het dijktraject mogelijk verlaagd worden (of juist verhoogd).