



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

RWS INFORMATIE -

Standaard faalkansen voor frequent sluitende keermiddelen

uitgave 2019

Datum	1 december 2019
Status	Definitief

Colofon

Uitgegeven door	RWS-WVL Waterkeringen
Uitgevoerd door	Alexander Bakker, Bob van Bree, Arnaud Casteleijn, Rob Delhez, Jeroen Overman en Nander van der Plicht
Datum	1 december 2019
Status	Definitief
Versienummer	1.0

Inhoud

1	Inleiding 7
1.1	Aanleiding 7
1.2	Probleemstelling 7
1.3	Doel en fasering van deze studie 8
1.3.1	Doel van deze studie 8
1.3.2	Fasering 8
1.4	Scope 9
1.5	Onderzoeksvragen 9
1.6	Bronnen/literatuur 10
1.7	Leeswijzer 10
2	Werkwijze afleiding standaard faalkans 11
2.1	Achtergrond afleiding standaard faalkansen per sluitvraag 11
2.2	Definitie van falen 12
2.3	Werkwijze data-acquisitie op hoofdlijnen 13
2.3.1	Beschrijving werkwijze 13
2.3.2	Aandachtspunten bij de data-inwinning 14
2.3.3	Mogelijke 'bijvangst' 14
3	Data-acquisitie 16
3.1	Geanalyseerde kunstwerken en selectie afsluiters 16
3.2	Aantal sluitvragen en gefaalde sluitingen uit data-analyse 16
3.2.1	Type data 16
3.2.2	Data-analyse 16
3.3	Aantal sluitvragen en gefaalde sluitingen uit interviews objectbeheerders 19
3.3.1	Werkwijze 19
3.3.2	Ervaringen van de beheerders 19
4	Afleiden standaard faalkans 22
4.1	Algemeen 22
4.2	Schatting van het aantal sluitvragen n_{tot} 22
4.3	Schatting aantal gefaalde sluitingen n_{faal} 24
4.4	Schatten van faalkansen rekening houdend met statistische onzekerheid 25
5	Discussie 27
5.1	Kanttekeningen 27
5.2	Beantwoording onderzoeksvragen 27
5.3	Aanbevelingen voor het beheer en bediening van keermiddelen 28
Bijlage A Voorbeeld ingevulde vragenlijst interview beheerder – gemaal Kostverlorenzijl 29	
Bijlage B Samenvatting resultaten interviews 30	
Bijlage C Selectie afsluiters wel en niet in analyse 31	
Bijlage D Schatten statistische onzekerheid faalkans 32	

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Als gevolg van de nieuwe waterveiligheidsnormen uit 2017 is voor de meeste kunstwerken de faalkanseis voor *betrouwbaarheid sluiting* strenger geworden, waardoor het moeilijker wordt om aan te tonen dat aan de waterveiligheidseis wordt voldaan. Een conservatieve benadering van faalkansen zoals beschreven in de Leidraad Kunstwerken 2003 leidt hierdoor sneller dan bij de 'oude' normering tot onnodige versterkingen en daarmee onnodige kosten. Dit is uiteraard onwenselijk.

Voor hoogwaterkerende keermiddelen die alleen bij een hoogwater worden gesloten is middels de methode op basis van scoretabellen een eenvoudige methode beschikbaar om de faalkans per sluiting te bepalen. Deze methode is medio 2017 geüpdatet en beschreven in de "Werkwijze bepalen kans op niet sluiten per sluitvraag met scoretabellen" en de daarbij behorende "Handreiking borging *betrouwbaarheid sluiting* in draaiboeken".

Voor keermiddelen die ook buiten de hoogwater kerende functie regelmatig bediend worden (zoals terugslagkleppen, automatische schuifafsluiters en sluisdeuren, vanaf hier frequent sluitende keermiddelen genoemd¹) is echter nog geen methode aanwezig om de faalkans per sluitvraag te bepalen. In de huidige situatie wordt gebruik gemaakt van de standaard faalkansen zoals die zijn verwoord in de tabellen B3.7 t/m B3.12 van de Leidraad Kunstwerken 2003. Inmiddels is bekend dat de faalkansen in deze tabellen grotendeels zijn achterhaald of niet passen bij de keermiddelen die in waterkerende kunstwerken worden gebruikt.

Daarom is het noodzakelijk om deze standaard faalkansen voor frequent sluitende keermiddelen te updaten en indien mogelijk aan te scherpen. Een dergelijke lijst met standaard faalkansen kan worden gebruikt bij de toetsing en wellicht ook bij het ontwerp van kunstwerken in waterkeringen om de faalkans met betrekking tot *betrouwbaarheid sluiting* te onderbouwen.

1.2 Probleemstelling

Voor frequent sluitende keermiddelen zoals terugslagkleppen, automatische schuifafsluiters en sluisdeuren wordt momenteel gebruik gemaakt van standaard faalkansen uit de Leidraad Kunstwerken 2003 of VNK2 om de faalkans per sluitvraag te bepalen. Deze zijn (mogelijk te) conservatief en niet volledig representatief voor sommige keermiddelen. Dit leidt er mogelijk toe dat:

- Als er wordt gerekend met deze faalkansen (veel) kunstwerken onterecht worden afgekeurd, dan wel onnodig zwaar worden ontworpen.
- Er voor veel kunstwerken gedetailleerde faalkansanalyses moeten worden opgesteld om aan te tonen dat aan de faalkanseis wordt voldaan. Deze faalkansanalyses worden onderbouwd met onnauwkeurige data (niet of nauwelijks onderbouwd voor de situatie die wordt beschouwd) die wel de indruk wekken de werkelijkheid te representeren. Dergelijke faalkansanalyses leiden met de beschikbare data ook snel tot conservatieve waarden voor de faalkansen, zodat wederom het risico van onterechte afkeur dan wel onnodig zware ontwerpen op de loer ligt.

¹ In deze studie is een minimaal aantal sluitvragen van 10 per jaar aangehouden om nog onder de definitie 'frequent sluitend' te vallen

- Inschattingen van faalkansen willekeurig plaats vinden. Hierdoor ontbreekt het aan eenduidigheid binnen beoordelingen en ontwerpen.

Binnen het project 'Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken' is reeds een poging ondernomen om te komen tot een lijst met standaard faalkansen voor frequent sluitende keermiddelen. Het uitgangspunt hierbij was het afleiden van theoretische waarden op basis van de niet-beschikbaarheidsmethode. Deze methode heeft echter om verschillende redenen niet geleid tot realistische faalkansen². Daarom is deze studie opgestart.

1.3 Doel en fasering van deze studie

1.3.1 Doel van deze studie

Doel van deze studie is om te bepalen of het op basis van praktijkdata mogelijk is om een lijst met standaard faalkansen voor frequent sluitende keermiddelen te ontwikkelen. Deze faalkansen moeten specifiek toegepast kunnen worden op keermiddelen in waterkerende kunstwerken. De faalkansen dienen sowieso voor beoordelen veilig te kunnen worden gehanteerd. Of de faalkansen ook in het geval van ontwerpen (wellicht onder bepaalde voorwaarden) kunnen worden toegepast moet nader worden beschouwd.

1.3.2 Fasering

Het onderzoek wordt uitgevoerd in twee fasen. Fase 1 betreft voorliggend onderzoek en is in 2018 uitgevoerd. Fase 2 betreft eventueel vervolgonderzoek dat mogelijk later wordt uitgevoerd.

In fase 1 (2018) worden de volgende stappen gezet:

1. Schatten van een standaard faalkans per vraag van een beperkt aantal typen frequent sluitende keermiddelen op basis van een beperkte studie bij één waterkeringbeheerder: waterschap Drents Overijsselse Delta.
2. Beoordelen van de kwaliteit van de gebruikte methode en de haalbaarheid om dit zelfde te doen voor andere typen keermiddelen en bij meer beheerders.

Op basis van de resultaten die in fase 1 geboekt zijn en een evaluatie van de gebruikte werkmethode wordt besloten of in fase 2 voor meer typen keermiddelen een standaard faalkans wordt bepaald en of bij meer beheerders data hiertoe wordt opgehaald. Omdat er in fase 1 alleen een voorzichtige verkenning is gedaan met een beperkte inspanning, is het verstandig om fase 2 ook in twee delen te splitsen. In stap 4 wordt een iets grotere stap gemaakt en nog niet direct het hele areaal in Nederland onderzocht. In stap 5 zou het nog breder getrokken kunnen worden.

² Bij het afleiden van theoretische waarden op basis van de niet-beschikbaarheidsmethode worden aan de hand van faalfrequenties van onderdelen zoals elektromotor, overbrenging, cilinders et cetera faalkansen voor verschillende configuraties van keermiddelen afgeleid. Hiervoor zijn foutenbomen opgesteld voor verschillende typen keermiddelen. Om faalkansen van de diverse componenten te bepalen was het idee om gebruik te maken van de lijst met (conservatieve) faalfrequenties zoals die door RWS wordt afgegeven richting marktpartijen om bij een ontwerp aan te kunnen tonen dat de oplossing, die door een marktpartij wordt aangedragen, ook voldoet aan de gestelde eisen.

Voor een deel van de foutenbomen bleek er simpelweg geen data voor faalfrequenties aanwezig of bleek de onderbouwing niet of nauwelijks aanwezig. De theorie van niet-beschikbaarheid bleek voor de functie hoogwater keren ook lastig toe te passen op frequent sluitende keermiddelen. De op deze theoretische manier bepaalde faalkansen leidden tot zeer conservatieve waarden die naar de mening van de opstellers onvoldoende aansloten bij de realiteit. Dit laatste is eenvoudig in te zien omdat er dagelijks in Nederland vele sluitingen plaatsvinden van keermiddelen en er weinig incidenten bekend zijn bij deze sluitingen. Wanneer gebruik wordt gemaakt van de niet-beschikbaarheidsmethode werden dusdanig grote kansen op niet sluiten gevonden dat die duidelijk niet in overeenstemming zijn met deze aangegeven praktijk.

Fase 2 ziet er hiermee als volgt uit:

3. Bepalen benodigd budget en Go/No Go besluit om verder te gaan met deze studie
4. Uitbreiding stap 2 met enkele beheerders en 1 of 2 typen keermiddelen
5. Toepassen methode op (nagenoeg) alle typen frequent sluitende keringen en bij veel beheerders

1.4 Scope

In 2018 worden de volgende veel voorkomende typen frequent sluitende keermiddelen beschouwd:

- Terugslagkleppen
- Schuiven

Keermiddelen in zowel primaire als regionale keringen vallen onder de scope van het onderzoek.

In een eventueel vervolgonderzoek kan dit onderzoek verbreed worden naar andere typen keermiddelen. Denk hierbij aan andere kleptypen (bijvoorbeeld vlinder- en tolkleppen) en diverse deurtypen (bijvoorbeeld punt-, draai-, rol-, hef en wakerdeuren). Tevens worden meer beheerders bevraagd. Dit rapport beschrijft alleen fase 1 van het onderzoek.

Omdat de faalkansen van verschillende objecten vergelijkbaar dienen te zijn, worden faalgebeurtenissen als gevolg van achterstallig onderhoud buiten beschouwing gelaten. Dit impliceert dus dat de faalkansen die worden afgeleid behoren bij een goed onderhouden object. Ook faalgebeurtenissen die te maken hebben met locatiespecifieke omstandigheden (bijvoorbeeld een falende sluiting door een losgeraakt windmolenwiek) worden om deze reden niet meegenomen in de statistiek.

1.5 Onderzoeksvragen

In fase 1 van deze studie worden de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

Faalkansen

- Welke faalkans per sluitvraag kan bij de wettelijke beoordeling van waterkerende kunstwerken worden gehanteerd voor terugslagkleppen en schuiven?
- Zijn er deelverzamelingen te onderkennen in de verzamelde data (bijvoorbeeld aparte faalkansen voor grote en kleine terugslagkleppen)?
- Onder welke voorwaarden kunnen deze faalkansen in een ontwerpsituatie worden toegepast?

Methode

- Is de gebruikte methode uit fase 1 geschikt om faalkansen te bepalen voor andere typen keermiddelen?
- Welke aanpassingen/verbeteringen van de methode zijn noodzakelijk / wenselijk?

1.6 Bronnen/literatuur

1. Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken, Rijkswaterstaat, groene versie, november 2018
2. Werkwijze bepalen kans op niet sluiten per sluitvraag met scoretabellen, Rijkswaterstaat, 1 november 2017
3. Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken, Rijkswaterstaat, 1 november 2017
4. Leidraad Kunstwerken, TAW, mei 2003

1.7 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de binnen dit onderzoek gevolgde werkwijze beschreven. De gegevens die door data-analyse en interviews zijn verkregen, zijn in hoofdstuk 3 gepresenteerd en in hoofdstuk 4 statistisch en analytisch bewerkt. In hoofdstuk 4 wordt door deze bewerking een standaard faalkans gepresenteerd voor zowel een frequent sluitende terugslagklep als een frequent sluitende schuif. In hoofdstuk 5 worden de onderzoeksvragen beantwoord en worden aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.

2 Werkwijze afleiding standaard faalkansen

2.1 Achtergrond afleiding standaard faalkansen per sluitvraag

De meest zuivere schatter voor de faalkans per sluitvraag P_{ns} wordt in principe verkregen door het aantal *gefaalde* sluitingen n_{faal} te delen door het *totaal* aantal sluitvragen n_{tot} .

$$P_{ns} = \frac{n_{faal}}{n_{tot}}$$

Hoe kleiner de werkelijke faalkans, hoe meer betrouwbare data nodig zijn om een nauwkeurige schatting te maken³. Voor kunstwerken met frequent sluitende keermiddelen is het aantal geregistreerde sluitvragen doorgaans te klein om een nauwkeurige schatting te maken van de naar verwachting zeer kleine faalkansen (veelal zijn er dan ook geen gefaalde sluitingen bekend).

Om toch voldoende sluitvragen (inclusief gefaalde sluitingen) te verkrijgen, worden zoveel mogelijk *relevante* sluitvragen van alle beschikbare keermiddelen samen genomen voor de analyse. Onder de *relevante* sluitvragen van een afsluiter⁴ k verstaan we alle sluitvragen die vallen in de *relevante* periode van de desbetreffende afsluiter, waarvoor geldt:

- dat het keermiddel binnen deze periode frequent werd gesloten
- én dat voor deze periode een betrouwbare schatting van het totaal aantal sluitvragen en het aantal gefaalde sluitingengemaakt kan worden.

Voor elke afsluiter moet de *relevante* periode dus apart vastgesteld worden.

Het totale aantal relevante sluitvragen en het gefaalde aantal relevante sluitingen van alle beschikbare keermiddelen wordt vervolgens bepaald door de som van de individuele aantallen te nemen.

$$n_{faal} = \sum_{k=1}^{\text{aantal keermiddelen}} n_{faal, \text{keermiddel } k}$$
$$n_{tot} = \sum_{k=1}^{\text{aantal keermiddelen}} n_{tot, \text{keermiddel } k}$$

De ruwe data wordt uiteindelijk dus geaggregeerd tot een database die min of meer de volgende hoofdstructuur heeft:

³ Als vuistregel wordt soms gehanteerd dat er minimaal 3x meer gegevens nodig zijn dan 1/faalkans. Dus om enigszins betrouwbaar aan te kunnen tonen dat de faalkans van een afsluiter kleiner is dan 1:10, zouden er in ieder geval $3 \cdot (1/0,1) = 30$ sluitvragen nodig zijn.

⁴ In sommige gevallen wordt het aantal sluitvragen bepaald voor een setje gelijke afsluiters bij hetzelfde kunstwerk

Tabel 1 Overzichtstabel voor terugslagklep (voorbeeld)

Kunstwerk	Aantal sluitvragen in periode	Aantal relevante sluitvragen in periode	Aantal gefaalde sluitingen	Aantal relevante gefaalde sluitingen
Gemaal ...	15.000	7.500	1	1
...	...	...	...	...
Uitwateringssluiss ...	12.000	12.000	2	1
...	...	...	...	...
Totaal	...	...	...	...

Op deze data moet vervolgens statistiek worden bedreven. Gegeven een x aantal sluitvragen met een vaste faalkans, is het aantal gefaalde sluitingen binomiaal verdeeld. Op basis van het 'werkelijke' aantal gefaalde sluitingen is het dan eenvoudig om het confidentie-interval van de faalkans per vraag te bepalen. Hier wordt in hoofdstuk 4 nader op ingegaan.

2.2

Definitie van falen

Per faalgebeurtenis moet worden ingeschat of deze heeft geleid of had kunnen leiden tot het falen van de waterkering als geheel. Zo zal een terugslagklep die niet helemaal sluit vanwege prikkeldraad om de klep niet leiden tot een faalgebeurtenis in de zin van de Waterwet (overstroming met significante schade en/of mogelijke slachtoffers tot gevolg). Om het aantal gefaalde sluitingen te bepalen is het dus essentieel om een heldere definitie te hanteren wanneer een sluiting als gefaald wordt beschouwd. In het licht van de overstromingskansbenadering wordt in deze studie onder falen van het sluiten van een keermiddel verstaan:

Het zodanig niet sluiten van een keermiddel dat als gevolg hiervan substantiële schade en/of slachtoffers benedenstrooms van het kunstwerk ontstaat door het instromen van water.

Door het open blijven staan van een keermiddel kan door het instromen van water de achterliggende bodemverdediging falen, waardoor of bresvorming kan ontstaan en/of er substantiële gevolgen in het achterland optreden doordat de komberging wordt overschreden.

Dat leidt er bijvoorbeeld toe dat voor een terugslagklep bij een gemaal het afbreken van de scharnieren wel tot een daadwerkelijke faalsituatie leidt en het op een kier open blijven staan niet. De vraag is dan hoe groot de opening mag zijn om nog van een kier te spreken. In deze studie is gekozen voor onderstaande invulling:

In deze studie beschouwen we een sluiting als gefaald, wanneer na sluiten minder dan 90% van de opening afgesloten is.

Daarnaast is het van belang om helder te hebben vanaf welk moment een sluiting als gefaald wordt aangemerkt. In deze studie zijn sluitingen als gefaald beschouwd zodra deze niet op afstand door bijvoorbeeld een eenvoudige reset van het systeem verholpen kunnen worden, maar waarvoor een fysieke ingreep of handeling ter plaatse noodzakelijk is.

De kans op herstel na het initieel falen van het keermiddel – dus de kans dat herstel ter plaatse van de gefaalde sluiting lukt – is niet meegenomen binnen de te bepalen standaard faalkans. De kans op herstel is te bepalen op basis van de redeneerlijn beschreven in paragraaf 4.3.2.2 van de Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken [1].

Faalsituaties die bij het openen van een keermiddel optreden zijn in principe om de volgende redenen niet meegenomen:

- Openen levert een veel grotere belasting van de componenten van de aandrijving van een keermiddel op dan sluiten omdat openen tegen de zwaartekracht in gebeurt en sluiten met de zwaartekracht mee..
- Een falende opening betekent dat het kunstwerk doorgaans nog steeds geheel of nagenoeg geheel gesloten staat. Er is vanuit de waterkerende functie dus geen sprake van falen.
- Bij een deels geopend keermiddel moet bedacht worden dat openen van een keermiddel gebeurt onder gecontroleerde situatie en niet bij hoogwater. Er is daarom tijd beschikbaar om het keermiddel weer tijdig te sluiten. Hierdoor is de kans dat indien een keermiddel faalt bij openen grote hoeveelheden water instromen wat leidt tot een overstrooming erg klein.

Alleen als een gefaalde opening heeft geleid tot een opening van meer dan 10% van de doorstroomopening EN het betrof een calamiteit die niet binnen korte tijd (al dan niet provisorisch) hersteld kon worden is deze ook meegenomen als gefaalde sluiting.

In paragraaf 1.4 is gesteld dat, omwille van de vergelijkbaarheid van de faalkansen van verschillende objecten, faalgebeurtenissen als gevolg van achterstallig onderhoud en faalgebeurtenissen die te maken hebben met locatiespecifieke omstandigheden⁵ in principe buiten beschouwing worden gelaten. Opgemerkt wordt dat dit in deze studie niet heeft geleid tot het buiten beschouwing laten van faalgebeurtenissen.

2.3 Werkwijze data-acquisitie op hoofdlijnen

2.3.1 Beschrijving werkwijze

Uit eerdere pogingen om te komen tot faalkansen voor frequent sluitende keermiddelen (zie paragraaf 1.2) is duidelijk geworden dat het ontbreekt aan onderliggende data over daadwerkelijke incidenten bij sluitingen van keermiddelen. Dit leidt ertoe dat er bij elke theoretische afleiding altijd conservatieve waarden worden gepresenteerd, om onderschatting van de faalkansen te voorkomen.

Daarom focust dit onderzoek zich op het werkelijke functioneren van keermiddelen in de praktijk. Om dit praktijkgedrag te achterhalen wordt bij een beperkt aantal objectbeheerders specifiek navraag gedaan over het functioneren van de keermiddelen in hun kunstwerken. Dit betreft vragen over opgetreden storingen of anderzijds disfunctioneren van keermiddelen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt naar verschillende typen keermiddelen en kunstwerken. Alle kunstwerken die worden afgesloten met een terugslagklep of schuif worden geanalyseerd. Bij het waterschap Drents Overijsselse Delta zijn dit:

- In- en uitlaatgemalen
- In- en uitlaatduikers

⁵ bijvoorbeeld een falende sluiting door een losgeraakt windmolenwiek

De overige typen keermiddelen zoals vlinderkleppen, bolkeerkleppen, wachtdeuren, sluisdeuren, et cetera, zijn (nu nog) geen onderdeel van dit onderzoek.

Op twee verschillende wijzen wordt geprobeerd faaldata (met name faalfrequenties en bijbehorende oorzaken) te verkrijgen via de beheerder:

1. Via mogelijk aanwezige databases op niveau beleidsadviseur
Verwacht wordt dat er slechts weinig beheerders zijn met een systeem waarin faalgebeurtenissen adequaat en eenduidig zijn vastgelegd. Daarom wordt vooralsnog gefocust op gegevens die uit telemetrie-systemen gehaald kunnen worden.
2. Via expert-judgement van objectbeheerders
Het idee is dat een objectbeheerder vrij goed weet hoeveel gefaalde sluitingen er zijn geweest in een bepaalde periode en wat de oorzaak van de falende sluiting was. Wanneer het aantal sluitingen bekend is, kan de faalkans per sluitvraag worden bepaald.

In hoofdstuk 3 wordt op beide sporen nader ingegaan.

2.3.2 *Aandachtspunten bij de data-inwinning*

Bewust wordt gestart met een beperkt aantal objectbeheerders en typen keermiddel, omdat eerst gekeken moet worden of een dergelijk onderzoek voldoende oplevert om het doel te realiseren: het inwinnen van data uit de praktijk om gefundeerd standaard faalkansen voor frequent gebruikte keermiddelen af te kunnen leiden. Er zijn bij een dergelijk onderzoek namelijk wel een aantal aandachtspunten:

- Mislukte sluitingen kunnen worden verzwegen omdat dit toch als een soort van falen wordt gevoeld door beheerders.
- Omdat mislukte sluitingen zelden worden gerapporteerd komt het voornamelijk aan op het geheugen van mensen.
- Niet altijd wordt een mislukte sluiting opgemerkt. Bijvoorbeeld bij een terugslagklep van een gemaal waar iets tussen zit, kan bij de volgende maalperiode dit obstakel eruit worden geduwd door de waterstroom en kan het dus gebeuren dat een mislukte sluiting geheel niet opgemerkt wordt.
- Een initieel mislukte sluiting kan zijn hersteld binnen toelaatbare tijd, waardoor de mislukte sluiting niet wordt gerapporteerd.
- Bij het bepalen van de faalfrequentie is het van belang dat iedereen dezelfde faaldefinitie hanteert, waarbij de afsluiter als gefaald beschouwd mag worden.

Bovenstaande aandachtspunten spelen met name bij de verwerving van de data via expert judgement van objectbeheerders een rol en hebben nadrukkelijk de aandacht gehad van de interviewers. Helaas is er geen 'standaardrecept' dat de betrouwbaarheid van de data kan borgen. Daarom is extra aandacht besteed aan de data-inzameling en is alleen die data gebruikt waar de auteurs vertrouwen in hebben. Dit maakt dat de auteurs ondanks bovenstaande punten veel vertrouwen hebben in de uitkomsten van dit onderzoek.

2.3.3 *Mogelijke 'bijvangst'*

Het onderzoek kan ook op andere vlakken veel winst opleveren. Niet alleen kan er een basis ontstaan waarmee goede inschattingen voor faalkansen voor sluiten kunnen worden gevonden, maar ook kan het ervoor zorgen dat beheerders zich bewuster wordt van het belang van het registreren van ervaringen (en dus ook mislukte sluitingen). Dit kan uiteindelijk leiden tot betere en wellicht specifiekere

inschattingen van faalkansen. Daarnaast levert het onderzoek wellicht ook meer inzicht op in de hoofdoorzaken van falen, wat weer tot verbeteringen in het ontwerp van keermiddelen en/of kunstwerken kan leiden.

3 Data-acquisitie

3.1 Geanalyseerde kunstwerken en selectie afsluiters

Voor deze studie zijn er 76 kunstwerken in het beheersgebied van Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD) geanalyseerd, waarvan voor 66 (bruikbare) interviews zijn afgenomen met in totaal 57 terugslagkleppen en 47 schuiven.

Hiervan is een aantal om uiteenlopende redenen niet meegenomen:

- Falen is niet eenduidig detecteerbaar
- Aantal jaren ervaring beheerder met kunstwerk onbekend
- Geen schatting mogelijk van aantal sluitvragen per jaar
- Onduidelijk of afsluiter gekoppeld is aan maalgedrag
- Te weinig sluitvragen per jaar (<10)
- (semi-)continue gebruik afsluiter

Na wegstrepen van deze afsluiters blijven er 44 terugslagkleppen en 18 schuiven over voor de analyse.

Type	Aantal	Meegenomen in analyse
Terugslagklep	57	44
Schuif	47	18

3.2 Aantal sluitvragen en gefaalde sluitingen uit data-analyse

3.2.1 Type data

In dit spoor wordt verkend op welke wijze data aangaande sluitvragen en gefaalde sluitingen uit bestaande databases kan worden verkregen.

Omdat bij het waterschap Drents Overijsselse Delta geen assetmanagement systeem aanwezig is waarin storingen die zich op de objecten in het systeem hebben voorgedaan adequaat en eenduidig zijn vastgelegd⁶, is in dit onderzoek gefocust op data die uit telemetriegegevens afgeleid kan worden. Deze systemen zijn bij iedere beheerder geïmplementeerd en dus veel breder beschikbaar.

Waterschap Drents Overijsselse Delta registreert bij de meeste van haar kunstwerken de in- en uitschakelmomenten van de pompen (bij een gemaal) en het peil in de boven- en benedenstroomse watergang. Voor elk van deze momenten is ook het tijdstip beschikbaar. Deze data is samengebracht in het beheerssysteem van waterschap Drents Overijsselse Delta; 'Wiski'. Van een beperkt aantal kunstwerken is ook een standmelding van één of meerdere keermiddelen beschikbaar.

3.2.2 Data-analyse

Om de kansrijkheid van dit spoor te verkennen is van het waterschap Drents Overijsselse Delta (WDODelta) het telemetriesysteem geanalyseerd op de

⁶ Naar verwachting geldt dit voor het merendeel van de waterschappen

bruikbaarheid voor het afleiden van standaard faalkansen. Hierbij zijn de volgende punten geanalyseerd:

1. Het totale aantal sluitingen

De data van de standmeldingen bij kunstwerken waar een standmelding beschikbaar was binnen Wiski heeft geen koppeling met het pompbedrijf. Hierdoor is niet uit de data te concluderen of een keermiddel open stond op het moment dat het keermiddel eigenlijk dicht had moeten staan. De data van de standmeldingen is daarom niet meegenomen bij het bepalen van het aantal sluitingen per kunstwerk.

Het aantal sluitingen is bij gemalen rechtstreeks uit de data van het aan- en uitslaan van de pompen gehaald. De gedachte hierachter is dat na het uitslaan van de pompen de keermiddelen automatisch sluiten als deze aan het pompbedrijf gekoppeld zijn. Terugslagkleppen sluiten onder vrij verval doordat de waterstroom stopt die de klep open drukt als het gemaal uit- of inmaalt. Schuiven worden met een hydraulische cilinder dichtgedrukt of met spindel met auma dichtgedraaid als het pompbedrijf stopt.

Bij inlaat- en uitwateringssluizen worden de keermiddelen door de beheerder doorgaans handmatig open- en dichtgezet. In de Wiski-database is daardoor voor deze kunstwerken geen data voorhanden. Het aantal sluitvragen kan dan alleen op basis van een inschatting van de beheerder worden bepaald.

2. Het aantal falende sluitingen

De verwachting binnen het onderzoek was dat het aantal falende sluitingen te bepalen is uit:

- a. Snelle stijging waterstand benedenstrooms van kunstwerk
- b. Snelle wisseling tussen in- en uitschakelen van de pomp

Het open blijven staan van een keermiddel zou tot een snelle stijging van het binnenpeil kunnen leiden. Hierdoor zou de pomp een signaal krijgen om het overtollige water weg te pompen. Als het keermiddel open blijft staan na bereiken van het maalpeil en uitschakelen van de pomp, stijgt het binnenpeil weer snel. Naast meting van de stijgsnelheid van het binnenpeil zou daarom het frequent in- en uitschakelen van de pomp een indicatie kunnen zijn voor een gefaald keermiddel.

Na analyse van de data en analyse van de mogelijke oorzaken van een snelle stijging van het binnenpeil of snelle wisselingen van het in- en uitschakelen van de pomp moest de conclusie getrokken worden dat er meer oorzaken mogelijk zijn voor uitschieters in de data. Een snelle stijging van het binnenpeil kan bijvoorbeeld door het vollopen van de maalkom of door bijvoorbeeld windopzet komen. Snelle wisselingen tussen in- en uitschakelen van de pomp kunnen ook komen door kleine storingen in het energienet. Dit laatste werd ook door de objectbeheerders van WDO Delta specifiek benoemd.

Conclusie: uit data is zonder de melding of een schuif open of gesloten is geen conclusie te trekken of gesignaleerde uitschieters daadwerkelijk een faalsituatie van de keermiddelen betreffen.

Op basis van *alleen* telemetrie-data is het niet gelukt om een standaard faalkans af te leiden. Het resultaat van het spoor data-analyse is daarmee onderstaande lijst

met sluitfrequenties per kunstwerk, per keermiddel. Voor het aantal faalsituaties is daarom het geheugen van de objectbeheerders essentieel (zie paragraaf 3.3).

Op basis van de geregistreerde momenten van aan en uitslaan van de pompen zijn de sluitvragen per kunstwerk bepaald. Deze zijn samengevat in onderstaande tabel. Hierbij wordt opgemerkt dat het aantal sluitvragen bij een configuratie bestaande uit een terugslagklep en een schuif niet per se voor de schuif hoeft te gelden. Dit is alleen het geval als de schuif gekoppeld is aan het pompbedrijf.

Tabel 2 Resultaten uit analyse van Wiski-data

Kunstwerk	Type frequent sluitend keermiddel	Aantal sluitvragen	Aantal jaren data
Gemaal Vocaleum	Schuif	2.198	8
Gemaal Lierder- en Molenbroek	Terugslagklep en schuif	9.125	8
Gemaal Bremmelerstraat klein	Terugslagklep en schuif	11.931	8
Gemaal Bremmelerstraat groot	Terugslagklep en schuif	6.884	8
Gemaal Markvoort	Terugslagklep en schuif	9.685	7
Gemaal Sekdoorn	Terugslagklep en vlinderklep	5.500	7
Gemaal Langeslag klein	Terugslagklep en schuif	784	7
Gemaal Langeslag groot	Terugslagklep en schuif	221	7
Gemaal Katerveer	Terugslagklep en schuif	1.481	8
Gemaal Nieuwe Lutterzijl/Koekkoek	Terugslagklep	5.566	7
Gemaal Cellemuiden	Terugslagklep	3.223	7
Gemaal Zuiderzeepolder	Terugslagklep	3.753	7
Gemaal Biesvelden	Terugslagklep	25.925	7
Gemaal De Pieper	Terugslagklep	7.623	7
Gemaal Benoorden de Willemsvaart	Terugslagklep	13.618	7
Gemaal Kostverlorenzijl	Terugslagklep en schuif	6.465	6
Gemaal Spoortippe	Terugslagklep en schuif	10.408	7
Gemaal Vilsteren	Terugslagklep	5.873	5
Gemaal Rechteren	Terugslagklep	485	7
Gemaal Den Berg	Schuif	28.891	8
G1 Linterzijl	Onbekend	9.315	8
Gemaal Westerveld	Terugslagklep	7.993	8
Gemaal Vechterweerd	2xSchuif	459	8
Gemaal Marswetering	2xSchuif	13.830	8
Gemaal Galgenrak	2x terugslagklep	82	8
Gemaal De Doorn	Terugslagklep	17.881	8
Gemaal Streukelerzijl	2x terugslagklep	109	7
Gemaal De Stouwe	Schuif	30.274	6
Gemaal t Vosje	Terugslagklep	2.754	7
Gemaal t Katje	Schuif	4.259	7
Gemaal Mandjeswaard '92/'93	Terugslagklep	15.399	7
Gemaal Adsum '69	2x Terugslagklep	9.323	8
Gemaal Rechterveld	Terugslagklep	31.568	7
Gemaal t Zwaantje	Terugslagklep	17.831	7
Gemaal t Raasje	Terugslagklep en schuif	2.818	7
Pontongemaal Zandwetering	Terugslagklep	143	4

Kunstwerk	Type frequent sluitend keermiddel	Aantal sluitvragen	Aantal jaren data
Pontongemaal Oude wetering	Terugslagklep	58	4

Van de overige kunstwerken⁷ was geen meetdata beschikbaar.

3.3 Aantal sluitvragen en gefaalde sluitingen uit interviews objectbeheerders

3.3.1 Werkwijze

Door het afnemen van interviews met acht objectbeheerders van het waterschap Drents Overijsselse Delta is eveneens geprobeerd data aangaande sluitvragen en gefaalde sluitingen te verkrijgen. Gezamenlijk hebben deze objectbeheerders 77 kunstwerken in beheer.

De interviews zijn gehouden aan de hand van zorgvuldig samengestelde vragenlijsten waarin alle relevante aspecten van het kunstwerk aan bod komen. Naast 'harde' data is ook aandacht besteed aan de volgende zaken:

- algemene kenmerken van het kunstwerk (beschrijving, technische gegevens, afmetingen watervoerende elementen)
- gebruik van het kunstwerk (functie(s), wijze van bediening, wanneer inzet)
- onderhoudstoestand en onderhoudshistorie

Indien zich falende sluitingen hebben voorgedaan op een specifiek kunstwerk zijn de objectbeheerders nader bevraagd op onder meer de volgende aspecten:

- a. oorzaak van de storing (aandrijving, overbrenging, obstakel, bediening, ...)
- b. gevolg van de storing (geheel geopend, deels geopend, kier, ...)
- c. herstelmaatregel (keermiddel handmatig gesloten, noodkeermiddel ingezet, et cetera)
- d. herstel gelukt of gefaald

In bijlage A is een voorbeeld van een ingevulde vragenlijst opgenomen en in bijlage B een samenvatting met de resultaten van alle interviews.

Er is bewust gekozen voor het afnemen van interviews met de beheerders van de objecten. Op deze manier kan worden doorgevraagd om alle relevante gegevens per kunstwerk te verkrijgen. Overwogen is om de objectbeheerders alleen de vragenlijst toe te sturen met het verzoek om deze in te vullen voor ieder kunstwerk. Op basis van eerdere ervaringen hiermee (inwinsheets VNK) is ervoor gekozen dit niet te doen en de gegevens actief op te gaan halen.

3.3.2 Ervaringen van de beheerders

Van de 77 besproken kunstwerken zijn slechts bij enkele kunstwerken faalsituaties van de keermiddelen opgetreden (voor zover bekend bij de beheerders).

Door de beheerders werd collectief teruggegeven dat zij het meeste vertrouwen hebben in terugslagkleppen. Wel werd aangegeven dat faalsituaties bij

⁷ Dit betrof de kunstwerken Gemaal Harculo, Inlaat Katerveer, Gemaal Nieuw Lutterzijl/Mastenbroek, Gemaal Veerhuis, Inlaat Hoogeveense vaart, Vispassage Stroink, Inlaat gemaal Stroink, Gemaal Barsbeker binnen, Gemaal Barsbeker buiten, Gemaal Kadoelen, Gemaal Bentpolder, Gemaal Bentpolder, Gemaal Haveltermade, G1 Hessem, G1 Herfte, G1 Marslanden Noord, Sluis Gennegerzijl, Inlaat Broekhuizen, Gemaal Willem Meijerpolder '59, Gemaal Stikkepolder '59, Gemaal Zwartemeerpolder, Gemaal Zalk, Gemaal t Gansje, Zandweerd, Ankersmit, Douwelerkolk, Rietberg, Ramelerleide, Zandwetering, Gemaal Platvoet, Windmolen van der Berg

terugslagkleppen moeilijker te detecteren zijn, zeker omdat alleen bij de nieuwste kunstwerken standmelders zijn geplaatst.

Bij kunstwerken met een kleine leidingdiameter treden obstructies van de keermiddelen vaker op. Ook op locaties met veel begroeiing of op golf- en stromingsluwe locaties worden vaker obstructies van de keermiddelen gezien. Dit komt doordat hier vaker vuil ophoopt dat tussen keermiddelen kan blijven liggen.

De ervaring van de objectbeheerders was dat schuiven eigenlijk altijd wel dicht gaan, al dan niet na een herstelpoging. Openen is vaker het probleem, vooral schuiven die ook in het dagelijkse peilbeheer meedoen en daarmee heel frequent iets verder open of dicht gezet worden geven problemen (slijtage, momentstoringen). Ook schuiven die vooral in een bepaald seizoen gebruikt worden (bijvoorbeeld keermiddelen die alleen in zomer gebruikt worden omdat kunstwerk in de winter standaard gesloten is) zijn gevoeliger. Hier kan roestvorming bij het eerste moment van bediening van het keermiddel tot problemen leiden.

Aandachtspunt bij opening van keermiddelen is ook ijsvorming rondom het keermiddel, zeker bij terugslagkleppen. Betreffende kunstwerken werden bij ijsvorming uitgezet en pas weer bediend na de vorstperiode. Omdat het niet kunnen openen echter niet leidt tot een falende sluitvraag – het leidt juist tot het gesloten blijven van het kunstwerk – zijn deze faalgebeurtenissen buiten beschouwing gelaten.

De volgende faalgebeurtenissen zijn opgehaald uit de interviews met de objectbeheerders:

Tabel 3 Overzicht faalgebeurtenissen uit interviews

Kunstwerk	Type keermiddel	Faaloorzaak	Mogelijkheid tot snel herstel?
Gemaal Vechterweerd	Schuif	Openen, auma werkte niet	Ja, handmatige opening
Gemaal Vechterweerd	Schuif	Sluiten, spindel vastgelopen	Ja, handmatige sluiting
Gemaal Marswetering	Schuif	Openen, slijtage	Nee
Gemaal Marswetering	Schuif	Sluiten, auma werkte niet	Ja, handmatige sluiting
Gemaal Marswetering	Schuif	Sluiten, spindel vastgelopen	Ja, handmatige sluiting
Gemaal Markvoort	Schuif	Sluiten, signalering werkt niet goed door maaisel	Ja, handmatige sluiting
Gemaal Markvoort	Schuif	Sluiten, obstructie door maaisel	Nvt, slechts kleine opening
Gemaal Zuiderzeepolder	Terugslagklep	Openen, vastvriezen rubbers	Nvt, kleine lekkage
Gemaal Nieuw Lutterzijl	Terugslagklep	Sluiten, obstructie	Ja, pomp uit en aangezet
Gemaal Kostverlorenzijl	Terugslagklep	Openen, Scharnier verroest en afgebroken	Nee, vervanging nodig
Gemaal Kostverlorenzijl	Terugslagklep	Sluiten, obstructie	Ja, pomp uit en aangezet

Kunstwerk	Type keermiddel	Faaloorzaak	Mogelijkheid tot snel herstel?
Gemaal Kostverlorenzijl	Schuif	Openen, spindel afgebroken	
Gemaal Kloosterzijl	Schuif	Openen, spindel afgebroken	
Inlaat Hoogeveensevaart	Schuif	Sluiten, spindel afgebroken	Nee, vervanging spindel nodig
Inlaat Hoogeveensevaart	Schuif	Openen, storing overbrenging pionkop	
Vispassage Stroink	Schuif	Storing telemetrie	Ja, reset systeem op afstand
Gemaal Barsbeker binnen	Terugslagklep	Sluiten, obstructie	Ja, pomp uit en aangezet
Gemaal Willem Meijerpolder	Terugslagklep	Sluiten, doorgeroeste bouten	Nee, vervanging nodig

4 Afleiden standaard faalkans

4.1 Algemeen

De faalkans van een bepaald type afsluiter kan geschat worden door alle gefaalde (relevante) sluitingen n_{faal} te delen door het totaal aantal (relevante) sluitingen⁸ n_{tot} (zie ook paragraaf 2.1):

$$P(faal) = \frac{n_{faal}}{n_{tot}} = \frac{\sum_{k=1}^{\text{aantal keermiddelen}} n_{faal, \text{keermiddel } k}}{\sum_{k=1}^{\text{aantal keermiddelen}} n_{tot, \text{keermiddel } k}}$$

Hierbij geldt hoe kleiner de faalkans, hoe meer gegevens (sluitingen) nodig zijn om een nauwkeurige schatting te maken. Dit hoofdstuk gaat in op het schatten van een generieke faalkans en de bijbehorende onzekerheden.

4.2 Schatting van het aantal sluitvragen n_{tot}

In principe wordt het totale aantal sluitvragen per keermiddel bepaald door het aantal jaren waarin de beheerder ervaring heeft met het kunstwerk (in het huidige sluitregime) te vermenigvuldigen met het gemiddeld aantal sluitvragen per jaar:

$$n_{tot, \text{keermiddel } k} = \text{aantal jaren ervaring met keermiddel } k \times \text{aantal sluitvragen per jaar}$$

De kunstwerken waarvoor het aantal beheerdersjaren niet bekend is, zijn niet meegenomen in de analyse.

Voor het aantal sluitvragen is in principe uitgegaan van het aantal sluitvragen op basis van data. Bij kunstwerken waar geen data beschikbaar is, is gebruik gemaakt van het aantal maalvragen per jaar zoals geschat door de peilbeheerders. Op beide wordt onderstaand nader ingegaan.

Aantal sluitvragen per jaar op basis van data

Voor de afsluiters waarvan het sluitregime is gekoppeld aan het pompedrag, is het aantal sluitvragen in principe gelijk aan het aantal maalvragen. Na het afslaan van de pomp moet de afsluiter immers weer sluiten. Terugslagkleppen zijn altijd gekoppeld aan het pompregime. Voor schuiven wisselt dit. De schuiven die alleen als noodschuif fungeren worden in deze analyse niet meegenomen⁹.

Voor een groot aantal kunstwerken wordt elke maalvraag sinds 2011/2012 geregistreerd. Op basis hiervan kan het aantal sluitvragen precies bepaald worden. Bij een min of meer stabiel sluitregime in de tijd (zoals bij de geanalyseerde afsluiters) kan voor de jaren buiten de geregistreerde periode het gemiddelde aantal sluitvragen per jaar genomen worden. Dit gemiddelde wordt bepaald over de jaren waarvoor wel alle sluitvragen geregistreerd zijn.

⁸ Een sluiting van een afsluiter is hierbij *relevant* als deze sluiting plaatsvond in de *relevante* periode van de desbetreffende afsluiter, waarvoor geldt

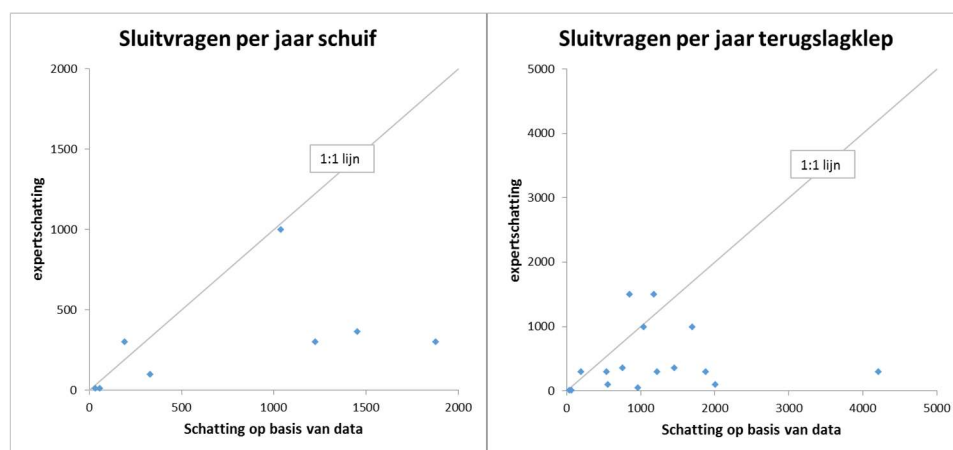
- dat de afsluiter binnen deze periode frequent werd gesloten
- dat voor deze periode een betrouwbare schatting gemaakt kan worden van het aantal sluitvragen

⁹ Er zijn ook een aantal schuiven die nu als noodschuif fungeren, maar vroeger wel gekoppeld waren aan het maalregime. De periode waar het sluit- en pompregime wel gekoppeld waren, wordt wel meegenomen in de analyse.

De geregistreerde data zijn nagelopen op vreemde uitschieters. Bij gemaal Langeslag klein bijvoorbeeld viel het op dat in augustus 2016 10x zoveel pompaanslagen geregistreerd dan gemiddeld in een heel jaar. In een dergelijk geval is de data gecorrigeerd als dit leidde tot een kleiner aantal sluitvragen (conservatieve benadering).

Aantal sluitvragen per jaar op basis van interviews

Wanneer de maaltvragen niet geregistreerd worden, maken we gebruik van het aantal maaltvragen per jaar zoals geschat door de peilbeheerders. De indruk bestaat echter dat de inschatting van het aantal sluitvragen door de beheerder niet heel nauwkeurig is. Daarom is voor 9 schuiven en 16 terugslagkleppen de schatting van het aantal sluitvragen door de beheerders vergeleken met het geregistreerde aantal sluitvragen (zie grafieken), maar geen statistisch verband gevonden¹⁰.



Figuur 1 Relatie tussen geregistreerde (x-as) en door beheerder geschatte aantal sluitvragen (y-as) per jaar voor 9 schuiven (blauwe punten, linkervenster) en 16 terugslagkleppen (blauwe punten, rechtervenster).

Wel blijkt dat het aantal sluitvragen per jaar systematisch onderschat wordt. Het gebruik van de expertschattingen zal daardoor tot een lichte onderschatting van het totaal aantal sluitvragen leiden en dus tot een iets conservatievere faalkans. Toch is ervoor gekozen ook deze data mee te nemen om zodoende meer afsluiters (en dus ook meer faalgebeurtenissen) in de beschouwing te betrekken.

Bij inlaat- en uitwateringssluizen worden de keermiddelen door de beheerder bewust open- en dichtgezet. Vaak staan deze keermiddelen meerdere dagen achter elkaar geopend. Aan de beheerder is de vraag voorgelegd of bekend is hoe vaak deze keermiddelen geopend en gesloten worden per jaar. Als een beheerder daar een betrouwbare indicatie van kon geven en het aantal openingen en sluitingen hoger is dan 10 per jaar (de ondergrens om als frequent sluitend te worden aangemerkt), is dit aantal meegenomen in de data analyse.

Totaal aantal sluitvragen

Op bovenbeschreven manier komen we op een totaal aantal sluitvragen van:

- 728.554 verdeeld over 24 terugslagkleppen en
- 211.139 verdeeld over 14 schuiven

¹⁰ Hoe dichter punten op 1:1 lijn liggen hoe beter de gelijkenis tussen beide methoden

In bijlage C is een overzicht van alle afsluiters opgenomen die wel (bijlage C.1) en niet (bijlage C.2) zijn meegenomen in de analyse.

4.3 Schatting aantal gefaalde sluitingen n_{faal}

Voor het aantal gefaalde sluitvragen baseren we ons op de interviews met de peilbeheerders, omdat de faalgebeurtenissen niet systematisch geregistreerd zijn en ook niet uit de beschikbare data herleid kunnen worden. Doordat het aantal faalgebeurtenissen zeer gering is, kunnen de peilbeheerders over het algemeen zeer precies aangeven wat er is misgegaan en hoe dit is verholpen. Deze interviews geven naar onze mening een betrouwbaar beeld van het aantal faalgebeurtenissen.

Voor alle beschouwde afsluiters samen zijn in totaal over hun (afsluiter-specifieke) relevante periode 34 faalgebeurtenissen terug gemeld, 12x bij een terugslagklep en 22x bij een schuif. Het gaat hierbij zowel om niet-sluiten als niet-openen, en zowel om geheel als gedeeltelijk falen.

Om te kijken welke faalgebeurtenissen meegenomen moeten worden (dus aan de faaldefinitie voldoen, zijn deze faalgebeurtenissen onderverdeeld in de volgende klassen:

Tabel 4 Overzicht faalgebeurtenissen terugslagkleppen en schuiven

	Terugslagklep		Schuif	
	Openen	Sluiten (of onbekend)	Openen	Sluiten (of onbekend)
Overbrenging			6	2
Bediening/alarmering			0	3
Veroudering	1	0	1	0
Kleine blokkade	0	10	0	0
Vuil	0	0	0	10
Vorst	0	1	0	0
Aandrijving	0	0	0	0

Een falende **overbrenging** komt alleen voor bij schuiven. In de meeste gevallen gaat het om een vastgelopen of afgebroken spindel, wat in de praktijk voor zowel een gefaalde sluiting als opening kan zorgen. De gefaalde sluitingen moeten zeker meegenomen worden, gefaalde openingen zijn in principe buiten beschouwing gelaten (zie paragraaf 2.2 voor onderbouwing).

Ook falende **bediening/alarmering** komt alleen voor bij schuiven. De gerapporteerde gebeurtenissen betroffen alle drie een falende aansturing door een falende telemetrie. Deze gebeurtenissen moeten zeker meegenomen worden.

Veroudering, bijvoorbeeld slijtage, vast- of doorroesten van een onderdeel komt zowel bij terugslagkleppen als schuiven voor. Alle gemelde gebeurtenissen hebben tot een gefaalde opening geleid. Afgewogen is of dit net zo goed tot een gefaalde sluiting had kunnen leiden. Ingeschat is dat dit niet het geval is, omdat de afsluiters voorafgaand aan de faalgebeurtenis langdurig in dezelfde positie hebben gezeten.

Dit is alleen in gesloten toestand het geval, afsluiters blijven niet langdurig in dezelfde positie in geopende toestand staan.

(Kleine) blokkades komen zowel bij terugslagkleppen als schuiven voor en leiden altijd tot een (gedeeltelijk) gefaalde sluiting. Bij de gemelde blokkades betrof het in alle gevallen een paaltje, een stuk hout of iets dergelijks. Een stuk hout veroorzaakt slechts een beperkte kier (t.o.v. schuiven en terugslagkleppen van 1 à 2 meter). Daarom zijn deze buiten beschouwing gelaten (zie faaldefinitie in paragraaf 2.2).

Vuil en vorst leiden in de regel niet tot grote faalgebeurtenissen. Deze 'faalgebeurtenissen' worden dan ook niet meegenomen in de analyse.

De volgende tabel geeft een overzicht van het gehanteerde aantal gefaalde sluitingen voor de faalkansberekeningen.

Tabel 5 Aantal gefaalde sluitingen per type keermiddel

	Terugslagklep	Schuif
Scherpe berekening	0	2
Conservatieve berekening	1	5

4.4

Schatten van faalkansen rekening houdend met statistische onzekerheid

Bij k faalgebeurtenissen (bv gefaalde sluitvragen) op een totaal n trekkingen (bv sluitvragen), is de meest zuivere schatting van de werkelijke faalkans $\hat{p} = \frac{k}{n}$. Deze schatting is echter wel onzeker (statistische onzekerheid), doordat het aantal faalgebeurtenissen k aan toeval onderhevig is. De kansverdeling die de statistische onzekerheid rondom de faalkans schat, wordt in deze studie Bayesiaans benaderd (zie bijlage D).

De schatting van de faalkans die rekening houdt met de statistische onzekerheid $\hat{p}_{stat}$ wordt verkregen door de verwachtingswaarde (=gemiddelde) te nemen van deze kansverdeling. Dit leidt tot de volgende faalkansen:

Tabel 6 Faalkans per sluitvraag per type keermiddel

	Terugslagklep	Schuif
Scherpe berekening	$1,42 \times 10^{-6}$	$1,42 \times 10^{-5}$
Conservatieve berekening	$2,75 \times 10^{-6}$	$2,84 \times 10^{-5}$

Te zien valt dat de faalkans van een schuif een orde groter is dan de faalkans van een terugslagklep. Dit komt goed overeen met de ervaring die ook door de beheerders is uitgesproken in de interviews.

In de Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken [1] is in bijlage B een tabel opgenomen met standaard faalkansen. In deze tabel is voor een terugslagklep een faalkans van 10^{-5} per sluitvraag opgenomen en voor schuifafsluiters een faalkans van 10^{-4} . De resultaten van deze studie lijken erop te duiden dat de standaard

faalkansen uit de Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken aan de veilige kant zijn en dus veilig toegepast kunnen worden in ontwerp en beoordeling.

5 Discussie

5.1 Kanttekeningen

Tijdens de interviews bleek dat iedere beheerder een eigen beeld had van het begrip falen. Situaties waarbij na bijvoorbeeld reset van het systeem de keermiddelen wel weer werken werden door de ene beheerder wel en door de andere beheerder niet als falen gezien (en zitten hierdoor ook niet in het geheugen). Onduidelijk is hoeveel faalsituaties daardoor niet zijn benoemd bij de interviews. Middels een aanscherping van de faaldefinitie is hier in deze studie eenduidig mee omgegaan.

Wat bij de gesprekken met de objectbeheerders ook al snel duidelijk werd is dat het ervaringsniveau per beheerder flink verschilde. Waar een deel van de objectbeheerders al 30 jaar dezelfde kunstwerken beheerde en ook goed was opgeleid door hun voorgangers, was een deel ook veel minder lang betrokken bij hun kunstwerken (ca 5-10 jaar). Dit verschil in ervaring drukte zich uit in meer of minder inzicht in bekende faalsituaties.

5.2 Beantwoording onderzoeksvragen

In deze studie zijn de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

Faalkansen

- *Welke faalkansen per sluitvraag kan bij de wettelijke beoordeling van waterkerende kunstwerken worden gehanteerd voor terugslagkleppen en schuiven?*
Voor terugslagkleppen en schuiven is een conservatieve faalkans afgeleid uit het voorliggende onderzoek.
 - *faalkansen per sluitvraag terugslagklep: $2,75 \times 10^{-6}$ per vraag*
 - *faalkansen per sluitvraag schuif: $2,84 \times 10^{-5}$ per vraag*
- *Zijn er deelverzamelingen te onderkennen in de verzamelde data (bijvoorbeeld aparte faalkansen voor grote en kleine terugslagkleppen)?*
Door de dagelijkse beheerders werd aangegeven dat kleine terugslagkleppen (diameter < 500mm) vaker open blijven staan door ophoping van vuil. Hoewel het open blijven staan van deze kleine leidingen geen oncontroleerbaar instromen van water tot gevolg heeft, zijn de keermiddelen wel gewoon meegenomen in de analyse. De resultaten gaven geen aanleiding om verder onderscheid te maken tussen falen van grote of kleine terugslagkleppen.
- *Onder welke voorwaarden kunnen deze faalkansen in een ontwerpsituatie worden toegepast?*
Voor ontwerpen is het vaak verstandig enige robuustheid te betrachten. Daarom wordt aanbevolen voor ontwerpen de standaard faalkansen uit bijlage B van de Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken [1] te gebruiken. Goed beheer en correct naleven van de onderhouds- en sluitprotocollen zijn hierbij belangrijke randvoorwaarden.

Methode

- *Is de gebruikte methode uit fase 1 geschikt om in een uitgebreidere studie faalkansen te bepalen voor andere typen keermiddelen?*
Ja, de gecombineerde methode waarmee het aantal sluitvragen wordt bepaald op basis van telemetriedata en het aantal falende sluitingen op

basis van beheerderservaring is breder toepasbaar. De basis vragenlijsten zoals gebruikt bij dit onderzoek vormen een goede basis voor de gesprekken met de beheerder.

- *Welke aanpassingen/verbeteringen van de methode zijn noodzakelijk / wenselijk?*
 - Meerwaarde is als bij de beheerder informatie over standmelding van de keermiddelen beschikbaar is. Hiermee is nauwkeuriger te bepalen in welke situaties een keermiddel niet gesloten is terwijl deze wel gesloten had moeten zijn.
 - Tevens zou het vastleggen van alle storingen (waaruit vervolgens het aantal falende sluitingen kan worden afgeleid) in een beheer- en onderhoudsdatabase kunnen bijdragen aan een nauwkeuriger inschatting van het aantal gefaalde sluitingen.
 - Ervaring heeft geleerd dat het bij de interviews meerwaarde heeft om van ieder kunstwerk een tekening te hebben. Dit praat veel makkelijker en zorgt ervoor dat je gericht je vragen kunt stellen. Ook is het prettig om bepaalde data, bijvoorbeeld aantal pompaanslagen, tijdens het gesprek beschikbaar te hebben.

5.3

Aanbevelingen voor het beheer en bediening van keermiddelen

Uit de gesprekken met de beheerders zijn de volgende aanbevelingen voor goed beheer en bediening van keermiddelen op te maken. Deze aanbevelingen zijn gericht op het verkleinen van de faalkansen voor niet sluiten van deze keermiddelen.

- Goed beheer van de keermiddelen is het uitgangspunt, hiermee wordt voorkomen dat door roestvorming keermiddelen niet bediend kunnen worden of bevestigingen afbreken.
- Juiste naleving van protocollen, hiermee worden ongecontroleerde sluitingen voorkomen en worden sluitingen op het juiste moment uitgevoerd.
- Wanneer bij het kunstwerk (een deel van het proces) geregistreerd wordt kijken of het goed, eenvoudig en tegen beperkte kosten mogelijk is om ook standmelding van de keermiddelen te registreren. Dit levert meer zuivere data op van faalsituaties.
- Vastlegging incidenten en gefaalde sluitvragen. Hiermee kunnen de protocollen en beheer van alle keermiddelen in beheer verbeterd worden.
- Bij ontwerp bewust kiezen voor betrouwbare oplossingen.

Bijlage A Voorbeeld ingevulde vragenlijst interview beheerder – gemaal Kostverlorenzijl

Bijlage A - Ingevulde vragenlijst gemaal Kostverlorenzijl

Waarom deze vragenlijst?
Doel is om standaard faalkansen af te leiden voor frequent ingezette keermiddelen. Dit zijn keermiddelen die voor de dagelijkse functie regelmatig gesloten worden, maar ook nodig zijn als hoogwaterkering. De focus ligt op 3 soorten veel voorkomende keermiddelen: terugslagkleppen, schuiven en puntdeuren. In eerste instantie wordt het onderzoek beperkt tot een paar beheerders om te kijken of de juiste informatie kan worden opgehaald en of de verzamelde data ook kan worden gebruikt om rode draden te ontdekken. Wanneer deze pilot slaagt, wordt gekeken of het onderzoek kan worden uitgebreid naar andere beheerders en wellicht nog andere keermiddelen.
Deze vragenlijst dient dus nadrukkelijk niet als een soort 'beoordeling' van de beheerder, maar om zoveel mogelijk praktische informatie te vergaren voor het vaststellen van landelijk geaccepteerde faalkansen. De resultaten van het onderzoek (interviews) worden dan ook geanonimiseerd. Beheerders zijn gebaat bij dit onderzoek, omdat eventuele onnodige conservatismen worden weggenomen en omdat de faalkansen beter worden gekoppeld aan de dagelijkse praktijk. Wellicht dat ook conclusies kunnen worden getrokken met betrekking tot constructiedetails of specifieke uitvoeringen van keermiddelen, waardoor ze betrouwbaarder presteren.

Wat is falen?
Bij 'falen' van een keermiddel gaat het in deze vragenlijst over het falen van de waterkerende functie. Het op een kier blijven staan met verwaarloosbare instroming of juist het niet openen van het keermiddel is voor de waterkerende functie niet relevant.

Vragenlijst	Antwoorden
<i>Algemene vragen</i>	
Wat is het type kunstwerk? (gemaal, inlaatsluis, uitwateringssluis, schutsluis)	Gemaal, 2 vijzels, 750 m3/min, Zwartsluis naast gemaal Zedemuden.
Welke keermiddelen heeft het kunstwerk?	Wachtklep voor iedere vijzel (2) + schuif in schuivenkoker in kruin dijk. Verstelbaar drempelniveau tot ca 1 m+ (standaard 0,60 m+).
Zijn monitoringssystemen aanwezig voor waterstanden en/of sluiting van het keermiddel?	Ja, gemaal is opgenomen in telemetriesysteem en wordt automatisch aangestuurd op basis van waterstandsmetingen. Op kleppen en schuiven zit sensor 'open/dicht'. Zowel schuif als klep moet op 'open' staan anders slaat vijzel af. 1x voorgekomen dat telemetrie het niet deed. Moest toen lokaal bediend worden. Hoogwatersluiting kan dan dus ook niet plaatsvinden. Krijg je direct melding van.
Heb je het gevoel dat bepaalde types, afmetingen, merken, etc vaker falen dan andere keermiddelen?	Kostverlorenzijl en Kloosterzijl hebben 2 spindels per schuif met een tandwielkast. Dat werkt wel goed, heb je nooit wat mee. Inlaat Hooogeveensevaart heeft ander systeem met pionkop, hapert vaker.
<i>Vragen bij terugslagklep</i>	
Welke afmetingen heeft het keermiddel?	1 klep van c 2 x 2 m (staal).
Is het keermiddel onder of boven water?	Half, drempel vijzel op 0,60+
Waar is het keermiddel? (aan binnen- of buitenzijde van het kunstwerk)	Achter vijzel
Is er een kroosrek aan de buitenzijde?	Automatisch gekroosd
Uit welk materiaal bestaat het keermiddel?	Staal
Welke vorm heeft het keermiddel? (bv rond of rechthoekig)	Vierkant
Hoe / hoe vaak worden de keermiddelen gebruikt?	Terugslagklep opent als gemaal in bedrijf gaat. Normaal ca 3-4x per dag in winterperiode. Laatse 2 jaar (vistrap zit er pas 2 jaar in): 1 Pomp ook zomers 3 a 4x per dag, 1 pomp alleen winterhalfjaar. Daarvoor 3-4x per dag 1 van beide pompen (beide pompen tegelijk komt slechts incidenteel voor).
Hoe signaleer je dat het keermiddel faalt?	Klep heeft sensor (enkel).
Hoe vaak is het keermiddel niet naar behoren gesloten?	In 32 jaar 2x stuk drijfhout ertussen. Kans is toegenomen doordat schuif permanent open staat. Registreert niet door sensor. Wordt gehoord door beheerder die dagelijks op object komt (lekkage door vijzel). Gaat niet om veel water. 1x scharnierpunt kapot. Wordt gedetecteerd doordat klep niet opent vlgs schakelaar. Eigenlijk falende opening. Afstand tot schakelaar detectie wordt dan te groot en sensor 'ziet' klep niet meer en interpreteert dat als 'klep opent niet'.
Wat was de oorzaak van het falen?	1x kapot scharnierpunt (sluiting gelukt maar openen lukte niet meer), 2x drijfhout (leidde tot kleine kier).
Hoe is het probleem opgelost?	Vervangen scharnier resp. vijzel even starten.
<i>Vragen bij schuif</i>	
Welke afmetingen heeft het keermiddel?	2 x 3 a 3,5 m, staal
Welke aandrijving heeft het keermiddel? (enkele/dubbele spindel, enkele/dubbele hydraulische cilinder, kabelconstructie, etc)	Auma, spindel, rechtstreekse aandijving
Welke vorm heeft het keermiddel? (bv rond of rechthoekig)	vierkant
Hoe wordt het keermiddel bediend (automatisch, handmatig, beiden, etc)	Automatisch bij waterstand NAP+0,60 m. Kan ook handmatig, geldt voor alle Auma's. Dan ben je ca 1 uur aan het draaien.
Waar is het keermiddel? (bij uitstroom, in schuivenput, in gemaal/instroom, etc)	In schuivenhuis in kruin dijk
Is er een kroosrek?	Zit achter vijzel.
Hoe / hoe vaak worden de keermiddelen gebruikt?	Eerder gekoppeld aan maalbedrijf, vanwege slijtage aangepast ca 10jr geleden. Periode 1992-2008 gekoppeld aan maalbedrijf. 2x pj smeren spindel, dan wordt schuif geheel geopend en gesloten + proefsluiting eind sept/begin okt. Bij NAP +0,60 m wordt schuif gesloten. Schatting: laatse 5 jr niet hoogwater gesloten. Daarvoor vaker, Ramspol van invloed.
Hoe signaleer je dat het keermiddel faalt?	In auma zit eindschakelaar 'op' en eindschakelaar 'neer'. Deze registreert 'open' of 'dicht' Slijtage spindel werd opgemerkt doordat pomp alleen aangaat als schuif geheel open was. Dit lukte niet meer. Nog niet voorgekomen dat melding is gedaan van onterecht niet open/dicht. Dicht wil altijd wel. Bij storing monteur bellen en spindel + draadblok vernieuwen. 1x gebeurd dat spindel gefaald is. Bij stroomuitval (netspanning) direct alarm op telefoon via telemetriesysteem. Gaat naar wachtdienst. Ca 1x/5 jaar, duurt ca 0,5 uur. Vaak als gevolg van lokale oorzaak, bijvoorbeeld kabelbreuk. Geen noodstroomvoorziening bij gemaal. Af en toe stuurspanningstoring ca 1x per 10 jr per object in het beheersgebied van WDOD.
Hoe vaak is het keermiddel niet naar behoren gesloten?	Spindel 1x in 32 jr, schuif wilde niet meer openen
Wat was de oorzaak van het falen?	Slijtage vanwege dagelijks gebruik
Hoe is het probleem opgelost?	Kan snel als leverancier onderdelen op voorraad heeft. Waterschap heeft zelf geen onderdelen op voorraad.
<i>Vragen bij puntdeuren</i>	
Welke afmetingen heeft het keermiddel?	
Uit welk materiaal bestaat het keermiddel?	
Hoe wordt het keermiddel bediend (automatisch, handmatig, beiden, etc)	
Welke aandrijving heeft het keermiddel? (water (wachtdeur), hydraulische cilinder, heugelstang, panamawiel, etc)	

Bijlage B Samenvatting resultaten interviews

Opmerkeningen bij kolommen tabel:

- Aantal sluitvragen uit data (kolom F): Dit betreft de sluitvragen die uit de analyse van Wiski-data komen en zijn dus het aantal sluitvragen per periode van 7 of 8 jaar)
- Aantal jaren data (kolom G): Dit betreft het aantal jaren waarvoor uit de analyse van Wiski-data de sluitvragen zijn bepaald.
- Aantal sluitvragen per jaar beheerder (kolom H): Dit betreft de inschatting van de beheerder over het aantal sluitvragen. Overal waar circa bij staat is dat een inschatting van mij. Dat komt omdat de beheerder dan bv heeft aangegeven "een paar honderd keer per jaar".
- Jaren ervaring beheerder (kolom I). Deze is deels gebaseerd op hetgeen de beheerder heeft aangegeven, maar meestal is het de leeftijd van het gemaal.
- Aantal sluitvragen obv data+ervaring beheerder (kolom J): Deze kolom is een aantal schattingen van het aantal sluitvragen gedurende de tijd dat het gemaal in beheer is van het waterschap (vaak is dit dus de leeftijd). Echter gelet op het feit dat mislukte sluitingen niet zijn geregistreerd in het verleden en de ervaring van mensen niet veel langer kan zijn dan 30 jaar is het aantal jaren dat meegenomen wordt gemaximaliseerd op 30. In de kolom is nu de volgende som gemaakt: kolom I*(kolomF/kolomG). Voor de waarde van kolom I geldt dus een maximum van 30 in deze formule. Indien er geen meetdata was van een gemaal is kolom I (wederom met maximum van 30 jaar) vermenigvuldigd met de inschatting van de beheerder (kolom H).

		Type buitenwater	Type	Aantal	Aantal	Aantal	Aantal	Aantal sluitvragen							Kan leiden tot	Afmetingen		
Kunstwerknaam	Type kunstwerk	(Rivier/meer)	keermiddel	keermiddelen	uit data	jaren data	sluitvragen per jaar beheerder	Jaren ervaring beheerder	obv data+ ervaring beheerder	Aantal bekende faalsituaties	Betrof	Reden falen	overstromingsgevolgen	keermiddel	Materiaal	Bijzonderheden		
Gemaal Vocaleum	Uitlaatgemaal	Rivier	Schuif	1	1.971	6	circa 100	20	4.928	0	-	-	-	rond 300				
Gemaal Lierder- en Molenbroek	Uitlaatgemaal	Kanaal	Schuif	2	9.125	8	circa 300	20	22.813	0	-	-	-	rond 800	?			
Gemaal Lierder- en Molenbroek	Uitlaatgemaal	Kanaal	terugslagklep	2	9.125	8	circa 300	20	22.813	0	-	-	-	800x800	Azobe			
Gemaal Bremmelerstraat klein	Uitlaatgemaal	Kanaal	terugslagklep	1	11.931	8	circa 300	20	29.828	0	-	-	-	500x500	kunststof			
Gemaal Bremmelerstraat klein	Uitlaatgemaal	Kanaal	schuif	1	11.931	8	circa 300	20	29.828	0	-	-	-	500x500	staal			
Gemaal Bremmelerstraat groot	Uitlaatgemaal	Kanaal	terugslagklep	1	6.884	8	circa 50	20	17.210	0	-	-	-	1000x1000	kunststof			
Gemaal Bremmelerstraat groot	Uitlaat	Kanaal	schuif	1	6.884	8	continue	20	17.210	0	-	-	-	1000x1000	staal		betreft regelschuif	
Gemaal Markvoort	Uitlaatgemaal	Kanaal	terugslagklep	2	9.685	7	dagelijks	20	27.671	0	-	-	-	klein	?			
Gemaal Markvoort	Uitlaatgemaal	Kanaal	schuif	2	9.685	7	dagelijks	20	27.671	10, is inschatting	sluiten	Vuil na maaien, waardoor signalering niet goed werkt of de schuif net niet helemaal dicht gaat.	Nee, want hooguit kleine opening	klein	?		jaarlijks wel een keer storing	
Gemaal Sekdoorn	Uitlaatgemaal	kanaal	terugslagklep	1	5.500	7	1500	20	15.714	0	-	-	-	700x700	hout			
Gemaal Sekdoorn	Uitlaatgemaal	kanaal	vlinderklep	1	5.500	7	1500	20	15.714	0	-	-	-	rond 700	staal			
Gemaal Langeslag klein	Uitlaatgemaal	kanaal	terugslagklep	1	784	7	10	20	2.240	0	-	-	-	1200x1200	staal			
Gemaal Langeslag klein	Uitlaatgemaal	kanaal	schuif	1	784	7	10	20	2.240	0	-	-	-	1200x1200	staal		terugmelding op schuif	
Gemaal Langeslag groot	Uitlaatgemaal	kanaal	terugslagklep	1	221	7	10	20	631	0	-	-	-	2000x2000	staal			
Gemaal Langeslag groot	Uitlaatgemaal	kanaal	schuif	1	221	7	10	20	631	0	-	-	-	2000x2000	staal		terugmelding op schuif	
Gemaal Katerveer	Uitlaatgemaal	Rivier	terugslagklep	2	1.481	8	circa 300	20	3.703	0	-	-	-	1200x1200	staal			
Gemaal Katerveer	Uitlaatgemaal	Rivier	schuif	2	1.481	8	circa 300	20	3.703	0	-	-	-	1200x1200	staal			
Gemaal Harculo	Uitlaatgemaal	Rivier	schuif	1	Geen meetg	-	?	1	Geen data	0	-	-	-	600x600	staal?		Nieuw gemaal	
Gemaal Harculo	Uitlaatgemaal	Rivier	vlinderklep	1	Geen meetg	-	?	1	Geen data	0	-	-	-	rond 600	staal		Nieuw gemaal	
Inlaat Katerveer	Inlaat	Rivier	schuif	1	Geen meetg	-	circa 300	20	7.800	0	-	-	-	rond 1200	staal			
Gemaal Nieuwe Lutterzijl/Koekkoek	Uitlaatgemaal	Rivier	terugslagklep	3	5.566	7	365	17	13.517	0	-	-	-	2500x1500	staal		vijzelgemaal	
Gemaal Cellemuiden	Uitlaatgemaal	Rivier	terugslagklep	1	3.223	7	circa 300	17	7.827	0	-	-	-	1500x1200	kunststof		vijzelgemaal	
Gemaal Zuiderzeepolder	Uitlaatgemaal	Rivier	terugslagklep	2	3.753	7	100	?	16.084	1	openen	vastvriezen rubbers, waardoor lekkage	Nee, kleine lekkage	1500x1200	kunststof		vijzelgemaal	
Gemaal Nieuw Lutterzijl/Mastenbroek	Uitlaatgemaal	Rivier	terugslagklep	2	Geen meetg	-	circa 300	17	9.000	1	sluiten	afraasteringspaal tussen klep. Pomp aangezet en daarna was obstakel verdwenen	Nee, beperkte opening en eenvoudig op ge lossen	2500x1500	staal		vijzelgemaal	
Gemaal Veerhuis	Uitlaatgemaal	Rivier	terugslagklep	1	Geen meetg	-	circa 300	17	9.000	0	-	-	-	500x500	kunststof		Kattenrug in leiding	
Gemaal Biesvelden	Uitlaatgemaal	Rivier	terugslagklep	1	25.925	7	circa 300	17	62.961	0	-	-	-	1500x1000	kunststof		vijzelgemaal	
Gemaal De Pieper	Uitlaatgemaal	Kanaal	terugslagklep	1	7.623	7	circa 1500	17	18.513	0	-	-	-	1500x1000	kunststof		gemaal dateert van 1932	
Gemaal Benoorden de Willemsvaart	Uitlaatgemaal	Rivier	terugslagklep	1	13.618	7	?	17	33.072	0	-	-	-	rond 1000?	staal		gemaal kan ook inlaten, maar gebeurt nooit	
Gemaal Kostverlorenzijl	Gemaal	Rivier	Terugslagklep	1	6465	7	1000	26	24.013	1	openen	Scharnier aan 1 zijde verroest en afgebroken	Ja	2000x2000	staal		Mag bij normaal beheer en onderhoud eigenlijk niet voorkomen	
Gemaal Kostverlorenzijl	Gemaal	Rivier	terugslagklep	1	x	x	x	x	x	2	sluiten	Stuk hout ertussen	Nee, beperkte opening en eenvoudig op te lossen					
Gemaal Kostverlorenzijl	Gemaal	Rivier	Schuif	1	6465	7	1000	16	14.777	1	openen	spindel afgebroken	Nee	2000x3000	staal		Schuif tot 2008 gekoppeld aan maalbedrijf	
Gemaal Kloosterzijl	Gemaal	Rivier	Terugslagklep	1	10783	6	100	25	44.929	0	-	-	-	2750x2750	staal			
Gemaal Kloosterzijl	Gemaal	Rivier	Schuif	1	10783	6	100	15	26.958	2	openen	spindel afgebroken	Nee	3500x4000	staal		Schuif tot 2008 gekoppeld aan maalbedrijf	
Gemaal Spoortippe	Gemaal	Kanaal	Schuif	2	geen meting		3	38	#WAARDE!	0	-	-	-	1500x1499	staal			
Gemaal Spoortippe	Gemaal	Kanaal	Terugslagklep	1	10408	7	1000	38	44.606	0	-	-	-	1500x1500	staal			
Inlaat Hoogeveense vaart	Inlaat	Kanaal	Schuif	1			2000	40	#DELING.DOOR.O!	1	Sluiten	Spindel afgebroken	Ja	3000x3000	staal			
Inlaat Hoogeveense vaart	Inlaat	Kanaal	Schuif	1			2000	40	#DELING.DOOR.O!	3	openen	Storing overbrenging pionkop	nee					
Keersluis De Whaa	Keersluis	Rivier	Puntdeur	1			22	17	#DELING.DOOR.O!	1	sluiten	Stok tussen deur	Nee, beperkte opening en eenvoudig op ge lossen					
Vispassage Stroink	Inlaat	Rivier	Schuif	2			30	7	#DELING.DOOR.O!	3	Onbekend	Storing telemetrie	Onbekend	350 resp rond	staal		op te lossen door op afstand te resetten, ande	
Inlaat gemaal Stroink	Inlaat	Rivier	Schuif	4			400	15	#DELING.DOOR.O!	0	-	-	-	1500x2400	staal		1 schuif sluit dagelijks, andere 3 maandelijks	
Gemaal Barsbeker binnen	Gemaal	Rivier	terugslagklep	2			1500	15	#DELING.DOOR.O!	ca 7x	sluiten	Paaltje tussen klep achter vijzel	Nee, beperkte opening en eenvoudig op ge lossen	1000x1000	t resp kunststof			
Gemaal Barsbeker binnen	Gemaal	Rivier	Schuif	1			25	15	#DELING.DOOR.O!	0	-	-	-	1500x1500	staal		Schuif sluit bij 1,0m+NAP	
Gemaal Barsbeker buiten	Gemaal	Rivier	terugslagklep	2			365	15	#DELING.DOOR.O!	0	-	-	-	500x500	kunststof			
Gemaal Kadoelen	Gemaal	Rivier	terugslagklep	1			700	15	#DELING.DOOR.O!	0	-	-	-	900x1300	kunststof		sluiting in laatste 1,5 Jr niet ontdekt is doordat	
Gemaal Kadoelen	Gemaal	Rivier	Schuif	1			700	1,5	#DELING.DOOR.O!	0	-	-	-	1200x750	?		chuif pas sinds 1,5 jr gekoppeld aan maalbedri	
Gemaal Bentpolder	Gemaal	Rivier	vlinderklep	2			250	?	#DELING.DOOR.O!	0	-	-	-	rond 700	staal?			
Gemaal Bentpolder	Gemaal	Rivier	terugslagklep	2			250	?	#DELING.DOOR.O!	0	-	-	-	?	?			
Gemaal Vilsteren	uitlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep		5873	5		6		0		nvt		500mm	Staal			
Gemaal Rechteren	uitlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep		485	7		6		0		nvt		500mm	Staal			
Gemaal Den Berg	inlaatgemaal	Rivier	schuif		28891	8		6		0		nvt		600mm	staal			
Westerveld	uitlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep		7993	8		6		0		nvt		750mm	HDPE			
Westerveld	inlaat	Rivier	schuif		?			6		0		Geen data van sluitvragen						
Vechterweerd	inlaat	Rivier	Schuif		continu			6		1	openen	Auma werkte niet	Nee	1000mm	Staal			
Vechterweerd	uitlaatgemaal	Rivier	Schuif		459	8		6		0	Sluiten		Ja	1000mm	Staal			
Vechterweerd	uitlaatgemaal	Rivier	Schuif		459	8		6		1	Sluiten	spindel vastgelopen	Ja	1000mm	Staal			

Kunstwerknaam	Type kunstwerk	Type buitenwater	Type	Aantal	Aantal	Aantal	Aantal	Aantal sluitvragen			Betrof	Reden falen	Kan leiden tot overstromingsgevolgen	Afmetingen		Bijzonderheden
		(Rivier/meer)	keermiddel	keermiddelen	sluitvragen uit data	jaren data	sluitvragen per jaar beheerder	beheerder	beheerder	obv data+ ervaring				Aantal bekende faalsituaties	keermiddel	
Gemaal Marswetering	inlaatgemaal	Rivier	Schuif		13830	8				1	openen	Slijtage	Nee	800mm	Staal	
Gemaal Marswetering	uitlaatgemaal	Rivier	Schuif			8				1	Sluiten	Auma werkte niet, handmatig gesloten	Ja	500mm	Staal	
Gemaal Marswetering	uitlaatgemaal	Rivier	Schuif			8				1	Sluiten	spindel vast, handmatig gesloten	Ja	500mm	Staal	
Sluis Nieuwe Verlaat	Keersluis	Rivier	Deur		nvt							Niet frequent te sluiten!				
Menistenbrug	geen vragenlijst											geen vragenlijst				
De Doorn	inlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep		17881	8				0		nvt				
Sluis Gennegerzijl	inlaat	Rivier	schuif	dagelijks regeling op		?				0		nvt		600mm	Staal	
Schutsluis Hasselt	Keersluis	Rivier	Deur		nvt							Niet frequent te sluiten!				
Broekhuizen	Inlaat	Rivier	schuif							0		Geen data van sluitvragen		1x1,25m	Staal	
Streukelerzijl	uitlaatgemaal	Rivier	2xTerugslagklep		109	7				0		nvt		ca 3,2x3,5m	Staal	
De Stouwe	inlaatgemaal	Rivier	schuif		30274	6				0		nvt		600x600mm	staal	
vijvers Bellingeweer	uitlaatgemaal	Rivier	drempel									nvt, schuiven alleen bij noodsituaties dicht				
t Vosje	Inlaatgemaal		Schuif		zomer, continu	nvt		28	nvt	0		nvt	nvt	600, rond	staal	
t Vosje	Uitlaatgemaal		Terugslagklep		2754	7		28	nvt	0		nvt	nvt	600, rond	staal	
t Katje	Inlaatgemaal		Schuif		4259	7		28	nvt	0		nvt	nvt	1000, vierk		
Gemaal Mandjeswaard '92/'93	Uitlaatgemaal		Terugslagklep		15399	7		26	nvt	0		nvt	nvt	1000x600	staal	
Gemaal Willem Meijerpolder '59	Uitlaatgemaal		Terugslagklep		-	28		28	sluiten	1		doorgeroeste bouten (veroudering)	ja	600, vierk	kunstst	
Gemaal Stikkepolder '59	Uitlaatgemaal		Terugslagklep		-	28		28	nvt	0		nvt	nvt	600, vierk	kunstst	
Gemaal Adsum '69	Uitlaatgemaal (2x)		Terugslagklep (2x)		9323	8		28	nvt	1		klein kiertje door ijsvorming	ja	1000x1000	kunstst	
Zwartemeerpolder	Gemaal		Terugslagklep				>100	15		0		nvt	nvt	vierkant	staal	
Zalk	Inlaatgemaal		Schuif				1x									
Adsum '69	Inlaatgemaal		Vlinderklep					28		0		nvt	nvt	1000, vierkant	kunstst HPE	laatste 15 jaar automatisch
t Gansje	Uitlaatgemaal		Terugslagklep					28	nvt	0		nvt	nvt	1000, rond	kunststof	
Rechternveld	Uitlaatgemaal		Terugslagklep	1	31568	7		28	126272	0		nvt	nvt	500, rond		
Rechternveld	Uitlaatgemaal		Schuif	2	dicht bij inlaten			28		0		alleen momentstoringen				
Rechternveld	Inlaat		Schuif	1	open bij inlaat			28		0		alleen momentstoringen				
Rechternveld	Inlaat		Regelschuif	1	continu (debiet regelen)			28		0		alleen momentstoringen				
t Zwaantje					17831	7		28	71324	0		nvt	nvt	1000x1200	kunststof	
t Raasje	Inlaatgemaal		Schuif	1	2818	7		28	11272	0		nvt	nvt	2000x1000	staal	
t Raasje	Inlaatgemaal		Terugslagklep	1	2818	7		28	11272	niet detecteerbaar		nvt	nvt	2000x1000	staal	
Douwelerkolk	geen data															
Rietberg	geen keermiddel															
Ramelerleide	geen interview															
Pontongemaal Zandwetering			Terugslagklep	2	143	4		4	143	0						
Pontongemaal Oude wetering			Terugslagklep	2	58	4		4	58	0						

Bijlage C Selectie afsluiters wel en niet in analyse

Bijlage C.1: Selectie afsluiters die zijn meegenomen in de analyse

max aantal jaar ervaring	5
terugslagklep	728554
Schuif	211139

tot aantal sluitvragen

leeftijd kunstwerk of jaren ervaring met kunstwerk?
is schuif inderdaad nog steeds gekoppeld aan pompregime, hoewel er ook een terugslagklep is?
wat voor type afsluiter?
licht aangepast obv bijzonderheden
aangepast om alleen hele jaren mee te nemen voor statistiek
checken
sterk variërend aantal per jaar

Kunstwerknaam	Type kunstwerk	Type buitenwater (Rivier/meer)	Type keermiddel	Aantal keermiddelen	Aantal sluitvragen uit data	Aantal jaren data	Aantal sluitvragen per jaar data	Aantal sluitvragen per jaar beheerder	Gebruikte schatting aantal per jaar	Jaren ervaring beheerder	Jaren ervaring beheerder duidelijk?	Aantal sluitvragen obv data+ ervaring beheerder	Bekende faalsituaties?	meenemen in analyse	bijzonderheden	vorm	afmeting (mm)	materiaal
Gemaal Vocaleum	Uitlaatgemaal	Rivier	Schuif	1	1.971	6	329	100	329	20	ja	6.570	nee	ja		rond	300	
Gemaal Lierder- en Molenbroek	Uitlaatgemaal	Kanaal	Terugslagklep	2	7.337	6	1223	300	1223	20	ja	24.457	nee	ja			800x800	Azobe
Gemaal Bremmelerstraat klein	Uitlaatgemaal	Kanaal	Terugslagklep	1	11.252	6	1875	300	1875	20		9.377	nee	ja			500x500	kunststof
Gemaal Bremmelerstraat groot	Uitlaatgemaal	Kanaal	Terugslagklep	1	5.771	6	962	50	962	20	ja	19.237	nee	ja			1000x1000	kunststof
Gemaal Markvoort	Uitlaatgemaal	Kanaal	Terugslagklep	2	8.708	6	1451	365	1451	20	ja	29.027	nee	ja			klein	?
Gemaal Sekdoorn	Uitlaatgemaal	kanaal	Terugslagklep	1	4.230	5	846	1500	846	20	ja	16.920	nee	ja			700x700	hout
Gemaal Langeslag klein	Uitlaatgemaal	kanaal	Terugslagklep	1	229	4	57	10	57	20	ja	1.145	nee	ja	2016 niet meegenomen bij berekenen gemiddelde, want pomp op hol in augustus 2016		1200x1200	staal
Gemaal Langeslag groot	Uitlaatgemaal	kanaal	Terugslagklep	1	159	5	32	10	32	20	ja	636	nee	ja			2000x2000	staal
Gemaal Katerveer	Uitlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep	2	1.144	6	191	300	191	20	ja	3.813	nee	ja			1200x1200	staal
Inlaat Katerveer	Inlaat	Rivier	Schuif	1	Geen meetg	-	#WAARDE!	300	300	20	ja	6.000	nee	ja		rond	1200	staal
Gemaal Nieuwe Lutterzijl Koekoek	Uitlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep	3	3.757	5	751	365	751	17	ja	12.774	nee	ja	Vijzelgemaal		2500x1500	staal
Gemaal Cellemuiden	Uitlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep	1	2.681	5	536	300	536	17	ja	9.115	nee	ja	Vijzelgemaal		1500x1200	kunststof
Gemaal Nieuw Lutterzijl/Mastenbroek	Uitlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep	2	Geen meetg	-	#WAARDE!	300	300	17	ja	5.100	ja	ja	Vijzelgemaal		2500x1500	staal
Gemaal Biesvelden	Uitlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep	1	21.021	5	4204	300	4204	17	ja	71.471	nee	ja	vijzelgemaal		1500x1000	kunststof
Gemaal De Pieper	Uitlaatgemaal	Kanaal	Terugslagklep	1	5.859	5	1172	1500	1172	17	ja	19.921	nee	ja	gemaal dateert van 1932		1500x1200	kunststof
Gemaal Benoorden de Willemsvaart	Uitlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep	1	10.079	5	2016		2016	17	ja	34.269	nee	ja	gemaal kan ook inlaten, maar gebeurt nooit	rond	1000	staal
Gemaal Kostverlorenzijl	Gemaal	Rivier	Terugslagklep	1	5177	5	1035	1000	1035	26	ja	26.920	ja	ja			2000x2000	staal
Gemaal Kostverlorenzijl	Gemaal	Rivier	Schuif	1	5177	5	1035	1000	1035	16	ja	16.566	ja	ja	Schuif tot 2008 gekoppeld aan maalbedrijf		2000x3000	staal
Gemaal Kloosterzijl	Gemaal	Rivier	Terugslagklep	1	8030	4	2008	100	2008	25	ja	50.188	nee	ja			2750x2750	staal
Gemaal Kloosterzijl	Gemaal	Rivier	Schuif	1	8030	4	2008	100	2008	15	ja	30.113	ja	ja	Schuif tot 2008 gekoppeld aan maalbedrijf		3500x4000	staal
Gemaal Spoortippe	Gemaal	Kanaal	Terugslagklep	1	8490	5	1698	1000	1698	38	ja	64.524	nee	ja			1500x1500	staal
Inlaat Hoogeveense vaart	Inlaat	Kanaal	Schuif	1	geen meting		#WAARDE!	2000	2000	40	ja	80.000	ja	ja			3000x3000	staal
Vispassage Stroink	Inlaat	Rivier	Schuif	2	geen meting		#WAARDE!	30	30	7	ja	210	ja	ja		vierk/rond	350x350 / 800	staal
Inlaat gemaal Stroink	Inlaat	Rivier	Schuif	4	geen meting		#WAARDE!	380	380	15	ja	5.700	nee	ja	1 schuif sluit dagelijks, andere 3 maandelijks		1500x2400	staal
Gemaal Barsbeker binnen	Gemaal	Rivier	Terugslagklep	2	geen meting		#WAARDE!	1500	1500	15	ja	22.500	ja	ja			1000x1000	hout / kunststof
Gemaal Barsbeker buiten	Gemaal	Rivier	Schuif	1	geen meting		#WAARDE!	25	25	15	ja	375	nee	ja	Schuif sluit bij 1,0m+NAP		1500x1500	staal
Gemaal Barsbeker buiten	Gemaal	Rivier	Terugslagklep	2	geen meting		#WAARDE!	365	365	15	ja	5.475	nee	ja			500x500	kunststof
Gemaal Kadoelen	Gemaal	Rivier	Terugslagklep	1	geen meting		#WAARDE!	700	700	15	ja	10.500	nee	ja	Kan zijn dat falende sluiting in laatste 1,5 jr niet ontdekt is doordat schuif gesloten was		900x1300	kunststof
Gemaal Kadoelen	Gemaal	Rivier	Schuif	1	geen meting		#WAARDE!	700	700	1,5	ja	1.050	nee	ja	Schuif pas sinds 1,5 jr gekoppeld aan maalbedrijf		1200x750	?
Gemaal Vilsteren	uitlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep	3	8278	5	1656		1656	6	ja	9.934	nee	ja	nog geen goed gevoel aantal sluitvragen per jaar door sterke trend		500mm	Staal
Gemaal Rechteren	uitlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep		2097	5	419		419	6	ja	2.516	nee	ja			500mm	Staal
Gemaal Den Berg	inlaatgemaal	Rivier	Schuif		28891	8	3611		3611	6	ja	21.668	nee	ja			600mm	staal
Westerveld	uitlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep		6912	6	1152		1152	6	ja	6.912	nee	ja		750mm	750mm	HDPE
Westerveld			Schuif				40		40			238		ja	2013 niet meegenomen bij berekenen gemiddelde, want pomp op hol in augustus 2013	1000mm	1000mm	Staal
Vechterweerd	uitlaatgemaal	Rivier	Schuif		198	5	2068		2068	6	ja	12.409	ja	ja	aantal per jaar varieert sterk -> aantal bepaald over laatste 6 jaar 2013-2018	800mm	800mm	Staal
Gemaal Marswetering	inlaatgemaal	Rivier			12409	6				6	ja		ja	ja		800mm	800mm	Staal
t Vosje	Uitlaatgemaal		Terugslagklep		1901	5	380		380	28	ja	10.646	nee	ja		rond	600	staal
t Katje	Inlaatgemaal		Schuif		3270	5	654		654	28	ja	18.312	nee	ja		vierkant	1000	
Gemaal Mandjeswaard '92/'93	Uitlaatgemaal		Terugslagklep		12062	5	2412		2412	26	ja	62.722	nee	ja			1000x600	staal
Gemaal Adsum '69	Uitlaatgemaal		Terugslagklep	2	8367	6	1395		1395	28	ja	39.046	ja	ja		vierkant	1000x1000	kunstst
Zwartemeerpolder	Gemaal		Terugslagklep		geen meting		#WAARDE!	100	100	15	ja	1.500	nee	ja		vierkant		staal
t Gansje	Uitlaatgemaal		Terugslagklep		5278	5	1056		1056	28	ja	29.557	nee	ja		rond	1000	kunststof
Rechterveld	Uitlaatgemaal		Terugslagklep	1	27470	6	4578		4578	28	ja	128.193	nee	ja		rond	500	
t Raasje	Inlaatgemaal		Schuif	1	2130	5	426		426	28	ja	11.928	nee	ja	wel gekoppeld aan pompregime		2000x1000	staal
Pontongemaal Zandwetering			Terugslagklep	2	56	2	28		28	4	ja	112	nee	ja				
Pontongemaal Oude wetering			Terugslagklep	2	24	2	12		12	4	ja	48	nee	ja				

max aantal jaar ervaring	5
terugslagklep	728554
Schuif	211139

leeftijd kunstwerk of jaren ervaring met kunstwerk?

is schuif inderdaad nog steeds gekoppeld aan pompregime, hoewel er ook een terugslagklep is?

wat voor type afsluiter?

licht aangepast obv bijzonderheden

aangepast om alleen hele jaren mee te nemen voor statistiek

checken

sterk variërend aantal per jaar

Kunstwerknaam	Type kunstwerk	Type buitenwater (Rivier/meer)	Type keermiddel	Aantal keermiddelen	Aantal sluitvragen uit data	Aantal jaren data	Aantal sluitvragen per jaar data	Aantal sluitvragen per jaar beheerder	Gebruikte schatting aantal per jaar	Jaren ervaring beheerder	Jaren ervaring beheerder duidelijk?	Aantal sluitvragen obv data+ ervaring beheerder	Bekende faalsituaties?	meenemen in analyse	reden niet meenemen in analyse	bijzonderheden	vorm	afmeting (mm)	materiaal
Gemaal Lierder- en Molenbroek	Uitlaatgemaal	Kanaal	Schuif	2	7.337	6	1223	300	1223	20		0	nee	nee	onduidelijk of gekoppeld aan maalregime		rond	800	?
Gemaal Bremmelerstraat klein	Uitlaatgemaal	Kanaal	Schuif	1	11.252	6	1875	300	1875	20		0	nee	nee	onduidelijk of gekoppeld aan maalregime			500x500	staal
Gemaal Bremmelerstraat groot	Uitlaat	Kanaal	Schuif	1	5.771	6	962	continue	962	20		0	nee	nee	schuif niet gekoppeld pompregim	betreft regelschuif		1000x1000	staal
Gemaal Markvoort	Uitlaatgemaal	Kanaal	Schuif	2	8.708	6	1451	365	1451	20		0	ja	nee	onduidelijk of gekoppeld aan maalregime			klein	?
Gemaal Langeslag klein	Uitlaatgemaal	kanaal	Schuif	1	229	4	57	10	57	20		0	nee	nee	onduidelijk of gekoppeld aan maa	terugmelding op schuif		1200x1200	staal
Gemaal Langeslag groot	Uitlaatgemaal	kanaal	Schuif	1	159	5	32	10	32	20		0	nee	nee	onduidelijk of gekoppeld aan maa	terugmelding op schuif		2000x2000	staal
Gemaal Katerveer	Uitlaatgemaal	Rivier	Schuif	2	1.144	6	191	300	191	20		0	nee	nee	onduidelijk of gekoppeld aan maalregime			1200x1200	staal
Gemaal Harculo	Uitlaatgemaal	Rivier	Schuif	1	Geen meetg	-	#WAARDE!	?	0	1	ja	0	nee	nee		nieuw gemaal		600x600	staal?
Gemaal Zuiderzeepolder	Uitlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep	2	2.761	5	552	100	552	?	nee	0	ja	nee	aantal beheerdersjaren onbekend	Vijzelgemaal		1500x1200	kunststof
Gemaal Veerhuis	Uitlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep	1	Geen meetg	-	#WAARDE!	300	300	17	ja	0	nee	nee		Kattenrug in leiding		500x500	kunststof
Gemaal Spoortippe	Gemaal	Kanaal	Schuif	2	geen meting		#WAARDE!	3	3	38		0	nee	nee	te weinig sluitvragen per jaar (circa 3)			1500x1499	staal
Gemaal Bentpolder	Gemaal	Rivier	Terugslagklep	2	geen meting		#WAARDE!	250	250	?	nee	0	nee	nee	aantal beheerdersjaren onbekend		?	?	?
Westerveld	inlaat	Rivier	Schuif		6912	6	1152		1152	6	nee	0	nee	nee	onduidelijk of gekoppeld aan maalregime				
Vechterweerd	inlaat	Rivier	Schuif				#####		0	6	nee	0	ja	nee	geen data beschikbaar aantal sluitvragen		1000mm	1000mm	Staal
Gemaal Marswetering	uitlaatgemaal	Rivier	Schuif			8			0	6	ja	0	ja	nee	geen data beschikbaar aantal sluitvragen		500mm	500mm	Staal
Galgentak	uitlaatgemaal	rivier	Terugslagklep	2x2	66	6	11		11	?	nee	0	nee	nee	aantal beheerdersjaren onbekend			2000x1000	Staal
			Terugslagklep				2235		2235	?	nee	0	nee	nee	aantal beheerdersjaren onbekend	aantal per jaar varieert sterk -> gemiddelde niet te bepalen			
De Doorn	inlaatgemaal	Rivier			17881	8													
Sluis Gennegerzijl	inlaat	Rivier	Schuif		dagelijks regeling op	?	#WAARDE!		0		nee	0	nee	nee	aantal vragen onduidelijk			600mm	Staal
Broekhuizen	Inlaat	Rivier	Schuif				#####		0		nee	0	nee	nee	geen data beschikbaar aantal sluitvragen		1x1,25m	1000x1250	Staal
Streukelerzijl	uitlaatgemaal	Rivier	Terugslagklep	2	9926	6	1654		1654	?	nee	0	nee	nee	aantal jaren ervaring beheerder onbekend			3200x3500	Staal
De Stouwe	inlaatgemaal	Rivier	Schuif		30274	6	5046		5046	?	nee	0	nee	nee	aantal jaren ervaring beheerder onbekend			600x600	staal
t Vosje	Inlaatgemaal		Schuif		zomer, continu	nvt	#WAARDE!		0	28	ja	0	nee	nee	continu gebruik		rond	600	staal
Gemaal Willem Meijerpolder '59	Uitlaatgemaal		Terugslagklep		-	28	#WAARDE!		0	28	ja	0	ja	nee	geen data beschikbaar aantal sluitvragen		vierkant	600	kunstst
Gemaal Stikkepolder '59	Uitlaatgemaal		Terugslagklep		-	28	#WAARDE!		0	28	ja	0	nee	nee	geen data beschikbaar aantal sluitvragen		vierkant	600	kunstst
Rechterveld	Uitlaatgemaal		Schuif	2	dicht bij inlaten		#WAARDE!		0	28	ja	0	nee	nee	geen data beschikbaar aantal sluitvragen				
Rechterveld	Inlaat		Schuif	1	open bij inlaat		#WAARDE!		0	28	ja	0	nee	nee	geen data beschikbaar aantal sluitvragen				
Rechterveld	Inlaat		Schuif	1	continu (debiet regeler		#WAARDE!		0	28	ja	0	nee	nee	geen data beschikbaar aantal sluitvragen				
t Raasje	Inlaatgemaal		Terugslagklep	1	2130	5	426		426	28	ja	0	nee	nee	falen is niet detecteerbaar			2000x1000	staal

Bijlage D Schatten statistische onzekerheid faalkans

Bij k faalgebeurtenissen (bijvoorbeeld gefaalde sluitvragen) op een totaal van n trekkingen (bijvoorbeeld sluitvragen) is de meest zuivere schatting van de werkelijke faalkans $\hat{\varphi} = \frac{k}{n}$. Deze schatting is echter wel onzeker (statistische onzekerheid), doordat het aantal faalgebeurtenissen k aan toeval onderhevig is. Deze bijlage gaat in op het bepalen van de statistische onzekerheid rondom de geschatte faalkans $\hat{\varphi}$.

Bionomaalverdeling

Gegeven een bekende faalkans φ , is het aantal faalgebeurtenissen k in een sample van n trekkingen binomiaal verdeeld

$$f(k; n, \varphi) = P(X = k) = \binom{n}{k} \varphi^k (1 - \varphi)^{n-k}$$

waar

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

Bijvoorbeeld, stel dat we een faalkans hebben van $\varphi = 0,1$ en $n=5$ trekkingen doen, dan is de kans op $k=2$ faalgebeurtenissen $P(X = 2) = \binom{5}{2} 0,1^2 (1 - 0,1)^{5-2} = 0,0729$

Statistische onzekerheid binomiaalverdeling

Wij zijn echter op zoek naar de statistische onzekerheid rondom de geschatte faalkans $\hat{\varphi}$, gegeven k faalgebeurtenissen op n trekkingen. Deze onzekerheid schatten we in een Bayesiaanse setting. Gegeven k faalgebeurtenissen op n trekkingen wordt de posterior kansdichtheidsfunctie (pdf) $\pi(\varphi|k, n)$

$$\pi(\varphi|k, n) = \frac{l(k, n|\varphi)\pi(\varphi)}{\pi(k, n)}$$

Waar

$l(k, n|\varphi)$ = likelihoodfunctie

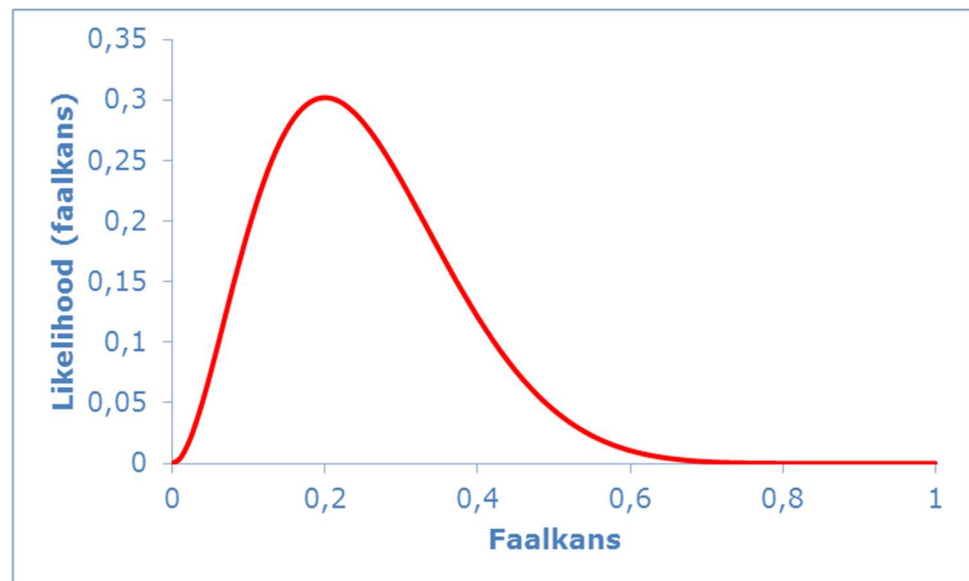
$\pi(\varphi)$ = prior pdf

$\pi(k, n)$ = $\int l(k, n|\varphi)\pi(\varphi) d\varphi$ = marginale verdeling van de trekkingen die opgevat kan worden als een normaliserende factor

De prior pdf $\pi(\varphi)$ geeft de (subjectieve) kansdichtheidsfunctie. Hiervoor wordt vaak een uniforme kansverdeling gekozen, wat suggereert dat we echt geen idee hebben wat de werkelijke faalkans φ zou kunnen zijn; *“elke faalkans tussen 0 en 1 wordt even waarschijnlijk geacht”*.

De likelihoodfunctie $l(k, n|\varphi)$ geeft voor elke φ tussen 0 en 1 de kans op de uitkomst van ons experiment (k faalgebeurtenissen op n trekkingen). Onderstaande grafiek geeft de likelihoodfunctie¹¹ van faalkans φ voor $k=2$ en $n=5$.

¹¹ De maximum likelihood wordt per definitie gevonden bij $\varphi = k/n$



Likelihoodfunctie van faalkans conditioneel op $k=2$ faalgebeurtenissen op $n=10$ trekkingen.

Door de likelihoodfunctie voor elke φ te vermenigvuldigen met de prior pdf en te delen door de marginale verdeling wordt de posterior pdf $\pi(\varphi|k, n)$ verkregen. De schatting van de faalkans die rekening houdt met de statistische onzekerheid $\hat{\varphi}_{stat}$ wordt verkregen door de verwachtingswaarde (=gemiddelde) te nemen van deze posterior pdf¹²

$$\hat{\varphi}_{stat} = E(\pi(\varphi|k, n))$$

Schatting faalkans rekening houdend met statistische onzekerheid terugslagkleppen en schuiven

Voor grote sample-groottes n zoals het geval is in onze studie, is het niet mogelijk (of erg lastig) om de kans op precies k gebeurtenissen exact te bepalen doordat de formule gebruik maakt van $\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$.

De kans op precies k gebeurtenissen kan wel benaderd worden met behulp van de Poisson of normale verdeling (afhankelijk van de sample size en faalkans). Wij gebruiken voor deze studie de benadering die standaard wordt gebruikt door Excel.

¹² Bij het gegeven voorbeeld met $k=2$ faalgebeurtenissen op $n=10$ trekkingen wordt $\hat{\varphi}_{stat} = E(\pi(\varphi|k, n)) \approx 0,25$