

# Hoogwaterbeschermingsprogramma



**HWBP in samenwerking met  
Hoogheemraadschap Hollands  
Noorderkwartier**

## **Handreiking Kunstwerken**

**versie 2.2**

Datum      December 2016

Status      Definitief

Voor u ligt de Handreiking Kunstwerken, versie 1 voor de HWBP projecten. Deze versie is door de Stuurgroep van december 2016 vastgesteld.

In het kader van herstructurering leidraden voor de beoordeling, ontwerp en verbetering van primaire waterkeringen is beschouwd wat een logische plek is voor de Handreiking Kunstwerken. Het nieuwe stelsel van leidraden en handreikingen maakt onderscheid naar basis instrumentarium en proces instrumentarium.

De Handreiking Kunstwerken is opgesteld als hulpmiddel om in de verkenningsfase van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) de veiligheidsopgave van kunstwerken nader te beschouwen en globale oplossingsrichtingen te bepalen. Dit is te beschouwen als onderdeel van totale proces van de verkenningsfase. Het HWBP is proceseigenaar van dit proces, en derhalve is de Handreiking Kunstwerken een procesinstrument van het HWBP.

De Handreiking is bedoeld om waterkeringbeheerders te faciliteren bij het uitvoeren van de veiligheidsanalyse en het bepalen van de globale veiligheidsscope voor kunstwerken. De Handreiking Kunstwerken geeft geen invulling aan de financiële regeling(en). Bijlage 'Toelichting op de regeling' geeft een aantal relevante passages over vervanging en versterking uit de MvT bij de financieringsregeling bevat weer.

De Handreiking zal op basis van ervaring van de beheerders periodiek geactualiseerd en verbeterd worden.

## **Colofon**

Uitgave programmabureau HWBP

December 2016

## **Fout! Onbekende naam voor documenteigenschap.**

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>5</b>
1.1	<i>Kunstwerken in de verkenning .....</i>	5
1.2	<i>Doel van dit document.....</i>	5
1.3	<i>Begrippen, uitgangspunten en randvoorwaarden .....</i>	7
1.3.1	<i>Begrippen.....</i>	7
1.3.2	<i>Uitgangspunten .....</i>	8
1.3.3	<i>Randvoorwaarden.....</i>	8
1.4	<i>Een Handreiking Kunstwerken.....</i>	9
1.5	<i>Leeswijzer.....</i>	9
<b>2</b>	<b>Opzet Handreiking Kunstwerken .....</b>	<b>10</b>
2.1	<i>Plaats van de handreiking .....</i>	10
2.2	<i>De te onderscheiden stappen.....</i>	11
2.2.1	<i>Veiligheidsanalyse .....</i>	11
2.2.2	<i>Veiligheidsopgave.....</i>	12
2.3	<i>Toepassen op areaal.....</i>	12
<b>3</b>	<b>Mobiliseren van beschikbare kennis .....</b>	<b>13</b>
3.1	<i>Beheer en bediening.....</i>	13
3.2	<i>Veldbezoek.....</i>	14
3.3	<i>Beschikbare documenten .....</i>	14
<b>4</b>	<b>Functie van het kunstwerk .....</b>	<b>15</b>
4.1	<i>Inventariseren van functies van een kunstwerk.....</i>	15
4.1.1	<i>Huidige functies.....</i>	15
4.1.2	<i>Toekomstige functies .....</i>	16
4.2	<i>Functies kunstwerken in direct nabijheid .....</i>	17
4.3	<i>Consequenties van andere functies.....</i>	17
<b>5</b>	<b>Gebruik van het kunstwerk.....</b>	<b>18</b>
5.1	<i>Coupure.....</i>	18
5.2	<i>Gemaal.....</i>	19
5.3	<i>Schutsluis .....</i>	20
5.4	<i>Uitwateringssluis.....</i>	21
5.5	<i>Inlaatsluis .....</i>	22
5.6	<i>Keersluis.....</i>	23
<b>6</b>	<b>Gehanteerde gegevens bij de toetsing .....</b>	<b>24</b>
6.1	<i>Conditie van het kunstwerk .....</i>	24
6.1.1	<i>Hoogteligging kunstwerk .....</i>	25
6.1.2	<i>Keermiddelen.....</i>	26
6.1.3	<i>Kwelschermen.....</i>	26
6.1.4	<i>Bodembescherming .....</i>	27
6.2	<i>Grondgegevens.....</i>	27
6.3	<i>Rekenregels .....</i>	28
6.3.1	<i>Sterkte houten puntdeuren .....</i>	28
6.3.2	<i>Heave .....</i>	29
6.3.3	<i>Achterloopsheid.....</i>	29

<b>7</b>	<b>Overstromingskansbenadering .....</b>	<b>30</b>
7.1	<i>Het nieuwe toetsen .....</i>	30
7.2	<i>Nieuwe normen.....</i>	31
7.3	<i>Eerste screening .....</i>	31
7.4	<i>Analyse conform overstromingsbenadering.....</i>	31
7.5	<i>Bepaling veiligheidsopgave.....</i>	32
<b>8</b>	<b>Oplossingsrichtingen .....</b>	<b>33</b>
8.1	<i>Hoogte.....</i>	33
8.2	<i>Betrouwbaarheid sluiting.....</i>	34
8.2.1	<i>Fysiske oplossingen .....</i>	35
8.2.1.1	<i>Sluiting van de keermiddelen (<math>P_{ns}</math>) .....</i>	35
8.2.1.2	<i>Overschrijding maximaal toelaatbaar peil (<math>N\{h_{bu}&gt;OKP\}</math>) ....</i>	36
8.2.1.3	<i>De kans op open staan (<math>P_{open}</math>) .....</i>	37
8.2.2	<i>Procesmatige oplossingen .....</i>	37
8.2.2.1	<i>Sluiting van de keermiddelen (<math>P_{ns}</math>) .....</i>	37
8.2.2.2	<i>Overschrijding maximaal toelaatbaar peil (<math>N\{h_{bu}&gt;OKP\}</math>) ....</i>	37
8.2.2.3	<i>De kans op open staan (<math>P_{open}</math>) .....</i>	38
8.3	<i>Onder- en achterloopsheid .....</i>	38
8.3.1	<i>Vergroten van de weerstand van de kwelwegen .....</i>	38
8.3.2	<i>Voorkomen uitspoelen van gronddeeltjes.....</i>	39
8.3.3	<i>Vergroten intredeweerstand.....</i>	39
8.3.4	<i>Reduceren van het maatgevende verval .....</i>	40
8.4	<i>Sterkte en stabiliteit .....</i>	40
<b>9</b>	<b>Literatuurlijst .....</b>	<b>41</b>

## 1 Inleiding

### 1.1 Kunstwerken in de verkenning

Binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) gaat niet alleen de aandacht uit naar dijken en duinen, maar ligt er ook een opgave ten aanzien van de waterkerende kunstwerken in onze primaire waterkeringen. De kunstwerken kunnen hierbij in omvang variëren van grote schutsluizen tot kleine gemaaltjes en duikers. In de derde toetsronde (2006-2011) is immers voor alle waterkerende kunstwerken in de primaire waterkering een toets uitgevoerd met betrekking tot de waterveiligheid. Ook voor de toekomst geldt dat alle kunstwerken getoetst worden op waterveiligheid.

Afgekeurde kunstwerken zijn of worden op een lijst met te verbeteren kunstwerken gezet. Afhankelijk van de oorzaak van het niet voldoen van een kunstwerk komt herstel van de waterkerende functie mogelijk in aanmerking voor vergoeding. Vanuit voorgaande toetsronden staan inmiddels enkele honderden kunstwerken aangemeld bij het HWBP.

Het verbeteren van kunstwerken is mede als gevolg van de overschrijdingskansbenadering, welke tot en met 2016 wettelijk is vastgelegd, vaak gericht op het individuele kunstwerk. Doordat in de toekomst ontwerp en beoordeling plaatsvinden in het licht van de overstromingskansbenadering, is niet alleen het kunstwerk zelf van belang bij het analyseren en vaststellen van de veiligheidsopgave. Ook het dijktraject waarin het kunstwerk gelegen is en de overige kunstwerken die hierin aanwezig zijn spelen een rol. Daarnaast kunnen de gevolgen van falen van een kunstwerk in termen van schade en slachtoffers ook deel uitmaken van de beschouwingen. Deze aspecten spelen allemaal een rol bij het uitvoeren van een verkenning van de kunstwerken.

### 1.2 Doel van dit document

Het doel van voorliggende Handreiking Kunstwerken is het volgende:

*Het geven van handvatten waarmee, vanuit de resultaten van de wettelijke toetsing<sup>1</sup>, op eenduidige wijze een veiligheidsanalyse voor een kunstwerk kan worden uitgevoerd, leidend tot een veiligheidsopgave voor dit kunstwerk. Vervolgens het globaal richting geven aan oplossingsrichtingen met betrekking tot herstel van het waterkerende vermogen.*

*Het beoogd effect voor het Hoogwaterbeschermingsprogramma is om de verbeteropgave van kunstwerken slimmer en doelmatiger in te richten om tegen geringere kosten het kunstwerk te laten voldoen aan de gestelde normen.*

Bovenstaand doel geeft aan dat de Handreiking een plaats heeft vanaf het moment van afkeur middels de wettelijke beoordeling tot het moment waarop de veiligheidsopgave nader vastgesteld gaat worden.

<sup>1</sup> Wettelijke toetsing conform oude dan wel nieuwe systematiek

De stappen die in dit document worden aangereikt hebben dan ook betrekking op de eerste fase(n) in de verkenning in het kader van HWBP.

Het hierboven gedefinieerde doel geeft uitdrukking aan een aantal belangrijke aspecten die ten grondslag van deze handreiking ligt. Het gaat hierbij om:

A. Eenduidigheid.

De analyse van kunstwerken en het bepalen van de veiligheidsopgave dient landelijk zo eenduidig mogelijk uitgevoerd te worden. Dit komt ten goede aan de efficiëntie en objectiviteit van de analyses. Dit laatste draagt bij aan de doelmatigheid van het HWBP-programma. Ook voor de waterkeringbeheerder is een zo eenduidig mogelijke bepaling van de veiligheidsopgave van belang om een goed inzicht te krijgen in zijn eigen areaal.

B. Veiligheidsanalyse.

De eerste veiligheidsanalyse die wordt uitgevoerd betreft de wettelijke toetsing. Bij deze toetsing wordt gebruik gemaakt van beschikbare gegevens welke worden vertaald naar schematiseringen. Wanneer in een verkenning nader wordt gekeken naar de veiligheidsanalyse in relatie tot de nieuwe normering en de nieuwe overstromingskansbenadering, is het van belang om eventuele kennis- en informatieleemten te identificeren en deze een plek te geven in deze veiligheidsanalyse. Hierbij kan worden gedacht aan afwegingen ten aanzien van effectiviteit van nader uit te voeren onderzoek om kennis en informatie omtrent het kunstwerk nader vast te leggen. Daarnaast is het ook van belang om niet alleen naar de waterkerende functie van een kunstwerk te kijken, maar ook het gebruik vanuit zijn primaire functie(s)<sup>2</sup> in kaart te brengen. Dit kan nadere inzichten opleveren ten aanzien van de waterkerende taak van een kunstwerk en of versterkingsopgave.

C. Veiligheidsopgave

Vanuit de veiligheidsanalyse ontstaat een beeld van de daadwerkelijke veiligheidsopgave voor het kunstwerk. Hierin wordt vastgelegd op welke vlakken maatregelen nodig zijn om de waterveiligheid van het kunstwerk op het gewenste niveau te krijgen

D. Richting geven aan oplossingen.

Mogelijke oplossingsrichtingen kunnen betrekking hebben op een breed scala aan mogelijkheden. Herstel van waterkerend vermogen kan in sommige gevallen plaatsvinden door procedurele maatregelen, maar in veel gevallen zijn ook fysieke maatregelen benodigd. Om de verschillende mogelijke oplossingsrichtingen onder de aandacht te brengen, worden deze in dit document benoemd. Dit geeft uiteindelijk de mogelijkheid om bij het uitwerken van de definitieve oplossing te trechteren van meerdere mogelijkheden tot de gewenste en meest optimale oplossing.

<sup>2</sup> Aangezien een waterkerend kunstwerk altijd wordt aangelegd vanuit de functie van transport van goederen, voertuigen en/of mensen wordt dit als primaire functie van het kunstwerk beschouwd. Het keren van water is daarmee altijd een bijkomende (secundaire) functie. Overigens wil dit niet zeggen dat de waterkerende functie van ondergeschikt belang is.

### 1.3 **Begrippen, uitgangspunten en randvoorwaarden**

De handreiking Kunstwerken kent een aantal uitgangspunten en randvoorwaarden. In deze paragraaf zijn ze vermeld. Daarnaast is het voor de eenduidigheid van belang dat enkele basiselementen van de toetsing van kunstwerken duidelijk worden gemaakt. Het gaat hierbij om de typen kunstwerken, de mogelijke faalmechanismen en de duiding van enkele belangrijke leidraden en richtlijnen.

#### 1.3.1 *Begrippen*

In dit document wordt gesproken over kunstwerken. Het gaat hierbij om de volgende typen objecten:

- Coupure
- Gemaal
- Inlaatsluis
- Uitwateringssluis
- Keersluis
- Schutsluis

Opgemerkt wordt dat ook vaak over duikers gesproken wordt. Deze worden echter niet apart vermeld, omdat een duiker altijd een inlaat- dan wel uitwateringsfunctie heeft en dus onder deze type kunstwerken vallen.

Voor kunstwerken worden een aantal faalmechanismen onderscheiden. Dit zijn:

1. Hoogte. Dit faalmechanisme is bij een kunstwerk alleen van belang als het kunstwerk zelf de kerende hoogte van de waterkering verzorgd. Indien het dijklichaam waar het kunstwerk doorheen ligt de kerende hoogte verzorgd is het geen faalmechanisme dat behoort bij het kunstwerk
2. Betrouwbaarheid sluiting. Dit faalmechanisme betreft falen als gevolg van het niet (hoogwaterkerende) gesloten zijn van het kunstwerk ten tijde van een hoogwater, waardoor ongewenst buitenwater naar binnen stroomt.
3. Piping en heave. Dit faalmechanisme betreft het falen als gevolg van het optreden van doorgaande zandmeevoerende pipes onder of langs het kunstwerk als gevolg waarvan instabiliteit van het kunstwerk kan optreden.
4. Sterkte en stabiliteit. Hierbij gaat het om algehele stabiliteitsproblemen van het kunstwerk en het omringende grondlichaam en de sterkte van constructieonderdelen.

Voor het beoordelen en ontwerpen van kunstwerken zijn een aantal documenten van belang. De belangrijkste zijn:

- De Leidraad Kunstwerken [1]. Dit is het basisdocument wat betreft toetsing en ontwerp van waterkerende kunstwerken met betrekking tot waterveiligheid. Het dateert uit 2003. In 2016 wordt deze leidraad geheel herzien en komt er dus een nieuwe uitgave, waarin ook de overstromingsbenadering is opgenomen. Daarmee is het document weer gereed voor de nabije toekomst
- Wettelijk toetsinstrumentarium 2006 (WTI2006, waarvan het Voorschrift toetsen op veiligheid (VTV2006) [4] het bekendste document is. Dit betreft laatste versie van het toetsvoorschrift dat in de derde toetsronde is gebruikt. Er is in 2011 nog een versie

gemaakt, echter deze is nooit daadwerkelijk ingevoerd. Kunstwerken die vanuit de derde toetsronde op de HWBPlijst staan zijn dus getoetst conform de VTV2006.

- Wettelijke BeoordelingsInstrumentarium 2017 (WBI2017). Dit is het nieuwe beoordelingsinstrumentarium dat vanaf 2017 gehanteerd gaat worden. Hiermee worden de primaire waterkeringen (dijken, duinen en kunstwerken) straks getoetst. In het kader van het WBI2017 zijn vele documenten opgesteld, zoals schematiseringshandleidingen en achtergrondrapporten. Deze komen met het WBI2017 beschikbaar.
- OntwerpInstrumentarium 2014 (OI2014v3) [5]. Dit is een document dat gehanteerd kan worden bij het ontwerpen van nieuwe waterkeringen (waaronder ook kunstwerken) conform de nieuwe systematiek van overstromingsrisico's. Het betreft een levend document telkens wordt geüpdatet naar de laatste stand van zaken.

### 1.3.2 *Uitgangspunten*

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- De diepgang van de handreiking is dusdanig dat niet alleen de inhoudelijk specialist ermee uit de voeten kan, maar dat ook een projectleider en/of projectmanager begrijpt welke stappen gemaakt kunnen worden en hoe die er op hoofdlijnen uitzien.
- De handreiking is opgesteld vanuit het areaal aan kunstwerken in de primaire waterkering. Dit laat onverlet dat ook een nadere analyse van kunstwerken in regionale/secundaire waterkeringen gebruik kan maken van de informatie in dit document.
- Ervaringen uit VNK2 en enkele vingeroefeningen met betrekking tot prioritering van kunstwerken binnen het HWBP fungeren als basis voor de inhoud van dit document.
- Het gaat in de handreiking om zogenaamde puntconstructies en niet om langsconstructies in dijken of duinen. Onder puntconstructies worden schutsluizen, in- en uitwateringssluizen, stuwen, gemalen, keersluizen en coupures verstaan.

### 1.3.3 *Randvoorwaarden*

De volgende randvoorwaarden zijn van toepassing op dit document:

- De handreiking heeft niet primair tot doel om kunstwerken op de HWBPlijst te kunnen prioriteren. Feitelijk is dit ook nauwelijks mogelijk omdat de veiligheidsanalyse en bepaling van de veiligheidsscope altijd in het licht van de overige waterkeringen/waterkerende onderdelen in het onderhavige dijktraject dienen te worden beschouwd. Het sec prioriteren van kunstwerken is bij hantering van dit uitgangspunt dan niet mogelijk.
- De handreiking leidt tot een helder beeld van de scope van de versterkingsopgave van kunstwerken en mogelijke maatregelen om het kunstwerk te verbeteren. Maatregelen kunnen constructief, bouwkundig, onderhoudsmatig of beheersmatig van aard zijn.
- Inhoudelijke verdiepingen van bv faalmechanismen en schematiseringen worden niet gegeven. Hiervoor wordt verwezen naar de reeds aanwezige leidraden en richtlijnen.
- Nieuwe kennis wordt in deze handreiking niet ontwikkeld en/of ontsloten. Daar waar nieuwe kennis voorhanden is, wordt een verwijzing daarnaar opgenomen in de handreiking. Ook mogelijke kennisleemten benoemd. Voor zover mogelijk wordt aangesloten bij de kennis die



beschikbaar is in het Wettelijk BeoordelingsInstrumentarium (WBI2017) en het Ontwerpinstrumentarium [11].

#### **1.4 Een Handreiking Kunstwerken**

Deze handreiking is bedoeld voor een breed publiek (zie paragraaf 1.3.2). Er staan tips en suggesties in die als inspiratiebron kunnen dienen. Deze handreiking kan de waterkeringsbeheerder helpen meer inzicht te verkrijgen in de veiligheidsopgave van zijn kunstwerken. Na het doorlopen van de stappen kan de conclusie zijn dat met kleine aanpassingen een kunstwerk weer kan voldoen aan de eisen of dat een kunstwerk daadwerkelijk grootschalig versterkt dient te worden. De uitkomst kan ook zijn dat aanvullend onderzoek benodigd is. Het is daarbij geen verplichting alle stappen te doorlopen. In het gehele traject van verkenning is het advies hierin de projectbegeleider van het HWBP-programma te betrekken. Dit om de gemaakte keuzes gemotiveerd te borgen.

Mocht bij het doornemen van de Handreiking Kunstwerken vragen ontstaan of toelichting gewenst zijn kunnen deze gesteld worden aan de projectbegeleider van het HWBP. Suggesties of aanvullingen op de Handreiking Kunstwerken kunnen via de projectbegeleiders worden aangegeven. Voor de subsidiabiliteit wordt verwezen naar de financieringsregeling. Aandachtpunten zijn weergegeven in een apart te downloaden bijlage.

De handreiking is voorzien van voorbeelden uit de praktijk om de aangereikte handvatten te verduidelijken en te ondersteunen.

#### **1.5 Leeswijzer**

Deze Handreiking beschrijft de verschillende stappen die genomen kunnen worden om bij een afgekeurd kunstwerk te komen tot een nadere veiligheidsanalyse en globaal inzicht in mogelijk te nemen maatregelen. Hoofdstuk 2 gaat in op de opzet en positionering van de handreiking binnen de verkenningsfase en de te nemen stappen van de handreiking. Verkrijgen van areaalgegevens en beheerderskennis wordt beschreven in hoofdstuk 3. Hoofdstukken 4 en 5 gaan in op de omgevingsaspecten, functie en gebruik van het kunstwerk. Waarna hoofdstukken 6 en 7 ingaan op de gehanteerde gegevens bij de toetsing en de overstromingskansberekeningen. Een eerste aanzet voor mogelijke verbeteroplossingen wordt gegeven in hoofdstuk 8.

Er is geen vaste route van a naar z te geven waarop de stappen uit deze handreiking doorlopen kunnen of moeten worden, om te komen tot de veiligheidsopgave. Afhankelijk van de beheerder en het kunstwerk kunnen stappen in een andere volgorde plaatsvinden, minder aandacht vragen, of zelfs achterwege gelaten worden. Daarom wordt aanbevolen om de hele handreiking door te nemen en eigen te maken. Vervolgens kan worden bepaald hoe deze handreiking het best gebruikt kan worden voor een specifiek project of een specifieke situatie. Definieer hierin ook de stappen die snel resultaat hebben, de quick-wins.

In de bijlage is een checklist opgenomen, die helpt om een totaalbeeld te vormen van het kunstwerk, en inzichtelijk te maken welke stappen uit deze handreiking in het project een toegevoegde waarde kunnen hebben. De checklist kan gehanteerd worden als overdrachtdocument tussen fases om de gemaakte keuzes inzichtelijk te hebben. De checklist is ook digitaal te vinden op de site van het hoogwaterbeschermingsprogramma.

## 2 Opzet Handreiking Kunstwerken

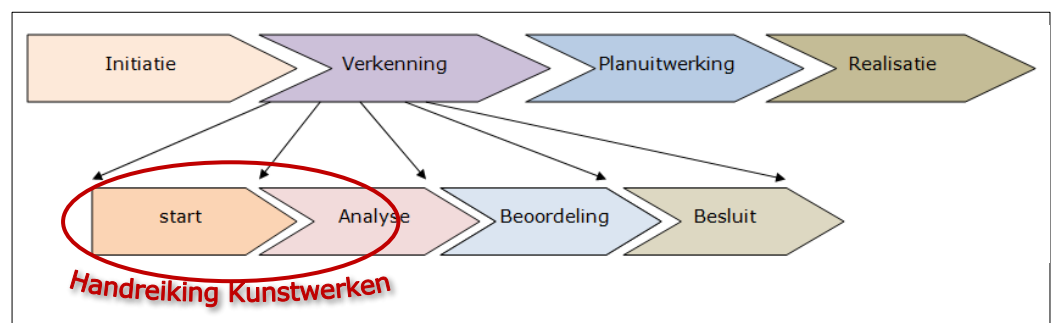
De handreiking Kunstwerken beschrijft een aantal te nemen stappen vanaf het punt van de resultaten van de wettelijke toetsing tot aan het punt waarbij de veiligheidsopgave definitief wordt bepaald.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de plaats van de handreiking binnen de fase van verkenning vanuit het HWBP. Daarnaast wordt globaal aangegeven waar de diverse stappen uit bestaan. Een nadere uitwerking van de stappen volgt in de hierop volgende hoofdstukken.

### 2.1 Plaats van de handreiking

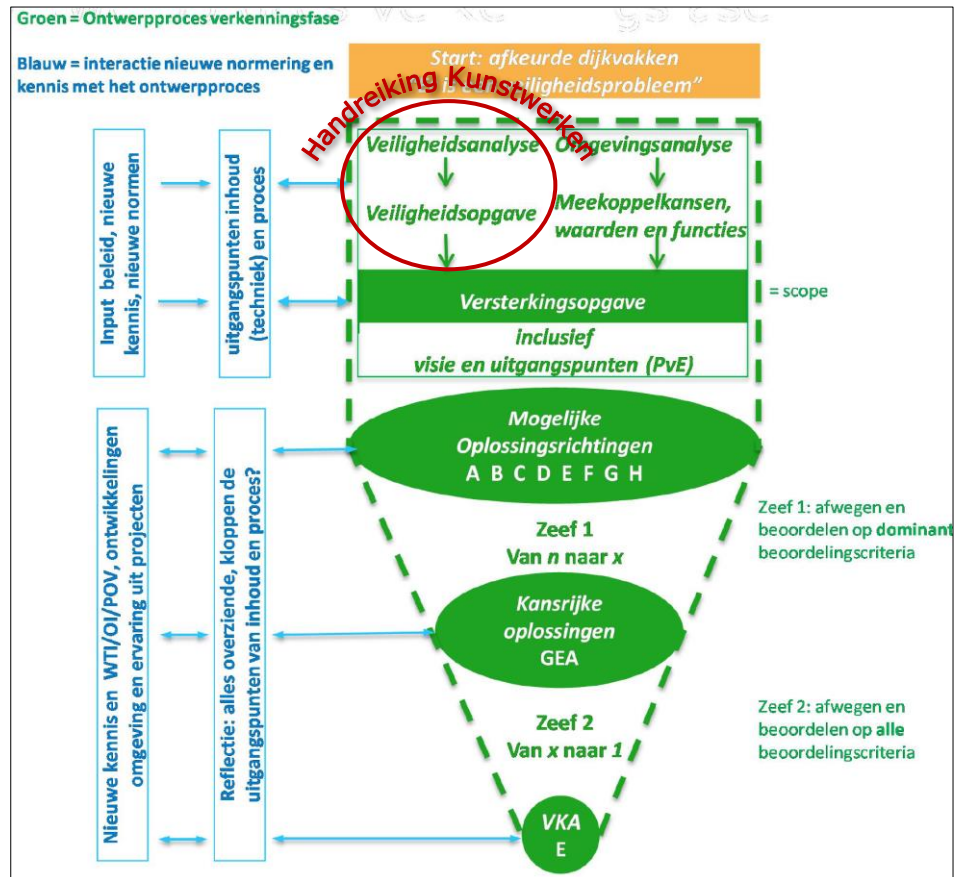
De handreiking kan worden gebruikt in het begin van de verkenningsfase, waarbij naast een nadere veiligheidsanalyse ook de omvang van de veiligheidsopgave wordt bepaald.

De basis van onderstaand figuur is overgenomen uit de Handreiking verkenning. In dit figuur is de plaats van de Handreiking Kunstwerken weergegeven.



Figuur 2.1 Plaats van de Handreiking Kunstwerken in de verkenningsfase HWBP

In de 'startfase' van de verkenning vindt de nadere veiligheidsanalyse plaats. De 'analysefase' is meer gericht op bepaling van de veiligheidsopgave en het vertalen hiervan naar mogelijk kansrijke oplossingen. De handreiking is ten aanzien van deze laatste fase met name bedoeld voor in het begin. In de figuur 2.2 is een en ander nader weergegeven in een schema met betrekking tot het ontwerpproces van waterkeringen binnen het HWBP.



Figuur 2.2 Ontwerpproces HWBP in relatie tot nieuwe normen

In het voorliggende document, de handreiking kunstwerken, worden mogelijke oplossingsrichtingen aangegeven. Dit blijft beperkt tot het aanreiken hiervan en niet tot een nadere uitwerking hiervan. Het vaststellen van de meest kansrijke oplossingen dient in het vervolg van de 'analysefase' plaats te vinden.

## 2.2 De te onderscheiden stappen

In deze handreiking worden een zevental onderwerpen/stappen onderscheiden waarmee naar de afgekeurde kunstwerken kan worden gekeken. Hiervan behoren een vijftal tot de fase waarin de waterveiligheid van het kunstwerk wordt beschouwd. De laatste stap heeft betrekking op het bepalen van de veiligheidsscope van het kunstwerk. De volgorde van de stappen met betrekking tot de veiligheidsanalyse is niet vast. Het kan dus in de praktijk handiger te zijn om een andere volgorde te hanteren dan de volgorde waarin deze stappen in de Handreiking zijn opgeschreven.

### 2.2.1 Veiligheidsanalyse

Met de uitkomsten van de wettelijke toetsing in de hand wordt gestart met de veiligheidsanalyse (zie Figuur 2.2). Hierbij kunnen de volgende onderwerpen langs komen:

1. Mobiliseren 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.
5. Opwaarderen naar toetsing op basis van overstromingskansbenadering

Stappen 1 t/m 3: Deze stappen hebben betrekking op de praktische zaken omtrent het kunstwerk. Hierbij wordt niet gekeken naar de huidige situatie, maar wordt ook getracht de toekomst te betrekken.

Stap 4: Heeft betrekking op het analyseren van de uitgevoerde toetsing en de gegevens en uitgangspunten die hierbij zijn gehanteerd. Hierbij wordt gekeken of er middels (beperkt) aanvullend onderzoek een nadere onderbouwing van analyses kan worden bereikt.

Stap 5: In de stap wordt de overstromingskansbenadering toegepast, waarbij beschouwd wordt of het kunstwerk in de volgende toetsronde (2023) afgekeurd zou worden. Deze stap is alleen aan de orde voor kunstwerken die vanuit een voorgaande toetsronde op de HWBP-lijst staan en daarmee beoordeeld zijn conform de overschrijdingskansbenadering. Voor deze kunstwerken geldt dat de impact van de nieuwe benadering en normering moet worden toegepast om te bepalen of er ook conform deze nieuwe benadering een veiligheidsopgave is.

### 2.2.2

#### *Veiligheidsopgave*

Met de resultaten/informatie van de veiligheidsanalyse in de hand kan worden gestart met het bepalen van de veiligheidsopgave. Hierbij zijn de volgende twee stappen te benoemen (doorgenummerd vanuit de vorige fase 1 t/m 5):

6. Bepalen van grootte van de veiligheidsopgave
7. Vaststellen van mogelijke oplossingsrichtingen

Stap 6: Het bepalen van de grootte van de veiligheidsopgave volgt uit een verdere analyse van het kunstwerk conform de overstromingskansbenadering uitgezet in de tijd. Hierbij wordt bij meerdere zichtjaren en rekening houdend met ontwikkelingen in het gebied, gekeken hoe het veiligheidstekort zich ontwikkelt voor de diverse faalmechanismen van het kunstwerk. Dit geeft inzicht in de optimaal te kiezen ontwerphorizon. Hierdoor kan worden bepaald welke maatregelen genomen moeten worden om het kunstwerk voor langere tijd weer aan de eisen te laten voldoen.

Stap 7: Wanneer de omvang van de veiligheidsopgave bekend is kan worden gestart met het bepalen van praktische oplossingsrichtingen om een veiligheidstekort op te lossen. Dit is de laatste stap in de Handreiking. Hierbij wordt een inzicht gegeven in de mogelijke oplossingsrichtingen, waarbij een daadwerkelijke uitwerking achterwege wordt gelaten. Hiervoor wordt verwezen naar de beschikbare richtlijnen en leidraden.

## 2.3

### **Toepassen op areaal**

De handreiking kan op het niveau van een enkel kunstwerk worden toegepast, maar het is ook mogelijk om het op meerdere kunstwerken tegelijkertijd toe te passen. Met name de eerste drie stappen zijn eenvoudig voor meerdere kunstwerken uit te werken. Dit biedt de mogelijkheid voor waterkeringbeheerders om alle afgekeurde kunstwerken binnen hun areaal tegelijkertijd aan de hand van de handreiking te beschouwen.

### 3 Mobiliseren van beschikbare kennis

Dit betreft de eerste stap die genomen kan worden. Het gaat om het mobiliseren van de beschikbare actuele kennis van het kunstwerk binnen, maar eventueel ook buiten de organisatie van de waterkeringbeheerder. Deze actuele kennis dient om een compleet beeld te vormen van de geschiedenis, de actuele situatie en de toekomstige situatie van het kunstwerk.

#### 3.1 Beheer en bediening

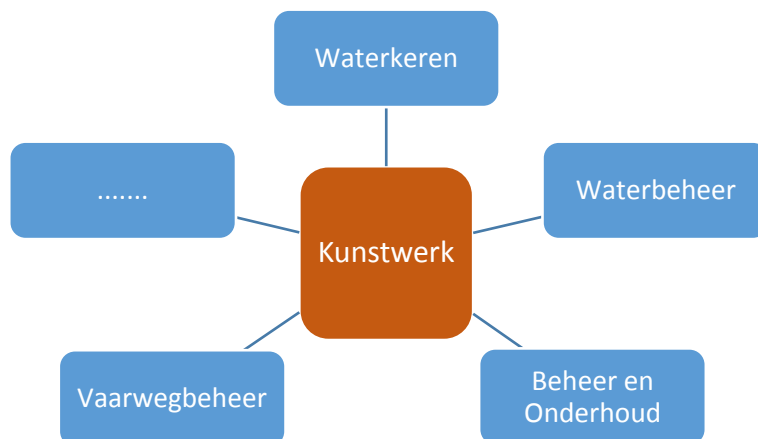
Kennis over de opbouw maar ook het functioneren van een kunstwerk is nogal eens versnipperd. Dit kent een tweetal hoofdoorzaken:

- A. Meerdere betrokken afzonderlijke partijen.
  - B. Afzonderlijke organisatorische eenheden binnen een organisatie.
- Ad. A. Voor sommige kunstwerken geldt dat het beheer en de dagelijkse bediening door afzonderlijke organisaties/partijen wordt afgewikkeld. Het is zelfs mogelijk dat de waterkeringbeheerder geen van beide partijen is, maar alleen de keurontheffing heeft verleend voor een kunstwerk, omdat het in zijn waterkering aanwezig is en dus in ieder geval in staat moet zijn om de eisen vanuit waterveiligheid te kunnen handhaven. Voorbeelden van voorkomende situaties zijn in onderstaande tabel gegeven.

Tabel 1 Voorbeelden situatie beheer en bediening

Beheer	Bediening	Waterkering
Waterschap X	Waterschap X	Waterschap Y
Provincie	Provincie	Waterschap
Waterschap	Gemeente	Waterschap

- Ad. B. Binnen een organisatie is het beheer en onderhoud vaak ondergebracht bij een andere afdeling dan waar waterveiligheid ondervalt. Daarnaast kan waterbeheer en/of vaarwegbeheer een aspect zijn dat behoort tot weer een andere afdeling. Bij kunstwerken komt dit vaak voor, omdat een kunstwerk als primaire functie gerelateerd is aan het transport van goederen, mensen en/of voertuigen door een waterkering heen. Feitelijk is de waterkerende functie nooit de primaire functie.



Uit voorgenomende punten blijkt dat het de nodige inspanning kan kosten om alle partijen te bereiken die een relatie met het kunstwerk hebben. Toch is het van belang om hiernaar te streven, omdat alleen op die wijze alle beschikbare kennis kan worden gemobiliseerd. Een hulpmiddel om alle belanghebbenden aan tafel te krijgen is om een raakvlakanalyse op te stellen en daarbij vervolgens de juiste namen te zoeken.

### **3.2 Veldbezoek**

Om voor alle betrokkenen een helder en gemeenschappelijk beeld van het kunstwerk te krijgen is het gezamenlijk bezoeken van het kunstwerk van essentieel belang. Een dergelijk veldbezoek kan worden voorafgegaan door een startoverleg wat wellicht bij het kunstwerk zelf kan worden gehouden.

Vaak levert een veldbezoek concrete informatie uit het veld op, doordat bijvoorbeeld de bediener ervaringen en eventueel opgetreden calamiteiten direct kan delen. Lang niet altijd zijn deze ervaringen bij iedereen bekend en in veel gevallen zijn ze ook niet vastgelegd. Alleen grote calamiteiten zijn vermoedelijk wel ergens in een dossier opgeslagen<sup>3</sup>.

Met het oog op de overstromingskansbenadering is een bijkomend voordeel dat tijdens een veldbezoek ook bij de betrokkenen een betere indruk ontstaat ten aanzien van de gevolgen die op zouden kunnen treden bij falen van het object.

Om de beelden van het veldbezoek vast te leggen wordt aanbevolen om foto's te maken en eventueel kort verslagje op te stellen.

### **3.3 Beschikbare documenten**

Het verzamelen van alle beschikbare documenten is ook een eerste stap om alle beschikbare kennis te mobiliseren. Hierbij kan worden gedacht aan toetsrapporten van de diverse toetsronden en rapporten van VNK<sup>2</sup>. Daarnaast is het aan te bevelen om ook direct overige informatie zoals tekeningen en berekeningen bij elkaar te zetten, zodat de op dat moment beschikbare documenten direct toegankelijk zijn.

<sup>3</sup> Het is aan te bevelen om te zorgen voor een adequate registratie van gebruik en calamiteiten van een kunstwerk, zodat dergelijke informatie breder beschikbaar is.

<sup>4</sup> VNK2 = Veiligheid Nederland in Kaart 2. Studieproject waarin de waterkeringen in Nederland voor het eerst allemaal conform de overstromingskansbenadering zijn geanalyseerd. De nieuwe normering is deels gebaseerd op uitkomsten uit deze studie.

## 4 Functie van het kunstwerk

Zoals eerder aangegeven is de primaire functie van een waterkerend kunstwerk niet het waterkeren, maar zal dit altijd te maken hebben met transport<sup>5</sup>. Dit kan gaan om transport van goederen, mensen, water en/of voertuigen. Indien geen behoefte is aan transport door een waterkering, is een kunstwerk ook niet nodig en hoeft het dijk- of duinlichaam niet te worden onderbroken door een kunstwerk.

Een aparte functie die bij historische kunstwerken voor kan komen is de cultuurhistorische functie. Soms wordt een kunstwerk gehandhaafd alleen vanuit deze functie. In dat geval dient te worden beschouwd of de functie met betrekking tot waterveiligheid ook goed is afgedekt en ook voor de komende tijd op voldoende niveau is.<sup>6</sup>

### 4.1 Inventariseren van functies van een kunstwerk

Het inventariseren van de functies van het kunstwerk is van belang om een goed beeld van het object te krijgen. Dit kan al starten tijdens het veldbezoek. De andere functies die een kunstwerk heeft, zijn bijna altijd van invloed op de waterveiligheid.

#### 4.1.1 *Huidige functies*

Het lijkt evident welke functies een kunstwerk heeft, maar soms is dit beeld niet bij alle betrokkenen even helder. Ook kan de functie van een kunstwerk veranderen in loop der tijd en is dit niet bij iedereen bekend.

##### voorbeeld i

Een schutsluis in het rivierengebied is uitgerust met een hefdeur en een stel waaierdeuren. Over de schutsluis staat onder normale omstandigheden slechts een beperkt verval. Na een informatieronde bij de waterkeringbeheerder blijkt dat de schutsluis niet alleen voor schutten wordt gebruikt. Vanuit waterbeheer wordt de sluis bij een zeer klein verval ook wel eens gebruikt om water in of uit te laten, door de deuren in zowel het buitenhoofd als het binnenhoofd geheel open te zetten.

Bovenstaand voorbeeld i geeft aan dat de functie van in- en uitlaten niet oorspronkelijk aan de sluis was toebedeeld en dat dit ook niet bij iedereen bekend was. Het kan zelfs zo zijn dat deze functie niet in de procedures en protocollen is beschreven.

<sup>5</sup> Uitzonderingen hierop zijn kunstwerken die hun functie verloren hebben en bijvoorbeeld al dichtgezet zijn, maar nog steeds als constructie in de waterkering aanwezig zijn

<sup>6</sup> Opgemerkt wordt dat bij aanpassingen aan kunstwerken met een cultuurhistorische waarde aanvullende eisen gesteld kunnen worden.

#### voorbeeld ii

Een gemaal dat altijd alleen is ingezet voor het uitmalen van water is onlangs gerenoveerd. Men heeft bij de renovatie ook de vispasseerbaarheid aangepakt, door een aparte leiding voor vismigratie aan te brengen (vispassage).

Bovenstaand voorbeeld ii geeft aan dat het toevoegen van functies niet alleen plaats kan vinden door gebruik te maken van de oude constructie, maar dat er ook constructie-elementen toegevoegd kunnen worden. Alhoewel dat een apart element is, wordt het in de toetsing vaak betrokken bij de analyse van het oorspronkelijke kunstwerk.

#### voorbeeld iii

Een uitwateringssluis heeft op papier de functie van het spuien van water. De inzet van de sluis vindt plaats door handmatig het keermiddel te openen en op een gegeven moment ook weer handmatig dicht te zetten. Tijdens het veldbezoek komt naar voren dat bediening van het kunstwerk de afgelopen 10 jaar niet meer plaats heeft gevonden.

In bovenstaand voorbeeld moet worden bedacht of handhaven van de uitwateringssluis nog aan de orde is. De functie lijkt te zijn vervallen, waarmee wellicht ook het kunstwerk kan komen te vervallen.

### 4.1.2

#### *Toekomstige functies*

De constructies van kunstwerken zijn doorgaans erg robuust en gaan dan ook in veel gevallen lang mee. Het komt dan ook wel voor dat op een gegeven moment de sluis een andere of extra functie krijgt toebedeeld. Indien een dergelijke wens vanuit bijvoorbeeld waterbeheer bekend is op het moment dat het kunstwerk in de fase van veiligheidsanalyse zit, kan dit invloed hebben op deze analyse (nabije toekomst) en in een latere fase ook op de veiligheidsscope.

#### voorbeeld iv

Een schutsluis welke momenteel alleen ingezet wordt voor het schutten van schepen. Er bestaat echter de wens om vissen de sluis te laten passeren. Om dit mogelijk te maken wil men de vis gaan schutten, waarbij middels rinketten in de schutdeuren een lokstroom wordt gerealiseerd.

Bovenstaand voorbeeld iv geeft aan dat er functies aan een kunstwerk kunnen worden toegevoegd.

#### voorbeeld v

Een keersluis in een getijdengebied voor een haven in een stedelijk omgeving. De keersluis staat open gedurende ebperioden, maar door de stijging van de gemiddelde waterstand, wordt de beschikbare tijd voor open staan steeds korter. In de nabije toekomst wordt voorzien dat dit leidt tot te veel overlast voor de almaar toenemende scheepsvaart. Er zijn plannen om de keersluis om te bouwen tot schutsluis. De functie van het kunstwerk wordt hiermee uitgebreid met de schutfunctie.



In bovenstaand voorbeeld blijkt dat kunstwerken ook een geheel nieuwe functie kunnen krijgen toebedeeld, waarbij sprake is van substantiële aanpassingen aan de constructie.

#### 4.2 **Functies kunstwerken in directe nabijheid**

Niet alleen de functies van het onderhavige object zelf, maar ook dat van naastgelegen kunstwerken kan van belang zijn. Dit houdt dan bijvoorbeeld verband met de boezem waarop het kunstwerk binnendijks uitkomt. Indien meerdere kunstwerken op dezelfde boezem uitkomen en vergelijkbare functies vervullen als het onderhavige kunstwerk, kan dit van invloed zijn op eventueel te nemen versterkingsmaatregelen.

voorbeeld vi

Een uitwateringssluis zorgt voor het kunnen spuien van water onder vrijverval. Als gevolg van historie blijkt echter dat de boezem nog een tweetal spuisluizen kent. Er zijn dus drie spuisluizen aanwezig met een zelfde functie die waarvan minimaal één een veiligheidsprobleem heeft.

De in voorbeeld vi aangegeven situatie geeft wellicht aanleiding om de functie van spuien bij het onderhavige kunstwerk te heroverwegen. Of wellicht dient de functie van de overige twee spuisluizen nader onder de loep genomen te worden. Dergelijke beschouwingen vallen feitelijk onder het kopje 'toekomstige functies' (zie paragraaf 4.1.2, omdat beschouwd dient te worden welke functies in de toekomst nog nodig zijn).

#### 4.3 **Consequenties van andere functies**

Indien in de wettelijke toetsing geen rekening is gehouden met alle huidige functies is het van belang dit wel mee te nemen in de veiligheidsanalyse. Indien een functiewijziging op korte termijn (binnen enkele jaren) is gepland en het veiligheidstekort is beperkt, is het meenemen van deze nieuwe of bijkomende functie in de veiligheidsanalyse aan te bevelen. Het zou er immers toe kunnen leiden dat een bepaald faalmechanisme met deze nieuwe of gewijzigde functie (nog meer) niet voldoet. Een beweging de andere kant op kan ook, waarbij door de nieuwe of gewijzigde functie juist weer wel aan de veiligheidseisen wordt voldaan.

Kijkend naar de vier faalmechanismen die bij kunstwerken van toepassing zijn geldt dat een functiewijziging met name van invloed is op *betrouwbaarheid sluiting*.

Wanneer het kunstwerk grondig verbouwd moet worden om de functiewijziging/functietoevoeging te realiseren, komen ook de faalmechanismen *sterkte en stabiliteit* en *piping en heave* duidelijker om de hoek kijken.

Een functiewijziging kan uiteindelijk ook leiden tot een ander gebruik van het object. Het volgende hoofdstuk 5 gaat hier nader op in.

## 5 Gebruik van het kunstwerk

Niet alleen de functie van een kunstwerk is van belang voor een goede veiligheidsanalyse, maar ook het daadwerkelijke gebruik speelt een grote rol. Hoe wordt een kunstwerk ingezet, wanneer en onder welke omstandigheden, maar ook hoe vaak en hoe lang zijn belangrijke aspecten die kunnen worden beschouwd om het veiligheidsrisico voor de waterkering te kunnen bepalen.

In de afgelopen drie toetsronden is met name gekeken naar de harde informatie omtrent het kunstwerk. Het gaat hierbij dus om tekeningen, rapporten, inspectiegegevens et cetera. Dit zijn belangrijke zaken. In het Wettelijke BeoordelingsInstrumentarium 2017 (WBI2017) wordt nu ook meer aandacht gevraagd voor het gebruik van het kunstwerk. Met behulp van het daadwerkelijke gebruik kunnen veiligheidsanalyses worden aangescherpt.

Het gebruik van het kunstwerk is vooral van belang voor het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting*. Daarin speelt de kans dat het kunstwerk niet hoogwaterkerend gesloten staat op het moment dat een hoogwater zich aandient een belangrijke rol. Deze kans wordt in grote mate bepaald door het gebruik van een kunstwerk vanuit zijn primaire functie.

Gebruik van een kunstwerk is sterk gerelateerd aan het type kunstwerk. Er is daarom gekozen om per type kunstwerk in te gaan op aandachtspunten omtrent het gebruik.

### 5.1 Coupure

Voor een coupure geldt dat deze in principe altijd geopend staat en alleen bij hoogwater wordt gesloten. Vanuit de primaire functie, het doorlaten van mensen en verkeer, wordt een coupure niet ingezet.

Belangrijke aandachtspunten bij een coupure met betrekking tot het gebruik zijn:

- Beschikbare tijd voor herstel van een gefaalde sluiting. De beschikbare tijd tussen het sluiten van de coupure en het moment dat er water door een geopende coupure naar binnenstroomt. Deze tijdsperiode heeft invloed op de kans van herstel van een gefaalde sluiting en kan daarmee bijdragen aan het resultaat van een toetsing van *betrouwbaarheid sluiting*. Het vergroten van deze beschikbare tijd door eerder te sluiten kan leiden tot een verkleining van de faalkans voor dit faalmechanisme.
- Vastgelegd sluitprotocol en het oefenen hiervan. De sluitprocedure dient periodiek te worden geoefend, opdat getest wordt dat de keermiddelen nog aanwezig zijn, ze nog geplaatst kunnen worden en plaatsing ook daadwerkelijk lukt. Het protocol voor sluiting en oefening dient vastgelegd te zijn en ook te worden nageleefd. Het wordt aanbevolen om evaluatie van oefening en sluiting vast te leggen en de 'lessons learned' weer vast te leggen in het protocol. Het opstellen van een protocol is dus belangrijk voor het gebruik van een coupure.
-

- Kans op aanrijden.  
Indien de kans op aanrijden een rol speelt bij een coupure, kan worden gekeken waar dat door wordt veroorzaakt, daarbij rekening houdend met omgevingsaspecten. Opgemerkt wordt dat aanrijden van de gesloten coupure van belang is voor het faalmechanisme *sterkte en stabiliteit*. Hiervoor kunnen maatregelen, waaronder extra afscherming, genomen worden die beschreven staan in het sluitingsprotocol. Het aanrijden van de sponningen in niet gesloten toestand is van belang voor het mechanisme *betrouwbaarheid sluiting*. Hierbij kunnen extra afschermingsvoorzieningen geplaatst worden in de vorm van aanrijdbeveiligingen en is regelmatige controle van de sponningen aan te bevelen.

## 5.2 Gemaal

Over het algemeen is een gemaal het minst risicovolle type object in onze waterkeringen. Dat komt doordat de doorstroomopeningen meestal beperkt zijn, er pompen in de maalgangen aanwezig zijn die een eventuele instroming sterk belemmeren en de sluiting vaak door minimaal twee keermiddelen wordt verzorgd.

Een gemaal heeft een primaire functie, het spuien of inlaten van water, welke meestal op regelmatige basis wordt uitgevoerd. Indien een gemaal niet in werking is, staat het bijna altijd hoogwaterkerend gesloten. Met betrekking tot het gebruik zijn de volgende aandachtspunten van belang voor een gemaal.

- Het vervullen van de primaire functie.  
De daadwerkelijke inzet van een gemaal bepaalt onder andere hoe groot de kans is dat het gemaal gesloten moet worden op het moment dat een hoogwater nadert. In dat geval moet namelijk het gemaal gestopt en gesloten worden. Deze kans is voor een gemaal dat eens in de maand gedurende een dag (24 uur per maand) wordt ingezet kleiner dan voor een gemaal dat elke dag 4 uur wordt ingezet ( $30 \times 4 = 120$  uur per maand).  
Daarnaast zorgt een regelmatige inzet van het gemaal voor een regelmatige 'test' van de keermiddelen op functioneren, waardoor de betrouwbaarheid van deze keermiddelen ook toeneemt. Immers geldt in het algemeen dat hoe minder vaak keermiddelen worden ingezet, des te groter de kans wordt op falen van de keermiddelen.
- Gesloten buiten bediende tijd.  
Indien bij een gemaal sluiting van het gemaal na een maalperiode automatisch plaatsvindt met minimaal twee keermiddelen per maalgang, wordt het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting* als niet bijdragend aan het overstromingsrisico beschouwd. De kans dat de keermiddelen dan open staan buiten bediende tijd is daarvoor te klein. Voorbeelden van dergelijke situaties zijn gemalen waarvan de maalgang(en) is uitgerust met een terugslagklep en een vlinderklep die gelijkgeschakeld is met de pomp. Dit houdt in dat de vlinderklep automatisch opent aan het begin van de maalperiode en automatisch sluit na het afslaan van de pomp.

- **Uitmalen gedurende hoogwater.**  
De meerderheid van de gemalen worden niet ingezet gedurende een hoogwater. Dat betekent dat er bij deze gemalen alleen een probleem ontstaat bij hoogwater, wanneer de keermiddelen vanuit een maalperiode niet zijn gesloten en er vervolgens een hoogwatersituatie ontstaat. Er is bij deze gemalen nog kans op herstel van een gefaalde sluiting  
Bij gemalen die wel gedurende een hoogwater in werking zijn, is een kans op herstel er wellicht niet meer. Als tijdens een hoogwater het gemaal wordt gestopt dienen de keermiddelen direct te sluiten. Als dat niet plaatsvindt, is er direct sprake van ongewenste instroming. Daarbij opgemerkt dat het opstarten van pompen tegen de instroming in, in veel gevallen niet mogelijk is.

### 5.3 Schutsluis

De wijze waarop de primaire functie van een schutsluis, het schutten van schepen, wordt uitgevoerd is van belang voor de waterveiligheid van dit type kunstwerk. Er bestaat daarbij een sterke band tussen het gebruik van de schutsluis en de manier waarop de waterveiligheid van een schutsluis is gerealiseerd. Zonder hierop direct in te gaan zijn de volgende aspecten van belang bij het betrekken van het gebruik in de analyses voor waterveiligheid.

- **Hoogwaterkerend keermiddel draait mee in het schutproces.**  
Indien het hoogwaterkerend keermiddel ook gebruikt wordt in het schutproces draagt dit op positieve wijze bij aan de waterveiligheid. Immers staat de schutsluis dan buiten bediende tijd altijd hoogwaterkerend gesloten. Daarmee wordt de kans van het samenvallen van een niet hoogwaterkerend gesloten kunstwerk en een hoogwater aanmerkelijk verkleind.
- **Vervullen van de primaire functie.**  
Het gemiddeld aantal schuttingen en de gemiddelde schuttijd geven een indicatie van de kans dat het hoogwaterkerende hoofd/de sluisdeur van een schutsluis geopend staat. Daarnaast kan informatie omtrent de schepen die worden geschut (tonnage, vaarsnelheden, afmetingen) bijdragen aan een nadere analyse omtrent de kans op uitvaren van de keermiddelen tijdens een schutcyclus.
- **Andere functies van een schutsluis**  
In sommige gevallen kennen schutsluizen ook nog aanvullende functies zoals het schutten van vis of het dienen als uitwateringssluizen. Dergelijke functies dienen in de beschouwingen te worden meegenomen. Hierbij moeten dan ook gegevens omtrent frequentie en tijdsduur van dergelijke functies worden betrokken
- **Buiten bediende tijd gesloten.**  
Sommige schutsluizen zijn uitgerust met een apart hoogwaterkerend keermiddel (draait dus niet mee in het schutproces), welke buiten bediende tijd gesloten wordt. Denk hierbij aan een set stormvloeddeuren die in het hoogwaterkerende sluishoofd aan het einde van de dag gesloten worden. Een dergelijke schutsluis staat in de nacht altijd hoogwaterkerend gesloten en hoeft bij het optreden van een hoogwater in de nacht dus niet meer gesloten te worden. Het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting speelt in de nacht hier geen rol meer.

- **Maximaal schutpeil**  
Voor een schutsluis geldt meestal een maximaal schutpeil. Bij hogere buitenwaterstanden wordt er dan niet meer gesloten en wordt de sluis hoogwaterkerend gesloten. Dit maximale schutpeil ligt meestal nog een stuk onder het peil dat maximaal gekeerd kan worden door het binnenhoofd. De periode tussen overschrijding van het maximale schutpeil en het maximaal toelaatbare peil met betrekking tot de keermiddelen kan worden gezien als hersteltijd. In deze periode kan een gefaalde sluiting van de hoogwaterkerende keermiddelen worden hersteld.
- **Scheepvaart in de schutsluis**  
De kans op uitvaren van keermiddelen is voor schutsluizen die sec door recreatievaart worden gebruikt verwaarloosbaar.

#### **5.4 Uitwateringssluizen**

Uitwateringssluizen hebben de primaire functie van het onder vrij verval spuien van water. Dat betekent dat het binnenwater hoger staat dan het buitenwater en dat het gebruik geheel gerelateerd is aan het verschil tussen binnen- en buitenwater.

Aandachtspunten met betrekking tot het gebruik van uitwateringssluizen in relatie tot waterveiligheid zijn:

- **Vervullen van de primaire functie**  
De daadwerkelijke inzet van de sluis, dus gemiddelde frequentie en duur van inzet, zijn van belang. Deze zaken hebben invloed op de kans dat het kunstwerk in functie is (niet gesloten is) op het moment dat een hoogwater nadert.
- **Grootte van doorstroomopening**  
Het kan voorkomen dat de uitstroom wordt gereguleerd middels een stuw in de uitwateringssluizen of het gebruik van een keermiddel. Een voorbeeld van dit laatste is een spindelschuif die slechts deels getrokken wordt, waardoor de doorstroomopening beperkt blijft en er hogere stroomsnelheden optreden. Door de beperkte doorstroomopening zullen gevolgen bij een gefaalde sluiting kleiner zijn. Tevens zal door de hogere stroomsnelheden de kans op vervuiling van de drempel ter plaatse van de schuif kleiner zijn. Ook is de kans op sluiting groter omdat de schuif over een beperkte hoogte hoeft te worden 'dichtgedraaid'. Ten slotte geldt nog dat bij een geknepen schuif de kans op herstel van een gefaalde sluiting beter mogelijk is, omdat wellicht met alternatieve middelen zoals zandzakken o.i.d. de opening alsnog kan worden afgesloten.  
In het geval van een stuw in een uitwateringssluizen zorgt de stuw voor een verhoogde drempel indien sluiting van het kunstwerk faalt.

Opgemerkt wordt dat uitwateringssluizen vaak uitgerust zijn met een terugslagklep als keermiddel, welke ook als hoogwaterkerend keermiddel fungeert. Een terugslagklep is een relatief betrouwbaar keermiddel. Het gebruik van een terugslagklep is een van de belangrijke verschillen tussen een uit- en een inlaatsluizen. In het laatste geval kan een terugslagklep niet als hoogwaterkerend keermiddel fungeren, omdat daarvoor het verval tijdens functioneren de verkeerde kant op staat.

## 5.5

### Inlaatsluis

Een inlaatsluis heeft als primaire functie om water in te laten. Deze functie vindt plaats onder vrij verval, waarbij de buitenwaterstand hoger is dan de binnenwaterstand. De inzet van een inlaatsluis vindt altijd bewust en gecontroleerd plaats, omdat er sprake is van instroming in het achterland.

Aandachtspunten met betrekking tot het gebruik van uitwateringssluizen in relatie tot waterveiligheid zijn:

- Vervullen van de primaire functie  
De daadwerkelijke inzet van de inlaatsluis, dus gemiddelde frequentie en duur van inzet, zijn van belang. Deze zaken hebben invloed op de kans dat het kunstwerk in functie is (niet gesloten is) op het moment dat een hoogwater nadert. Inlaatsluizen worden met name gebruikt in het zomerseizoen om droogte aan de binnenzijde tegen te gaan. Dat betekent dat in het stormseizoen deze kunstwerken vaak gesloten staan. Daarnaast geldt dat de kans op minder frequente waterstanden zoals een hoogwater in het zomerseizoen kleiner is dan in het winterseizoen. Met behulp van deze gegevens kan een veiligheidsanalyse van een inlaatsluis wellicht nog worden aangescherpt.
- Grootte van doorstroomopening  
De constructie van een inlaatsluis is altijd zo vorm gegeven dat het instromende debiet gecontroleerd en geregeld kan worden. Meestal gebeurt dit door een van de afsluitmiddelen te hanteren als regulerend keermiddel. In veel gevallen is het niet nodig om dit regulerende keermiddel geheel open te zetten om het gewenste instromende debiet te realiseren. Dat betekent dat er bijna nooit sprake is van een geheel geopende doorstroomopening. Door de beperkte doorstroomopening zullen gevolgen bij een gefaalde sluiting kleiner zijn. Tevens zal door de hogere stroomsnelheden de kans op vervuiling van de drempel ter plaatse van het keermiddel kleiner zijn. Ook is de kans op sluiting groter omdat het keermiddel over een beperkte hoogte gesloten hoeft te worden. Ten slotte geldt nog dat bij een geknepen doorstroomopening de kans op herstel van een gefaalde sluiting beter mogelijk is, omdat wellicht met alternatieve middelen zoals zandzakken o.i.d. de opening alsnog kan worden afgesloten.

## 5.6 Keersluis

Over het algemeen worden de keersluizen als meest risicovolle kunstwerken in onze waterkeringen beschouwd<sup>7</sup>. Ze staan normaal gesproken open, beschikken soms over slechts één keermiddel en hebben over het algemeen behoorlijk grote afmetingen. Het niet tijdig sluiten van een keersluis kan snel leiden tot problemen in het achterland.

De primaire functie van de keersluis is het laten passeren van water en schepen door de waterkering. Sluiting vindt alleen plaats als een hoogwater zich voordoet. Belangrijke aandachtspunten bij een keersluis met betrekking tot het gebruik zijn:

- Beschikbare tijd voor herstel van een gefaalde sluiting.  
De beschikbare tijd tussen het sluiten van de keersluis en het moment dat er water door een geopende keersluis naar binnenstroomt. Deze tijdsperiode heeft invloed op de kans van herstel van een gefaalde sluiting en kan daarmee bijdragen aan het resultaat van een toetsing van *betrouwbaarheid sluiting*. Het vergroten van deze beschikbare tijd door eerder te sluiten, kan leiden tot een verkleining van de faalkans voor dit faalmechanisme.
- Vastgelegd sluitprotocol en het oefenen hiervan.  
De sluitprocedure dient periodiek te worden geoefend, opdat getest wordt dat de keermiddelen functioneren. Het protocol voor sluiting en oefening dient vastgelegd te zijn en ook te worden nageleefd. Het wordt aanbevolen om evaluatie van oefening en sluiting vast te leggen en de 'lessons learned' weer vast te leggen in het protocol. Het opstellen van een protocol is dus belangrijk voor het gebruik van een keersluis.
- Kans op aanvaren.  
Indien de kans op aanvaren een rol speelt bij een keersluis, kan worden gekeken waar dat door wordt veroorzaakt. Opgemerkt wordt dat aanvaren van de gesloten keersluis van belang is voor het faalmechanisme *sterkte en stabiliteit*. Het aanvaren van onderdelen van de keermiddelen in niet gesloten toestand is van belang voor het mechanisme *betrouwbaarheid sluiting*. Voor beide vormen van aanvaren geldt dat andere maatregelen van belang zijn.

<sup>7</sup> Coupures worden vaak ook als risicovol gezien. Het belangrijkste verschil tussen een coupure en een keersluis is dat herstel van een gefaalde sluiting bij een coupure in den droge kan plaatsvinden, terwijl dat bij een keersluis altijd in den natte moet gebeuren. Daarnaast zijn de afmetingen van een keersluis meestal groter en is de bereikbaarheid minder goed.

## 6 Gehanteerde gegevens bij de toetsing

Bij een wettelijke toetsing worden allerlei gegevens gehanteerd. Vaak gaat dit om tekeningen, rapporten en berekeningen van de kunstwerken. De analyses die in het kader van de toetsing gemaakt worden aan de hand van deze gegevens, bevatten in sommige gevallen nog allerlei aannamen, zoals:

1. Conditie van (onderdelen van) kunstwerk,
2. Grondgegevens,
3. Gebruik,
4. Rekenregels.

De aandachtspunten met betrekking tot het gebruik (nr. 3 in bovenstaande opsomming) zijn aan de orde gekomen in hoofdstuk 5. Voor de punten 1 en 2 wordt in dit hoofdstuk nader ingegaan op mogelijke aannamen. Voor punt 4 geldt dat specifiek gekeken wordt naar bekend zijnde conservatieve rekenregels, die in een nadere analyse kunnen worden aangescherpt.

Opgemerkt wordt, dat in het geval van een kunstwerk dat vanuit de derde toetsronde op het HWBP staat, het aanleiding geeft om de uitgevoerde toetsing conform de oude normering en voorschriften tegen het licht te houden met betrekking tot schematisering en interpretatie. Een dergelijke slag kan gedaan worden in stap 5 (zie paragraaf 2.2.1), wanneer de toetsing wordt opgewaardeerd naar de overstromingskansbenadering.

### 6.1 **Conditie van het kunstwerk**

Bij het beoordelen van een kunstwerk dient de huidige conditie van het kunstwerk te worden bepaald en dient deze vertaald te worden naar de situatie op peildatum van de toetsing. Het toepassen van assetmanagement is hierbij een belangrijke tool.

De daadwerkelijke conditie van (onderdelen van) het kunstwerk kunnen alleen worden vastgesteld door middel van een inspectie van het kunstwerk. Hierbij moet niet alleen een visuele inspectie worden uitgevoerd, maar dient ook te worden gemeten, geklopt en geprikt om een eventuele afname van de conditie vast te stellen. Het inspecteren van de kunstwerken dient te worden vastgelegd in een inspectieplan wat op zijn beurt weer onderdeel dient uit te maken van een beheer- en onderhoudsplan. Voor een aantal beheerders geldt dat een compleet beheer- en onderhoudsplan voor de kunstwerken momenteel nog niet in werking is getreden. Als gevolg hiervan worden voor de conditie van kunstwerken soms de nodige aannamen gemaakt. Vanuit het oogpunt van veilig toetsen is dan in veel gevallen een conservatieve inschatting van de conditie gemaakt.



In het geval van kunstwerken wil een matige conditie nog niet betekenen dat een kunstwerk niet voldoet ten aanzien van waterveiligheid. Kijkend naar een faalmechanisme als *sterkte en stabiliteit* geldt dat over het algemeen kunstwerken redelijk overgedimensioneerd zijn (robuust zijn ontworpen). Bijvoorbeeld een corrosielaagje van een millimeter dik wil daardoor nog niet meteen betekenen dat een stalen schuif niet meer sterk genoeg is. Daarnaast zijn niet alle onderdelen van een kunstwerk in een waterkering waterkerend. Een duidelijk voorbeeld is een gemaalgebouw dat een matige conditie heeft, maar dat zelf geen water keert omdat het geheel binnendijs staat. De matige conditie van het gemaalgebouw draagt niet bij aan het overstromingsrisico van het kunstwerk.

#### 6.1.1 *Hoogteligging kunstwerk*

De hoogteligging van een kunstwerk kan informatie geven over mogelijke deformaties van de constructie en daarmee de algehele conditie van het kunstwerk. Het wordt dan ook aanbevolen om de hoogteligging van enkele punten van de constructie en het naastgelegen dijklichaam periodiek in te meten. Hoogtemetingen kunnen beoordelingen op bij de faalmechanismen *hoogte, betrouwbaarheid sluiting* en *sterkte en stabiliteit* ondersteunen. In de toetspraktijk wordt vaak uitgegaan van de kerende hoogte die op tekening staan vermeld.

##### Hoogte

Voor kunstwerken waarbij het faalmechanisme *hoogte* van toepassing is<sup>8</sup>, geldt dat een hoogteligging van de keermiddelen en het waterkerende in/uitstroomwerk direct van invloed is op het oordeel van dit faalmechanisme.

##### Betrouwbaarheid sluiting

Ten behoeve van *betrouwbaarheid sluiting* kan het nodig zijn om de hoogte van de drempel van het watervoerende kanaal (sluisbodem, b.o.b. duiker etc.) te kennen, dan wel de kerende hoogte van niet hoogwaterkerende keermiddelen.

##### Sterkte en stabiliteit

Ten aanzien van de stabiliteit van een kunstwerk kunnen middels periodieke hoogtemetingen eventuele zakkingen en scheefstand van het kunstwerk worden geconstateerd. Bij geconstateerde scheefstand of lokale zakkingen kan dit een indicatie zijn van een (deels) bezwaken fundatie. Scheuren in constructies kunnen eveneens een aanduiding zijn van verminderde stabiliteit dan wel sterkte.

<sup>8</sup> Bij kunstwerken die middels een duiker door de waterkering heen voeren, geldt dat de kerende hoogte verzorgd wordt door het dijklichaam en niet door het kunstwerk. Hierbij is dit faalmechanisme voor het kunstwerk dus niet van toepassing.

### 6.1.2 *Keermiddelen*

Keermiddelen zijn over het algemeen het maatgevende onderdeel van het kunstwerk met betrekking tot *sterkte en stabiliteit*. Indien een keermiddel op correcte wijze wordt onderhouden, blijft de achteruitgang in conditie beperkt. In dat geval kan bij een toetsing een redelijke inschatting van de conditie worden gemaakt. Wanneer er echter duidelijk sprake is van achteruitgang van de conditie kan middels metingen worden vastgesteld hoe groot die achteruitgang is. Ook bij het ontbreken van gegevens (bv afmetingen) van de keermiddelen zijn metingen in het veld de enige juiste weg om toetsingen te onderbouwen.

Het nauwkeurig bepalen van de conditie van (onderdelen van) een kunstwerk kan niet alleen visueel plaatsvinden. Zo is het niet altijd mogelijk om alleen visueel vast te stellen of en hoe diep de inrotting van hout is. Dit kan alleen via een inspectie plaatsvinden. Ook is het moeilijk om de conditie van een keermiddel vast te stellen dat (deels) onder water zit. Inspecties bieden ook hier uitkomst. Uit te voeren inspecties dienen uitgevoerd te worden conform de gestandaardiseerde inspectiemethoden (NEN 2767, Cur-aanbeveling 117)

### 6.1.3 *Kwelschermen*

Bij de beoordeling van *onder- en achterloopsheid* worden aannamen gedaan omtrent de kwaliteit van de kwelschermen en de aansluiting hiervan op de constructie. Daarnaast worden soms ook aannamen gedaan aangaande de lengte en zelfs de locatie van de kwelschermen, wanneer deze niet in een document zijn vastgelegd.

Onzekerheden over kwelschermen kunnen deels worden weggenomen door onder andere het uitvoeren van peilbuismetingen. Hiermee kan een actuele indruk worden verkregen van de weerstand tegen onder- en achterloopsheid onder en langs het kunstwerk. Met name in het geval dat er niets over de kwelschermen bekend is, kan dit een krachtig middel zijn om onderbouwd een oordeel te gaan vormen omtrent het faalmechanisme.

Tegen de conditie van houten kwelschermen wordt zeer verschillend aangekeken. Er zijn meerdere gevallen bekend waarbij een historisch kunstwerk (bv 100 jaar) is drooggezet en de (houten) kwelschermen nog de geur van vers hout hadden en goed bleken te zijn. Het gaat dan met name om kwelschermen die altijd onder water hebben gezeten. Dit duidt erop dat de aansluiting en de kwaliteit van kwelschermen heel lang goed kunnen functioneren. Het uitgangspunt hanteren dat na bv 50 jaar de kwelschermen allemaal lek zijn is erg conservatief en moet minimaal onderbouwd worden middels het uitvoeren van peilbuismetingen. Kanttekening hierbij is dat er bij dagelijkse omstandigheden sprake moet zijn van een substantieel verval over het kunstwerk (bv meer dan 1,0 m).

In sommige gevallen wordt ervoor gekozen om kwelschermen lokaal vrij te graven en de kwaliteit op die manier vast te leggen. Dit kan een stukje onderbouwing geven omtrent de kwaliteit van aansluiting en kwelscherm. Bedacht moet worden dat een lokaal goed stukje kwelscherm niet wil zeggen dat alle kwelschermen over de volle lengte goed zijn. Complete zekerheid geeft dit dus niet. Daarnaast kan het vrijgraven van kwelschermen en het tijdelijk blootleggen hiervan van negatieve invloed zijn op de conditie van deze kwelschermen, omdat ze tijdelijk niet onder water zitten.

Wanneer er van de lengte van kwelschermen niets bekend is, kan gebruik worden gemaakt van hetgeen hierover opgeschreven is in de STOWA publicatie Historische Kunstwerken ([2] en [3]). Dit kan enige handvatten geven ten aanzien van de aanwezigheid, het aantal en de lengte van kwelschermen bij oudere kunstwerken. Voor stalen damwandschermen is het mogelijk om lengten te achterhalen dmv magnetische sonderingen. Hierbij moet men erop bedacht zijn dat de grotere schermen vaak gestaffeld zijn aangebracht. Er is dan niet altijd sprake van één lengte van de damwandschermen.

#### 6.1.4 *Bodembescherming*

De conditie van een bodembescherming, met name aan de binnenzijde van het kunstwerk, kan van invloed zijn op meerdere faalmechanismen. De belangrijkste hiervan is *onder- en achterloopsheid*. Immers als er sprake is van een goede bodembescherming, die zanddicht maar waterdoorlatend is, zal onderloopsheid niet optreden. Er kan dan wel sprake zijn van een kwelstroom, maar ondermijning van het kunstwerk vindt niet plaats.

De conditie van een bodembescherming is globaal vast te stellen middels een duikinspectie. Hierbij kan worden gekeken naar het ontbreken van stenen in de bodembescherming maar ook naar de aanwezigheid van ontgrondingskuilen. De aansluiting van de bodembescherming op de constructie kan ook informatie verschaffen over de kwaliteit van het geheel. Het is middels een inspectie niet vast te stellen of de bodembescherming nog geheel voldoet aan de filterregels. Indien de bodemverdediging er goed uitziet kan een analyse worden opgesteld ervan uitgaande dat de bodembescherming dichtgeslibd is en dus geen zand maar ook geen water doorlaat. Op dat moment vindt verlenging van de kwelweg plaats, maar tegelijkertijd dient te worden gecontroleerd of de bodembescherming opdrijft onder hoogwateromstandigheden.

De conditie van de bodembescherming kan ook helpen bij nadere onderbouwing van een maximaal toelaatbaar instromend debiet. Dit kan worden gekoppeld aan de faalmechanismen *hoogte, betrouwbaarheid sluiting* en *sterkte en stabiliteit*. Indien één van deze faalmechanismen optreedt, maar de bodembescherming is in staat om de dan optredende stroomsnelheden te weerstaan, treedt een bres niet snel op en blijven instroomdebieten wellicht beperkt. Hiermee worden de gevolgen van instroming dan ook beperkt.

## 6.2 **Grondgegevens**

Grondgegevens zijn nodig voor de toetsingen van bodemgerelateerde faalmechanismen. Het gaat hierbij met name om *onder- en achterloopsheid* en *sterkte en stabiliteit*.

Lang niet altijd zijn bodemgegevens beschikbaar in de direct nabijheid van een kunstwerk. Wanneer ontwerpdocumenten aanwezig zijn, staan hier meestal wel grondgegevens op, maar daarnaast worden vaak grondgegevens op enige afstand van het kunstwerk gebruikt.

Aanbevolen wordt om grondgegevens aan weerszijde van en direct naast een kunstwerk te bepalen. Het gaat hierbij om sonderingen en boringen. Bij het bepalen van grondgegevens zijn met name de volgende punten van belang:

- A. Aanwezigheid en dikte van eventuele deklaag van klei op het buitentalud
- B. Aanwezigheid van slecht doorlatende lagen (klei en veen) rondom en onder het kunstwerk. Dit is niet alleen van belang voor onder- en achterloopsheid, maar kan ook aangeven of een kunstwerk onderheid zal zijn of niet indien hier gegevens over ontbreken.
- C. Indicaties van de draagkracht van de ondergrond.
- D. Classificatie van eventueel aanwezige zandlagen (grof, matig, fijn). Indien analyses met Sellmeijer worden uitgevoerd zijn ook korreldiameters van belang. Bedacht moet worden dat ter plaatse van een kunstwerk altijd sprake is van enige mate van geroerde grond met soms ook nog het nodige restafval van de bouw. De vraag is dan ook hoe representatief het is om korreldiameters te bepalen in een dergelijk geval. Een globale classificatie lijkt dan beter aan te sluiten.

Bij het uitvoeren van het grondonderzoek kan meteen ook gekeken worden naar de aansluiting van het dijkvak op het kunstwerk. Het gaat dan met name over zaken die visueel waar te nemen zijn, zoals de conditie van eventuele bekledingen, de aanwezigheid van verzakkingen direct naast het kunstwerk, spleten tussen dijklichaam en kunstwerk en ten slotte hoogteverschillen tussen kunstwerk en aansluitend dijklichaam. Deze punten kunnen informatie geven over de conditie van de aansluiting.

### **6.3 Rekenregels**

Bij toetsingen worden soms verschillende rekenregels gebruikt bij de diverse faalmechanismen. In de meeste gevallen is dit geen probleem. Er kunnen echter situaties zijn waarin een rekenregel wordt toegepast die niet valide is.

#### **6.3.1 Sterkte houten puntdeuren**

In Nederland ontbreekt een goede beschrijving van de berekening van houten puntdeuren. En aangezien dit specifieke constructies zijn, zijn niet alle beschikbare normen en rekenregels toepasbaar voor deze constructies. Een belangrijk detail van de houten puntdeuren, waarbij het ontbreekt aan de juiste rekenregels, is de pen-gat verbinding van de regels aan de harren. In de derde toetsronde zijn deze verbindingen meerdere keren beoordeeld aan de hand van de in de normen gegeven formule voor inkepingen (art 6.5.2 van NEN-EN-1995-1-1+C1+A1-2). Het resultaat was vervolgens dat veel houten puntdeuren zijn afgekeurd op basis van deze formule. Toepassing van de formule leidt er zelfs toe dat in een aantal gevallen de houten puntdeuren bij dagelijkse omstandigheden reeds bezwijken.

Inmiddels is er een afstudeerwerk van de TUDelft [6] hierover verschenen, waarin specifiek ingegaan wordt op het detail van de pen-gatverbinding. Een kant en klare rekenmethodiek wordt niet aangedragen, maar wel wordt aangegeven dat een berekening volgens de formule uit de norm te conservatief is.

Er is ook nog een ander spoor dat ingaat op het probleem van de pen-gat verbinding. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een tweetal onderzoeksrapporten ([7] en [8]) die aantonen dat de schuifspanning van Azobé, waarvan de meeste puntdeuren gemaakt zijn, aanzienlijk hoger is dan in de normen is aangegeven. In hoeverre dit nu een geaccepteerde benadering is, is niet bekend.

Het is van belang dat er landelijk een rekenwijzer komt voor de berekening van houten puntdeuren. Zolang die er niet is, kan gebruik worden gemaakt van de diverse (hierboven) genoemde onderzoeken.

Belangrijkste constatering is dat bij het afkeuren van houten puntdeuren het zeer nuttig kan zijn om de berekeningen die hieraan ten grondslag liggen, nogmaals door te lopen. Indien de conservatieve benadering uit de NEN-normen is toegepast, dient voor een andere benadering gekozen te worden.

### 6.3.2

#### *Heave*

Bij de toetsing van onderloopsheid wordt in veel gevallen gebruik gemaakt van het model van Lane. Wanneer niet wordt voldaan aan dit model wordt vervolgens het oordeel 'onvoldoende' toegekend. Daarbij wordt de toets middels het heave-model overgeslagen. Echter kan een toetsing conform heave tot aanmerkelijk gunstigere uitkomsten leiden dan het model van Lane. De toepasbaarheid van het heave-model is aan een aantal randvoorwaarden verbonden. Deze zijn terug te vinden in het Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen [9].

### 6.3.3

#### *Achterloopsheid*

Achterloopsheid, bestaande uit het optreden van gronduitspoeling naast het kunstwerk, kan in dijken met een zandkern niet optreden. Immers zal elke vorm van een pipe direct worden dichtgedrukt door het bovenliggende zandpakket. Van dit gegeven is niet iedereen zich bewust bij het uitvoeren van een toetsing. Bij een onvoldoende score voor achterloopsheid kan worden gekeken of rekening is gehouden met bovenstaand gegeven. Belangrijk is dat naast de aanwezigheid van een zandkern ook de aanwezigheid van achterloopsheidschermen is vastgesteld.

In het algemeen geldt nog ten aanzien van onder- en achterloopsheid dat een kwelweganalyse altijd een driedimensionale analyse van kwelwegen betreft. Soms wordt dit over het hoofd gezien en wordt onderloopsheid gezien als één kwelweg met een verticaal gedeelte en achterloopsheid als een puur horizontale kwelweg.

## 7 Overstromingskansbenadering

Per 1 januari 2017 wordt de overstromingskansbenadering verankerd in onze wetgeving. De nieuwe normen worden dan van kracht en ook het bijbehorende toetsinstrumentarium (WBI2017) gaat dan van start. Kunstwerken die op de HWBP-lijst staan doordat ze in voorgaande toetsronden zijn afgekeurd, zijn nog getoetst volgens de overbelastingsbenadering en de 'oude' normen. Met name voor deze kunstwerken is dit hoofdstuk bedoeld.

### 7.1 Het nieuwe toetsen

Ten eerste wordt opgemerkt dat waar in het verleden gesproken werd over het 'toetsen' van onze waterkeringen, er in het nieuwe instrumentarium gesproken wordt over het 'beoordelen' van de waterkeringen.

Belangrijk is om eerst vast te stellen wat de verschillen zijn tussen de toetsing conform het WBI2017 en de toetsing conform de oude methodiek:

- In het WBI2017 worden de gevolgen van falen meegenomen in de beoordeling. Dit leidt er in eerste instantie bijvoorbeeld toe dat duikers met beperkte afmetingen (diameter kleiner dan 500 mm) niet beoordeeld hoeven te worden. Functioneren van deze kunstwerken valt geheel onder de zorgplicht. Daarnaast zorgt het er ook voor dat instroming van water niet direct falen van een kunstwerk betekent. Alleen als er substantiële gevolgen optreden, is sprake van falen.
- In het WBI2017 worden komberging en bodembescherming als aanvullende sterkte meegenomen. In de oude benadering was dit ook al mogelijk, maar was dit veel minder expliciet aanwezig. In het WBI2017 worden deze aanvullende sterkten veel meer belicht.
- Het WBI2017 levert in basis faalkansen per faalmechanisme op (met uitzondering van het faalmechanisme onder- en achterloopsheid) in plaats van een kwalitatief oordeel zoals bijvoorbeeld 'voldoende'. Voordeel hiervan is dat meer inzicht ontstaat in de faalkansbepalende faalmechanismen en parameters. Aanscherpingen van de toetsing of het formuleren van oplossingen zijn daardoor beter te richten.

Een kunstwerk dat op de HWBP-lijst staat vanuit een voorgaande toetsronde, dient met het oog op bovenstaande punten eerst beschouwd te worden in het licht van het nieuwe toetsen/beoordelen. Hiervoor kan vanaf 2017 gebruik gemaakt worden van het instrumentarium van het WBI. Indien er een VNK2-rapportage beschikbaar is van een kunstwerk kan dit als basis dienen voor een dergelijke analyse.

## 7.2 Nieuwe normen

Met de komst van nieuwe normen wordt gelijktijdig ook een andere faalkansbegroting voor de waterkeringen vastgesteld. Voor het ontwerpen wordt hierbij het Ontwerpinstrumentarium [11] gehanteerd. Voor het beoordelen wordt ook een faalkansbegroting beschikbaar gesteld. Op basis van deze faalkansbegroting kan getoetst worden of een kunstwerk voldoet. Ten aanzien van de beschikbare faalkansruimte voor de faalmechanismen van de kunstwerken kan het hierbij nodig zijn om ook het aantal overige kunstwerken in het betrokken dijktraject mee te nemen. De faalkanseisen zijn immers hieraan gekoppeld. Bij een hertoets van kunstwerken die afgekeurd zijn in voorgaande toetsronden dient, wat de faalkanseisen betreft, rekening te worden gehouden met de andere kunstwerken in het onderhavige dijktraject.

## 7.3 Eerste screening

Gerelateerd aan de nieuwe benadering zijn in het WBI2017 enkele eenvoudige beslisregels opgenomen, waarmee faalmechanismen van kunstwerken aan de hand van enkele specifieke kenmerken als voldoende kunnen worden beoordeeld. Het gaat hierbij om kenmerken waarmee op voorhand gesteld kan worden dat een (faalmechanisme van een) kunstwerk niet substantieel zal bijdragen aan het overstromingsrisico. Deze beslisregels kunnen worden teruggevonden in Voorschrift Toetsen op Veiligheid, technisch deel [10]. Een tweetal voorbeelden van deze beslisregels zijn:

1. *Piping* draagt niet substantieel bij aan de overstromingskans wanneer de kruising met de waterkering bestaat uit een leiding met een diameter van kleiner dan 0,50 m.
2. *Betrouwbaarheid sluiting* draagt niet substantieel bij in geval van een gemaal voorzien van twee keermiddelen die bij het uitschakelen van de pomp automatisch sluiten.

Op basis van de eenvoudige beslisregels kan voor een deel al geselecteerd en geprioriteerd worden.

## 7.4 Analyse conform overstromingsbenadering

Een analyse conform de overstromingsbenadering kan worden uitgevoerd aan de hand van het WBI2017. Dat betekent ook dat de analyse in eerste instantie wordt uitgevoerd voor het zichtjaar 2023. Alle gegevens die in voorgaande stappen van deze handreiking zijn verzameld dienen te worden meegenomen.

De analyse leidt er uiteindelijk toe dat inzicht ontstaat in het veiligheidstekort van het kunstwerk kijkend naar de korte termijn. Dit beantwoordt dus de vraag of er sprake is van een veiligheidsprobleem in de komende toetsronde (komt het kunstwerk de volgende toetsronde door?). Daarnaast ontstaat ook inzicht in de maatgevende parameters voor de diverse faalmechanismen wat kan helpen in volgende stappen bij het bepalen van de veiligheidsopgave en bij het genereren van oplossingsrichtingen om de waterveiligheid op het vereiste peil te brengen.

## **7.5 Bepaling veiligheidsopgave**

Nadat er is vastgesteld dat er een veiligheidstekort is, kan worden gekeken hoe dit tekort zich in de tijd ontwikkelt bij verschillende zichtjaren en rekening houdend met toekomstige ontwikkelingen in het gebied die van invloed zijn op het kunstwerk. Hiermee kan de veiligheidsopgave aan het kunstwerk of onderdelen van het kunstwerk worden bepaald. Dit geeft tevens inzicht in wat een goede en optimale ontwerphorizon is voor het kunstwerk, welke uiteindelijk door de beheerder bepaald dient te worden. Deze is onder andere afhankelijk van eerder genoemde toekomstige ontwikkelingen in het gebied en de eis dat in 2050 de waterkeringen in Nederland allemaal op orde zijn. De invloed van een langere tijdhorizon (ontwerphorizon) ten opzichte van een WBI-toets zitten met name in de hydraulische randvoorwaarden en de ontwerpeisen die gesteld worden. Hiervoor kan met name gebruik worden gemaakt van het Ontwerpinstrumentarium [11], en de adviezen die zijn gegeven in de Handreiking Verkenning van het HWBP



## 8 Oplossingsrichtingen

Nadat bekend is dat er een veiligheidsopgave is en ook de orde grootte van deze opgave bepaald is, kan worden nagedacht over de oplossingen. Doel van dit hoofdstuk is om mogelijke praktische oplossingsrichtingen aan te reiken en daarnaast enkele aandachtspunten mee te geven. Voor een verdere uitwerking wordt verwezen naar de diverse vakliteratuur die beschikbaar is. Ten aanzien van de eisen en ontwerpmethodieken in het kader van de overstromingsbenadering wordt verwezen naar met name het Ontwerpinstrumentarium [11].

Bij de verkenning van mogelijke oplossingen voor de veiligheidsopgave dient vooraf met onder andere de volgende aspecten rekening gehouden te worden:

1. Functies vanuit andere eisen bijvoorbeeld: schutten, archeologische-, cultuurhistorische- en landschappelijke waarde en faciliteren van wegverkeer, en;
2. Aspecteisen waaronder beschikbaarheid, onderhoudbaarheid, veiligheid en duurzaamheid, en;
3. Raakvlakeisen zoals bebouwing, kabels en leidingen, toekomstige ontwikkelingen, lokatie specifieke eisen.

De benoeming van oplossingsrichtingen en aandachtspunten zijn per faalmechanisme gegroepeerd.

### 8.1 Hoogte

Een tekort aan hoogte bij een kunstwerk is over het algemeen eenvoudig op te lossen. Het verhogen van een keermiddel of een betonnen constructie is in veel gevallen wel mogelijk. De uitwerking hiervan is over het algemeen eenvoudig. Aandachtspunten bij een verhoging zijn:

- Een verhoging van een keermiddel moet wel passen bij het bewegingswerk van het keermiddel. Bij houten puntdeuren kan bijvoorbeeld een probleem ontstaan met het bovendraaipunt van de deuren.
- Doordat een constructie wordt verhoogd nemen de krachten op de constructie ook toe. Een bestaande constructie moet dit wel aankunnen.
- Een verhoging waarmee het kunstwerk uitsteekt boven de aansluitende dijklichamen dient goed te worden afgewogen.
  - De eis voor kerende hoogte is in het nieuwe ontwerpinstrumentarium voor dijklichaam en kunstwerk hetzelfde. Dat betekent dat een lokaal hogere waterkering niet een eventueel veiligheidstekort voor hoogte van het gehele dijktraject oplost (zie figuur hieronder waarin een aanzicht van een dijktraject is gegeven).



Opgemerkt wordt dat overslag bij een kunstwerk via andere formules wordt vastgesteld dan overslag bij een dijklichaam. Bij een kunstwerk wordt gebruik gemaakt van formules voor een verticale wand en daar is bij een dijklichaam geen sprake van. Daarnaast kan het bij een kunstwerk mede als gevolg van de watergang achter het kunstwerk mogelijk zijn dat een groter overslag/overloopdebiet toelaatbaar is. Dit alles betekent dat het zeker mogelijk is dat theoretisch gezien er verschillende hoogte voor kunstwerk en dijklichaam worden uitgerekend.

- Indien de kerende hoogte van de constructie van een kunstwerk niet gelijk is aan de kerende hoogte van het aansluitende dijklichaam, leidt dit tot extra belastingen ter plaatse van de aansluitconstructie van kunstwerk met dijklichaam. Dit moet worden meegenomen bij het ontwerp van de aansluitconstructie.
- In het licht van de nieuwe normering en het Ontwerpinstrumentarium wordt er ook gesproken over de mogelijkheid om faalkansruimte uit te wisselen. Gelet op het hierboven aangehaald punt is het niet mogelijk om faalkansruimte van het faalmechanisme hoogte bij kunstwerken hiervoor te gebruiken. Het sec hoger maken van het kunstwerk levert niet een lagere faalkans voor hoogte op voor het gehele dijktraject. De faalkansruimte voor hoogte kan dus alleen gebruikt worden voor andere faalmechanismen, voor kunstwerken bijvoorbeeld *betrouwbaarheid sluiting*, wanneer het faalmechanisme hoogte voor het gehele dijktraject een lagere faalkans heeft dan de eis.
- De verhoging van een betonnen constructie zoals sluishoofd kan bij beperkte verhogingen eenvoudig worden uitgevoerd door het storten van een muurtje bovenop de bestaande constructie. Daarmee zullen de aanvullende verticale belastingen als gevolg van deze verhoging beperkt kunnen blijven.
- Voorgaand punt geeft ook aan dat het goed mogelijk is om een LCC-benadering toe te passen betreffende het faalmechanisme *hoogte* bij kunstwerken. Wanneer bij het ontwerp van een nieuwe fundatie en keerconstructie rekening wordt gehouden met eventueel hogere belastingen in de toekomst, hoeft een kunstwerk in eerste instantie nog niet op volledige hoogte (ontwerperperiode 100 jaar) worden aangelegd, om na een aantal jaar te kunnen beschouwen of de aangenomen verandering van de hydraulische randvoorwaarden ook doorzetten.

## 8.2 Betrouwbaarheid sluiting

De oplossingen voor een veiligheidstekort ten aanzien van *betrouwbaarheid sluiting* kunnen bestaan uit fysieke oplossingen maar in belangrijke mate ook uit procesmatige oplossingen. Om de diverse oplossingsrichtingen inzichtelijk te maken wordt hieronder nog even de basisformule gegeven waarmee de faalkans voor *betrouwbaarheid sluiting* wordt bepaald.

$$P_{fa;ns} = P\{V_{open} - V_{toel}\} = P_{ns} \cdot N\{h_{bu} > OKP\} \cdot P_{open} \cdot P_{f,herstel} \quad 8.1$$

Hierin is:

$P_{fa;ns}$             Kans op falen van het kunstwerk ten gevolge van het falen van de sluiting van de hoogwaterkerende keermiddelen [1/jaar].

$P\{V_{open} > V_{toel}\}$	Kans van overschrijding van het toelaatbaar instroomvolume als gevolg van falende afsluitmiddelen [1/jaar].
$P_{ns}$	Kans dat de sluiting van het kunstwerk faalt [1/vraag].
$N\{h_{bu} > OKP\}$	Gemiddeld aantal keer per jaar dat een hoogwatergolf passeert met een maximale buitenwaterstand hoger dan OKP <sup>9</sup> (resultierend in een sluitvraag bij open kunstwerk) [vragen/jaar].
$P_{open}$	Kans dat het kunstwerk vanuit de optiek van waterkeren bij een willekeurig hoogwater open staat [-].
$P_{f,herstel}$	Kans dat een eventueel benodigd herstel faalt binnen de beschikbare tijd[-].

Niet alle parameters in de formule 8.1 kunnen gelijkwaardig worden beïnvloed bij het ontwerp. Zo zijn de hydraulische randvoorwaarden bij het ontwerp een gegeven en kunnen die niet eenvoudig lokaal worden aangepast.

Opgemerkt wordt dat de parameter  $P_{f,herstel}$  alleen van een waarde anders dan '1' kan worden voorzien als dit fundamenteel wordt onderbouwd. Voor het ontwerpen van kunstwerken wordt aanbevolen om in eerste instantie deze parameter niet te betrekken teneinde aan de faalkanseisen te voldoen.

### 8.2.1 *Fysiske oplossingen*

Fysiske oplossingen bestaan uit maatregelen als gevolg waarvan de faalkans als gevolg van niet sluiten van het kunstwerk bij een naderend hoogwater wordt beperkt door het aanbrengen van fysische elementen. Hieronder wordt per parameter uit formule 8.1 gekeken naar oplossingsrichtingen.

#### 8.2.1.1 Sluiting van de keermiddelen ( $P_{ns}$ )

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

- Indien niet aanwezig het aanbrengen van een tweede hoogwaterkerend keermiddel. Daarbij dient ervoor gezorgd te worden dat dit tweede keermiddel ook voldoende getest, gecontroleerd en onderhouden wordt, zodat het voldoende betrouwbaar is om de faalkans van sluiting te verlagen. In het kader hiervan wordt aanbevolen om indien mogelijk een tweede keermiddel ook telkens te sluiten als het primaire hoogwaterkerende keermiddel gesloten wordt. Een voorbeeld van een type kunstwerk waarbij dit reeds veel wordt toegepast is het gemaal.
- Streven naar permanente keermiddelen. Indien er keermiddelen worden gebruikt die niet permanent aanwezig zijn zoals schotbalken, is mogelijk falen als gevolg van mobilisatie van materiaal en materieel en het plaatsen van de keermiddelen (bv schotten plaatsen bij harde wind) een bijkomend aspect. Het toepassen van permanente keermiddelen verkleint in veel gevallen de kans op niet sluiten.

<sup>9</sup> OKP: Open Keerpeil; Die buitenwaterstand die bij een niet gesloten kunstwerk tot substantiële gevolgen in het achterland leidt.

- Het vervangen van een bestaand keermiddel. De faalkans voor niet sluiten is afhankelijk van het type keermiddel. Het kan daarom een mogelijkheid zijn om een bestaand keermiddel te vervangen door een ander type en zo de faalkans van niet sluiten te verkleinen.
- Het verzorgen van een tweede mogelijkheid tot aandrijving van een keermiddel. Indien dit niet aanwezig is, kan de betrouwbaarheid van sluiting worden verhoogd door te zorgen voor een tweede aandrijvingslijn. Deze kan bijvoorbeeld bestaan uit handbediening. Opgemerkt wordt dat het meenemen van een tweede aandrijflijn ook moet worden opgenomen in de protocollen, testen en controles, zodat deze ook voldoende betrouwbaar is.
- In lijn met het vorige punt kan een tweede krachtbron ook van toegevoegde waarde zijn. Wanneer de keermiddelen bijvoorbeeld automatisch sluiten met gebruik van elektriciteit is een alternatieve krachtbron zoals een noodaggregaat een mogelijke toevoeging om de betrouwbaarheid van de sluiting te verhogen.
- Bereikbaarheid van de keermiddelen. De betrouwbaarheid van de sluiting van keermiddelen kan worden vergroot door de toegankelijkheid tot de keermiddelen te verbeteren. Dat betekent immers dat in geval van een calamiteit met het keermiddel er wellicht nog mogelijkheden zijn om dit op te lossen bij een naderend hoogwater.
- Voorkomen van vervuiling. Teneinde blokkade van een keermiddel zoveel mogelijk te beperken kunnen maatregelen worden getroffen om (grove) vervuiling nabij de keermiddelen te voorkomen door het toepassen van bv een krooshek.
- Het beperken van het aanvaar- of aanrijdrisico. Het gaat hierbij om het aanvaren of aanrijden van (onderdelen van) de keermiddelen op het moment dat ze niet gesloten staan. In gesloten toestand is aanvaren dan wel aanrijden een aspect wat onder het faalmechanisme sterkte en stabiliteit valt.

#### 8.2.1.2 Overschrijding maximaal toelaatbaar peil ( $N\{h_{bu} > OKP\}$ )

De kans het optreden van een overschrijding van het maximaal toelaatbaar peil bij geopend kunstwerk ( $N\{h_{bu} > OKP\}$ ) kan fysiek worden verkleind door:

- Het toepassen van een drempelconstructie in het kunstwerk als gevolg waarvan er een hoger Open Keerpeil (OKP) aanwezig is. Bij veel constructies is dit niet eenvoudig te realiseren. In het geval van een schutsluis kan worden bekeken of niet hoogwaterkerende keermiddelen wellicht hiervoor gebruikt kunnen worden. Ze moeten dan niet alleen een goede kerende hoogte hebben maar ook sterkte-technisch in staat zijn om deze taak te vervullen.
- 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. Dat impliceert dat een groter kombergend vermogen, en daarmee een hoger OKP, leidt tot een lagere benodigde betrouwbaarheid van de sluiting. 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.

#### 8.2.1.3 De kans op open staan ( $P_{open}$ )

Ten aanzien van de kans op open staan ( $P_{open}$ ) zijn er geen fysieke maatregelen mogelijk.

#### 8.2.2 *Procesmatige oplossingen*

Procesmatige oplossingen bestaan uit maatregelen als gevolg waarvan de faalkans voor niet sluiten van het kunstwerk bij een naderend hoogwater wordt beperkt door het invoeren van procesmatige handelingen. Hieronder vallen calamiteitenplannen, sluitingsprotocollen, gebruikshandleidingen en cetera. Hieronder wordt per parameter uit formule 8.1 gekeken naar oplossingsrichtingen.

#### 8.2.2.1 Sluiting van de keermiddelen ( $P_{ns}$ )

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

- Alles omtrent de sluiting van de hoogwaterkerende keermiddelen organisatorisch goed te regelen en vast te leggen. Daarnaast dienen ook sluitingen te worden geoefend en getest en dienen de resultaten van deze proefsluitingen weer gebruikt te worden om de sluitprocedure verder te verbeteren. In het WBI2017 wordt hierop ook ingegaan.
- Het frequenter sluiten van hoogwaterkerende keermiddelen. Onderdeel van de protocollen kan bijvoorbeeld zijn om specifiek hoogwaterkerende keermiddelen maandelijks een keer te testen/sluiten. Dit verkleint de kans op bijvoorbeeld niet merkbaar falen van onderdelen van de keermiddelen en het optreden van blokkades zoals slibophoppingen.
- Zorg te dragen voor een adequate storingsregistratie, zodat geleerd kan worden van problemen die zijn opgetreden.
- Het eerder sluiten van de keermiddelen. Hiermee wordt ervoor gezorgd dat er meer tijd overblijft om een eventueel falende sluiting te herstellen.

#### 8.2.2.2 Overschrijding maximaal toelaatbaar peil ( $N\{h_{bu} > OKP\}$ )

De kans het optreden van een overschrijding van het maximaal toelaatbaar peil bij geopend kunstwerk ( $N\{h_{bu} > OKP\}$ ) kan procesmatig worden verkleind door de keermiddelen niet verder open te zetten dan noodzakelijk. Dit is vooral van toepassing bij in- en uitlaatduikers. Door bijvoorbeeld een alleen zover te openen als noodzakelijk is vanuit de primaire taak van het object is het wellicht mogelijk om doorstroomopening kleiner te houden. Bij een ongewenst open staan van het kunstwerk, zal het instromende debiet dan kleiner zijn, waardoor gevolgen worden beperkt.

### 8.2.2.3 De kans op open staan ( $P_{open}$ )

Ten aanzien van de kans op open staan ( $P_{open}$ ) zijn er de volgende procesmatige maatregelen mogelijk:

- Ervoor zorgen dat het kunstwerk buiten bediende tijd altijd hoogwaterkerend gesloten staat. Dit betekent dat na het vervullen van de primaire taak altijd minimaal één van de hoogwaterkerende keermiddelen gesloten wordt. Vanuit het oogpunt van efficiëntie is het aan te bevelen dit automatisch te laten uitvoeren, waarbij tevens controle van de sluiting plaatsvindt. Bij gemalen en uitwateringsduikers is dit relatief eenvoudig te realiseren. Bij schutsluizen is het een optie om het hoogwaterkerend keermiddel mee te laten draaien in het schutproces. Het nadeel hiervan kan zijn dat dit keermiddel tijdens het schutproces een keer wordt aangevaren en als gevolg daarvan enige tijd niet beschikbaar is.
- Het gedurende bepaalde perioden hoogwaterkerend sluiten van het object. Dit betreft een afgeslankte versie van het vorige punt. Er kan bijvoorbeeld worden overwogen om alleen 's nachts, wanneer zeker geen beroep wordt gedaan op de primaire functie, het kunstwerk hoogwaterkerend gesloten te zetten. Een voorbeeld is het sluiten van de stormvloeddeuren van een schutsluis nadat de bedieningstijd van de sluis is afgelopen. Een andere vorm is het hoogwaterkerend sluiten van kunstwerken die in het stormseizoen niet worden gebruikt. Een inlaatsluis die gebruikt wordt om verdroging aan de binnenzijde tegen te gaan, kan gedurende de gehele winter wellicht gesloten blijven staan.

Oplossingen gerelateerd aan de kans op open staan, hebben altijd een nauwe band met het dagelijks gebruik van het object. Optimalisaties in dit gebruik hebben daarmee ook direct invloed op de kans van falen van het kunstwerk als gevolg van niet sluiten.

## 8.3 Onder- en achterloopsheid

Voor het oplossen van problemen ten aanzien van onder- en achterloopsheid zijn een aantal mogelijkheden. Deze staan ook vermeld in [9]. Met name bij aanpassingen van bestaande kunstwerken zijn niet alle mogelijkheden eenvoudig te realiseren. Een aantal oplossingsrichtingen worden hier kort besproken.

Er zijn een viertal oplossingsrichtingen:

1. Vergroten van de weerstand van de kwelweg.
2. Voorkomen van het uitspoelen van gronddeeltjes.
3. Vergroten intredeweerstand.
4. Verkleinen van het optredende verval onder omstandigheden van hoogwater.

### 8.3.1 *Vergroten van de weerstand van de kwelwegen*

Het vergroten van de weerstand van de kwelwegen komt neer op het verlengen van de kwelwegen. Het andere weerstand genererende element, de grond rondom het kunstwerk, kan immers niet eenvoudig worden vervangen.

Het verlengen van de kwelweg kan op verschillende manieren. Eén van de meest voor de hand liggende methode is het aanbrengen van kwelschermen. Deze kunnen bijzonder effectief zijn. Echter, bij het aanbrengen van kwelschermen aan een bestaande constructie, is het vaak lastig om de aansluitingen geheel waterdicht te maken. Het is hierbij bijna altijd nodig om een stukje nieuwe constructie aan de bestaande constructie vast te maken.

Daarnaast kan het aanbrengen van nieuwe damwandschermen in de direct omgeving van een bestaand object leiden tot ongewenste trillingen in de grond en de bestaande constructie. Hierop moet men dan ook altijd bedacht zijn en monitoring van verplaatsingen van de bestaande constructie zijn dan ook aan te bevelen.

Het verlengen van de kwelweg kan ook plaatsvinden door het aanbrengen van een kleilaag aan de buitenzijde dan wel de binnenzijde van het kunstwerk. Het dient dan wel om een substantiële laag klei te gaan die ook nog goed wordt verdicht. Dit is met name onder water lastig te realiseren. Bij het aanbrengen van een kleilaag aan de binnenzijde is het ook belangrijk om te controleren of opdrukken van deze kleilaag niet plaats kan vinden.

### 8.3.2 *Voorkomen uitspoelen van gronddeeltjes*

Bij onder- en achterloopsheid begint de pipe daar waar de kwelweg binnendijs uitkomt. Daar vindt immers het eerste transport van gronddeeltjes plaats. Door het voorkomen dat dit transport plaats kan vinden, wordt het ontstaan van een pipe dan ook voorkomen. Een mogelijke oplossing die hierbij past is het aanbrengen van een goede filterconstructie aan de binnenzijde van het kunstwerk. Deze filterconstructie dient waterdoorlatend, maar zanddicht te zijn. Er kan dan wel kwel plaatsvinden, maar geen uitspoeling.

Het realiseren van een goede filterconstructie is goed mogelijk. Dit kan met een doekconstructie, maar ook een goed opgebouwde steenbekleding kan deze taak vervullen. Beide constructies kunnen ook aan de zijkanten van de binnendijkse watergang worden aangebracht zodat niet alleen onderloopsheid, maar ook achterloopsheid wordt voorkomen.

Grootste aandachtspunt van een filterconstructie is het beheren en onderhouden van deze constructie. Een vervuiling van de constructie kan ertoe leiden dat het uiteindelijk niet alleen zanddicht, maar ook waterdicht is. Hierdoor verlengt het wel de kwelweg, maar is er een kans op opdrukken van de filterconstructie.

Bij het eroderen van de filterconstructie is het gevaar aanwezig dat deze niet meer zanddicht is en dus niet meer bijdraagt aan het voorkomen van onder- en achterloopsheid.

### 8.3.3 *Vergroten intredeweerstand*

Bij sommige constructies betreft de faalkansbijdrage kwelweg een route die begint ter plaatse van de aansluiting van de uitstroomconstructie op het buitentalud. In dat geval is het wellicht mogelijk om het buitentalud met klei te bekleden, zodat er ter plaatse van de aansluiting tussen constructie en buitentalud geen of zeer beperkt water kan intreden.

#### 8.3.4 *Reduceren van het maatgevende verval*

Het maatgevende verval over een kunstwerk is de aandrijvende kracht achter het fenomeen onder- en achterloopsheid. Er kan worden getracht dit verval terug te brengen tijdens hoogwaterperioden. Om dit te bewerkstelligen zal de binnenwaterstand moeten worden opgezet. Dit opzetten van de waterstand zal in draaiboeken moeten worden vastgelegd en ook moeten worden geoefend. De praktijk moet uitwijzen dat het een realistische maatregel is.

Vermoed wordt dat deze maatregel zeer vaak niet toepasbaar is en feitelijk ook niet gewenst. Het voorkomen van onder- en achterloopsheid wordt gekoppeld aan de betrouwbaarheid van het opzetten van een waterstand. Daarnaast is het zeer wel denkbaar dat men juist voorafgaand aan een hoogwater de waterstand binnendijks wat naar beneden brengt, zodat er meer ruimte is om gedurende de hoogwaterperiode meer (regen)water te kunnen bergen.

#### **8.4 Sterkte en stabiliteit**

Het oplossen van een veiligheidstekort als gevolg van een te grote faalkans voor *sterkte en stabiliteit* kent vele oplossingen. Het bepalen van de oplossingen zijn gerelateerd aan de wetten der (grond-)mechanica. De theorie hieromtrent staat in diverse vakliteratuur uitgebreid beschreven.

Maatregelen met betrekking tot sterkte (met name keermiddelen) bestaan uit het of versterken dan wel het vervangen van de constructie. Het lokaal versterken van een constructie is in veel gevallen goed mogelijk, maar het kan vanuit kosten meer optimaal zijn om een geheel constructieonderdeel te vervangen. Met name voor houten onderdelen kan dit nog wel eens opgaan, gelet op de relatief beperkte levensduur van sommige houten constructies.

Voor stabiliteit geldt dat oplossingen altijd een forse ingreep betekenen. Een tekort aan stabiliteit heeft zijn oorsprong in een te lichte fundatie. Het versterken van de fundatie kan de nodige consequenties hebben voor de constructie. Het wordt aanbevolen om bij bestaande constructie in eerste instantie de benodigde aanvullende stabiliteit buiten de bestaande constructie te vinden en deze vervolgens hiermee te verbinden.



- [1] Leidraad Kunstwerken. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, ISBN 90-369-5544-0, mei 2003
- [2] Historische Kunstwerken, Hulpmiddel voor toetsers, STOWA, ISBN 90.5773.325.0, rapport 03-2006.
- [3] Voorbeeldenboek Historische Kunstwerken, Hulpmiddel voor toetsers, STOWA, ISBN 90.5773.329.3, rapport W02-2006.
- [4] Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 (VTV2006), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, ISBN 978-90-369-5762-5, september 2007
- [5] Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansnormen, (OI2014), Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, versie 3, d.d. juli 2015
- [6] Force distribution and connection strength in timber lock gates, J.R. van Otterloo, 20 maart 2013
- [7] Schuifsterktebepaling van zeven houtsoorten voor de toepassing in verkeersbruggen, RWS, 6 september 2002
- [8] Mechanical properties of Azobé, J.W.G. van der Kuilen en H.J. Blass, publicatie in Holz als Roh- und werkstoff 63, februari 2005.
- [9] Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, Deltares, kenmerk 1202123-003-GEO-0002, 2012
- [10] Voorschrift Toetsen op Veiligheid, Technisch deel, Deltares, 2016
- [11] Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, versie OI2014v3, Juli 2015

# Samenstelling Schrijversgroep en Werkgroep

## **Samenwerkingsverband**

Hoogwaterbeschermingsprogramma, Richard Jorissen  
Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Leo Becker

## **Schrijversgroep**

Rob Delhez, Greenrivers  
Gert de Jonge, Programmadirectie Hoogwaterbescherming  
Robin Witkamp, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Met bijdragen vanuit de WWK :  
Hans Boeschoten, Wetterskip Fryslân  
Reinout Koning, Programmadirectie Hoogwaterbescherming  
Peter van Vliet, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier  
Sanne van Mispelaar, Waterschap Drentse Overijsselse Delta

## **Geraadpleegde organisaties**

TaskForce Delta Technologie  
Deltares  
TNO  
Kennisplatform Risicobenadering Rijkswaterstaat  
Werkgroep Waterkeren Rijkswaterstaat