

---

## **Leidraad Kunstwerken in regionale waterkeringen - deel Ontwerp**

**Concept, 15 augustus 2011**



Concept

Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V05.doc

---

## Verantwoording

<b>Titel</b>	Leidraad Kunstwerken in regionale waterkeringen - deel Ontwerp
<b>Opdrachtgever</b>	STOWA
<b>Projectleider</b>	ir. B. (Bob) van Bree
<b>Auteur(s)</b>	ir. B. (Bob) van Bree, ir. J. (Hans) Niemeijer
<b>Projectnummer</b>	4609864
<b>Aantal pagina's</b>	33 (exclusief bijlagen)
<b>Datum</b>	15 augustus 2011
<b>Handtekening</b>	



## Colofon

Tauw bv  
afdeling Waterbouw  
Handelskade 11  
Postbus 133  
7400 AC Deventer  
Telefoon (0570) 69 99 11  
Fax (0570) 69 96 66

Dit document is eigendom van de opdrachtgever en mag door hem worden gebruikt voor het doel waarvoor het is vervaardigd met inachtneming van de rechten die voortvloeien uit de wetgeving op het gebied van het intellectuele eigendom. De auteursrechten van dit document blijven berusten bij Tauw. Kwaliteit en verbetering van product en proces hebben bij Tauw

**Concept**

Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---

## Inhoud

<b>Verantwoording en colofon</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>7</b>
1.1 Doel .....	7
1.2 Relatie met andere leidraden .....	7
1.3 Relatie met veiligheidstoetsing .....	8
1.4 Kennisvragen .....	8
1.5 Afbakening type waterkering waarin het waterkerende kunstwerk is opgenomen .....	9
1.6 Ontwerpproces .....	9
1.7 Leeswijzer .....	10
<b>2 Robuust ontwerpen</b> .....	<b>11</b>
2.1 Definitie .....	11
2.2 Planperiode .....	11
2.3 Ontwikkelingen .....	12
2.3.1 Hydraulische belastingen .....	12
2.3.2 Sterkte .....	12
2.3.3 Zettingen .....	12
2.3.4 Kennis en inzichten .....	12
2.4 Eisen voor robuust ontwerpen .....	13
2.4.1 Algemeen .....	13
2.4.2 Robuustheidstoetsing .....	13
2.4.3 Uitbreidbaarheid .....	14
<b>3 Belastingen</b> .....	<b>15</b>
3.1 Niveau van de belastingen .....	15
3.2 Soorten belastingen .....	16
<b>4 Kerende hoogte</b> .....	<b>19</b>
4.1 Faalmechanisme .....	19
4.2 Eis .....	19
4.3 Criterium .....	19
4.4 Toeslag voor onzekerheden .....	21
4.5 Ontwerp .....	21
<b>5 Sterkte en stabiliteit</b> .....	<b>23</b>

5.1	Faalmechanismen .....	23
5.2	Sterkte .....	23
5.3	Stabiliteit .....	24
5.3.1	Overzicht .....	24
5.3.2	Geotechnische stabiliteit .....	24
5.3.3	Fundering (verticaal evenwicht) .....	25
5.3.4	Piping en heave .....	25
<b>6</b>	<b>Betrouwbaarheid sluiting .....</b>	<b>27</b>
6.1	Faalmechanisme .....	27
6.2	Eis .....	27
6.3	Ontwerp .....	29
<b>7</b>	<b>Ontwerp specifieke constructie-onderdelen .....</b>	<b>31</b>
7.1	Bodemverdediging .....	31
7.2	Plaats en aantal afsluitmiddelen bij leidingen .....	32
7.3	Vervangende waterkering .....	32

Concept

Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Doel

Dit deel Ontwerp beschrijft de systematiek voor het ontwerp van de verschillende soorten waterkerende kunstwerken in alle vier de gedefinieerde typen regionale waterkeringen<sup>1</sup>:

- Boezem- en kanaalkaden
- Keringen langs regionale rivieren
- Compartimenteringskeringen
- Voorlandkeringen en zomerkaden

Het gaat hierbij om kunstwerken die zelfstandig de waterkerende functie vervullen, zoals coupures, gemalen, inlaatsuizen, uitwateringssluizen, keersluizen, schutsluizen, uitwaterende en inlatende pijpleidingen en duikers, tunnels. In de definitie van de Leidraad Kunstwerken voor primaire waterkeringen (TAW, 2003) betreft dit constructies van type 1. Bijzondere waterkerende constructies zoals langconstructies (kistdammen, kademuren, damwanden) en doorgaande kruisende en langsliggende leidingen vallen niet onder het bereik van deze Leidraad. Voor het ontwerp van leidingen nabij waterkeringen dient NEN3650/3651 gevolgd te worden. Wel worden in dit deel enkele aanvullende aspecten benoemd, die in NEN3650/3651 ontbreken. Ook compartimenterende kunstwerken in polder- en boezemwatersystemen worden niet behandeld. Kunstwerken in waterkeringen die dienen als compartimenteringskering in een dijkkringgebied worden wel behandeld.

Doel van dit deel Ontwerp van de Leidraad Kunstwerken in regionale waterkeringen is om ontwerpers van waterkerende kunstwerken in de regionale waterkeringen handreikingen te geven voor specifieke ontwerpaspecten die voor waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen anders zijn dan voor waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen. Hiermee wordt een uniforme benadering beoogd van de veiligheid van waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen.

## 1.2 Relatie met andere leidraden

Dit deel Ontwerp heeft een sterke relatie met drie reeds bestaande leidraden:

- Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003]
- Handreiking Ontwerpen en verbeteren Waterkeringen langs regionale rivieren [STOWA 2009-07]
- Handreiking Ontwerpen en verbeteren Boezemkaden [STOWA 2009-06]

<sup>1</sup> Visie op regionale waterkeringen [IPO / UvW, 2004]

De Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003] behandelt het ontwerp van waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen. Dit deel Ontwerp richt zich op die aspecten van het ontwerp van waterkerende kunstwerken die bij regionale waterkeringen anders zijn dan bij primaire waterkeringen. Waar mogelijk wordt volstaan met een verwijzing naar de Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003].

De Handreiking Ontwerpen en verbeteren Waterkeringen langs regionale rivieren [STOWA 2009-07] richt zich op het ontwerp van de grondconstructie van waterkeringen langs regionale rivieren. De Handreiking Ontwerpen en verbeteren Boezemkaden [STOWA 2009-06] richt zich op het ontwerp van de grondconstructie van boezemkaden.

Met name voor de hydraulische randvoorwaarden geldt dat deze voor een waterkerend kunstwerk op dezelfde wijze worden bepaald als voor het grondlichaam. Ook hier geldt dat waar mogelijk wordt volstaan met een verwijzing naar de genoemde Handreikingen.

### **1.3 Relatie met veiligheidstoetsing**

Op basis van de veiligheidstoetsing ontstaat de komende jaren een beeld van de veiligheid van de waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen. Voor een aantal kunstwerken zal blijken dat de veiligheid niet voldoet aan de gestelde veiligheidsnorm. Indien een waterkerend kunstwerk niet voldoet aan de gestelde norm zal veelal het initiatief worden genomen om het waterkerende kunstwerk te verbeteren. Hierop richt voorliggend deel Ontwerp van de Leidraad Kunstwerken in regionale waterkeringen zich.

Daarbij dient bedacht te worden dat het watersysteem in meer of mindere mate beheersbaar is. Als alternatief voor verbetering van de veiligheid door verbetering van het waterkerende kunstwerk kan worden overwogen de hydraulische belasting te verlagen door ingrepen in het watersysteem. Bij waterkerende kunstwerken is dit echter zelden een haalbare oplossing, omdat de verbetering van een waterkerend kunstwerk doorgaans met relatief beperkte middelen (ten opzichte van een kadeverbetering) mogelijk is.

### **1.4 Kennisvragen**

Onderstaand volgt een kort overzicht van geconstateerde leemten in kennis. Aangaande deze kennisvragen wordt gezien of in het kader van de beoogde ontwikkeling van een definitieve versie van deze Leidraad nader onderzoek zal worden verricht.

Voor boezemkaden is in de "IPO richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau voor boezemkaden" [IPO, november 1999] een aanzet gegeven tot een veiligheidsfilosofie. De STOWA Richtlijnen Normering voor keringen langs regionale rivieren [STOWA 2008-04] en Normering Compartimenteringskeringen [STOWA 2007-03] zijn ook hier op gebaseerd. Voor de eisen ten aanzien van kunstwerken is getracht hierbij aan te sluiten.



**Concept**Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---

- Op dit moment wordt gewerkt aan een nationaal beleid inzake buitendijkse gebieden voor primaire waterkeringen. Dit maakt het lastig een eenduidig ontwerp kader op te stellen voor voorlandkeringen en zomerkaden. In deze Leidraad is de keuze gemaakt om niet op de formele vaststelling van het beleid te wachten en voorlandkeringen en zomerkades vooralsnog op dezelfde wijze te beoordelen als regionale rivierkeringen. Wellicht geven toekomstige beleidsregels aanleiding deze keuze te herzien.
- Voorts ontbreekt het aan landelijke richtlijnen voor de eisen die aan de veiligheid van compartimenteringskeringen worden gesteld. Voor compartimenteringskeringen is sprake van conditionele maatgevende omstandigheden. Toepassing van de normen die bij andere regionale waterkeringen van toepassing zijn, is daarom niet altijd mogelijk. In deze Leidraad zijn praktische handreikingen gedaan ten aanzien van de stabiliteit en betrouwbaarheid sluiting van kunstwerken in compartimenteringskeringen. Het verdient echter aanbeveling voor deze waterkeringen een aparte veiligheidsfilosofie op te stellen.

### **1.5 Afbakening type waterkering waarin het waterkerende kunstwerk is opgenomen**

Uitgangspunt bij het opstellen van dit deel Ontwerp is dat het type waterkering voorafgaand aan de toetsing is vastgesteld in het kader van de normering (door de provincies), en dat de provincies de typering vastleggen bij de formele aanwijzing van de regionale waterkeringen. Er wordt onderscheid gemaakt in de volgende typen regionale waterkeringen<sup>2</sup>:

- Boezem- en kanaalkaden
- Waterkeringen langs regionale rivieren
- Compartimenteringskeringen
- Voorlandkeringen en zomerkaden

Bij het ontwerp van een waterkerend kunstwerk maakt het voor sommige aspecten uit wat het type kering is. In de tekst zijn dan per type kering de uitgangspunten gegeven.

### **1.6 Ontwerpproces**

Het ontwerpen van een nieuw waterkerend kunstwerk of het versterken van een bestaand waterkerend kunstwerk kent een aantal stappen, dat soms ook meerdere malen iteratief doorlopen moeten worden. Het kan daarbij nuttig of noodzakelijk zijn het ontwerp in te bedden in een kadeversterkingsprogramma. Ook zal rekening gehouden moeten worden met overige maatschappelijke belangen en waarden. Op deze laatste aspecten wordt ingegaan in hoofdstuk 2 van de Handreiking Ontwerpen en Verbeteren Boezemkaden [STOWA 2009-06] en hoofdstuk 2 van de Handreiking Ontwerpen en Verbeteren Waterkeringen langs regionale Rivieren [STOWA 2009-07].

<sup>2</sup> Visie op regionale waterkeringen (2004)

In paragraaf 4.3 van de Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003] is een specifiek overzicht gegeven van de stappen die doorlopen moeten worden bij het ontwerpen van een kunstwerk. Met in achtneming van de specifieke zaken ten aanzien van te doorlopen procedures, zoals in beide genoemde Handreikingen is aangegeven, is deze paragraaf in zijn geheel ook toepasbaar op kunstwerken in regionale rivieren. In bijlage 1 bij de Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003], paragrafen B1.3 en B1.4 wordt meer in detail ingegaan op het ontwerpproces. Ook deze paragrafen zijn goed bruikbaar bij het ontwerp van kunstwerken in boezemkeringen en in waterkeringen langs regionale rivieren, met in achtneming van de eisen die specifiek voor regionale waterkeringen van toepassing zijn en in dit deel worden uitgewerkt.

In deze Leidraad wordt uitsluitend ingegaan op de waterkerende functie van het kunstwerk. De overige functies moeten vanzelfsprekend ook worden beschouwd, daarvoor wordt verwezen naar het ontwerpproces zoals in de hierboven genoemde Handreikingen en de Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003] is weergegeven.

De eisen ten aanzien van hoogte, sterkte, stabiliteit en betrouwbaarheid van de afsluitmiddelen zijn ontleend aan de algemene eisen, die in hoofdstuk 4 van deel 1 zijn uitgewerkt.

## **1.7 Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de keuze voor de 'robuustheid' van het kunstwerk. Aandacht is er daarbij voor de planperiode, hydraulische belastingen binnen de planperiode, onzekerheden in belastingen en ontwerpmethoden en uitbreidbaarheid van het ontwerp.

In hoofdstuk 3 worden de belastingen behandeld die bij het ontwerpen van kunstwerken in regionale waterkeringen een rol kunnen spelen. De belangrijkste daarbij zijn uiteraard de hydraulische belastingen (waterstanden en golven). Ook de overige belastingen komen kort aan bod.

Hoofdstuk 4 tot en met 6 geeft een beschrijving en behandelt vervolgens de concrete ontwerpaspecten die een rol spelen bij de faalmechanismen Kerende hoogte (hoofdstuk 4), Sterkte en stabiliteit (hoofdstuk 5) en Betrouwbaarheid sluiting (hoofdstuk 6).

In hoofdstuk 7 wordt het ontwerp van twee specifieke constructieonderdelen behandeld: de bodemverdediging en de vervangende waterkering bij leidingen.

De literatuurlijst en een overzicht van gebruikte begrippen zijn aan helemaal het einde van deze Leidraad opgenomen.

Concept

Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---

## 2 Robuust ontwerpen

### 2.1 Definitie

Een onderdeel van de ontwerputgangspunten betreft de keuze voor de 'robustheid' van de waterkering. Het principe 'Robuust Ontwerpen' is geïntroduceerd in de Leidraad Rivieren (pagina 62-68, Leidraad Rivieren deel 1) [ENW, 2007]:

*'Goed (robust) ontwerpen betekent: in het ontwerp rekening houden met toekomstige ontwikkelingen en onzekerheden, zodat het uitgevoerde ontwerp tijdens de planperiode blijft functioneren zonder dat ingrijpende en kostbare aanpassingen noodzakelijk zijn, en dat het ontwerp uitbreidbaar is indien dat economisch verantwoord is.'*

In de Handreiking Ontwerpen en Verbeteren Waterkeringen langs regionale rivieren [STOWA 2009-07] is dit voor regionale waterkeringen nader toegelicht in paragraaf 5.2.7. Voor kunstwerken geldt een aantal aanvullende overwegingen, die in de volgende paragrafen zijn toegelicht.

### 2.2 Planperiode

Kunstwerken zijn meestal niet uitbreidbaar, tenzij daar bij het ontwerp en de bouw al rekening mee is gehouden. Bij een grondkade is een verbetering of versterking meestal nog mogelijk, terwijl bij een waterkerend kunstwerk dan sprake kan zijn van vervanging. Om deze reden wordt de planperiode voor een waterkerend kunstwerk veelal langer gekozen dan bij een grondkering. De keuze voor de planperiode is ondermeer afhankelijk van:

- De periode waarbinnen geen grote aanpassingen aan het watersysteem zijn voorzien
- Een financiële overweging van de investeringen op korte en langere termijn en daarmee samenhangend:
- De aard en omvang van het kunstwerk

Daarnaast kunnen nog secundaire aspecten spelen, zoals de overlast waarmee versterking of vervanging van het waterkerende kunstwerk gepaard gaat. Bij kunstwerken zullen dit soort aspecten echter meestal minder van invloed zijn dan bij grondkeringen.

Een suggestie voor de aan te houden planperioden:

- Kleine kunstwerken en kunstwerken die relatief eenvoudig aan te passen zijn, zoals duikers: 20 - 50 jaar
- Grote kunstwerken: 50- 100 jaar

Het kan nuttig zijn om voor de onderbouw en de fundering een langere planperiode aan te houden dan voor de bovenbouw, zodat uitbreiding of verhoging van het waterkerende kunstwerk in een later stadium mogelijk is. In paragraaf 2.4.3 wordt hier nader aandacht aan besteed.

## **2.3 Ontwikkelingen**

### **2.3.1 Hydraulische belastingen**

Na de keuze van de planperiode moet de toename van de hydraulische belastingen binnen de planperiode worden ingeschat. Hierbij spelen klimaatontwikkelingen een rol, maar met name bij de regionale waterkeringen ook de mogelijke aanpassingen in het watersysteem. Aanpassingen aan het watersysteem kunnen worden gedaan om klimaatontwikkelingen te compenseren om de belastingen op de grondkaden en kunstwerken te beperken. Zie bijvoorbeeld hoofdstuk 4 van de Handreiking Ontwerpen en Verbeteren Boezemkaden [STOWA 2009-06] en paragraaf 2.3 van de Handreiking Ontwerpen en Verbeteren Waterkeringen langs regionale rivieren [STOWA 2009-07].

Aanpassingen kunnen ook plaatsvinden naar aanleiding van veranderingen in het grondgebruik, bijvoorbeeld bij de bouw van woonwijken of bedrijventerreinen. Het beleid van de diverse overheidsinstanties met betrekking tot waterbeheer speelt daarbij een belangrijke rol.

### **2.3.2 Sterkte**

De sterkte van een waterkerend kunstwerk kan in de loop der tijd afnemen. Dit is afhankelijk van het materiaal, het soort belasting en de omgeving waarin de constructie zich bevindt. In het algemeen is er een redelijke kennis over de levensduur van constructieve elementen en kan de levensduur worden afgestemd op de gekozen planperiode.

### **2.3.3 Zettingen**

Zettingen van de ondergrond kunnen leiden tot een verhoging van de belastingen op het kunstwerk. Dit betreft zettingen door grondophogingen ten gevolge van kadeverbeteringen en bodemdalingen, die optreden ongeacht de grondophogingen.

### **2.3.4 Kennis en inzichten**

De kennis van waterkeringen neemt voortdurend toe. Dit leidt tot nieuwe inzichten, rekenmethoden en ideeën omtrent de normering. Vanzelfsprekend zullen deze zaken invloed hebben op de beoordeling van een waterkerend kunstwerk. Deze ontwikkelingen zijn op langere termijn niet of nauwelijks te voorspellen.

Concept

Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---

## **2.4 Eisen voor robuust ontwerpen**

### **2.4.1 Algemeen**

De veranderingen in de belastingen en sterkte die in de vorige paragraaf zijn besproken zijn met een zekere mate van nauwkeurigheid te voorspellen. Er blijven echter aanzienlijke onzekerheden, zoals ook al aangestipt in de vorige paragraaf. Om hier zo goed mogelijk op in te spelen wordt een robuust ontwerp opgesteld.

Bij het principe van robuust ontwerpen wordt onderscheid gemaakt in twee aspecten:

- Rekening houden met ontwikkelingen en onzekerheden binnen de planperiode
- Uitbreidbaarheid van het waterkerende kunstwerk

### **2.4.2 Robuustheidstoeslag**

Onafhankelijk van de te voorziene stijgingen van de hydraulische belastingen in de planperiode, is een 'robuustheidstoeslag' in de Leidraad Rivieren [ENW, 2007] geïntroduceerd. Dit is een onzekerheidstoeslag op de ontwerpwaterstand, waarmee onzekerheden in zowel de hydraulische randvoorwaarden als in andere zaken worden opgevangen. De keuze voor een robuustheidstoeslag ligt in principe bij de beheerder van het kunstwerk. Een maat voor de robuustheidstoeslag kan gevonden worden in de onzekerheidsmarge in de ontwerpwaterstanden. De robuustheidstoeslag bij kunstwerken in regionale waterkeringen is afhankelijk van een aantal zaken, zoals:

- Een eventuele marge voor onzekerheden in de betrouwbaarheid waarmee de ontwerpwaterstand is bepaald (zijn wellicht al in de ontwerpwaterstand verwerkt)
- De fysieke mogelijkheden en waarschijnlijkheden voor een toekomstige stijging van de waterstand, waaronder ook een eventueel fysiek maximum voor de waterstand
- Beleidsmatige onzekerheden, zoals aanpassingen in het waterbeheer
- De planperiode
- De normfrequentie

De normfrequentie wordt hierbij genoemd omdat bij een lagere kadeklasse (de ontwerpwaterstand komt relatief vaak voor) er minder onzekerheid is over de ontwerpwaterstand en omdat bij die systemen de gevolgen (wellicht) geringer zijn. Tevens zal men bij een hogere kadeklasse meer zekerheid willen hebben. Daar staat tegenover dat de decimeringshoogte bij minder frequent optredende waterstanden veelal afneemt en daarmee neemt ook de onzekerheid in de ontwerpwaterstand af.

In de volgende tabel is een voorstel voor de toe te passen robuustheidstoeslag gegeven. In alle gevallen kan dit door de beheerder op basis van zijn kennis van de lokale situatie worden aangepast.

Tabel 2.1 Voorstel toe te passen robuustheidstoeslag

	planperiode	1/10 -1/30	1/ 100	1/300 – 1/1000
	[jaar]	per jaar	per jaar	per jaar
Boezem- en kanaalkaden	tot 30 jaar	0 cm	10 cm	10 cm
	50 – 100 jaar	10 cm	15 cm	20 cm
Waterkeringen langs regionale rivieren/voorlandkeringen/ compartimenteringskeringen	tot 30 jaar	0 cm	10 cm	20 cm
	50 – 100 jaar	15 cm	20 cm	30 cm

Opmerking: met boezem- en kanaalkaden worden hier kaden bedoeld in een watersysteem waar de maatgevende waterstand maar weinig hoger is dan de dagelijkse waterstand. Als dat verschil relatief groot is, dan kunnen beter de aanbevelingen voor regionale rivieren worden gevolgd.

Opgemerkt wordt dat in deze Leidraad de waterkerende veiligheid wordt beschouwd. Dit betekent dat de in bovenstaande tabel 2.1 genoemde robuustheidstoeslag dient voor het afdekken van onzekerheden in de waterstand. Voor overige functies is het aan de ontwerper of deze onzekerheden meeneemt en zo zorg draagt voor uitbreidbaarheid van het kunstwerk. Dit valt buiten de scope van deze Leidraad.

### 2.4.3 Uitbreidbaarheid

Zoals hierboven al is genoemd, is een waterkerend kunstwerk maar zelden uitbreidbaar. Mede daarom wordt bij kunstwerken een langere planperiode gekozen. Het zal echter meestal niet mogelijk of praktisch zijn om het waterkerende kunstwerk al direct te bouwen op basis van dat zwaardere ontwerp. Met name de aansluitingen op het grondlichaam kunnen dan problemen opleveren. Er wordt daarom vaak voor gekozen om alleen de ondergrondse delen direct uit te voeren op basis van het ontwerp van de langere planperiode. Dit betreft dan bijvoorbeeld de fundering, kwelschermen, ondergrondse betonnen constructie-onderdelen en dergelijk. De hoogte en mogelijk de breedte van het waterkerende kunstwerk wordt dan op een kortere planperiode afgestemd, zodat de aansluitende grondlichamen niet verhoogd en verbreed aangelegd hoeven te worden. Het waterkerende kunstwerk moet daarbij wel zodanig zijn ontworpen, dat verhoging in een later stadium redelijk eenvoudig is te realiseren.

Concept

Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---

## 3 Belastingen

### 3.1 Niveau van de belastingen

De grootte van de belastingen wordt bepaald door:

- Het veiligheidsniveau (normering)
- Dijkvak- of dijkkringbenadering
- Planperiode
- Mate van robuustheid.

#### *Veiligheidsniveau*

De provincies zijn verantwoordelijk voor het aanwijzen van regionale waterkeringen en voor het vaststellen van de norm. De normfrequentie varieert van 1/10 tot 1/1000 per jaar.

De Richtlijn Normering keringen langs Regionale rivieren [STOWA 2008-04] en de IPO Richtlijn ter bepaling van het Veiligheidsniveau van Boezemkaden [IPO, 1999] zijn hier geheel aan gewijd.

Opgemerkt wordt dat dit afkeurgrenzen betreft en dus minimale eisen zijn. Bij een ontwerp kan een hogere eis worden gehanteerd, bijvoorbeeld gebaseerd op een economische optimalisatie.

#### *Dijkvak- of dijkkringbenadering*

Bij het vaststellen van het belastingniveau kan in principe gekozen worden voor een dijkvak- of een dijkkringbenadering. In het algemeen wordt met een dijkvakbenadering ontworpen. In paragraaf 5.2.2 van de Handreiking voor het Ontwerpen van waterkeringen langs Regionale Rivieren [STOWA 2009-07] wordt hier verder op ingegaan. In paragraaf 4.5 van deel 1 van deze Leidraad worden specifiek voor constructies enkele aanwijzingen gegeven voor het ontwerpen op basis van een dijkkringbenadering. In dit deel wordt uitsluitend een ontwerp op basis van de dijkvakbenadering toegelicht.

#### *Planperiode*

Een verwachte toename van de hydraulische belastingen in de planperiode moet bij het vaststellen van de ontwerpbelastingen worden betrokken. De hydraulische belastingen kunnen toenemen door:

- Klimaatveranderingen
- Veranderingen in het stroomgebied, waardoor water sneller of minder snel tot afvoer komt; denk aan nieuwbouw of juist de aanleg van waterbergingen
- Beleidsbeslissingen

Ook nieuwe ontwikkelingen op het gebied van rekentechnieken of nieuwe gegevens ten aanzien van de statistiek van waterstanden of golfhoogten in het gebied kunnen tot een bijstelling van de hydraulische belastingen leiden.

Voor kunstwerken wordt normaal gesproken een langere planperiode gehanteerd dan voor grondconstructies, omdat kunstwerken niet of minder goed uitbreidbaar of herbruikbaar zijn. Een planperiode van 100 tot 200 jaar is bijvoorbeeld voor primaire waterkeringen gebruikelijk. Met name voor de dimensionering van die delen van een waterkerend kunstwerk die niet uitbreidbaar zijn wordt een relatief lange planperiode aanbevolen. Dit betreft bijvoorbeeld de fundering, wapening, kwelschermen en dergelijke. De hoogte van een waterkerend kunstwerk is veelal nog wel aan te passen door de muren en kwelschermen op te hogen.

In hoofdstuk 2 zijn aanbevelingen gedaan voor de te hanteren planperiode.

#### *Mate van robuustheid*

Om een onvoorziene toename van de hydraulische belastingen op te vangen kan een robuustheidstoeslag worden toegepast. Dit is een verhoging van de waterstand (of eventueel de golfhoogte als de golfaanval dominant is) met een nader te bepalen waarde. Voor kunstwerken kan de keuze gemaakt worden om uitsluitend bij de dimensionering van de niet-uitbreidbare delen met een robuustheidstoeslag rekening te houden.

In hoofdstuk 2 zijn aanbevelingen gedaan voor de te hanteren robuustheidstoeslag.

### **3.2 Soorten belastingen**

De volgende belastingen kunnen een rol spelen:

- Hydraulische belastingen
- Eigen gewicht
- Grond
- Neerslag
- Verkeer en andere bovenbelastingen
- Aanvaringen of aanrijdingen
- IJs
- Belasting ten gevolge van zettingen
- Belastingen ten gevolge van temperatuur(wisselingen)
- Overige belastingen.

Hierbij kan ook nog onderscheid gemaakt worden naar belastingen tijdens de uitvoering of onderhoud en belastingen tijdens het normale gebruik.



**Concept**Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---

*Hydraulische belastingen*

Van belang zijn onder andere:

- (Verschil)waterdrukken en vervalbelastingen
- Waterstandsverloop
- Grondwaterdrukken
- Waterstandsoscillaties
- Golfdrukken

De hydraulische belastingen worden bepaald voor het eind van de gekozen planperiode. Hiertoe moet een keuze gedaan worden omtrent de in rekening te brengen toename tengevolge van klimaatveranderingen. Voor primaire waterkeringen is het momenteel gebruikelijk uit te gaan van het 'middenscenario' dat is opgesteld door het KNMI. Voor boezemkaden en regionale rivieren spelen de beheermaatregelen voor de waterstanden hierbij ook nog een rol. Evenals bij primaire waterkeringen langs de rivieren, zullen ook bij regionale waterkeringen beleidsbeslissingen hierbij een rol spelen.

In de Handreiking Ontwerpen en Verbeteren Waterkeringen langs Regionale Rivieren [STOWA 2009-07] en in de Handreiking Ontwerpen en Verbeteren Boezemkaden [STOWA 2009-06] worden enkele algemene richtlijnen gegeven. Het verdient aanbeveling om per kadering of per gebied min of meer uniforme keuzes te maken.

*Eigen gewicht en grondbelastingen*

Deze belastingen spreken voor zich. Indien voor een uitbreidbaar ontwerp wordt gekozen, dan moet ook rekening gehouden worden met toekomstige ophoging van de aansluitende kaden.

*Neerslag*

Neerslag zal zelden tot een relevante belasting van een waterkerend kunstwerk aanleiding geven. Wel kan de grondwaterstand rond het waterkerende kunstwerk hierdoor stijgen, wat een extra belasting geeft.

*Verkeer*

Naast de reguliere verkeersbelastingen dient ook rekening gehouden te worden met incidentele belastingen door zwaar verkeer, kranen, eventueel opslag en dergelijke. De bereikbaarheid van het waterkerende kunstwerk met zwaar materieel kan een belangrijk argument zijn voor de keuze van de locatie van het kunstwerk. Naast de grootte van de belasting speelt ook de intensiteit een rol, in verband met vermoeiing.

#### *Aanvaringen of aanrijdingen*

Sommige kunstwerken kunnen kwetsbaar zijn voor aanvaringen of aanrijdingen. In het geval van afsluitmiddelen kan hier rekening mee gehouden worden door extra voorzieningen of afsluitmiddelen aan te brengen. In de beoordeling van de betrouwbaarheid van de afsluitmiddelen komt dit aan bod. In het algemeen zal een belasting ten gevolge van aanvaringen of aanrijdingen echter bij voorkeur vermeden moeten worden, door het aanbrengen van remmingwerken of verkeersbelemmerende maatregelen.

#### *IJs*

Voor belastingen ten gevolge van ijs wordt verwezen naar het Technische Rapport Ontwerpbelastingen paragraaf 4.7 [ENW, 2007]. Het is echter waarschijnlijk dat ijsbelastingen bij regionale waterkeringen een veel grotere rol spelen dan bij primaire waterkeringen. De lokale kennis van de beheerder over ijsvorming is hierbij de belangrijkste bron van kennis.

#### *Zettingen*

Zettingen of restzettingen en dan met name ongelijkmatige zettingen kunnen voor additionele belastingen op een waterkerend kunstwerk zorgen. Dit is afhankelijk van het soort kunstwerk en de fundering die wordt toegepast. Evenals bij de gronddrukken is het van belang ook eventuele toekomstige ophogingen van aangrenzende grondlichamen hierbij te betrekken.

#### *Temperatuur*

Temperatuurschommelingen kunnen voor belastingen in constructie-onderdelen zorgen.

#### *Overige belastingen*

Naast de hierboven beschreven belastingen kunnen nog andere belastingen voorkomen, die echter meestal niet maatgevend zijn. Verwezen wordt naar de Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003], paragraaf B4.4 voor een overzicht.

#### *Uitvoering en onderhoud*

Tijdens de bouw van het waterkerende kunstwerk of tijdens inspectie- en onderhoudswerkzaamheden kunnen hogere belastingen optreden dan tijdens het normale functioneren van het kunstwerk. Deze belastingen kunnen dus maatgevend zijn bij het ontwerp. Een goede analyse van de fasering van de bouw en de mogelijke situaties die kunnen optreden tijdens inspecties of onderhoud is daarom nodig. Voorbeelden van dergelijke belastingsituaties zijn:

- Een zeer lage binnenwaterstand bij bouw in een gedeeltelijke bouwkuip of bij inspecties
- Grote verkeersbelastingen of andere tijdelijke belastingen
- Transport van prefab onderdelen

Concept

Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---

## 4 Kerende hoogte

### 4.1 Faalmechanisme

Bij een te lage hoogte van het waterkerend kunstwerk kan overlopen of golfoverslag optreden.

Het waterkerende kunstwerk kan hierdoor falen via de volgende mechanismen:

- Erosie van aansluitende grondlichamen, gevolgd door ondermijning van het kunstwerk
- Erosie van de bodem achter het kunstwerk, gevolgd door ondermijning van het kunstwerk
- Vollopen van de watergangen achter het waterkerende kunstwerk met wateroverlast tot gevolg
- Wateroverlast achter en nabij het kunstwerk

Het aspect kerende hoogte speelt geen rol bij duikers en persleidingen en dergelijke (onderdelen van) waterkerende kunstwerken, waarbij de hoogte wordt verzorgd door het omringende grondlichaam.

### 4.2 Eis

De eis is in deel 1: Algemeen uitgewerkt en luidt:

*De kans dat het maximaal toelaatbare golfoverslagdebiet of het maximaal toelaatbare instromende volume water wordt overschreden, moet kleiner zijn dan de normfrequentie.*

### 4.3 Criterium

Het criterium voor het bepalen van de kerende hoogte is het maximaal toelaatbare instromende volume water, of een maximaal toelaatbaar golfoverslagdebiet. Dit criterium komt tot stand op basis van overwegingen ten aanzien van:

- Het bergend vermogen van het binnendijkse oppervlaktewater
- Wateroverlast
- Erosie en afschuiven

#### *Bergend vermogen*

Indien binnendijks van het waterkerende kunstwerk open water aanwezig is, zoals bij sluizen, gemalen en in- en uitlaatwerken meestal het geval zal zijn, dan kan overslaand of overstromend water geborgen worden. De hoeveelheid water die geborgen kan worden is afhankelijk van:

- Het oppervlakte van het binnendijkse water
- De toename van de waterstand die toelaatbaar is
- Het eventuele waterbezwaar van andere kunstwerken die op hetzelfde binnenwater lozen

Voor een correcte berekening van het totale volume overslaand en overlopend water is naast de ontwerpwaterstand en de golfcondities, ook het verloop van het hoogwater in de tijd nodig.

Bij het bepalen van het bergend vermogen moet rekening gehouden worden met de omstandigheden die optreden tijdens maatgevende condities. Veelal zal een maatgevende waterstand optreden door veel regenval en zal ook het binnendijkse watersysteem al gevuld zijn. Het bergend vermogen is dan beperkt. Dit geldt voor boezemkaden in sterke mate en voor waterkeringen langs regionale rivieren in iets mindere mate.

Vaak is het mogelijk om ook de capaciteit van de gemalen te betrekken bij het vaststellen van het criterium. Indien de gemalen al het overlopende of overslaande water of een deel daarvan kunnen verwerken, dan kan een veel groter instromend debiet worden toegelaten.

#### *Wateroverlast*

De toelaatbare stijging van de waterstand in het binnendijkse water wordt vaak bepaald door het optreden van wateroverlast, indien het binnendijkse water gaat overstromen. Ook bij kunstwerken die niet aan binnendijks water grenzen, zoals bijvoorbeeld coupures, kan wateroverlast het maatgevende criterium zijn. Onder wateroverlast worden in deze context zaken bedoeld als:

- Hinder voor verkeer of verminderde toegankelijkheid
- (Geringe) schade aan opstallen, eigendommen, wegen, land, gewassen

#### *Erosie en afschuiven*

Door stromend water of golfaanval kan erosie van taluds of van de bodem optreden, waardoor de standzekerheid van het waterkerende kunstwerk of de aansluitende grondlichamen in gevaar kan komen. Stromend water treedt op bij kunstwerken die water in- of uitlaten, bij schutsluizen en in de waterlopen (binnen- of buitendijks) langs het kunstwerk. Dit laatste is vooral bij regionale rivieren het geval. De afwijkende geometrie van de oever van de waterloop bij het waterkerende kunstwerk kan aanleiding geven tot wervelingen of lokaal grotere stroomsnelheden.

Ook overlopen en golfoverslag leidt tot stromend water dat erosie kan veroorzaken. Overlopen is met name een aandachtspunt bij voorlandkeringen: deze waterkeringen liggen aan buitenwater en de primaire kering ligt achter de voorlandkering. Overlopen zal daarom optreden bij waterstanden die hoger zijn dan de normwaterstand voor de voorlandkering.

Gecontroleerd dient te worden of erosie tot ondermijning van het waterkerende kunstwerk of het aansluitende grondlichaam kan leiden. Indien dat het geval is, moet het toelaatbare debiet daarop worden afgestemd. Omgekeerd kan er ook voor worden gekozen om golfoverslag toe te staan. In dat geval moet de erosiebestendigheid van het terrein of de bodem daarop worden gedimensioneerd.

**Concept**Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---

Bij een voorlandkering kan een waterstand hoger dan het ontwerppeil over de gehele lengte van de kering optreden. Het is daarom te overwegen om een voorlandkering overstroombaar te maken, om schade op grote schaal te voorkomen bij een waterstand hoger dan de voorlandkering.

#### **4.4 Toeslag voor onzekerheden**

Bij kunstwerken in primaire waterkeringen wordt een minimum waakhogte van 0,3 m aangehouden indien het criterium golfoverslag is. Indien het criterium is gebaseerd op overlopen, dan wordt de berekende kruinhoogte vermeerderd met 0,3 m om onzekerheden in de ontwerpwaterstand of in de berekeningen van het instromende volume te compenseren. Bij regionale waterkeringen wordt dit niet voorgeschreven. Wel dienen deze onzekerheden in beschouwing genomen te worden en dient van geval tot geval bepaald te worden of een toeslag voor onzekerheden gewenst is. Hierbij speelt natuurlijk ook een rol of bij het bepalen van de ontwerpwaterstand al rekening is gehouden met een marge voor onzekerheden en welke robuustheidstoeslag in rekening is gebracht.

Opgemerkt wordt dat indien een waterkerend kunstwerk op overlopen wordt gedimensioneerd, maar ook indien het waterkerende kunstwerk lager is dan de kaden in het systeem, dat het waterkerende kunstwerk dan als overlaat zal gaan functioneren. Als het waterkerende kunstwerk voldoende groot is, zal dit de kaden ontlasten en het uiterste geval voorkomen dat deze bezwijken.

#### **4.5 Ontwerp**

Voor het bepalen van het criterium (namelijk de toelaatbare hoeveelheid golfoverslag of overlopend water) en vervolgens van de vereiste kerende hoogte wordt verwezen naar de Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003], paragraaf B1.4.3 en hoofdstuk B2.

Indien de kerende hoogte wordt verzorgd door een grondlichaam, dan wordt de kerende hoogte bepaald als bij een grondconstructie volgens de Handreiking Ontwerpen en Verbeteren Waterkeringen langs Regionale Rivieren [STOWA 2009-07] en de Handreiking Ontwerpen en Verbeteren Boezemkaden [STOWA 2009-06]. Dit is het geval bij bijvoorbeeld in- en uitlaatduikers en perskokers.

**Concept**

Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---

Concept

Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

## 5 Sterkte en stabiliteit

### 5.1 Faalmechanismen

Er is een duidelijk onderscheid te maken tussen constructief bezwijken van (delen van) het waterkerend kunstwerk en bezwijken van de grond rondom het kunstwerk.

Een gebrek aan sterkte van een onderdeel van het waterkerende kunstwerk kan betekenen dat het waterkerende kunstwerk zijn waterkerende functie niet meer kan vervullen.

Door bezwijken van de grond rondom het waterkerende kunstwerk kan het waterkerende kunstwerk als geheel, of delen daarvan verplaatsen, waardoor het waterkerende kunstwerk zijn waterkerende functie niet meer vervult. Dit wordt samengevat onder de term stabiliteit en betreft verschillende mechanismen.

In de volgende paragrafen worden de te stellen eisen aan sterkte en stabiliteit nader uitgewerkt.

### 5.2 Sterkte

Constructief bezwijken van onderdelen van een waterkerend kunstwerk kan falen van het waterkerende kunstwerk ten aanzien van de waterkerende functie betekenen. De eis ten aanzien van constructief bezwijken, voor zover het de waterkerende functie betreft, is in hoofdstuk 4 van deel 1: Algemeen nader uitgewerkt. De volgende tabel geeft de daaruit volgende betrouwbaarheidsindices, afhankelijk van de veiligheidsklasse van de kade. Hierbij is aangesloten bij de Eurocode: deze mag al worden toegepast, voordat toepassing binnenkort verplicht wordt. Tevens is vermeld met welke klasse uit de Eurocode dit overeenkomt.

**Tabel 5.1 Betrouwbaarheidsindices per kadeklasse afgeleid van Eurocode NEN-EN-1990**

Kadeklasse	Normfrequentie [1/ per jaar]	Betrouwbaarheidsindex $\beta$	overeenkomende eis
I	10	3,3	Betrouwbaarheidsklasse RC1
II	30	3,3	Betrouwbaarheidsklasse RC1
III	100	3,3	Betrouwbaarheidsklasse RC1
IV	300	3,8	Betrouwbaarheidsklasse RC2
V	1000	3,8	Betrouwbaarheidsklasse RC2
primaire waterkering	1250	3,8	Betrouwbaarheidsklasse RC2

Het ontwerp van het waterkerende kunstwerk verloopt geheel volgens de Leidraad Kunstwerken, bijlage B4 [TAW, 2003], met inachtnaam van de eisen voor de betrouwbaarheidsindex volgens bovenstaande tabel. De eisen in deze tabel zijn minimumeisen vanuit de waterkerende functie. Vanuit andere functies of vanuit economische motieven kan gekozen worden voor een zwaardere eis.

Opgemerkt wordt dat deze eisen voor de betrouwbaarheidsindex alleen de waterkerende functie betreffen. Ten aanzien van andere functies kunnen andere eisen gelden, zie ook bijlage B4 van de Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003]

### **5.3 Stabiliteit**

#### **5.3.1 Overzicht**

Verlies van stabiliteit van het waterkerende kunstwerk kan optreden middels een aantal mechanismen:

- Geotechnische instabiliteit:
  - Afschuiven of kantelen van het gehele waterkerende kunstwerk
  - Opdrijven van het waterkerende kunstwerk
  - Onvoldoende stabiliteit van grondkerende constructieve onderdelen van het waterkerende kunstwerk zoals damwanden en keermuren
  - Geotechnische instabiliteit van het omringende grondlichaam
- Onvoldoende draagvermogen van de fundering
- Piping en heave (onder- en achterloopsheid)

In de volgende paragrafen worden deze mechanismen achtereenvolgens behandeld.

#### **5.3.2 Geotechnische stabiliteit**

##### **Faalmechanismen**

Verlies van stabiliteit kan optreden middels een aantal mechanismen, dat hier worden besproken.

##### *Horizontaal evenwicht en kantelevenwicht*

Het verschil in waterstand en een mogelijk verschil in bodem- of maaiveldniveaus aan weerszijden van het waterkerende kunstwerk resulteert in een horizontale kracht op het kunstwerk. Dit kan aanleiding zijn tot horizontaal verplaatsen of kantelen van de constructie.

##### *Opdrijven*

Indien de opwaartse kracht van het grondwater groter is dan het gewicht van het waterkerende kunstwerk treedt opdrijven op. Het waterkerende kunstwerk kan in zijn geheel opdrijven.



**Concept**Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---

**Grondlichaam - overall stabiliteit**

De grond onder en/of achter het waterkerende kunstwerk kan bezwijken middels een glijvlak (cirkelvormig of anderszins). Het waterkerende kunstwerk kan met de grond mee afschuiven, of ernstig ondermijnd raken.

**Eis**

Aanbevolen wordt om ten aanzien van bepaling van de schadefactoren en de wrijvingseigenschappen van de grondlagen aan te sluiten bij:

- Paragraaf 6.3.2 van de Handreiking voor het Ontwerpen en Verbeteren van waterkeringen langs regionale rivieren [STOWA 2009-07]
- Paragraaf 3.4 van de Handreiking voor het Ontwerpen en Verbeteren van Boezemkaden [STOWA 2009-06]

**Ontwerp**

Het ontwerp verloopt volgens de Leidraad Kunstwerken, met name bijlage B4 [TAW, 2003].

**5.3.3 Fundering (verticaal evenwicht)****Faalmechanisme**

Het verticale evenwicht van het waterkerende kunstwerk wordt door middel van een fundering gewaarborgd. Afhankelijk van de aard van de constructie en de ondergrond kan dit een fundering op staal, op palen of op damwanden zijn of een combinatie daarvan. Voor het ontwerp van de fundering wordt de indeling in veiligheidsklassen volgens paragraaf 5.2 gevolgd, in afwijking van de overige geotechnische faalmechanismen.

**Eis**

Ten aanzien van het draagvermogen van de fundering wordt aangesloten bij de faalkanseisen die voor de sterkte zijn geformuleerd (paragraaf 5.2).

**Ontwerp**

Het ontwerp verloopt volgens de Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003].

**5.3.4 Piping en heave****Faalmechanisme**

Door het waterstandsverschil aan de binnen- en buitendijkse zijde treedt een grondwaterstroming rondom het waterkerende kunstwerk op. Afhankelijk van de grondopbouw kan dit het uittreden van water aan de lage zijde tot gevolg hebben. Indien dit water met een relatief grote snelheid uittreedt, kan grond worden meegespoeld waardoor onder of naast het waterkerende kunstwerk holle ruimten ontstaan. Deze erosie kan leiden tot instabiliteit van het waterkerende kunstwerk en

**Concept**

Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---

in het uiterste geval resulteren in een bres. Het waterstandsverschil kan ook tot verlies van grondspanning aan de lage zijde leiden, wat instabiliteit van het waterkerende kunstwerk tot gevolg kan hebben.

**Eis**

Ten aanzien van piping en heave worden voor kunstwerken in regionale waterkeringen dezelfde eisen gehanteerd als voor primaire waterkeringen. Dit zijn de eisen volgens het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [TAW, 1999].

**Ontwerp**

Het ontwerp verloopt volgens het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [TAW, 1999].

Concept

Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

## 6 Betrouwbaarheid sluiting

### 6.1 Faalmechanisme

De afsluitmiddelen in het waterkerende kunstwerk moeten vanzelfsprekend tijdig gesloten worden. De sluiting kan falen door een aantal oorzaken:

- Falende signalering van een naderend hoogwater
- Mobilisatie van personeel mislukt
- Het sluiten van de afsluitmiddelen zelf mislukt door:
  - Fouten in de bedieningsprocedure
  - Onvoldoende betrouwbaarheid van de afsluitmiddelen

### 6.2 Eis

De algemene eis is gelijk aan die bij primaire kunstwerken, namelijk dat

*De faalkans tengevolge van het niet sluiten van afsluitmiddelen ten hoogste 1/10 van de normfrequentie mag bedragen.*

Voor regionale waterkeringen worden ten aanzien van deze eis een paar uitzonderingen gedefinieerd, omdat de eis in sommige gevallen te streng is en in andere gevallen een onlogisch resultaat geeft. In de volgende tabel 6.1 is een overzicht van de uitzonderingen gegeven, die na de tabel worden toegelicht.

**Tabel 6.1 Uitzonderingen op faalkanseis betrouwbaarheid sluiting**

Type kering	Nadere uitwerking van de algemene eis
Boezem- en kanaalkaden en kunstwerken waarvan de afsluitmiddelen altijd gesloten zijn	De eis vervalt voor afsluitmiddelen die altijd zijn gesloten of voor afsluitmiddelen waarbij de consequenties van het niet gesloten zijn, gering zijn
Compartimenteringskeringen	Eén afsluitmiddel, sluitingsprocedure aansluiten bij hoogwaterdraaiboek van de primaire waterkeringen
Kleine kunstwerken	Op basis van een analyse van de gevolgen kan de eis nader worden ingevuld. De beheerder maakt in dit geval zelf een afweging van de gevolgen bij niet sluiten van de afsluitmiddelen en de inspanning die nodig is om de kans op falen te beperken. Dit betreft zeer kleine kunstwerken, zoals kleine in- of uitlaatduikers, waarbij de gevolgen verwaarloosbaar zijn als het afsluitmiddel onbedoeld open blijft staan.

### *Boezem- en kanaalkaden*

Deze kaden keren doorlopend een relatief hoge waterstand en de maatgevende waterstand wijkt maar weinig af van de dagelijkse waterstand. Afsluitmiddelen in kunstwerken in dergelijke kaden zijn altijd gesloten, tenzij deze voor het in- of uitlaten van water worden geopend. De bediening van deze afsluitmiddelen hoort tot de dagelijkse praktijk. Het is niet nodig hiervoor aanvullende eisen te stellen. Wel wordt aanbevolen om na te gaan welke maatregelen getroffen kunnen worden, ingeval van falen van de afsluitmiddelen en dit te documenteren.

Voor afsluitmiddelen in boezem- en kanaaldijken die niet altijd gesloten zijn, geldt deze uitzondering soms ook: als het verschil tussen boezempeil en ontwerppeil gering is en er is sprake van een onderlaat. Bij deze kunstwerken zal de toename van de stroomsnelheid en daarmee van het debiet bij waterstanden hoger dan boezempeil maar gering zijn.

In alle andere gevallen geldt de uitzondering niet.

Het staat de beheerder vanzelfsprekend vrij om wel aanvullende eisen te stellen ten aanzien van de betrouwbaarheid van de sluiting, bijvoorbeeld als de risico's aanzienlijk zijn. Aanzienlijke risico's treden op als het niet gesloten zijn van een afsluitmiddel waarschijnlijk leidt tot bezwijken van het kunstwerk, of als het instromend debiet dermate hoog is dat aanzienlijke schade kan optreden.

### *Afsluitmiddelen die altijd gesloten zijn*

Naast de specifieke situatie voor boezem- en kanaalkaden kunnen ook in andere waterkeringen kunstwerken voorkomen, waarvan de afsluitmiddelen in dagelijkse omstandigheden gesloten zijn. Voor deze afsluitmiddelen vervalt de eis voor de betrouwbaarheid van de sluiting.

### *Compartimenteringskeringen*

Compartimenteringskeringen voorkomen dat een dijkringgebied geheel overstroomt, bij bezwijken van de primaire waterkering. Eventuele afsluitmiddelen in compartimenteringskeringen moeten daarom gesloten zijn als de primaire waterkering faalt, of vrij kort daarna afhankelijk van de inundatietijd. Aanbevolen wordt om het sluiten van de afsluitmiddelen in compartimenteringskeringen te betrekken in het hoogwaterdraaiboek van de primaire waterkering, zodat deze gesloten zijn als dat nodig is. Dit geeft een veel kleinere kans op niet sluiten dan op basis van de algemene eis van 1/10 van de normfrequentie. Volstaan kan worden met één afsluitmiddel. Uitgaande van een ontwerp volgens de "Eenvoudige beoordelingsmethode betrouwbaarheid Sluiting" (paragraaf B3.3 uit de Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003] ) houdt dit in dat voor de aspecten A (hoogwaterwaarschuwingssysteem), B (mobilisatie) en C (procedure voor sluiting) geheel wordt aangesloten bij de afsluitmiddelen in de primaire kering. Van aspect D (bedrijfszekerheid van de afsluitmiddelen) zijn alleen de eisen 3 en 4 van toepassing.

**Concept**Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---

*Kleine kunstwerken*

Bij kleine kunstwerken, zoals in- of uitlaatduikers met een geringe doorsnede, kan mogelijk toegestaan worden dat deze niet gesloten worden. Dat is het geval als het instromende volume water ingeval de afsluitmiddelen niet gesloten zijn, geborgen kan worden in het binnendijkse water en niet tot erosie leidt. Als dit aangetoond kan worden, dan vervalt de eis voor de betrouwbaarheid van de sluiting. Bij de berekening moet tevens rekening gehouden worden met overslaand of overlopend water en met de mogelijkheid dat meerdere kunstwerken geopend blijven. Tevens moet de binnendijkse watergang waar het waterkerende kunstwerk in uitwaterd bestand zijn tegen erosie door het stromende water.

*Overige kunstwerken*

Voor alle overige kunstwerken geldt de eis ten aanzien van niet sluiten volgens de Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003]: de faalkans tengevolge van het niet sluiten van afsluitmiddelen mag ten hoogste 1/10 van de norm bedragen.

**6.3 Ontwerp**

De eerste stap in het ontwerp is het vaststellen van het belang van de afsluitmiddelen en de betrouwbaarheid daarvan, volgens de aanwijzingen uit de vorige paragraaf.

Indien geen specifieke eisen gesteld worden aan de betrouwbaarheid van de sluiting (zoals de eis dat de faalkans ten hoogste 1/10 van de normfrequentie is), dan kan worden volstaan met een standaard ontwerp van de afsluitmiddelen. Een standaard ontwerp houdt in dat voldaan moet worden aan eisen volgens werktuigbouwkundige uitgangspunten, beheer, bediening en de eisen ten aanzien van de sterkte. In alle gevallen wordt wel aanbevolen om een en ander goed te documenteren, inclusief de omstandigheden waaronder de afsluitmiddelen in principe gesloten moeten zijn, de manier waarop deze gesloten worden en eventueel aanwijzingen voor een noodafsluiting. Een min of meer regelmatige controle van de werking van de afsluitmiddelen (bijvoorbeeld jaarlijks) is aan te raden.

Worden wel specifieke eisen gesteld, dan wordt het ontwerp van de afsluitmiddelen volgens de Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003] gedaan. Opgemerkt wordt dat het ontwerp een combinatie is van fysieke maatregelen (hoogwaterwaarschuwingssystemen en afsluitmiddelen inclusief bewegingswerken en infrastructuur) en beheermaatregelen (draaiboeken, controles, oefeningen en dergelijke). Tot op zekere hoogte zijn deze uitwisselbaar, zoals uit de beoordelingsmethode in de Leidraad Kunstwerken (hoofdstuk B3) [TAW, 2003] volgt.

**Concept**

Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---

De Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003] geeft de volgende drie mogelijkheden:

- De eenvoudige methode
- De gedetailleerde methode
- Mogelijkheden tot aanscherping

De eenvoudige en de gedetailleerde methode gaan beide uit van de eis voor de faalkans van 0,1 maal de normfrequentie. Bij de 'mogelijkheden tot aanscherping' wordt aangegeven dat hiervan afgeweken kan worden, indien het falen van de sluiting niet tot falen van de waterkering leidt. In dat geval moet de standzekerheid en het beheer van de kering gewaarborgd zijn en moet ook het binnenstromende water binnendijs geborgen kunnen worden, of de eventuele overlast beperkt blijven. Met name voor de waterkeringen met een normfrequentie van 1/10 en 1/30 per jaar zal dit veelal tot de mogelijkheden behoren en een aanzienlijke verlichting in de anders noodzakelijke procedures geven.

Concept

Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---

## 7 Ontwerp specifieke constructie-onderdelen

### 7.1 Bodemverdediging

Door stroming door een open waterkerend kunstwerk of golfoverslag of overslaand water over een gesloten waterkerend kunstwerk kan de bodem aan de binnen- en/of buitendijkse zijde eroderen. Hierdoor kan het waterkerende kunstwerk ondermijnd raken en zijn stabiliteit verliezen.

Om dit te voorkomen zijn twee soorten maatregelen mogelijk, die vaak beide worden toegepast:

- Een kort verticaal scherm, aansluitend op de bodem van het kunstwerk
- Een bodembescherming

Een kort verticaal scherm voorkomt dat enige erosie direct leidt tot ontgroning onder het kunstwerk. Dergelijke schermen dienen tevens als onderloopsheidscherm, of kunnen daarmee worden gecombineerd. De aansluiting van deze schermen aan de bodem van het waterkerende kunstwerk moet zodanig zijn, dat deze in ieder geval grond dicht blijft. Speciaal bij een waterkerend kunstwerk dat op palen is gefundeerd, moet de constructie zodanig zijn dat de schermen niet kunnen verzakken en zo hun aansluiting met het waterkerende kunstwerk verliezen.

De bodembescherming moet zijn afgestemd op de hydraulische belasting die optreedt en over voldoende lengte worden aangebracht. De aansluiting van de bodembescherming aan het waterkerende kunstwerk en aan de oeverbescherming aan weerszijden van het in-/uitstroomkanaal verdient speciale aandacht. Een bodembescherming kan bestaan uit een steenbestorting, gezette steen, blokkenmatten of andere materialen die bestand zijn tegen de hydraulische belastingen. Het ontwerp van een bodembescherming (zowel granulaair als blokkenmatten) is beschreven in paragraaf 5.2.3.1 van The Rock Manual [CUR/CIRIA, 2007]. Tussen de toplaag en de ondergrond dient een adequaat filter te worden aangebracht, om te voorkomen dat de grond door de toplaag heen uitspoelt. Naast de Rock Manual is ook informatie te vinden in:

- Handboek Ontwerpen van Schutsluizen [Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000], hoofdstuk 16
- CUR-publicatie 201 Natuurvriendelijke oevers: Belasting en sterkte [stichting CUR, 1999], paragraaf 3.7
- CUR-publicatie 197 Breuksteen in de Praktijk – Deel 2: dimensionering van constructies in binnenwateren [stichting CUR, 2000], hoofdstuk 8.

## 7.2 Plaats en aantal afsluitmiddelen bij leidingen

In principe gelden voor leidingkruisingen in regionale waterkeringen dezelfde richtlijnen als voor primaire waterkeringen. In de Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003] wordt hierop ingegaan.

Aanbevolen wordt echter om voor persleidingen met een open uitstroom (persleidingen van gemalen) en voor duikers uit te gaan van de eis die in hoofdstuk 6 is gegeven. Voor doorgaande leidingen en hevels zijn de eisen in de volgende tabel gegeven.

Tabel 7.1 Eisen doorgaande leidingen en hevels

Type pijpleiding	Hoogteligging van de leiding:	
	boven ontwerpkuinhoogte	beneden ontwerpkuinhoogte
Doorgaande leiding:		
• Drukleiding	Afsluiter buiten veiligheidszone, bereikbaar bij hoogwater	Afsluiter buiten veiligheidszone, bereikbaar bij hoogwater
• Vrij vervalleiding	Afsluiter buiten veiligheidszone, bereikbaar bij hoogwater	Afsluiter buiten veiligheidszone, bereikbaar bij hoogwater
• Sifon	Afsluiter in hoofden	Afsluiter in hoofden
Hevel	Vacuümverbreker, geen afsluiter	Volgens hoofdstuk 6

Het ontwerp van leidingen in of nabij waterkeringen wordt hier niet behandeld. Leidingen in of nabij waterstaatswerken moeten volgens NEN3650, NEN3651 en NPR3658 worden ontworpen.

## 7.3 Vervangende waterkering

Met name bij boezem- en kanaalkaden wijkt de maatgevende waterstand relatief weinig af van de dagelijkse waterstand en is veelal sprake van een permanent verval over de kering. Voor deze waterkeringen wordt het toepassen van een vervangende waterkering bij leidingkruisingen voorgeschreven. Voor de eisen ten aanzien van het aanbrengen van een vervangende waterkering bij kruisende leidingen in boezemkaden wordt verwezen naar NEN 3651.

Voor de overige typen regionale waterkeringen worden vervangende waterkeringen bij leidingkruisingen niet voorzien, voor zover onder dagelijkse omstandigheden geen water wordt gekeerd. Dit in verband met de zeer kleine kans van het gelijktijdig optreden van een leidingcalamiteit met een optredende maatgevende waterstand.



Concept

Kenmerk R002-4609864BVB-mdg-V04

---