



# Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen



LEIDRAAD WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN REGIONALE WATERKERINGEN

ORK

2011

15

ISBN 978.90.5773.529.5



# COLOFON

UITGAVE Amersfoort, 2011

## AUTEURS

ir. B. (Bob) van Bree, TAUW

ir. J. (Hans) Niemeijer, Arcadis

ir C. (Casper) van der Giessen, TAUW

ir. R. (Roland) Hoijinck, Arcadis

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2011-15  
ISBN 978.90.5773.529.5



# TEN GELEIDE

De beveiliging tegen overstroming vormt een wezenlijke vereiste voor de bewoonbaarheid van grote delen van ons land. Die beveiliging wordt niet alleen verzorgd door de primaire waterkeringen, maar ook door de zogenaamde regionale waterkeringen. Ook deze waterkeringen zijn belangrijk, en daarom heeft het Rijk in de Vierde Nota waterhuishouding (1998) het actiepunt opgenomen dat provincies en waterschappen normen ontwikkelen voor de veiligheid van niet-primaire waterkeringen.

Het InterProvinciaal Overleg [IPO] en de Unie van Waterschappen [UvW] hebben gezamenlijk besloten om de aanpak van de regionale keringen stapsgewijs uit te voeren. De eerste stap betreft het aanwijzen van de waterkeringen en vastleggen van het wenselijke veiligheidsniveau voor het gebied dat door de regionale waterkering wordt beschermd. De tweede stap betreft de toetsing of de veiligheid van de regionale waterkering voldoet aan de gestelde norm. Een derde stap betreft het zonodig verbeteren van de veiligheid, indien de veiligheid van de waterkering niet voldoet aan de norm. Tenslotte geldt dat de waterkeringen moeten worden beheerd teneinde de veiligheid van de waterkering te onderhouden.

Om het proces landelijk zoveel mogelijk uniform uit te kunnen voeren, is besloten het proces te ondersteunen met een systematiek voor de uitvoering van de genoemde stappen voor de verschillende typen regionale waterkeringen. Dit geheel van activiteiten en producten is vastgelegd in het zogenaamde Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen. Het programmamanagement van het Ontwikkelingsprogramma is in handen van de STOWA, en staat onder ambtelijk toezicht van het Kernteam Regionale Waterkeringen. De verschillende projecten van dit programma zijn inhoudelijk begeleid door Begeleidingscommissies.

Volgens een schatting van de STOWA bedraagt de totale lengte aan regionale waterkeringen in Nederland ca. 14.000 km, verspreid over nagenoeg alle provincies en waterschappen. Dit betreft verschillende typen regionale waterkeringen, te weten:

- boezemkaden en keringen langs regionale rivieren;
- compartimenteringskeringen of droge keringen, die pas functioneren na het falen van een primaire waterkering;
- voorlandkeringen en zomerkaden, die buitenwater keren maar geen primaire waterkeringen zijn.

Een groot deel hiervan ondergaat de komende jaren het proces van normeren, toetsen, verbeteren en beheren.

Het document dat u thans voor u heeft liggen betreft de Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale keringen. Deze Leidraad vormt een onderdeel van het Ontwikkelingsprogramma.

J. Visbeen

Voorzitter Stuurgroep regionale waterkeringen

# VOORWOORD

## ALGEMEEN

Regionale waterkeringen bieden bescherming tegen overstroming vanuit binnenwater of (indirect) buitenwater. Deze niet-primaire waterkeringen zijn aangewezen op basis van een provinciale verordening en/of opgenomen in de legger/keur van het waterschap. De volgende typen regionale waterkeringen zijn te onderscheiden:

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

Nederland telt naar schatting circa 14.000 kilometer aan regionale waterkeringen [STOWA 2002]. Een schatting van het aantal waterkerende kunstwerken dat in deze 14.000 kilometer regionale keringen aanwezig is, is niet voorhanden. Naar verwachting zijn het er vele duizenden tot tienduizenden, van uiteenlopende aard, omvang en leeftijd. De kunstwerken zijn vaak nodig voor utilitaire kruisingen, of bestaan uit ruimtebesparende versterkingen (kistdam, keermuur, damwand). De kunstwerken vervullen zelfstandig de waterkerende functie of doen dit in combinatie met een grondlichaam. De kunstwerken die in de compartimenteringskeringen gelegen zijn, vervullen hun functie pas na falen van de voorliggende (primaire) waterkering.

Deze Leidraad behandelt de toetsing, het ontwerp en het beheer van waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen. De Leidraad is opgesteld in het kader van het Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen en vormt daarmee een onderdeel van een samenhangende serie van leidraden op het gebied van het waterkeren (zie tabel 0.1).

Het InterProvinciaal Overleg en de Unie van Waterschappen ondersteunen het proces van normeren, toetsen, verbeteren en beheren van de regionale waterkeringen en de hierin opgenomen waterkerende kunstwerken gezamenlijk met de ontwikkeling van enkele richtlijnen, leidraden en handreikingen voor de genoemde stappen. Deze voorgenomen ondersteuning is nader gedefinieerd in het Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen, opgesteld door het InterProvinciaal Overleg en de Unie van Waterschappen (februari 2005). De STOWA coördineert de uitwerking van dit Ontwikkelingsprogramma.

Het Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen beschrijft de verschillende technische rapporten die daartoe benodigd zijn. Tabel 0.1 presenteert een overzicht van deze rapporten. Tabel 0.2 beschrijft de overige producten van het Ontwikkelingsprogramma. Aangezien tijdens de uitwerking van het programma aanvullende onderdelen kunnen worden gedefinieerd, is tabel 0.2 niet noodzakelijkerwijs volledig.

TABEL 0.1

**OVERZICHT RAPPORTEN ONTWIKKELINGSPROGRAMMA REGIONALE WATERKERINGEN**

**Normeren**

Richtlijn Normeren Keringen Langs regionale rivieren

Richtlijn Normeren Compartimenteringskeringen

**Toetsen**

Leidraad Toets op veiligheid - katern Boezemkaden

Leidraad Toets op veiligheid - Regionale Waterkeringen

**Ontwerp & Verbeteren**

Handreiking Ontwerpen & Verbeteren - Boezemkaden

Handreiking Ontwerpen & Verbeteren - Keringen langs regionale rivieren

**Beheer & Onderhoud**

Handreiking Beheer & Onderhoud Regionale Waterkeringen\*<sup>1</sup>

Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale keringen

Leidraad Niet-waterkerende objecten bij regionale keringen\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Deze rapporten zijn nog in bewerking

TABEL 0.2

**OVERIGE RAPPORTEN ONTWIKKELINGSPROGRAMMA REGIONALE WATERKERINGEN**

**Achtergrondrapporten**

Kwaliteitsindicatoren Toets op veiligheid

Materiaalfactoren Boezemkaden

Addendum Leidraad Toets op Veiligheid regionale waterkeringen betreffende boezemkaden

Promotor - Handleiding

**TOTSTANDKOMING**

De uitwerking van deze Leidraad is begeleid door de Begeleidingscommissie Waterkerende Kunstwerken, samengesteld uit onderstaande leden.

ir. P. Beerling – provincie Utrecht

ing. S. van Mispelaar – waterschap Groot Salland

ir. P. Goessen – hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

ing. J.A. Beijersbergen – provincie Zuid – Holland

ing. J.A. Teeuw – hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht

ir. J. Stoop – hoogheemraadschap Schieland & de Krimpenerwaard

ing. E. Faassen - hoogheemraadschap van Rijnland (vanaf 2011, beoordeling eindversie)

ir. H. van Hemert (programmaleider) – STOWA

Deze Leidraad is opgesteld door TAUW en Arcadis. Ten behoeve van de beschrijvingen over de dijkkringbenadering is een bijdrage geleverd door H. Schelfhout (Deltares) op verzoek (en in opdracht) van de provincie Zuid-Holland. Een concept versie van de Leidraad is beoordeeld door P. Ravenstijn (Witteveen+Bos), P. de Ruiters (DHV) en R. Delhez (GreenRivers).

**VRIJWARING**

Het InterProvinciaal Overleg, de Unie van Waterschappen en de STOWA hebben dit rapport samengesteld met grote zorgvuldigheid. De inhoud is gebaseerd op de vigerende veiligheidsbenadering voor waterkeringen, alsmede de actuele stand van kennis over de veiligheid van regionale waterkeringen. Het is niet uitgesloten dat voortschrijdende inzichten in de veilig-

heidsbenadering of hoogwaterbescherming en voortgaande kennisontwikkeling in de toekomst mogelijk leiden tot afwijkende inzichten. Het InterProvinciaal Overleg, de Unie van Waterschappen en de STOWA sluiten, mede ten behoeve van de auteurs van dit rapport en diegenen die aan de samenstelling hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die voortvloeit uit de toepassing van (kennis uit) dit rapport.

### **OPZET VAN DEZE LEIDRAAD**

De Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen bestaat uit drie delen. Het deel Algemeen geeft een beeld van de algemene aspecten van waterkeringszorg, functioneel ontwerp, uitvoering en beheer van kunstwerken. De delen Ontwerp en Toetsing zijn meer technisch van aard en geven de ontwerper respectievelijk toetsers concrete handvatten om het ontwerp op te stellen respectievelijk de toetsing uit te voeren van waterkerende kunstwerken in een regionale waterkering.

### **DOEL EN DOELGROEP**

Deze Leidraad geeft aanbevelingen voor de toetsing en een zodanig ontwerp en beheer van een waterkerend kunstwerk in een regionale waterkering, dat de verschillende waarden en functies van het kunstwerk optimaal tot hun recht komen. Hierbij dient het kunstwerk te voldoen aan functionele en constructieve uitgangspunten, eisen en randvoorwaarden.

Met name de aspecten die van belang zijn voor de waterkerende functie komen in deze Leidraad aan de orde. Voor de overige functies geeft de Leidraad verwijzingen naar relevante TAW-/ENW-publicaties, zowel leidraden als technische rapporten, en overige ontwerpdocumenten of voorschriften. Hierbij richt deze Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen zich op die aspecten die bij kunstwerken in regionale waterkeringen anders zijn dan bij kunstwerken in primaire waterkeringen. Deze Leidraad beoogd géén 'kookboek' te zijn; de beheerder/ontwerper/toetsers heeft te allen tijde de nodige vrijheid om zelf keuzes te maken.

Belangrijk in deze is te constateren dat er een verschil is in toetsen en ontwerpen. De rekenregels voor het toetsen komen niet op alle punten overeen met de methoden voor het ontwerpen van waterkerende kunstwerken. Toetsen dient namelijk een ander doel dan ontwerpen. De belangrijkste verschillen tussen ontwerpen en toetsen zijn het verschil in tijdshorizon (planperiode 50-100 jaar bij ontwerpen versus eerstvolgende peildatum bij toetsen en het gegeven dat in een toetssituatie de geometrie reeds vastligt waarbij in een ontwerp van meerdere vrijheden kan worden uitgegaan. In de delen Ontwerp en Toetsing van deze Leidraad wordt hier nader op ingegaan.

#### *Doelgroep*

Het deel Algemeen is specifiek bedoeld voor de beheerders van regionale waterkeringen. Er worden algemene richtlijnen gegeven om het realisatie- en instandhoudingsproces van waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen, gericht op de functie waterkeren, te vervullen. De delen Ontwerp en Toetsing zijn meer technisch van aard en zijn tevens bedoeld voor ontwerpers en toetsers bij beheerders of adviesbureaus.

## **STATUS**

Deze Leidraad is een zogenoemde 'groene' versie. Het InterProvinciaal Overleg, de Unie van Waterschappen en de STOWA hebben deze Leidraad samengesteld met grote zorgvuldigheid. De inhoud is gebaseerd op de vigerende veiligheidsbenadering voor waterkeringen (overschrijdingskans), alsmede de actuele stand van kennis over en inzichten in het ontwerpen, toetsen en beheren van waterkerende kunstwerken in regionale keringen. Het is niet uitgesloten dat voortschrijdende inzichten in de veiligheidsbenadering of hoogwaterbescherming en voortgaande kennisontwikkeling in de toekomst mogelijk een actualisatie van deze Leidraad noodzakelijk maakt.

Het InterProvinciaal Overleg, de Unie van Waterschappen en de STOWA sluiten, mede ten behoeve van de auteurs van de Leidraad en diegenen die aan de samenstelling hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die voortvloeit uit de toepassing van (kennis uit) deze Leidraad.

## **OVERZICHT RELEVANTE LEIDRADEN**

De Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen heeft een sterke relatie met de andere leidraden uit het Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen. Daarnaast is er een relatie met bestaande TAW-/ENW-leidraden op het gebied van ontwerp en toetsing van waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen, waarvan de belangrijkste de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] en het Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen [ENW, 2007] zijn.

Voorliggende Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen richt zich op die aspecten die bij kunstwerken in regionale waterkeringen anders zijn dan bij kunstwerken in primaire waterkeringen. Waar mogelijk wordt volstaan met een verwijzing naar de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] of het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [ENW, 2007].

## **VERWIJZINGEN NAAR VOORSCHRIFTEN, LEIDRADEN EN TECHNISCHE RAPPORTEN**

Om pragmatische redenen is ervoor gekozen geen zelfstandig bruikbare Leidraad op te stellen, maar in deze Leidraad zoveel als mogelijk te verwijzen naar andere voorschriften, leidraden en technische rapporten. Hiermee worden dubbelingen voorkomen en wordt de eenduidigheid van het stelsel van voorschriften, leidraden en technische rapporten bevorderd. Deze voorschriften, leidraden en technische rapporten kunnen door voortschrijdende kennis en technieken in de loop van de tijd worden aangepast en verbeterd. Verwijzingen in deze Leidraad betreffen steeds de versies van de voorschriften, leidraden of technische rapporten per ultimo 2009.

## **KENNISVRAGEN**

Belangrijke randvoorwaarde bij de uitwerking van het Ontwikkelingsprogramma is het beschikbare budget voor de samenstelling van de verschillende producten. Vanuit deze randvoorwaarde is ten aanzien van geconstateerde leemten in kennis alleen gekozen voor kennisontwikkeling indien de projectplanning hierdoor niet werd vertraagd. In overige gevallen is gekozen voor een pragmatische benadering, bijvoorbeeld op basis van veronderstellingen en aannamen. In ieder van de afzonderlijke delen is een kort overzicht van geconstateerde leemten in kennis opgenomen. Aangaande deze kennisvragen wordt bezien of in het kader van de beoogde ontwikkeling van een definitieve versie van deze Leidraad nader onderzoek zal worden verricht.



# DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl).

Website: [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# LEIDRAAD WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN REGIONALE WATERKERINGEN

## INHOUD

|   |   |     |
|---|---|-----|
|   | TEN GELEIDE                               |     |
|   | VOORWOORD                                 |     |
|   | OVER DEZE LEIDRAAD                        |     |
|   | STOWA IN KORT                             |     |
|   | <b>DEEL ALGEMEEN</b>                      |     |
| 1 | INLEIDING                                 | 3   |
| 2 | CONSTRUCTIETYPEN                          | 5   |
| 3 | ZORG VOOR REGIONALE WATERKERINGEN         | 8   |
| 4 | UITWERKING VEILIGHEIDSFILOSOFIE           | 12  |
| 5 | FUNCTIONEEL ONTWERP                       | 21  |
| 6 | VAN ONTWERP NAAR UITVOERING               | 23  |
| 7 | UITVOERING                                | 27  |
| 8 | BEHEER                                    | 31  |
|   | <b>DEEL ONTWERP</b>                       |     |
| 1 | INLEIDING                                 | 39  |
| 2 | ROBUUST ONTWERPEN                         | 43  |
| 3 | BELASTINGEN                               | 47  |
| 4 | KERENDE HOOGTE                            | 51  |
| 5 | STERKTE EN STABILITEIT                    | 54  |
| 6 | BETROUWBAARHEID SLUITING                  | 57  |
| 7 | ONTWERP SPECIFIEKE CONSTRUCTIE-ONDERDELEN | 60  |
|   | <b>DEEL TOETSING</b>                      |     |
| 1 | INLEIDING                                 | 65  |
| 2 | BEOORDELING VAN DE VEILIGHEID             | 69  |
| 3 | BELASTINGEN                               | 76  |
| 4 | FAALMECHANISMEN                           | 78  |
| 5 | TOETSING                                  | 81  |
| 6 | OMGAAN MET TOETSINGSRESULTATEN            | 113 |



# LEIDRAAD WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN REGIONALE WATERKERINGEN ALGEMEEN

## INHOUD

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>INLEIDING</b>                                   | <b>3</b> |
| 1.1      | Doel   | 3        |
| 1.2      | Overzicht relevante leidraden                      | 3        |
| 1.3      | Leeswijzer   | 3        |
| <b>2</b> | <b>CONSTRUCTIETYPEN</b>                            | <b>5</b> |
| 2.1      | Beschrijving type waterkering                      | 5        |
| 2.2      | Beschrijving constructietypen                      | 6        |
| 2.3      | Normale situatie: open of gesloten afsluitmiddelen | 6        |
| 2.4      | Aansluitconstructies en overgangsconstructies      | 7        |
| 2.5      | Overige objecten                                   | 7        |
| <b>3</b> | <b>ZORG VOOR REGIONALE WATERKERINGEN</b>           | <b>8</b> |
| 3.1      | Maatschappelijk kader                              | 8        |
| 3.2      | Waterkerende functie                               | 9        |
| 3.3      | Overige functies                                   | 9        |
| 3.4      | Beheercyclus                                       | 10       |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>4</b> | <b>UITWERKING VEILIGHEIDSFILOSOFIE</b>                              | <b>12</b> |
| 4.1      | Veiligheidsbenadering   | 12        |
| 4.2      | Veiligheidsnorm   | 13        |
| 4.3      | Hydraulische randvoorwaarden  | 13        |
| 4.4      | Faalkanseisen   | 13        |
| 4.4.1    | Algemene faalkanseis  | 13        |
| 4.4.2    | Hoogte  | 14        |
| 4.4.3    | Sterkte   | 15        |
| 4.4.4    | Stabiliteit en piping   | 17        |
| 4.4.5    | Betrouwbaarheid sluiting  | 17        |
| 4.5      | Dijkkringbenadering   | 18        |
| <b>5</b> | <b>FUNCTIONEEL ONTWERP</b>  | <b>21</b> |
| 5.1      | Ontwerpproces: bijna hetzelfde als bij primaire waterkeringen       | 21        |
| 5.2      | Verschillen tussen primair en regionaal                             | 21        |
| 5.2.1    | Verschil in planperiode, robuustheid en veiligheidsfilosofie        | 21        |
| 5.2.2    | Verschil in financiering  | 22        |
| <b>6</b> | <b>VAN ONTWERP NAAR UITVOERING</b>                                  | <b>23</b> |
| 6.1      | Procedures  | 23        |
| 6.2      | Mogelijke vergunningen  | 23        |
| 6.3      | Marktbenadering   | 25        |
| <b>7</b> | <b>UITVOERING</b>   | <b>27</b> |
| 7.1      | Seizoensrandvoorwaarden (open en gesloten seizoen)                  | 27        |
| 7.2      | Aandachtspunten vanuit overige functies                             | 27        |
| 7.3      | Schade en overlast in de uitvoeringsfase                            | 29        |
| 7.4      | Grondverwerving   | 29        |
| 7.5      | Vastleggen kennis en gegevens                                       | 30        |
| <b>8</b> | <b>BEHEER</b>   | <b>31</b> |
|          | <b>BIJLAGE</b>  |           |
| 1        | VOORBEELD BEPALING TAAKSTELLEND EISEN TUNNEL/AQUADUCT IN BOEZEMKADE | 33        |



# 1

## INLEIDING

### 1.1 DOEL

Doel van dit deel Algemeen van de Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen is om beheerders van waterkerende kunstwerken in de regionale waterkeringen een beeld te geven van de algemene aspecten van het realisatie- en instandhoudingsproces van waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen. Tevens wordt ingegaan op de veiligheidsfilosofie die hieraan ten grondslag ligt. Hierbij wordt specifiek aandacht besteed aan aspecten die voor waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen anders zijn dan voor waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen.

### 1.2 OVERZICHT RELEVANTE LEIDRADEN

Dit deel Algemeen heeft een sterke relatie met de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003]. De Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] behandelt in de hoofdtekst algemene aspecten van waterkeringszorg, functioneel ontwerp, uitvoering en beheer van waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen. Dit deel Algemeen richt zich op die aspecten die bij waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen anders zijn dan bij waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen. Waar mogelijk wordt volstaan met een verwijzing naar de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003].

### 1.3 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de verschillende constructietypen van de waterkerende kunstwerken. Aandacht is er daarbij in het bijzonder voor de aspecten die samenhangen met het open of gesloten zijn van het waterkerende kunstwerk in de normale situatie en voor de aansluitings- en overgangsconstructies met het aansluitende grondlichaam.

In hoofdstuk 3 wordt de wetgeving en het beleid ten aanzien van regionale waterkeringen omschreven. Hierbij wordt aangegeven wie verantwoordelijk is, wie de normering vaststelt en worden de overige functies aangestipt. Tevens wordt in dit hoofdstuk de vertaling van de veiligheidsfilosofie naar de eisen voor de mechanismen gegeven.

Hoofdstuk 4 volstaat voor een beschrijving van de rol van de beheerder, het ontwerpproces, de rol van onderhoud in het ontwerpproces en de veiligheidstoetsing met een verwijzing naar de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003]. Wel wordt ingegaan op de verschillen in het ontwerpproces tussen primaire en secundaire waterkeringen.

In hoofdstuk 5 komen de van belang zijnde procedures en de benodigde vergunningen voor aanleg en beheer van de waterkerende kunstwerken aan de orde. Ook de benadering van de markt krijgt hier aandacht.

Hoofdstuk 6 is gericht op de uitvoeringsaspecten en gaat in op seizoensrandvoorwaarden, overige functies waar in de uitvoering rekening mee moet worden gehouden, schade en overlast, grondverwerving en het vastleggen van gegevens.

Hoofdstuk 7 tenslotte beschrijft enkele specifieke verschillen tussen het beheer en onderhoud van waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen en waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen.

Helemaal aan het eind van deze Leidraad zijn de literatuurlijst en een overzicht van gebruikte begrippen opgenomen.

# 2

## CONSTRUCTIETYPEN

### 2.1 BESCHRIJVING TYPE WATERKERING

Er zijn vier typen regionale waterkeringen te onderscheiden:

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

Een beschrijving van de eerste drie waterkeringstypen is te vinden in de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02]. Voor een beschrijving van het type Voorlandkering en zomerkade wordt verwezen naar hoofdstuk 2 van Visie op regionale waterkeringen [Unie van Waterschappen, 2004]. Per waterkeringstype is sprake van een andere belastingsituatie.

De boezemkaden en de kanaalkaden hebben te maken met een weinig variërende waterstand. De ontwerpbelasting is nauwelijks hoger dan de dagelijkse belasting. Dit betekent dat de waterkerende kunstwerken permanent op nagenoeg het ontwerpniveau worden belast. Bij de toetsing kan voor de waterkerende kunstwerken in deze categorie dan ook veel zwaarder worden geleund op de 'bewezen sterkte'.

De waterkeringen langs regionale rivieren worden op gelijke wijze belast als de primaire rivierwaterkeringen. De hoogte van de waterstanden blijft daarbij wel beperkter en de duur van de belasting is korter. Ook voor de waterkerende kunstwerken in deze categorie kan dan ook gebruik worden gemaakt van de kennis opgedaan voor de waterkerende kunstwerken gelegen in de primaire waterkeringen, met ook hier de kanttekening dat rekening moet worden gehouden met het verschil in veiligheidsniveau.

De voorlandkeringen en zomerkaden zijn over het algemeen gelegen in buitendijkse gebieden. Deze waterkeringen en dus de in deze waterkeringen gelegen waterkerende kunstwerken worden in het algemeen op een gelijke wijze belast als de in het gebied gelegen primaire waterkeringen. De frequentie van optreden van de maatgevende waterstanden is daarbij wel hoger. Voor het ontwerp en de toetsing van de waterkerende kunstwerken in dit type waterkeringen kan veelal gebruik worden gemaakt van de regels voor de kunstwerken in de primaire waterkeringen, rekening houdend met een lager veiligheidsniveau dan bij de primaire waterkeringen. Tevens moet rekening worden gehouden met het gegeven dat overlopen verplicht kan zijn (geen afwenteling), waardoor het een ontwerpeis kan zijn dat het waterkerende kunstwerk bestand moet zijn tegen overlopen.

De belasting van de compartimenteringskeringen is bijzonder. Deze regionale waterkeringen hebben de ontwerpwaterstand te keren nadat falen van de voorliggende (primaire) waterkering(en) is opgetreden. Bewezen sterkte is bij dit type regionale waterkeringen dus nagenoeg niet aan de orde. Voor het ontwerp en vooral de toetsing zal voor deze kunstwerken een andere benadering moeten worden gevolgd.

## 2.2 BESCHRIJVING CONSTRUCTIETYPEN

In de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] is in paragraaf 2.1 een onderscheid gemaakt in vier typen constructies en is een indeling gegeven van de meest voorkomende kunstwerken in de vier typen. Dezelfde indeling geldt ook voor waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen. Hiervan zijn er naar schatting vele duizenden tot tienduizenden, van uiteenlopende aard, omvang en leeftijd. Een aanzienlijk deel hiervan betreft zogeheten historische kunstwerken, waarbij het vaak lastig is inzicht te verkrijgen in de aanwezigheid en staat van de diverse constructieonderdelen. Deze specifieke problematiek wordt behandeld in STOWA 2006-03 Historische Kunstwerken.

Deze Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen behandelt de waterkerende 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 Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] betreft dit constructies van type 1 of 3. Bijzondere waterkerende constructies zoals langsconstructies (kistdammen, kademuren, damwanden) en niet-waterkerende objecten (waaronder doorgaande kruisende en langsliggende leidingen) vallen niet onder het bereik van deze Leidraad. Voor toetsing en ontwerp van dergelijke bijzondere waterkerende constructies wordt verwezen naar de methodieken die beschikbaar zijn voor de primaire waterkeringen.

Voor compartimenterende kunstwerken in polder- en boezemwatersystemen geldt eveneens dat deze buiten de scope van deze Leidraad vallen. Deze kunstwerken dienen de gevolgen na een doorbraak te beperken door de boezem te compartimenteren. Falen van deze kunstwerken leidt dus niet tot een overstroming, ze zijn gevolgbeperkend. Hiermee zijn deze waterkerende kunstwerken dus een wezenlijk ander soort waterkerende kunstwerken dan de waterkerende kunstwerken die zijn opgenomen in de regionale waterkering zelf. Kunstwerken in waterkeringen die dienen als compartimenteringskering in een dijkringgebied worden wel behandeld.

## 2.3 NORMALE SITUATIE: OPEN OF GESLOTEN AFSLUITMIDDELEN

Het open of gesloten zijn van de afsluitmiddelen in waterkerende kunstwerken is afhankelijk van het type regionale kering waarin zij zijn gelegen en van de situatie. Bij waterkerende kunstwerken in boezemkaden en kanaalkaden zijn de afsluitmiddelen over het algemeen gesloten. Voor waterkerende kunstwerken in compartimenteringskeringen, zomerkaden en voorlandkeringen geldt het tegenovergestelde, deze afsluitmiddelen zijn onder normale omstandigheden geopend. De situatie voor de waterkerende kunstwerken in de keringen langs regionale rivieren is gelijk aan die voor primaire waterkeringen: afhankelijk van het verschil tussen de buiten- en binnenwaterstand zijn de afsluitmiddelen doorgaans geopend of juist gesloten.

Voor afsluitmiddelen spelen niet alleen de eisen voor de sterkte een rol, maar ook de eisen voor de sluiting. De taakstellende eis voor de sterkte en die voor de betrouwbaarheid van de sluiting zijn te vinden in hoofdstuk 4. De sterkte-eisen van de afsluitmiddelen zijn dezelfde als de sterkte-eisen van de overige constructieonderdelen. De bepaling van de betrouwbaarheid van de sluiting geschiedt volgens het gestelde in hoofdstuk 6 van het deel Ontwerp van deze Leidraad. Specifieke eisen voor afsluitmiddelen in tunnels, duikers, hevel- en persleidingen zijn te vinden in hoofdstuk 7.2 van het deel Ontwerp.

## 2.4 AANSLUITCONSTRUCTIES EN OVERGANGSCONSTRUCTIES

Een aansluitconstructie is in het algemeen een constructie om waterkeringen van verschillende typen op elkaar aan te sluiten, bijvoorbeeld dijken en duinen. In het kader van deze Leidraad betreft het de aansluiting van een waterkerend kunstwerk op het naastliggende grondlichaam van de regionale waterkering. Hierbij dient speciale aandacht te worden besteed aan de aansluiting van een eventuele bekleding van het aansluitende grondlichaam op het kunstwerk. Dergelijke locaties zijn vaak aan grotere golfbelastingen onderhevig en ook de belasting door zwerfvuil kan hoger zijn. Daarnaast is onderhoud van bijvoorbeeld een grasbekleding direct naast een waterkerend kunstwerk lastiger.

Onder een overgangsconstructie worden meestal de kwelschermen verstaan. Ook kan echter worden gedacht aan een lokaal afwijkend grondlichaam in de overgang van het kunstwerk naar het normale kadeprofiel. Voor beide is een detail beoordeling en ontwerp nodig, om te verzekeren dat de waterkering overal voldoende veilig is. Speciale aandacht is nodig voor driedimensionale aspecten.

## 2.5 OVERIGE OBJECTEN

Onder overige objecten worden alle objecten verstaan die zich in of binnen de invloedssfeer van een waterkering bevinden, doch die niet in positieve zin bijdragen aan de waterkerende functie of zelfs negatieve effecten kunnen hebben. Onderscheid wordt gemaakt in (zie ook Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] paragraaf 2.4):

- Kokervormige constructies zoals persleidingen van gemalen, duikers, hevels, pijpleidingen en tunnels zonder kanteldijken
- Overige constructies en objecten
- Begroeiing

De beoordeling van overige objecten op de veiligheid van de waterkering, met uitzondering van duikers, hevels en persleidingen van gemalen alsmede enkele aspecten met betrekking tot afsluitmiddelen in pijpleidingen, valt buiten het kader van deze Leidraad. De Leidraad Niet-Waterkerende Objecten bij Regionale Waterkeringen zal hier verder op in gaan. Deze leidraad is momenteel in ontwikkeling.

Voor de toelaatbaarheid van beplanting op regionale waterkeringen wordt verwezen naar de bestaande STOWA-handleidingen voor beplanting op primaire waterkeringen en boezemkaden (STOWA 2000-04, 2000-05 en 2000-06 alsmede STOWA 2002-19 en 2002-20).

Ook in verschillende rapporten die zich richten op de primaire keringen worden handreikingen gedaan voor de omgang met bijzondere waterkerende constructies en niet-waterkerende objecten.



# 3

## ZORG VOOR REGIONALE WATERKERINGEN

### 3.1 MAATSCHAPPELIJK KADER

Voor de bewoonbaarheid van grote delen van ons land is bescherming tegen overstromen van groot belang. Die bescherming wordt verzorgd door een stelsel van primaire en regionale waterkeringen. De primaire waterkeringen beschermen tegen overstromen vanuit buitenwater. Regionale waterkeringen bieden bescherming tegen overstrooming vanuit buitenwater (voorlandkeringen), binnenwater (boezems, kanalen en regionale rivieren) of bij doorbraak van andere waterkeringen (droge of compartimenteringskeringen).

Bij de van oudsher bestaande waterkeringen - en zeker bij de regionale waterkeringen - is vaak goed zichtbaar dat deze naast het bieden van veiligheid ook voor andere functies worden gebruikt, bijvoorbeeld voor bewoning, recreatie, transport en agrarisch medegebruik. Waterkeringen zijn vaak een beeldbepalend onderdeel van het landschap. Het is daarom begrijpelijk dat de maatschappij groot belang hecht aan de (ruimtelijke) inpassing van dergelijke regionale waterkeringen in de omgeving.

Het maatschappelijke kader speelt onder meer een rol bij het vaststellen van de gewenste mate van veiligheid en het inpassen van de waterkering in de omgeving.

#### TAAKVERDELING BESTUURSORGANEN

De taakverdeling tussen de verschillende Nederlandse bestuursorganen op het gebied van het beheer van waterkeringen is beschreven in de Waterstaatswet, de Waterschapswet, de Provinciewet en de Wet op de waterkeringen (vanaf medio 2009 gebundeld in de Waterwet). In deze leidraad wordt specifiek ingezoomd op de rolverdeling bij regionale waterkeringen.

De belangrijkste spelers bij het waterkeringbeheer zijn de waterschappen en de provincies. De verdeling tussen deze partijen is vastgelegd in de Waterschapswet en de Provinciewet. De centrale rol bij het beheer van de (regionale) waterkeringen ligt bij de waterschappen. De zorg voor de waterkeringen is de kerntaak van het waterschap (artikel 2 van de Waterschapswet). De provincie heeft het beheer van de regionale waterkeringen door reglementen bij de waterschappen ondergebracht en houdt het toezicht op de waterschappen (artikel 133, lid 3 van de Grondwet). Het Ministerie van Verkeer en Waterstaat heeft de rol van oppertoezichthouder. Voor enkele regionale waterkeringen heeft Rijkswaterstaat tevens de rol van beheerder.

De provincie draagt zorg voor de vertaling van het nationale beleidskader naar een regionaal beleidskader en voor het vaststellen van strategische doelen op regionaal niveau. Tevens is de provincie verantwoordelijk voor de aanwijzing van regionale waterkeringen en de vaststelling van veiligheidsnormen tegen overstromen van die waterkeringen (Vierde nota waterhuishouding).

Vervolgens waakt de provincie bij regionale waterkeringen als normsteller en toezichthouder over de veiligheidsbelangen en zorgvuldige belangenafwegingen.

De wijze waarop de provincies invulling geven aan hun rol met betrekking tot de regionale waterkeringen is onder meer beschreven in de provinciale verordeningen. Deze verordeningen kunnen per provincie verschillen. Het gehele proces bevindt zich nog redelijk in de beginfase.

De waterkeringbeheerder, veelal een waterschap, is verantwoordelijk voor het op orde brengen en houden van de regionale waterkeringen. Ofwel de aanleg, het beheer en onderhoud van die keringen en de daarin gelegen waterkerende kunstwerken in zijn beheergebied. Het Rijk beheert ook nog enkele regionale waterkeringen. Het betreft veelal waterkeringen langs kanalen die bij het Rijk in beheer zijn.

Instrumenten die bij het proces een rol kunnen spelen zijn de verordeningen, het reglement, de keur, het beleid, de vergunningverlening, de schouw, de periodieke veiligheidstoetsingen, methodieken van veiligheidstoetsingen, de leggers en beheersregisters.

### 3.2 WATERKERENDE FUNCTIE

Waterkerende kunstwerken worden (en werden) aangelegd bij kruisingen van waterkeringen en (water)wegen. Te denken valt aan in- en uitlaatduikers (veel toegepast in het regionale watersysteembeheer), gemalen, sluizen en coupures. Dergelijke kunstwerken dienen zodanig te worden ontworpen, gebouwd en onderhouden dat de beoogde waterkerende functie gedurende de veronderstelde planperiode met voldoende betrouwbaarheid wordt vervuld. Voldoende betekent onder meer dat de kunstwerken aan de veiligheidsnorm moeten voldoen. Deze veiligheidsnorm stelt harde randvoorwaarden aan het ontwerp en beheer. In het volgende hoofdstuk worden de eisen waaraan het waterkerend kunstwerk moet voldoen verder uitgewerkt.

### 3.3 OVERIGE FUNCTIES

De primaire functie van waterkeringen is het keren van water en het tegengaan van wateroverlast. De behoefte aan medegebruik is zeker bij de regionale waterkeringen erg groot. Dat komt onder meer omdat waterkeringen een grote rol kunnen betekenen voor de ruimtelijke kwaliteit, specifiek de gebruikers- en belevingskwaliteit. Het zijn vaak belangrijke landschapbepalende elementen.

Verzoeken om medegebruik van waterkeringen worden afgewogen tegen de eisen die vanuit de primaire taak van de waterkering worden gesteld. Afhankelijk van die afweging zullen activiteiten al dan niet worden toegestaan. Het is de taak van de waterkeringbeheerder zorg te dragen voor een zorgvuldige belangenafweging. De provincie draagt het toezicht daarop. Een deel van de (gebruiks)belangen/behoefte aan het medegebruik van de waterkeringen laat zich overigens goed combineren met de functie veiligheid.

Directe aanleiding voor de aanleg van waterkerende kunstwerken in keringen is het behoud van andere water(weg) gerelateerde functies. Voorbeelden in regionale waterkeringen zijn in- en uitlaatduikers (zeer frequent), gemalen ten behoeve van de waterbeheersing en sluizen ten behoeve van het scheepvaartverkeer.

Er is veelvuldig behoefte aan medegebruik van die waterkeringen of er worden vanuit de ruimtelijke kwaliteit (extra) eisen gesteld aan het ontwerp van de waterkering, zoals het behoud van of het bevorderen van de zogenaamde LNC-waarden. Dit werkt door op de

waterkerende kunstwerken in die waterkeringen. Voor een volledig overzicht van LNC- en overige functies wordt verwezen naar paragraaf 3.2.2 en 3.2.3 van de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003].

Specifiek als voorbeeld voor waterkerende kunstwerken valt te denken aan de aanleg van extra voorzieningen zoals vispassages maar ook aan landschappelijke inpassing van een waterkerend kunstwerk of behoud van historische waarden. Hiervan zijn voorbeelden te over, zoals de onderstaande illustraties laten zien.

- Foto aanleg vispassage gemaal Katwijk
- Foto restauratie Heesseltse sluis voor en na
- Foto gemaal Abelstok

### 3.4 BEHEERCYCLUS

Het beheer omvat het geheel aan activiteiten dat er op is gericht de bestaande waterkering met de waterkerende kunstwerken zijn functies duurzaam te laten vervullen.

Het beheer van regionale waterkeringen waaronder de waterkerende kunstwerken kent meerdere activiteiten zoals het opstellen van beleid, het opzetten en bijhouden van leggers en beheerregisters, het verlenen van vergunningen en ontheffingen maar ook het inspecteren, het toetsen, het ontwerpen en verbeteren van waterkeringen. In tegenstelling tot de primaire waterkeringen zit dit proces voor de regionale waterkeringen nog redelijk in de beginfase. De waterkeringen zijn recent genormeerd maar veelal wordt nog gewerkt aan het opstellen van goede leggers en beheersregisters, het vaststellen van de hydraulische randvoorwaarden, adequate voorschriften en dergelijke. Met deze leidraad wordt voor waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen meer inzicht verschaft.

Het beheer is een cyclisch proces. Na vaststelling van te voeren beleid, de daarop afgestemde planvorming en uitvoering van maatregelen en taken als inspectie en vergunningverlening door de waterkeringbeheerder, vindt periodiek een evaluatie plaats. Een belangrijk instrument daarbij is de periodieke veiligheidstoetsing. Deze wijst immers uit in hoeverre aan de primaire taak, het waarborgen van veiligheid tegen overstromen, wordt voldaan. Het resultaat van die toetsing kan aanleiding zijn het gevoerde beleid aan te passen.

Binnen dit proces zijn drie deelprocessen met verschillende tijdschalen te onderscheiden, te weten:

- Het dagelijks beheer en onderhoud  
Dit betreft doorlopende activiteiten en omvat onder meer:
  - de periodieke inspectie van de waterkerende kunstwerken
  - het reguliere (klein) onderhoud aan de waterkerende kunstwerken
  - het verlenen van ontheffingen/vergunningen
  - de periodieke veiligheidstoetsing
  - het opstellen van vergunningsbeleid
  - het bijhouden van de legger en beheerregister.
- Het buitengewoon beheer en onderhoud  
Dit betreft een proces op grotere tijdschaal. Het betreft bijvoorbeeld grootschalige renovaties van (delen van) waterkerende kunstwerken opdat het kunstwerk aan de veiligheidsnorm blijft voldoen. Het kunstwerk wijzigt hierbij niet ten opzichte van de legger.

- Het verbeteren

Dit betreft een activiteit met een incidenteel karakter. Het betreft daadwerkelijke aanpassingen aan of nieuwbouw van waterkerende kunstwerken opdat deze aan de veiligheidsnorm blijven voldoen. Het kunstwerk wijzigt hierbij ten opzichte van de legger.

Bij het ‘dagelijks onderhoud’ wordt het waterkerende kunstwerk in goede staat gebracht en/of gehouden, dat wil zeggen minimaal in een staat zoals die in de legger is vastgelegd. Buitengewoon beheer en onderhoud is gericht op het grootschalig herstel van (onderdelen van) waterkerende kunstwerken waarvan de technische levensduur is verstreken of waarvan de huidige onderhoudstoestand niet meer toereikend is voor het adequaat vervullen van de functie. Bij het ‘verbeteren’ is sprake van een concreet verbeteringswerk, bijvoorbeeld de aanpassing van of nieuwbouw van een sluisdeur.

De noodzaak tot het uitvoeren van verbeteringswerkzaamheden volgt veelal uit de periodieke veiligheidstoetsing van de waterkerende kunstwerken waarbij onderdelen van het kunstwerk worden afgekeurd. Redenen daarvoor zijn bijvoorbeeld voortschrijdend inzicht in de techniek, verandering van de hydraulische belastingen op het kunstwerk of nieuwe normen.

Op grond van provinciale verordeningen hebben de waterkeringbeheerders de verplichting een beheerplan op te stellen voor de regionale keringen. Daarin beschrijft de waterkeringbeheerder de visie op het waterkeringbeheer. Dat gaat verder dan ‘alleen’ het voldoen aan de veiligheidstaak. Ook andere functies of doelstellingen van de beheerder kunnen daar aan de orde komen zoals het streven kunstwerken te voorzien van vispassages. Ook die doelstellingen worden periodiek geëvalueerd en kunnen aanleiding zijn tot aanpassing van beleid.

# 4

## UITWERKING VEILIGHEIDSFILOSOFIE

### 4.1 VEILIGHEIDSBENADERING

Ten aanzien van ontwerp en toetsing van een waterkerend kunstwerk in een regionale waterkering wordt aangesloten bij de veiligheidsbenadering volgens de Leidraad Waterkerende Kunstwerken, die uitgaat van een overbelastingsbenadering per dijkvak. De essentie van de overbelastingsbenadering is dat primair eisen worden gesteld aan de kans per jaar op overschrijding van een toelaatbaar instromend volume buitenwater via het gesloten kunstwerk of geopende kunstwerk (voorwaarde 1). Daarnaast wordt als aanvullende eis gesteld dat de kans op constructief bezwijken van het kunstwerk, gegeven dat normomstandigheden niet worden overschreden, klein dient te zijn ten opzichte van de kans op overschrijding van het toelaatbaar instromend volume (voorwaarde 2).

Overbelasting wordt hierbij gedefinieerd als overschrijding van een toelaatbare hoeveelheid instromend water over de gesloten waterkering. Voor de toelaatbare kans hierop wordt uitgegaan van de veiligheidsnorm van de regionale waterkering waarin het kunstwerk is opgenomen zoals deze is vastgesteld door de provincie (genormeerde keringen) of de beheerder (niet bij verordening genormeerde keringen).

Daarnaast worden eisen gesteld aan de kans op overschrijding van een toelaatbare hoeveelheid instromend water door het geopende kunstwerk ten gevolge van falen van de sluiting en aan de kans op constructief bezwijken. Net als bij waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen is ook hier het uitgangspunt dat de kans op deze gebeurtenissen 'klein' moet zijn ten opzichte van de veiligheidsnorm. De vertaling daarvan naar concrete ontwerp-eisen wordt behandeld in paragraaf 4.4.

De in deze Leidraad gegeven veiligheidsbenadering is representatief voor conventionele waterkerende kunstwerken. Voor afwijkende constructies, zoals tunnels, valt niet te ontkomen aan maatwerk.

De veiligheidsbenadering die in de paragrafen 4.2 tot en met 4.4 is uitgewerkt betreft een benadering op basis van de dijkvakbenadering. In paragraaf 4.5 zijn enkele aanwijzingen gegeven voor het geval voor een dijkringbenadering wordt gekozen. Bij een ontwerp kan hiervoor gekozen worden. Bij het toetsen van de kunstwerken is in principe een dijkvakbenadering van toepassing.

De eisen die in deze Leidraad zijn verwoord betreffen uitsluitend de waterkerende functie. Eisen met betrekking tot de primaire functie en met betrekking tot nevenfuncties worden niet behandeld in deze Leidraad. De kunstwerken moeten met betrekking tot die eisen voldoen aan de betreffende NEN-EN normen. Hieronder valt ook de bruikbaarheidsgrenstoestand.



## 4.2 VEILIGHEIDSNORM

De provincies zijn verantwoordelijk voor het normeren van regionale waterkeringen. De norm is/wordt in de provinciale verordeningen vastgelegd.

De wijze waarop het wenselijke veiligheidsniveau kan worden vastgesteld, is beschreven in de STOWA-richtlijnen Normering Keringen langs regionale rivieren [STOWA 2008-04] en Normeren Compartimenteringskeringen [STOWA 2007-03] en de IPO-richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden [IPO, 1999]. Voor voorlandkeringen en zomerkaden wordt verwezen naar bijlage 3 van Visie op regionale waterkeringen [Unie van Waterschappen, 2004]. Bij de in die richtlijnen beschreven methodiek wordt de verwachte schade gerelateerd aan een overschrijdingsfrequentie van een nog te keren waterstand. De norm wordt daarbij uitgedrukt in een toelaatbare overschrijdingsfrequentie van een waterstand die nog net moet kunnen worden gekeerd.

Er worden vijf normklassen onderscheiden met overschrijdingsfrequenties variërend van 1:10 per jaar tot 1:1.000 per jaar (zie ook onderstaande tabel 4.1).

TABEL 4.1 NORMERING VOOR REGIONALE WATERKERINGEN

| Klasse | Veiligheidsnorm | Gevolgschade voor de klasse [mln euro] | Frequentie maatgevende rivierwaterstand voor bepaling gevolgschade |
|--------|-----------------|--|--|
| I      | 1/10            | < 8                                    | 1/10   |
| II     | 1/30            | 8-25                                   | 1/30   |
| III    | 1/100           | 25-80                                  | 1/100  |
| IV     | 1/300           | 80-250                                 | 1/300  |
| V      | 1/1.000         | > 250                                  | 1/1.000  |

De vaststelling van de normen door de provincie is een bestuurlijk besluit. Het staat bestuurders dan ook vrij om van de systematiek zoals beschreven in de Richtlijnen af te wijken.

## 4.3 HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN

De vaststelling van de hydraulische randvoorwaarden voor de toetsing van regionale waterkeringen is een verantwoordelijkheid van de provincie. De verwachting is dat de waterschappen, met hun expertise van het lokale watersysteem, daar intensief bij zullen worden betrokken.

Voor het gebruik van deze toetsrandvoorwaarden als ontwerprandvoorwaarden moet een aantal toeslagen worden gehanteerd (toeslag voor hoogwaterstijging in planperiode, robuustheidstoeslag). Dit om er voor te zorgen dat het waterkerende kunstwerk ook voor de gehele planperiode aan de gestelde veiligheidseisen blijft voldoen. Voor deze toeslagen worden in hoofdstuk 2 en 3 van het deel Ontwerp van deze Leidraad handreikingen gegeven.

## 4.4 FAALKANSEISEN

### 4.4.1 ALGEMENE FAALKANSEIS

De veiligheidsklassen (en daarmee de veiligheidsnormen) voor de regionale waterkeringen zijn of worden in de provinciale verordeningen vastgelegd. De faalkanseisen ten aanzien van de kering zijn gerelateerd aan de veiligheidsnorm. De norm is gegeven als een gemiddelde overschrijdingskans per jaar van de waterstand waarop de kering moet zijn berekend.

In de Visie op Regionale Waterkeringen [Unie van Waterschappen, 2004] is deze eis niet verder in detail uitgewerkt. Opgemerkt wordt daarin dat er nog geen landelijk vastgesteld instrumentarium is om de normering en toetsing te kunnen uitvoeren. Een aanzet daartoe is wel gegeven in de IPO-richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden [IPO, 1999]. In die IPO-richtlijn wordt een kansbijdrage van 10 % in de faalkans gereserveerd voor 'overige mechanismen'. Met overige mechanismen worden alle mechanismen bedoeld die niet de stabiliteit of hoogte van de grondconstructies betreffen. 'Overige mechanismen' omvatten derhalve in ieder geval waterkerende kunstwerken en niet-waterkerende objecten. Omdat de overall eis voor de faalkans gelijk is aan 1/5 van de norm volgens de IPO richtlijn, is deze 10 % kansbijdrage gelijk aan een faalkans van 1/50 van de normfrequentie. Als hiervan de helft gereserveerd zou worden voor het constructief bezwijken van waterkerende kunstwerken, dan komt deze norm overeen met die uit de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003]. In de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] is namelijk als eis gesteld dat:

*de faalkans tengevolge van constructief of geotechnisch bezwijken ten hoogste 1/100 van de norm mag bedragen.*

Dit geldt voor het waterkerende kunstwerk als geheel. Als verschillende onderdelen van een waterkerend kunstwerk samenwerken dan zal voor die afzonderlijke onderdelen een strengere eis gesteld moeten worden. De beschikbare faalkansruimte (1/100 van de norm) kan bijvoorbeeld in gelijke mate worden verdeeld over de onderbouw, de bovenbouw en de overgangsconstructies. Meestal is dat echter niet nodig, omdat bezwijken veelal is gecorreleerd met een hoge waterstand. Met name bij boezem- en kanaalkaden met een maatgevende waterstand die maar in geringe mate hoger is dan de dagelijkse waterstand, kan het echter nodig zijn wel een strengere eis per onderdeel te hanteren.

Bij lange constructies is de kans op falen niet alleen afhankelijk van de belasting en sterkte in een specifieke (maatgevende) doorsnede, maar wordt deze ook door de lengte bepaald. Er moet dan rekening worden gehouden met "lengte-effecten", waardoor de faalkanseis voor een doorsnede strenger wordt. In de Leidraad Waterkerende Kunstwerken en CUR166 wordt hierop ingegaan. Dit is van toepassing op constructies die langer dan 100 m zijn.

De algemene eis ten aanzien van de faalkans van een waterkerend kunstwerk moet nog verder vertaald worden naar specifieke eisen per faalmechanisme. Voor hoogte, stabiliteit en piping zijn de eisen gelijk aan die voor grondkeringen. Voor de betrouwbaarheid van de sluiting wordt in hoofdlijn dezelfde eis gehanteerd als bij primaire waterkeringen. Alleen voor de sterkte is het nodig om aanvullende eisen te definiëren. In de navolgende paragrafen worden voor de vier sporen (hoogte, sterkte, stabiliteit en betrouwbaarheid sluiting) de eisen voor waterkerende kunstwerken in regionale keringen gegeven. Voor diverse typen waterkerende kunstwerken zijn, nog afhankelijk van de normfrequentie, in de delen Ontwerp en Toetsing hierop uitzonderingen gegeven.

Opgemerkt wordt dat de uitwerking van de eisen in het navolgende de waterkerende functie betreft. Ten aanzien van andere functies kunnen andere (en soms zwaardere) eisen van toepassing blijven.

#### **4.4.2 HOOGTE**

De kerende hoogte van het gesloten kunstwerk wordt bepaald door de eis ten aanzien van overlopen en golfoverslag. Deze eis luidt:

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

Dit is dezelfde eis die ook voor grondconstructies in regionale waterkeringen en voor primaire keringen geldt. Dit houdt in dat de belastingen (waterstand en golven) bepaald worden bij de normfrequentie, waarna de vereiste kerende hoogte kan worden bepaald rekening houdend met het criterium voor golfoverslag of overlopen en gebruikmakend van de beschikbare rekenmodellen voor waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen.

#### 4.4.3 STERKTE

Voor de normering van de sterkte zijn drie bronnen beschikbaar waaraan gerefereerd kan worden:

- De Leidraad Waterkerende Kunstwerken
- De NEN6700 serie
- De Eurocode NEN-EN-1990

Voor damwanden kan ook de CUR166 nog worden genoemd.

Met ingang van 1 januari 2012 wordt de Eurocode van toepassing. Omdat de implementatie van de Eurocode echter al veelvuldig is uitgesteld, is ervoor gekozen in deze Leidraad ook de huidige NEN-normen te noemen.

*Sterkte-eis Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003]*

In de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] is een eis aan de faalkans tengevolge van constructief bezwijken gegeven van 1/100 van de normfrequentie. De Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] geeft de betrouwbaarheidsindex  $\beta$  als functie van de normfrequentie. Toegepast op de normfrequenties die voor regionale waterkeringen worden toegepast, geeft dat de volgende betrouwbaarheidsindices:

TABEL 4.2

BETROUWBAARHEIDSINDICES OP BASIS VAN DE NORMFREQUENTIE VOLGENS DE LEIDRAAD WATERKERENDE KUNSTWERKEN

| Kadeclassie                 | Normfrequentie<br>[1/ per jaar] | Betrouwbaarheidsindex $\beta$<br>Voor de gehele levensduur |
|-----------------------------|---------------------------------|--|
| I                           | 10                              | 2,3  |
| II                          | 30                              | 2,7  |
| III                         | 100                             | 3,1  |
| IV                          | 300                             | 3,4  |
| V                           | 1000                            | 3,7  |
| primaire waterkering 1/1250 | 1250                            | 3,8  |

Als referentie is tevens de betrouwbaarheidsindex voor een waterkerend kunstwerk in het bovenrivierengebied gegeven. Hierbij wordt opgemerkt dat de Leidraad Waterkerende Kunstwerken niet is geschreven voor waterkeringen met een normfrequentie van meer dan 1/1250 per jaar.

#### STERKTE-EIS NEN6700 EN EUROCODE NEN-EN-1990

In zowel NEN6700 Technische grondslagen voor bouwconstructies - TGB 1990 - Algemene basiseisen als in NEN-EN-1990 Eurocode - Grondslagen voor het constructief ontwerp wordt onderscheid gemaakt in 3 veiligheidsklassen. In de volgende tabellen zijn de bijbehorende betrouwbaarheidsindices gegeven, inclusief de beschrijving van het gevaar.

TABEL 4.3 BETROUWBAARHEIDSINDICES PER KLASSE INCLUSIEF BESCHRIJVING VAN HET GEVAAR VOLGENS NEN6700

| Veiligheids-klasse | Beschrijving  | Betrouwbaarheidsindex $\beta$<br>(referentieperiode 50 jaar) |
|--------------------|---|--|
| 1                  | kans op levensgevaar is verwaarloosbaar,<br>kans op economische schade is klein | 3,2  |
| 2                  | kans op levensgevaar is klein,<br>kans op economische schade is groot           | 3,4  |
| 3                  | kans op levensgevaar is groot,<br>kans op economische schade is groot           | 3,6  |

TABEL 4.4 BETROUWBAARHEIDSINDICES PER KLASSE INCLUSIEF BESCHRIJVING VAN HET GEVAAR VOLGENS DE EUROCODE

| Veiligheids-klasse | Beschrijving   | Betrouwbaarheidsindex $\beta$<br>(referentieperiode 50 jaar) |
|--------------------|--|--|
| RC1                | Geringe gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, of kleine of verwaarloosbare economische, sociale gevolgen voor de omgeving | 3,3  |
| RC2                | Middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, aanzienlijke economische, sociale gevolgen voor de omgeving            | 3,8  |
| RC3                | Grote gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, of zeer grote economische, sociale gevolgen voor de omgeving                  | 4,3  |

Te zien valt dat de vereiste betrouwbaarheidsindex volgens de Eurocode aanmerkelijk strenger is dan volgens de NEN6700.

#### SAMENSTELLEN VAN DE EIS

Het is wenselijk om bij het toekennen van de betrouwbaarheidsniveaus aan de verschillende kadeklassen aan te sluiten bij de Leidraad Waterkerende Kunstwerken én de uitgangspunten bij het vaststellen van de kadeklassen.

Onderstaand wordt voor de verschillende kadeklassen een voorstel gedaan voor de toe te passen normering. Deze aanbevelingen voor het aan te houden betrouwbaarheidsniveau zijn indicatief. Aanbevolen wordt om aan te sluiten bij de beschouwingen die een rol hebben gespeeld bij het vaststellen van de normfrequentie. Tevens wordt aanbevolen het voorstel voor de Eurocode af te stemmen met de implementatie van de Eurocode in de vigerende leidraden voor primaire keringen zodra deze beschikbaar is. In alle gevallen kan middels een risico-analyse een nadere bepaling gedaan worden.

TABEL 4.5 AANBEVOLEN STERKTE-EIS OP BASIS VAN DE NEN6700-SERIE EN DE EUROCODE NEN-EN-1990

| Normfrequentie | Sterkte-eis op basis van NEN6700   | Sterkte-eis op basis van Eurocode |
|----------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1/1000         | Leidraad Waterkerende Kunstwerken1 | Betrouwbaarheidsklasse RC2        |
| 1/300          | Veiligheidsklasse 3                | Betrouwbaarheidsklasse RC2        |
| 1/100          | Veiligheidsklasse 2                | Betrouwbaarheidsklasse RC1        |
| 1/30           | Veiligheidsklasse 1                | Betrouwbaarheidsklasse RC1        |
| 1/10           | Veiligheidsklasse 1                | Betrouwbaarheidsklasse RC1        |

<sup>1</sup> De vereiste veiligheid volgens de Leidraad Waterkerende Kunstwerken is groter dan die van veiligheidsklasse 3 volgens de NEN en ligt in de buurt van de vereiste veiligheid voor primaire keringen in het bovenrivierengebied. Aanbevolen wordt daarom om de Leidraad Waterkerende Kunstwerken te volgen.

Benadrukt wordt dat deze eisen uitsluitend betrekking hebben op de waterkerende functie van het kunstwerk. Vanuit andere functies of overwegingen, is het goed mogelijk dat voor een strengere eis wordt gekozen.

#### 4.4.4 STABILITEIT EN PIPING

Stabiliteit en piping omvatten een aantal mechanismen, die in 3 groepen verdeeld kunnen worden:

- Geotechnische stabiliteit:
  - Afschuiven of kantelen van het gehele kunstwerk
  - Opdrijven van het kunstwerk
  - Onvoldoende stabiliteit van grondkerende constructies zoals damwanden en keermuren
  - Geotechnische instabiliteit van het omringende grondlichaam
- Onvoldoende draagvermogen van de fundering
- Piping en heave

Voor deze 3 groepen gelden afzonderlijke eisen.

##### GEOTECHNISCHE STABILITEIT

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

- De Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Waterkeringen langs regionale rivieren [STOWA 2009-07], paragraaf 6.3.2.
- De Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Boezemkaden [STOWA 2009-06], paragraaf 3.4

##### DRAAGVERMOGEN FUNDERING

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

##### PIPING EN HEAVE

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

#### 4.4.5 BETROUWBAARHEID SLUITING

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.*

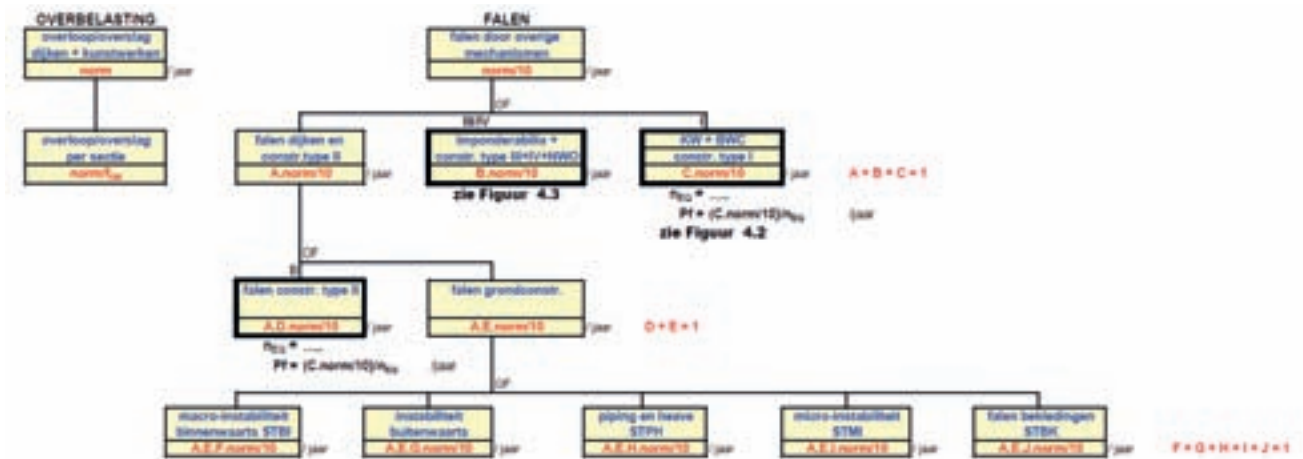
Voor regionale waterkeringen worden op deze regel een paar uitzonderingen gedefinieerd, die in deel 2 Ontwerp zijn verwoord. Voor het toetsen van een bestaand kunstwerk zijn aanvullende uitzonderingen gedefinieerd in deel 3 Toetsing.

### 4.5 DIJKRINGBENADERING

Het ontwerp en de beoordeling van de veiligheid van een waterkerend kunstwerk kan ook worden uitgevoerd volgens een dijkkringbenadering. De keuze hiervoor moet per dijkkring worden gemaakt. In hoofdlijn komt de dijkkringbenadering neer op een integrale beschouwing van de kans op overbelasting door overloop/golfoverslag of de kans op falen door overige mechanismen in de dijkkring. Daarbij wordt afhankelijk van het beschouwde mechanisme en dijkvak rekening gehouden met onafhankelijkheden tussen de afzonderlijke dijkvakken in de ring via de belasting en/of de sterkte. Daartoe dient het lengte-effect te worden bepaald, dat ook wel dijkkringfactor wordt genoemd. Dit is een kansfactor, die via de norm wordt verdisconteerd door voor het beschouwde mechanisme uit te gaan van een strengere eis. Voor kunstwerken met keermiddelen speelt bovendien de onafhankelijkheid in de bediening tussen de afzonderlijke kunstwerken een rol. Voor het afleiden van de faalkanseis per kunstwerk volgens een dijkkringbenadering zijn geen algemene rekenregels beschikbaar.

Een voorbeeld van een dergelijke integrale beschouwing van de dijkkring staat in het volgende schema, waarbij een verdeling is gemaakt van de over de dijkkring beschikbare faalkansruimte voor overbelasting overloop/golfoverslag (eis:  $\leq$  norm) en voor de overige faalmechanismen (eis:  $\leq$  10% van de norm).

FIGUUR 4.1 VOORBEELD VERDELING FAALKANSRUIMTE VOLGENS DIJKRINGBENADERING

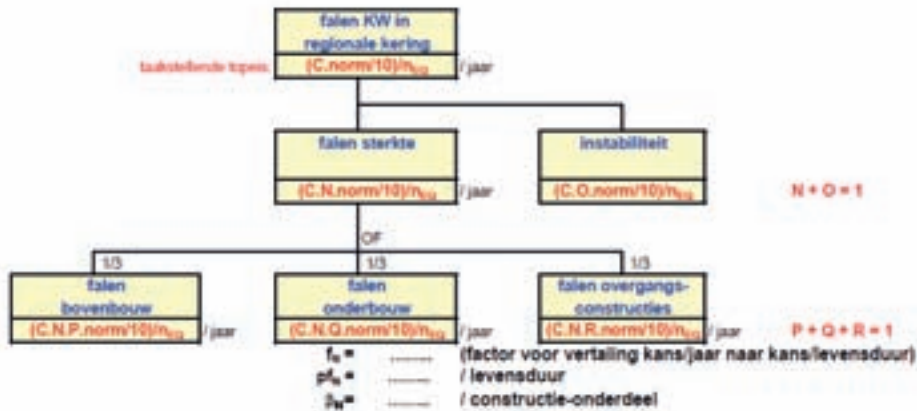


De in de figuur vermelde hoofdletters A t/m J zijn bepalend voor de faalkansruimte, die voor dijken of constructies wordt gereserveerd en kunnen vrij worden gekozen door de toetser, ontwerper of beheerder. Uit de figuur blijkt dat de taakstellende eisen voor kunstwerken en constructies is verdeeld over verschillende takken (I, II en III/IV). De reden daarvan is dat daarbij conform de Leidraad Waterkerende Kunstwerken onderscheid is gemaakt tussen de verschillende typen kunstwerken (type I, II, III of IV), met verschillende kenmerken en veiligheidseisen.

Bij de bepaling van taakstellende eisen voor een afzonderlijk kunstwerk wordt in verband met de eerder genoemde onafhankelijkheden tussen de afzonderlijke kunstwerken in plaats van het werkelijke aantal kunstwerken in de dijkkring uitgegaan van een equivalent aantal kunstwerken ( $n_{EQ}$ ). Een berekening daarvan is niet eenvoudig maar als eerste schatting kunnen de kunstwerken worden ingedeeld in clusters van type kunstwerken met vergelijkbare kenmerken (bijvoorbeeld voor type I constructies: keermuren, schutsluizen, keersluizen, gemalen, duikers etc.). Het aantal clusters is dan een redelijke eerste schatting voor  $n_{EQ}$ .

Daarna kunnen de taakstellende eisen per type constructie bijvoorbeeld worden bepaald aan de hand een deelschema op een dieper niveau, zoals bijvoorbeeld voor een type I constructie volgens figuur 4.2.

FIGUUR 4.2 VOORBEELD TAAKSTELLEDE EISEN CONSTRUCTIE-ONDERDELEN (CONSTRUCTIE TYPE I)



Uit het schema kan op het onderste niveau de taakstellende eis voor de constructie-onderdelen worden bepaald. Ter illustratie is dit in het voorbeeld van bijlage 1 nader uitgewerkt.

Voor constructies van type II kunnen op soortgelijke wijze met een daarop afgestemde topeis de taakstellende eisen voor de constructieonderdelen worden afgeleid. Voor de constructies van type III of IV dient in de desbetreffende tak van het schema van figuur 4.1 eerst een onderverdeling te gemaakt tussen imponderabilia, type III en IV constructies en niet-waterkerende objecten. Het volgende schema geeft daar een voorbeeld van.

FIGUUR 4.3 VOORBEELD ONDERSCHIED TUSSEN IMPONDERABILIA, CONSTRUCTIES TYPE III EN IV EN NWO'S



Voor de bepaling van de taakstellende eisen voor de constructies van type III of IV dient onder het laagste niveau van het schema een verdere onderverdeling van de faalkansruimte te worden gemaakt.

Toepassen van de dijkkringbenadering heeft ook effect op de eisen ten aanzien van de kerende hoogte en ten aanzien van de betrouwbaarheid van de keermiddelen. Veelal worden ten aanzien van de kerende hoogte de dijken en kunstwerken gezamenlijk beschouwd in een dijkkringbenadering (zie linker tak OVERBELASTING van figuur 4.1). De criteria zijn echter anders, namelijk respectievelijk overbelasting met betrekking tot erosie van het binnentalud

bij dijken en een kombergingscriterium bij kunstwerken, soms nog in combinatie met aanvullende criteria. De gevolgen van het onbedoeld niet gesloten zijn van een keermiddel 1 zijn afhankelijk van de open keerhoogte en de hoeveelheid instromend water. Voor kunstwerken met keermiddelen kan dezelfde aanpak worden gevolgd als bij kunstwerken zonder keermiddelen. Daarbij moet wel worden bedacht dat de taakstellende eisen verschillend zijn en dat meerdere kunstwerken tegelijk een bijdrage kunnen leveren aan het kombergend vermogen in het achterliggende gebied. Verder geldt dat bij de bepaling van het equivalent aantal kunstwerken dit enkel betrekking heeft op de kunstwerken met keermiddelen in de dijkkring.

Een alternatief is om de faalmechanismen voor de kerende hoogte van de kunstwerken in de dijkkring in open en gesloten situatie gecombineerd te beschouwen. Echter de correlaties tussen kunstwerken onderling met betrekking tot falen door een te lage hoogte of falen door het niet gesloten zijn van afsluitmiddelen zijn anders dan bij de beoordeling van de sterkte van het kunstwerk, wat een extra complicatie is bij het formuleren van een eis per kunstwerk in een dijkkringbenadering.

Het toepassen van een dijkkringbenadering kan vanzelfsprekend niet voor een enkel kunstwerk worden gedaan. Als besloten is tot een dijkkringbenadering, is daarom aan te bevelen dit in hoofdlijnen voor de gehele dijkkring uit te werken, waarna de resultaten per kunstwerk worden toegepast.



# 5

## FUNCTIONEEL ONTWERP

### 5.1 ONTWERPPROCES: BIJNA HETZELFDE ALS BIJ PRIMAIRE WATERKERINGEN

In dit hoofdstuk wordt generiek ingegaan op het feitelijke ontwerp van het waterkerend kunstwerk vanuit de rol van de beheerder. Cruciaal daarbij is dat het belang van de beheerder verder gaat dan ‘alleen een kunstwerk dat aan de veiligheidseisen voldoet’. De interesse van de beheerder gaat ook uit naar het toekomstig beheer en onderhoud, toetsbaarheid en dergelijke van het kunstwerk.

In theorie maakt het daarbij weinig verschil of het functioneel ontwerp van een waterkerend kunstwerk in een primaire of regionale waterkering betreft. Daarom wordt in dit hoofdstuk volstaan met een verwijzing naar hoofdstuk 4 van Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003]. Hierin wordt ingegaan op de rol van de beheerder, het ontwerpproces, de rapportage van het ontwerp, de veiligheidsfilosofie die in het ontwerp is gehanteerd, de rol van onderhoud in het ontwerpproces en de veiligheidstoetsing. In onderstaande paragraaf worden de belangrijkste verschillen tussen kunstwerken in primaire en regionale waterkeringen aangegeven.

### 5.2 VERSCHILLEN TUSSEN PRIMAIR EN REGIONAAL

#### 5.2.1 VERSCHIL IN PLANPERIODE, ROBUUSTHEID EN VEILIGHEIDSFILOSOFIE

Verschillen met primaire waterkeringen zijn onder andere:

- Het watersysteem kan sneller veranderen, bijvoorbeeld door nieuwbouw of door ingrepen in de waterbeheersing
- De gevolgen bij falen kunnen geringer zijn, met name bij kleine waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen met een lage normfrequentie
- Er komen veelal meer en kleinere kunstwerken voor, ook in verband met de dagelijkse waterbeheersing
- Er is een groot onderling verschil tussen de verschillende typen regionale waterkeringen, met name het onderscheid tussen boezem- en kanaalkaden met een constant hoge waterstand en waterkeringen langs regionale rivieren met een incidenteel hoge waterstand

Dit betekent dat bij de regionale waterkeringen meer overwegingen ten aanzien van planperiode en mate van robuustheid een rol spelen. Ook het gewenste veiligheidsniveau varieert hierdoor. In paragraaf 4.4 is hier nader op ingegaan.

Een uitgewerkte veiligheidsfilosofie voor regionale waterkeringen, met een vertaling naar de eisen, was nog niet beschikbaar. In hoofdstuk 4 van dit deel Algemeen is de veiligheidsfilosofie ingevuld voor waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen.

### 5.2.2 VERSCHIL IN FINANCIERING

In de praktijk zit er ook een verschil in het proces te komen tot de aanleg van of de versterking van een waterkerend kunstwerk in een primaire of een regionale waterkering. Dat verschil wordt in belangrijke mate veroorzaakt door de rol van de Rijksoverheid en daaraan verbonden de wijze van financieren van de werkzaamheden.

Verbeteringswerken aan waterkerende kunstwerken in primaire keringen worden vrijwel altijd volledig gesubsidieerd door het Rijk. Daar verbindt het Rijk voorwaarden aan die invloed hebben op het proces te komen tot de feitelijke uitvoering (onder meer plaatsing op het Hoogwaterbeschermingsprogramma met alle consequenties van dien) maar ook op het ontwerp (het ontwerp moet 'sober en doelmatig' zijn).

De versterking van waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen komt in de praktijk veelal ten laste van de waterkeringbeheerder of, indien sprake is van een particulier initiatief, van de initiatiefnemer. De waterkeringbeheerder stelt daarbij de regels vast, binnen het maatschappelijk aanvaardbare. Dit biedt de beheerder de mogelijkheid extra aandacht te besteden aan het toekomstig onderhoud, beheer, overlast voor de omgeving of robuustheid (zie ook bovenstaande paragraaf 5.2.1).

# 6

## VAN ONTWERP NAAR UITVOERING

### 6.1 PROCEDURES

In de Handreiking Beheer & Onderhoud Regionale Waterkeringen (nog te verschijnen) wordt uitgebreid ingegaan op de juridische aspecten, procedures en wetgeving voor het beheer en onderhoud van regionale waterkeringen. In deze Leidraad wordt volstaan met een verwijzing naar deze Handreiking. Daarbij wordt opgemerkt dat het de verwachting is dat werkzaamheden aan waterkerende kunstwerken veelal niet m.e.r.-(beoordelings)plichtig zijn.

### 6.2 MOGELIJKE VERGUNNINGEN

Bij de aanleg of wijziging van een kunstwerk in een regionale waterkering zijn vele instanties betrokken en zijn diverse vergunningen en ontheffingen noodzakelijk. Daarnaast moet op nieuwbouwlocaties onderzocht worden in hoeverre sprake is van een archeologische vindplaats, er explosieven kunnen voorkomen enzovoorts. Op enkele specifiek vanuit waterstaatkundig oogpunt vereiste vergunningen wordt kort ingegaan.

#### KEURVERGUNNING

Werkzaamheden in/rond een regionale waterkering of watergang zijn niet toegestaan zonder de instemming van de water(kering)beheerder, veelal het waterschap. Getoetst wordt of de voorgenomen werkzaamheden invloed (kunnen) hebben op de waterbeheersing of de waterkering. Mede op basis daarvan wordt besloten of een vergunning kan worden verleend en zo ja, welke voorschriften daar aan moeten worden verbonden. Bij waterstaatkundige kunstwerken is de belanghebbende en daarmee de opdrachtgever meestal ook het waterschap. De ene dienst van het waterschap zal daarmee vergunning aanvragen bij de afdeling vergunningverlening van het waterschap.

#### WVO-VERGUNNING (WET VERONTREINIGING OPPERVLAKTEWATER)

De aanleg van of het werk aan waterkerende kunstwerken zal regelmatig samen gaan met het afdammen en ontgraven van de bouwlocatie en het wegpompen van grondwater, bijvoorbeeld ten behoeve van de bouw van een stuw of een gemaal. Ter bescherming van de kwaliteit van het oppervlaktewater tegen verontreinigd grondwater is voor dergelijke werkzaamheden veelal een WVO-vergunning verplicht. Net als bij de keurvergunning geldt hier dat het waterschap naast de opdrachtgever ook vaak de bevoegde instantie is voor het verlenen van de vergunning. Dit is afhankelijk van de beheerder van het water waarop wordt geloosd.

#### MONUMENTENWET

Indien werkzaamheden aan een monument moeten plaatsvinden is de instemming van Monumentenzorg vereist. Monumentenzorg stelt strenge eisen aan alle herstelwerkzaamheden. Knelpunt daarbij kan zijn dat er nu andere bouwmaterialen en/of bouwtechnieken worden toegepast.

**AANLEGVERGUNNING**

Afhankelijk van het gestelde in het bestemmingsplan is voor de realisatie van een waterkerend kunstwerk een aanlegvergunning van de gemeente noodzakelijk. Daarbij moet een volledig ontwerp van het te realiseren waterkerende kunstwerk worden overlegd. Het is ook mogelijk dat een wijziging van het bestemmingsplan zelf noodzakelijk is.

**BOUW- EN SLOOPVERGUNNING**

Voor waterkerende kunstwerken die kunnen worden aangemerkt als bouwwerken, zoals gemalen, grote duikers, inlaten en dergelijke, is op grond van de Woningwet een bouwvergunning vereist. Wanneer eveneens een vrijstelling van het bestemmingsplan of een vergunning op grond van de Wet milieubeheer of de Monumentenwet benodigd is, zijn deze procedures aan elkaar gekoppeld. Bij sloop van een bouwwerk kan een sloopvergunning noodzakelijk zijn.

**VERGUNNING WEGENWET EN WEGENVERKEERSWET**

Voor aanpassingen aan wegen, zoals een veranderde ligging of het maken van een uitweg, is vergunning nodig van de wegbeheerder (dit zijn het Rijk, de provincie, de gemeente of het waterschap). Meestal is bij regionale waterkeringen de betreffende gemeente de wegbeheerder en wordt deze intern gecoördineerd met de besluitvorming op de bouw aanvraag en herziening van het bestemmingsplan. Indien voor de beoogde werkzaamheden een weg tijdelijk aan de openbaarheid moet worden onttrokken en verkeersmaatregelen worden getroffen, moet een procedure in het kader van de Wegenverkeerswet worden gevolgd.

**VERGUNNING WET MILIEUBEHEER**

Een aanvraag voor een vergunning in het kader van de Wet Milieubeheer moet, afhankelijk van de grootte van het te realiseren waterkerend kunstwerk, worden ingediend bij de desbetreffende gemeente dan wel bij Gedeputeerde Staten (GS). De aanvraag wordt gecoördineerd behandeld met de aanvraag in het kader van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren en de aanvraag voor de bouwvergunning. Naast inzicht in het beoogde ontwerp moet inzicht worden gegeven in de gevolgen van het beoogde waterkerend kunstwerk voor zijn omgeving.

**MILIEUEFFECTRAPPORTAGE WET MILIEUBEHEER**

Bij een vergunningaanvraag Wet Milieubeheer kan het bevoegd gezag aangeven dat een Milieu Effect Rapportage (MER) dient te worden opgesteld. Dit komt bij waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen echter slechts sporadisch voor. Het MER vormt een bijlage bij de aanvraag voor de vergunningen in het kader van de Wet Milieubeheer en de Wet Oppervlaktewateren. Voor de gewenste inhoud van het MER stelt het bevoegd gezag richtlijnen op. Deze MER is een zogenaamde 'inrichtingen'-MER en handelt alleen over het ontwerp van het waterkerend kunstwerk. Wanneer van toepassing kan ook een 'locatie' of een 'tracé'-MER worden gevraagd. Van de in de MER geselecteerde alternatieven moeten de milieueffecten worden beschreven. Belangrijke milieuaspecten zijn geluid, lucht (geur), water, veiligheid, woon- en leefmilieu, energieverbruik en hoeveelheid en aard afvalstoffen.

**VERGUNNING ONTGRONDINGENWET**

De aanleg van of het werken aan een waterkerend kunstwerk zal veelal gepaard gaan met graafwerkzaamheden. Is sprake van ontgroning dan is daarvoor een ontgrondingsvergunning noodzakelijk. Bij een vergunningaanvraag wordt de activiteit integraal beoordeeld. Om die reden moeten ook gegevens over ruimtelijke ordening, cultuurhistorische waarden, natuurwaarden en dergelijke worden aangeleverd.

**VERGUNNING/MELDING GRONDWATERWET**

Voor de aanleg van of het werken aan een waterkerend kunstwerk zal het geregeld voorkomen dat het grondwaterpeil tijdelijk moet worden verlaagd. Daarvoor is toestemming van Gedeputeerde Staten vereist. Dit kan via een melding of een vergunningaanvraag in het kader van de Grondwaterwet. Het onderscheid melding of vergunningaanvraag is afhankelijk van het gestelde in de Provinciale grondwateronttrekkingverordening. De bevoegdheid tot het verlenen van een vergunning voor ontgroningen in water ligt bij de minister van Verkeer en Waterstaat. De bevoegdheid tot het verlenen van vergunningen voor ontgroningen op het land en in provinciale wateren ligt bij Gedeputeerde Staten.

**ONTHEFFING VAN DE FLORA- EN FAUNAWET**

Het uitgangspunt van de Flora- en faunawet is dat activiteiten geen schade mogen aanrichten aan beschermde dieren of planten, tenzij dit uitdrukkelijk is toegestaan in een ontheffing. Bij activiteiten zoals de aanleg van of het werken aan een waterkerend kunstwerk moet worden nagegaan of een dergelijke ontheffing noodzakelijk is.

De wet maakt onderscheid tussen drie categorieën dieren en planten:

- Algemene soorten, waarvoor een algemene vrijstelling geldt
- Overige soorten, waaronder alle vogels, waarvoor een vrijstelling geldt met gedragscode
- Hoog beschermde soorten, waarvoor altijd een ontheffing moet worden aangevraagd

**ONTHEFFING NATUURBESCHERMINGSWET 1998**

De Natuurbeschermingswet 1998 behelst de bescherming van natuur en landschap. De gebiedsbescherming staat centraal in deze wet. De Natuurbeschermingswet 1998 omvat:

- Natura 2000-gebieden (Speciale beschermingszones Vogel- en Habitatrichtlijn)
- Beschermde natuurmonumenten (inclusief de (verouderde) Staatsnatuurmonumenten)

Voor beide geldt dat plannen en projecten op zichzelf óf in combinatie met andere plannen en projecten de natuurwaarden waarvoor de gebieden zijn aangewezen, niet significant negatief mogen beïnvloeden. Vergunningen worden verleend door provincies of door de Minister van LNV. Op dit moment worden voor alle Natura 2000-gebieden beheerplannen opgesteld die duidelijk maken welke activiteiten wel en niet zonder vergunning mogelijk zijn in en nabij die gebieden.

**KAPVERGUNNING**

Is voor het verrichten van werkzaamheden aan een waterkerend kunstwerk het kappen van beplanting noodzakelijk dan is daar, indien de gemeentelijke kapverordening dat voorschrijft, een kapvergunning voor noodzakelijk.

**6.3 MARKTBENADERING**

Het is een trend dat traditionele RAW-bestekken in de waterbouw steeds minder worden toegepast. Rijkswaterstaat heeft zelfs als beleid alleen geïntegreerde contracten op de markt te zetten ('De markt tenzij...'). Waterschappen kennen een dergelijk beleid overigens niet, geïntegreerde contracten worden bij waterschappen veel minder toegepast dan bij Rijkswaterstaat. Voorbeelden van geïntegreerde contractvormen zijn Design & Build; Design, Build & Maintain en Turnkey. Publiek-private samenwerking waarin ook nog eens de factor finance een rol speelt is een vorm die bij waterkerende kunstwerken slechts zelden voorkomt.

Deze nieuwe contractvormen brengen een andere verhouding tussen opdrachtnemer en opdrachtgever met zich mee. Doel van deze nieuwe contractvormen is het de opdrachtnemers mogelijk te maken innovatieve oplossingen aan te kunnen bieden. Om dit doel te bereiken moeten opdrachtgevers hun eisen aan het waterkerende kunstwerk functioneel specificeren, wat wil zeggen dat de eisen oplossingsvrij geformuleerd worden (dus zonder een bepaalde oplossing of oplossingsrichting voor te schrijven). Hierdoor verschuiven technische en organisatorische risico's van opdrachtgever naar opdrachtnemer. Het belang van goed risicomanagement neemt zowel voor de opdrachtgever als de opdrachtnemer dus toe. Voor opdrachtgevers biedt het de mogelijkheid niet alleen op prijs te gunnen maar kwaliteitsbepalende aspecten in het ontwerp en de uitvoering in het gunningstraject mee te wegen. Tevens kan tijdswinst behaald worden als gekozen wordt voor een geïntegreerd contract. Geïntegreerde contractvormen brengen wel voor opdrachtgevers met zich mee dat zij reeds in een vroeg stadium hun goedkeuring moeten verlenen aan de functionele specificatie. Tevens moeten zij er rekening mee houden dat het proces van goedkeuren langer doorloopt dan bij traditionele contracten, omdat de uitvoerende partij ook het ontwerp opstelt.

Geïntegreerde contractvormen worden in de praktijk alleen toegepast bij de grotere werken in de GWW-sector. Voor het leeuwendeel van de kunstwerken in regionale waterkeringen geldt dat zij dermate klein van omvang zijn dat de marktbenadering op traditionele wijze plaatsvindt. Alleen bij nieuwbouw en renovatie van 'grote' kunstwerken in regionale waterkeringen spelen geïntegreerde contractvormen mogelijk een rol. Tevens kan het zinvol zijn de nieuwbouw of renovatie van een cluster van kleinere waterkerende kunstwerken middels een geïntegreerd contract te realiseren.

Meer informatie over geïntegreerde contractvormen is onder andere te vinden in de volgende publicaties:

- UAV-GC 2005 [CROW, februari 2005]
- Het Geïntegreerd Samenwerkingsconcept gezien vanuit het contractueel kader [CROW, december 2004]
- UAV-GC: ruim baan voor innovatieve contracten [CROW, november 2004]

# 7

## UITVOERING

### 7.1 SEIZOENSRANDVOORWAARDEN (OPEN EN GESLOTEN SEIZOEN)

Bij het aanleggen van waterkerende kunstwerken of het uitvoeren van grootschalige verbeteringen aan de waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen kunnen beperkingen optreden door weersomstandigheden in het herfst- en winterseizoen. Dit is afhankelijk van het type regionale waterkering waarin de waterkerende kunstwerken zijn gelegen.

Voor voorlandkeringen, zomerkaden en de waterkeringen langs regionale rivieren lijkt het logisch om aan te sluiten bij de primaire waterkeringen. Dus ook hier het hanteren van een gesloten seizoen, wat per beheerder kan verschillen maar doorgaans van 1 oktober tot 1 april loopt. Voor de boezem- en kanaalkaden is er geen sprake van een hoogwater/stormseizoen, het is dan ook niet nodig om (seizoen)beperkingen te verbinden aan het werken aan de waterkering. Wel is de kans op extreme neerslag aan het eind van de zomer en in de herfst groter dan in de winter en het voorjaar. Dit kan een overweging zijn werkzaamheden aan waterkerende kunstwerken met een waterregulerende functie zo veel als mogelijk buiten het 'natte' seizoen te plannen. Het omgekeerde geldt voor kunstwerken met een inlaatfunctie, waaraan bij voorkeur niet binnen het 'droge' seizoen wordt gewerkt.

Ook in dit verband vormen de compartimenteringskeringen een verhaal apart. Deze waterkeringen zijn weliswaar niet direct kerend maar moeten in geval van falen van de voorliggende waterkering wel functioneren. Voor deze waterkeringen is een gesloten seizoen, gelijk aan dat van de voorliggende waterkering, te hanteren. Hierbij wordt opgemerkt dat hier voor droge compartimenteringskeringen naar eigen inzicht van de beheerder vanaf geweken kan worden. De kans dat de compartimenteringskering belast wordt, is ook in het gesloten seizoen erg klein.

Ook vanuit andere functies kunnen seizoensrandvoorwaarden leiden tot een 'gesloten seizoen'. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het zomerseizoen voor sluizen met een functie voor de recreatievaart.

### 7.2 AANDACHTSPUNTEN VANUIT OVERIGE FUNCTIES

Met de niet-waterkerende functies van een regionale waterkering (LNC-waarden, A-waarden, recreatie, verkeer et cetera) moet op zorgvuldige wijze worden omgegaan tijdens uitvoeringswerkzaamheden. Hierbij kan gedacht worden aan het herstel en/of behoud van bepaalde landschappelijke en cultuurhistorische elementen. Denk bijvoorbeeld aan het terugbrengen van natuurstenen dekzerken na renovatie van een sluiswand. Met name bij het herstel van waterkerende kunstwerken die als monument zijn aangewezen speelt het overleg met de Monumentencommissie een zeer belangrijke rol in de planvoorbereiding.

Maar vooral springen de te nemen maatregelen voor het sparen van natuurwaarden in het oog. Te denken valt hierbij aan het rekening houden met het broedseizoen en vismigratie-seizoen (zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts), voorkomen van verstoring van vleermuiskolonies enzovoorts.

### **STRENG BESCHERMDE SOORTEN**

Voorafgaand aan de realisatie dient er een voldoende dekkend en actueel overzicht van de verspreiding van de juridisch zwaarder beschermde planten- en diersoorten bij het waterkerende kunstwerk en de directe omgeving te zijn. In het geval van de soorten uit tabel 3 van de Flora- en faunawet dient een ontheffing te worden aangevraagd bij de Minister van LNV waarbij wordt aangetoond dat:

- Er sprake is van een dwingende reden van groot openbaar belang
- De ingreep niet op een andere, minder schadelijke wijze kan plaatsvinden
- De gunstige instandhouding van de getroffen soort(en) gewaarborgd is
- Voldoende mitigerende maatregelen worden toegepast (compensatie speelt eigenlijk bijna nooit bij waterkerende kunstwerken)

De benodigde maatregelen worden door het waterschap in een Programma van Eisen of besteksvoorschriften ook voorgeschreven aan anderen die werkzaamheden in opdracht van het waterschap uitvoeren. Het waterschap houdt hier toezicht op. Tijdens de werkzaamheden wordt gecontroleerd op het alsnog voorkomen of hervestigen van juridisch zwaarder beschermde soorten. Indien dit het geval is, worden plan en werkzaamheden hierop aangepast.

Waterkerende kunstwerken en bijbehorende gebouwen kunnen van belang zijn voor de volgende soortengroepen: (muur)planten, (broed)vogels, zoogdieren (vleermuizen en steenmarter), amfibieën en reptielen, de laatste vooral in verband met de overwintering. Het naleven van de volgende gedragsregels vermindert de negatieve gevolgen en vergroot de kans op het verkrijgen van een ontheffing:

- Voor planten geldt dat voorafgaand aan de werkzaamheden wordt geïnventariseerd hoe de instandhouding van populaties beschermde planten kan worden gewaarborgd. Groeiplaatsen van beschermde muurplanten en muurvegetaties worden zoveel mogelijk in stand gelaten. Veel muurplanten behoren tot de juridisch zwaarder beschermde soorten van tabel 2 van de Flora- en faunawet. Wanneer vernietiging van groeiplaatsen onvermijdelijk is worden beschermde muurplanten en muurvegetaties in dijkbekledingen, muren en gebouwen buiten de bloeitijd uitgestoken en elders in geschikt biotoop teruggeplaatst
- Gebouwen en waterkerende kunstwerken worden vóór de ingreep gecontroleerd op de aanwezigheid van onder meer (gier)zwaluwen, overwinterende (juridisch zwaarder beschermde) amfibieën en reptielen, steenmarters en vleermuizen. Bij positief resultaat vinden de werkzaamheden in beginsel plaats buiten de kwetsbare perioden van deze soorten. Denk hierbij aan het broed- en nestelseizoen van vogels (15 maart–15 juli), het migratie-seizoen voor vissen (per soort verschillend, globaal stroomopwaarts periode februari-juni, stroomafwaarts periode augustus-oktober) en de overwinteringsperiode voor juridisch zwaarder beschermde amfibieën, reptielen en zoogdieren (vleermuizen!). Bij aanwezigheid van vleermuiskolonies dient een ontheffing aangevraagd te worden
- Bij substantiële aantasting van groeiplaatsen en verblijfplaatsen van juridisch zwaarder beschermde soorten worden maatregelen genomen om bij herontwikkeling van de locatie nieuw leefgebied voor de desbetreffende planten en dieren te creëren. Te denken valt aan gebruik van speciale mortel voor muurplanten, nestelgelegenheid voor zwaluwen en holten die als verblijfplaats voor vleermuizen kunnen fungeren



### 7.3 SCHADE EN OVERLAST IN DE UITVOERINGSFASE

Realisatie van een waterkerend kunstwerk kan tijdens de uitvoering hinder voor de aan- en omwonenden met zich meebrengen, bijvoorbeeld doordat de bereikbaarheid van de aanwezige panden bemoeilijkt wordt. Vaak zullen beperkingen aan wegverkeer en scheepvaart worden gesteld. Transport van materiaal en materieel dient zorgvuldig te gebeuren. Onderkenning hiervan in de ontwerpfase is een pré voor de uitvoering.

Tijdens de aanleg kan tevens hinder ontstaan als gevolg van geluids- en trillingsoverlast en door het gebruikte materieel/materiaal. Uitvoering van werken kan leiden tot schade, zoals zettingschade of scheurvorming aan panden. Een doordacht ontwerp voorziet in het zoveel mogelijk uitsluiten van mogelijke schades. Tevens is het verstandig om een monitoringsprogramma op te zetten, waarbij het zettingsproces door middel van vaste meetpunten (zettingboutjes) in panden wordt gevolgd. Bouwkundige opnames leggen de toestand van bebouwing vóór, tijdens en na de werkzaamheden vast.

Belangrijk aandachtspunt bij renovatie van een waterkerend kunstwerk is dat de functie van het waterkerende kunstwerk tijdens de uitvoering mogelijk (deels) vervalt. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het vervallen van (een deel van) de bemalingscapaciteit van een gemaal of van de scheepvaartfunctie van een sluis. In het eerste geval kan een noodbemaling worden geïnstalleerd om de waterafvoer op het gewenste niveau te houden, in het tweede geval is een tijdelijke stremming van de scheepvaart vaak onvermijdelijk. Per situatie moet de beheerder afwegen welke tijdelijke oplossingen mogelijk en noodzakelijk zijn om behoud van de functie van het waterkerende kunstwerk gedurende de uitvoeringsperiode te waarborgen.

### 7.4 GRONDVERWERVING

Grondverwerving speelt doorgaans alleen een rol bij nieuwbouw van waterkerende kunstwerken of bij uitbreiding van een bestaand waterkerend kunstwerk en niet bij renovaties. De grondverwerving verloopt bij waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen niet anders dan bij waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen. Er wordt dan ook verwezen naar deel Algemeen paragraaf 6.4 van Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003].

Het gebruik maken van gronden van rechthebbenden voor bijvoorbeeld opslag- of depotruimte leidt doorgaans tot aantasting van die gronden. In dat geval moet, voordat een gedoogplicht wordt opgelegd, worden geprobeerd langs minnelijke weg tot overeenstemming te komen. Dit kan gebeuren door het sluiten van een overeenkomst met rechthebbenden waarbij de beheerder het recht verkrijgt de onroerende zaak aan te tasten en daarvoor een vergoeding betaalt. Bij aanleg of wijziging van een waterkerend kunstwerk wordt normaal gebruik van de betrokken grond door rechthebbenden doorgaans onmogelijk. In dat geval dient de grond te worden verworven (minnelijk of door onteigening). Voor een korte beschrijving van de juridisch relevante aandachtspunten van deze procedures wordt verwezen naar paragraaf 3.9.4 van de Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Boezemkaden [STOWA 2009-06].

## **7.5 VASTLEGGEN KENNIS EN GEGEVENS**

Het zorgvuldig vastleggen van het gehele realisatieproces is een eerste vereiste voor de daarop volgende gebruiksfase. De afwijkingen tussen ontwerp en uiteindelijke realisatie zullen in revisies moeten worden vastgelegd. Deze moeten aan het dossier van het waterkerende kunstwerk worden toegevoegd, zodat bij de toetsing van het onderhoud de daadwerkelijk gerealiseerde situatie exact bekend is. Aanbevolen wordt afwijkingen op het ontwerp na afronding van de uitvoeringsfase expliciet vast te leggen in een samenvattend document en op te nemen in het beheerregister.

# 8

## BEHEER

Het beheer omvat het geheel aan activiteiten dat er op is gericht de bestaande waterkering met de waterkerende kunstwerken zijn functies duurzaam te laten vervullen. In paragraaf 3.4 is daar kort op ingegaan, het proces kort toegelicht en zijn een aantal beheersinstrumenten behandeld.

Het maakt daarbij weinig verschil of het beheer van een waterkerend kunstwerk in een primaire waterkering of een regionale waterkering betreft. Om die reden wordt in dit hoofdstuk volstaan met een verwijzing naar hoofdstuk 6 van de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003]. In dit hoofdstuk van de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] wordt het inspectie- en onderhoudsplan, het bedieningsplan en uiteindelijk het calamiteitenplan behandeld.

Ook voor het onderhoud, dat een onderdeel vormt van het beheer, geldt dat het weinig verschil uitmaakt of het een waterkerend kunstwerk in een primaire waterkering of een regionale waterkering betreft. Hiervoor wordt verwezen naar bijlage 6 van de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003].



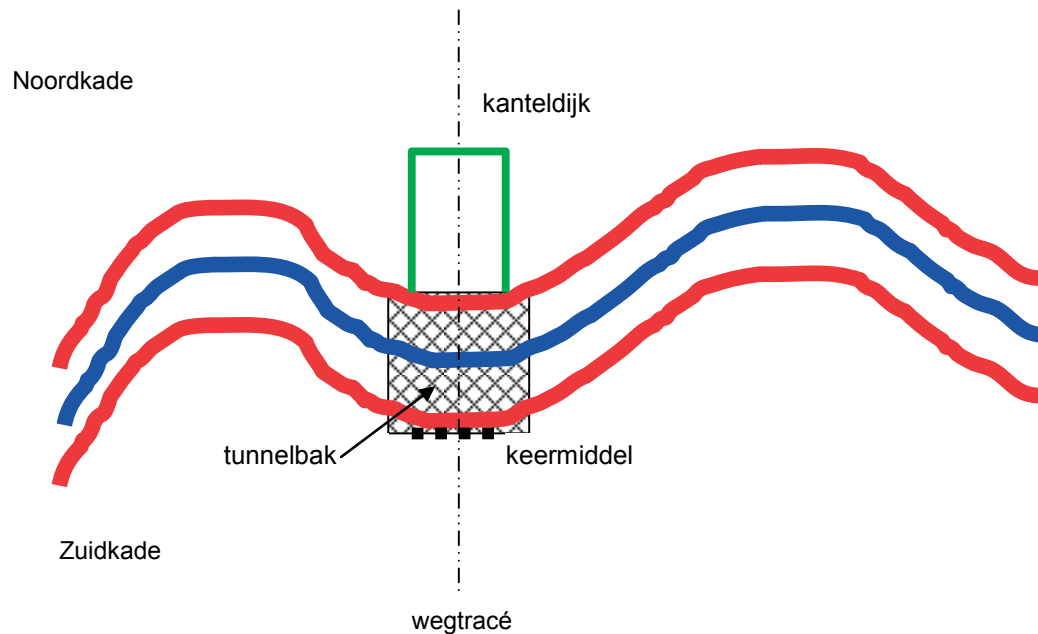
**BIJLAGE 1**

# VOORBEELD BEPALING TAAKSTELLEND EISEN TUNNEL/AQUADUCT IN BOEZEMKADE

## INLEIDING

Ten behoeve van een wegverlegging is een tunnel/aquaduct gepland die twee boezemkaden kruist. Ter plaatse van de kruising met de Noordkade is een kanteldijk en ter plaatse van de zuidzijde een keermiddel gepland. Een en ander is schematisch weergegeven in de volgende situatieschets.

FIGUUR B1 SITUATIESCHETS VAN DE KRUISSING VAN DE WEG EN DE TUNNELBAK MET DE BOEZEMKADEN



De constructie kan worden onderverdeeld in een aantal waterkerende elementen.

- 1 Bestaande waterkering Noordkade
- 2 Bestaande waterkering Zuidkade
- 3 Nieuw aan te leggen kanteldijk ter plaatse van de Noordkade
- 4 Keermiddel ter plaatse van de Zuidkade
- 5 Tunnelbak/aquaduct inclusief kwelschermen

De elementen 1) en 2) zijn onderdeel van de bestaande waterkering, die wordt doorsneden door het aquaduct. Element 3) is een gronddijk ter compensatie van de doorsnijding van het kunstwerk door de bestaande waterkering. Tevens zorgt deze dubbelzijdig kerende kanteldijk voor een scheiding van de twee kaderingen. De kanteldijk zal er immers voor zorgen dat wanneer één van de dijken langs de boezem doorbreekt, het water niet via het aquaduct van de ene polder naar de andere polder kan stromen. De elementen 4) en 5) zijn onderdeel van het waterkerende kunstwerk, dat wordt beschouwd als een constructie van type I (volledig zelfstandig waterkerend).

Door de keuze van een kanteldijk aan één zijde van de tunnelbak wordt de betonconstructie van de tunnel onderdeel van de waterkering. Deze moet voldoen aan toegespitste taakstellende eis voor de kerende hoogte, de sterkte van de constructie-onderdelen en de betrouwbaarheid van de sluiting van het keermiddelen. In dit voorbeeld zijn enkel taakstellende eisen voor de sterkte van de constructie-onderdelen nader uitgewerkt. Dit is gedaan op basis van een dijkvakbenadering en op basis van een dijkkringbenadering.

**TAAKSTELLEDE EISEN VOLGENS DIJKVAKBENADERING**

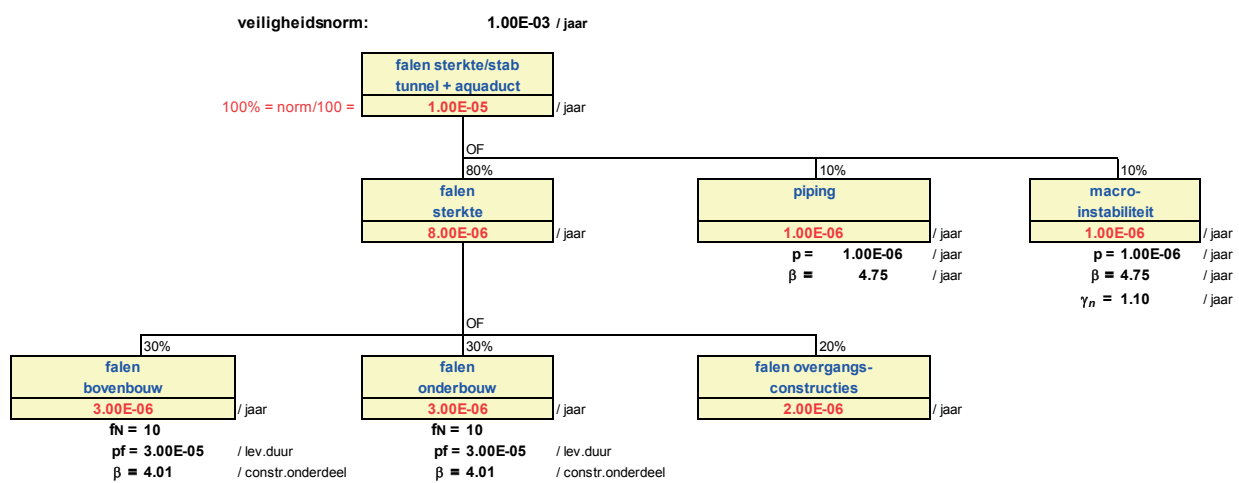
*Overloop/golfoverslag*

De boezemkaden behoren tot kadeklasse V, met een overschrijdingsfrequentie van het Maatgevend Boezempeil van 1:1000 (1,0E-3) per jaar (norm). De toelaatbare kans op overbelasting door overloop/golfoverslag moet minstens gelijk zijn aan de norm. Deze eis is hier voor de tunnel/aquaduct en het keermiddel niet verder uitgewerkt.

*Sterkte/stabiliteit*

De toelaatbare kans op falen van de constructie is gesteld op 1% van de norm of 1,0E-5/jaar. De verdeling van de faalkansruimte voor de verschillende constructie-onderdelen is bepaald aan de hand van het volgende schema.

FIGUUR B2 TAAKSTELLEDE EISEN VOOR CONSTRUCTIE-ONDERDELEN VOLGENS DIJKVAKBENADERING



Hierbij is als veilige, conservatieve benadering het falen van de verschillende constructie-onderdelen onafhankelijk van elkaar gesteld. Indien gewenst kan bij aantoonbare afhankelijkheid via de sterkte en/of de belasting de faalkansruimte per constructie-onderdeel worden vergroot, met de mogelijkheid tot minder strenge eisen per onderdeel. In de Leidraad Waterkerende Kunstwerken is aangegeven dat in veel gevallen van volledige afhankelijkheid uitgegaan kan worden en dan worden de eisen gevonden die in de hoofdtekst zijn opgenomen.

Uit het schema blijkt dat dit voor macro-instabiliteit leidt tot een toelaatbare stabiliteitsfactor van 1,10 (per jaar). Deze is berekend volgens het Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende grondconstructies.

Voor de constructie-onderdelen van de boven- en onderbouw leidt dit tot een vereiste betrouwbaarheidsindex van β = 4,01 (voor de levensduur). Dit is hoger dan de eis van β = 3,6 volgens veiligheidsklasse 3 van NEN 6702. De strengere eis wordt verdisconteerd door toepassing van een correctiefactor op de standaard materiaalfactoren (γM) van de NEN 6700 serie. De correctiefactoren (γCOR) zijn berekend volgens de methode uit de Leidraad Waterkerende Kunstwerken en moeten worden vermenigvuldigd met de materiaalfactoren uit de NEN 6700 serie. De resultaten zijn samengevat in de volgende tabel.

TABEL B1 AAN TE HOUDEN MATERIAALFACTOREN BIJ DIJKVAKBENADERING

| Materiaal        | Criterium   | $\gamma_M$           | $\gamma_{COR}$        | $\gamma_{M,COR} = \gamma_M \times \gamma_{COR}$ |
|------------------|-------------|----------------------|-----------------------|---|
|                  |             | (bij $\beta = 3,6$ ) | (bij $\beta = 4,01$ ) |   |
| constructiestaal | vloei grens | 1,00                 | 1,04                  | 1,04  |
| betonstaal       | treksterkte | 1,15                 | 1,19                  | 1,37  |
| betonstaal       | druksterkte | 1,20                 | 1,29                  | 1,55  |

*Betrouwbaarheid sluiting*

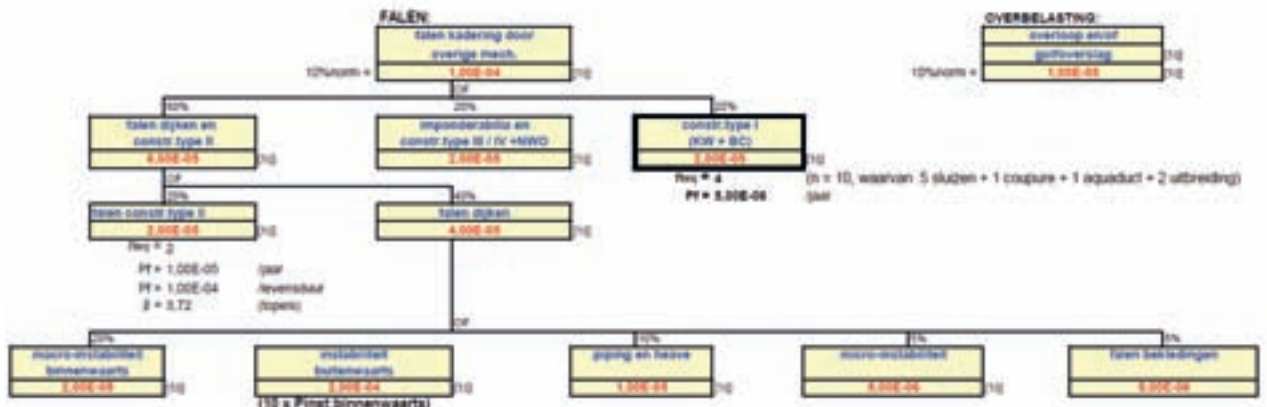
De toelaatbare kans op niet-sluiten van het keermiddel is gelijk aan 10% van de norm of  $1,0E-4$ /jaar. Deze eis is hier niet verder uitgewerkt

**TAAKSTELLEND EISEN VOLGENS DIJKRINGBENADERING**

*Verdeling faalkansruimte overige mechanismen*

De toelaatbare kans op falen van de kadering door overige mechanismen (anders dan overloop/golfoverslag) wordt gelijkgesteld aan 10% van de norm of  $1,0E-4$  per jaar. Binnen deze eis is aan elk faalmechanisme binnen de taakstellende eis voor de kadering een bepaalde faalkansruimte gereserveerd. Een en ander is weergegeven in de volgende figuur.

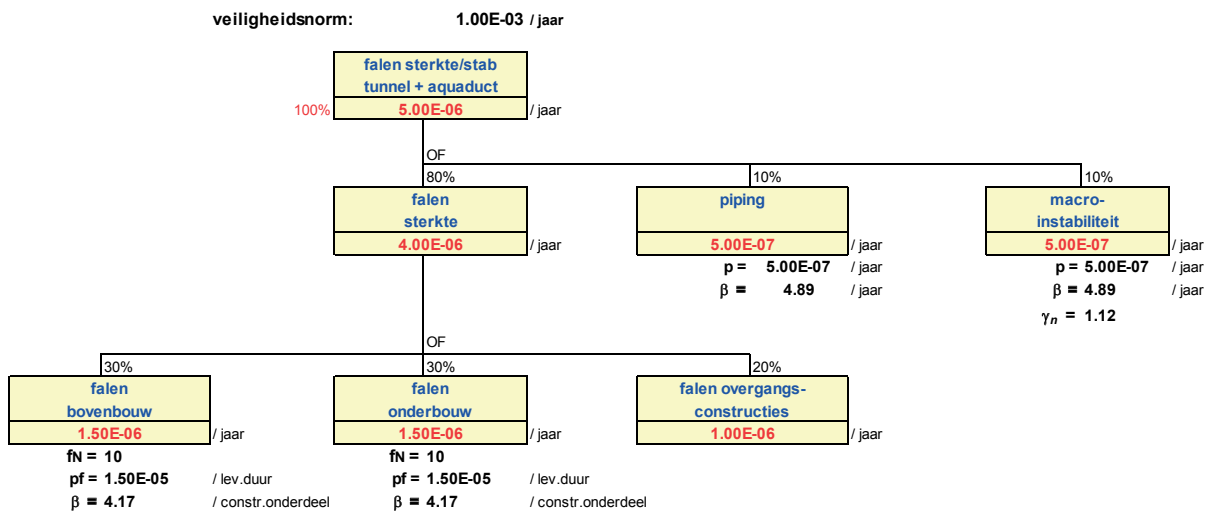
FIGUUR B3 VERDELING FAALKANSRUIMTE OVERIGE FAALMECHANISMEN VOLGENS DIJKRINGBENADERING



Uit het schema volgt dat voor alle constructies van type I in de kadering samen een toelaatbare faalkans geldt van  $2,0E-5$  per jaar. De 10 kunstwerken in de kadering zijn gegroepeerd in 4 clusters, welk getal gelijk is gesteld aan het equivalent aantal kunstwerken ( $n_{eq}$ ). Dit betekent dat de toelaatbare kans op falen van elk afzonderlijk kunstwerk gelijk is aan  $5,0E-6$  per jaar. De doorvertaling van deze taakstellende topeis is gedaan aan de hand van het volgende deelschema.



FIGUUR B4 TAAKSTELLEND EISEN VOOR CONSTRUCTIE-ONDERDELEN VOLGENS DIJKRINGBENADERING



Uit het schema blijkt dat dit voor macro-instabiliteit leidt tot een toelaatbare stabiliteitsfactor van 1,12 (per jaar). Deze is berekend volgens het Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende grondconstructies.

Voor de constructie-onderdelen van de boven- en onderbouw leidt de beschikbare faalkansruimte tot een vereiste betrouwbaarheidsindex van  $\beta = 4,17$  (voor de levensduur). Dit is hoger dan de eis van  $\beta = 3,6$  volgens veiligheidsklasse 3 van NEN 6702. De strengere eis wordt verdisconteerd door toepassing van een correctiefactor op de standaard materiaalfactoren ( $\gamma_M$ ) van de NEN 6700 serie. De correctiefactoren ( $\gamma_{COR}$ ) zijn berekend volgens de methode uit de Leidraad Waterkerende Kunstwerken en moeten worden vermenigvuldigd met de materiaalfactoren uit de NEN 6700 serie. De resultaten zijn samengevat in de volgende tabel.

TABEL B2 AAN TE HOUDEN MATERIAALFACTOREN BIJ DIJKRINGBENADERING

| Materiaal        | Criterium   | $\gamma_M$           | $\gamma_{COR}$        | $\gamma_{M \cdot COR} = \gamma_M \times \gamma_{COR}$ |
|------------------|-------------|----------------------|-----------------------|---|
|                  |             | (bij $\beta = 3,6$ ) | (bij $\beta = 4,17$ ) |   |
| constructiestaal | vloei grens | 1,00                 | 1,05                  | 1,05  |
| betonstaal       | treksterkte | 1,15                 | 1,21                  | 1,39  |
| betonstaal       | druksterkte | 1,20                 | 1,32                  | 1,58  |

Bij vergelijking met de materiaal factoren volgens de vakbenadering van tabel B1 blijkt dat in dit geval het verschil tussen de waarden volgens de dijkvak- en de dijkkringbenadering verwaarloosbaar klein is.



# LEIDRAAD WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN REGIONALE WATERKERINGEN ONTWERP

## INHOUD

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INLEIDING</b>   | <b>41</b> |
| <b>1.1</b> | Doel   | 41        |
| <b>1.2</b> | Relatie met andere leidraden   | 41        |
| <b>1.3</b> | Relatie met veiligheidstoetsing  | 42        |
| <b>1.4</b> | Kennisvragen   | 42        |
| <b>1.5</b> | Afbakening type waterkering waarin het waterkerende kunstwerk is opgenomen | 43        |
| <b>1.6</b> | Ontwerpproces  | 43        |
| <b>1.7</b> | Leeswijzer   | 44        |
| <b>2</b>   | <b>ROBUUST ONTWERPEN</b>   | <b>45</b> |
| <b>2.1</b> | Definitie  | 45        |
| <b>2.2</b> | Planperiode  | 45        |
| <b>2.3</b> | Ontwikkelingen   | 46        |
|            | 2.3.1 Hydraulische belastingen   | 46        |
|            | 2.3.2 Sterkte  | 46        |
|            | 2.3.3 Zettingen  | 46        |
|            | 2.3.4 Kennis en inzichten  | 46        |
| <b>2.4</b> | Eisen voor robuust ontwerpen   | 46        |
|            | 2.4.1 Algemeen   | 46        |
|            | 2.4.2 Robuustheidstoeslag  | 47        |
|            | 2.4.3 Uitbreidbaarheid   | 48        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>3</b>   | <b>BELASTINGEN</b>                               | <b>49</b> |
| <b>3.1</b> | Niveau van de belastingen                        | 49        |
| <b>3.2</b> | Soorten belastingen                              | 50        |
| <b>4</b>   | <b>KERENDE HOOGTE</b>                            | <b>53</b> |
| <b>4.1</b> | Faalmechanisme                                   | 53        |
| <b>4.2</b> | Eis  | 53        |
| <b>4.3</b> | Criterium  | 53        |
| <b>4.4</b> | Toeslag voor onzekerheden                        | 55        |
| <b>4.5</b> | Ontwerp  | 55        |
| <b>5</b>   | <b>STERKTE EN STABILITEIT</b>                    | <b>56</b> |
| <b>5.1</b> | Faalmechanismen                                  | 56        |
| <b>5.2</b> | Sterkte  | 56        |
| <b>5.3</b> | Stabiliteit                                      | 57        |
|            | 5.3.1 Overzicht                                  | 57        |
|            | 5.3.2 Geotechnische stabiliteit                  | 57        |
|            | 5.3.3 Fundering (verticaal evenwicht)            | 58        |
|            | 5.3.4 Piping en heave                            | 58        |
| <b>6</b>   | <b>BETROUWBAARHEID SLUITING</b>                  | <b>59</b> |
| <b>6.1</b> | Faalmechanisme                                   | 59        |
| <b>6.2</b> | Eis  | 59        |
| <b>6.3</b> | Ontwerp  | 61        |
| <b>7</b>   | <b>ONTWERP SPECIFIEKE CONSTRUCTIE-ONDERDELEN</b> | <b>62</b> |
| <b>7.1</b> | Bodemverdediging                                 | 62        |
| <b>7.2</b> | Plaats en aantal afsluitmiddelen bij leidingen   | 63        |
| <b>7.3</b> | Vervangende waterkering                          | 63        |

# 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, inlaatsluizen, uitwateringssluizen, keersluizen, schutsluizen, uitwaterende en inlatende pijpleidingen en duikers, tunnels. In de definitie van de Leidraad Waterkerende Kunstwerken voor primaire waterkeringen (TAW, 2003) betreft dit constructies van type 1. Bijzondere waterkerende constructies zoals langsconstructies (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 polderen boezemwatersystemen worden niet behandeld. Kunstwerken in waterkeringen die dienen als compartimenteringskering in een dijkringgebied worden wel behandeld.

Doel van dit deel Ontwerp van de Leidraad Waterkerende 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 Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003]
- Handreiking Ontwerpen en verbeteren Waterkeringen langs regionale rivieren [STOWA 2009-07]
- Handreiking Ontwerpen en verbeteren Boezemkaden [STOWA 2009-06]

De Leidraad Waterkerende 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

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

dan bij primaire waterkeringen. Waar mogelijk wordt volstaan met een verwijzing naar de Leidraad Waterkerende 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 Waterkerende 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.

- 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].

In paragraaf 4.3 van de Leidraad Waterkerende 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 Waterkerende 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 Waterkerende 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.

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

## 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 ontwerp-aspecten 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.



# 2

## ROBUUST ONTWERPEN

### 2.1 DEFINITIE

Een onderdeel van de ontwerpuitgangspunten 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 dat 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.

## 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 'robustheidstoeslag' 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 robustheidstoeslag ligt in principe bij de beheerder van het kunstwerk. Een maat voor de robustheidstoeslag kan gevonden worden in de onzekerheidsmarge in de ontwerpwaterstanden. De robustheidstoeslag 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 kadeclassie (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 kadeclassie 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 robustheidstoeslag 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<br>[jaar] | 1/10 -1/30<br>per jaar | 1/ 100<br>per jaar | 1/300 – 1/1000<br>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/<br>voorlandkeringen/<br>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 robustheidstoeslag 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.

# 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.

#### *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 Waterkerende 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



# 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 sluisen, 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.

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 waakhoogte 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 robuustheidstoets 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 Waterkerende 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 uitlaatuikers en perskokers.

# 5

## STERKTE EN STABILITEIT

### 5.1 FAALMECHANISMEN

Er is een duidelijke 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<br>[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 Waterkerende 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 Waterkerende 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.

#### *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 Waterkerende 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 Waterkerende 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 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].

# 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 dijkkringgebied 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 Waterkerende 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.

#### **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 uitwatert 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 Waterkerende 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 Waterkerende 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 Waterkerende Kunstwerken (hoofdstuk B3) [TAW, 2003] volgt.

De Leidraad Waterkerende 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 binnendijks 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.

# 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 top laag en de ondergrond dient een adequaat filter te worden aangebracht, om te voorkomen dat de grond door de top laag 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 Waterkerende 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:<br>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.



# LEIDRAAD WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN REGIONALE WATERKERINGEN TOETSING

## INHOUD

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INLEIDING</b>                                    | <b>67</b> |
| 1.1      | Doel  | 67        |
| 1.2      | Toetsen versus ontwerpen                            | 67        |
| 1.3      | Uitgangspunten                                      | 68        |
| 1.4      | Ondersteuning tijdens de toetsing                   | 69        |
| 1.5      | Kennisvragen  | 69        |
| 1.6      | Leeswijzer  | 69        |
| <b>2</b> | <b>BEOORDELING VAN DE VEILIGHEID</b>                | <b>71</b> |
| 2.1      | Wijze van beoordelen                                | 71        |
| 2.2      | Beoordelingssporen                                  | 72        |
| 2.3      | Beheerdersoordeel                                   | 72        |
| 2.4      | Waardering van de veiligheid                        | 73        |
| 2.5      | Opzet toetsingsprocedure                            | 73        |
|          | 2.5.1 Algemene opzet en prioritering                | 73        |
|          | 2.5.2 Vooronderzoek en eenvoudige beoordeling       | 74        |
|          | 2.5.3 Nader onderzoek en gedetailleerde beoordeling | 75        |
|          | 2.5.4 Geavanceerd onderzoek                         | 77        |
| <b>3</b> | <b>BELASTINGEN</b>                                  | <b>78</b> |
| 3.1      | Inleiding   | 78        |
| 3.2      | Hydraulische belastingen                            | 78        |
|          | 3.2.1 Waterpeil                                     | 78        |
|          | 3.2.2 Binnendijkse waterstanden                     | 78        |
|          | 3.2.3 Windgolven                                    | 79        |
| 3.3      | Overige belastingen                                 | 79        |
| <b>4</b> | <b>FAALMECHANISMEN</b>                              | <b>80</b> |
| 4.1      | Algemeen  | 80        |
| 4.2      | Overlopen en golfoverslag                           | 80        |
| 4.3      | Stabiliteit   | 81        |
| 4.4      | Constructief falen                                  | 81        |
| 4.5      | Piping en heave                                     | 81        |
| 4.6      | Stabiliteit voorland                                | 82        |
| 4.7      | Sluiting afsluitmiddelen                            | 82        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>5</b>   | <b>TOETSING</b>   | <b>83</b>  |
| <b>5.1</b> | <b>Prioritering voor te toetsen kunstwerken</b>   | <b>83</b>  |
|            | 5.1.1 Boezemwaterkeringen   | 83         |
|            | 5.1.2 Overige typen regionale waterkeringen   | 84         |
| <b>5.2</b> | <b>Opzet toetsmethodiek</b>   | <b>84</b>  |
| <b>5.3</b> | <b>De bruikbaarheid van bewezen sterkte</b>   | <b>84</b>  |
| <b>5.4</b> | <b>Boezemwaterkeringen</b>  | <b>86</b>  |
|            | 5.4.1 Belastingen   | 86         |
|            | 5.4.2 Overzicht beoordelingssporen waterkerende kunstwerken in boezemwaterkeringen        | 86         |
|            | 5.4.3 Kerende hoogte  | 87         |
|            | 5.4.4 Stabiliteit van constructie en grondlichaam   | 91         |
|            | 5.4.5 Sterkte van waterkerende constructie-onderdelen                                     | 94         |
|            | 5.4.6 Piping en heave   | 95         |
|            | 5.4.7 Stabiliteit voorland  | 98         |
|            | 5.4.8 Betrouwbaarheid sluiting  | 98         |
| <b>5.5</b> | <b>Keringen langs regionale rivieren</b>  | <b>101</b> |
|            | 5.5.1 Belastingen   | 101        |
|            | 5.5.2 Overzicht beoordelingssporen waterkerende kunstwerken in regionale rivierkeringen   | 102        |
|            | 5.5.3 Kerende hoogte  | 102        |
|            | 5.5.4 Stabiliteit van constructie en grondlichaam   | 106        |
|            | 5.5.5 Sterkte van waterkerende constructie-onderdelen                                     | 106        |
|            | 5.5.6 Piping en heave   | 107        |
|            | 5.5.7 Stabiliteit voorland  | 107        |
|            | 5.5.8 Betrouwbaarheid sluiting  | 107        |
| <b>5.6</b> | <b>Voorlandkeringen en zomerkades</b>   | <b>109</b> |
|            | 5.6.1 Beschrijving functies en kenmerken voorlandkeringen en zomerkades                   | 109        |
|            | 5.6.2 Belastingen   | 109        |
|            | 5.6.3 Beoordeling waterkerende kunstwerken in voorlandkeringen en zomerkades              | 109        |
| <b>5.7</b> | <b>Compartimenteringskeringen</b>   | <b>110</b> |
|            | 5.7.1 Belastingen   | 110        |
|            | 5.7.2 Overzicht beoordelingssporen waterkerende kunstwerken in compartimenteringskeringen | 110        |
|            | 5.7.3 Kerende hoogte  | 111        |
|            | 5.7.4 Stabiliteit van constructie en grondlichaam   | 111        |
|            | 5.7.5 Sterkte van waterkerende constructie-onderdelen                                     | 113        |
|            | 5.7.6 Piping en heave   | 113        |
|            | 5.7.7 Stabiliteit voorland  | 113        |
|            | 5.7.8 Betrouwbaarheid sluiting  | 113        |
| <b>6</b>   | <b>OMGAAN MET TOETSINGSRESULTATEN</b>   | <b>115</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Beheerdersoordeel</b>  | <b>115</b> |
| <b>6.2</b> | <b>Vaststellen eindresultaat</b>  | <b>116</b> |
|            | 6.2.1 Afweging tussen technische score en beheerdersoordeel                               | 116        |
|            | 6.2.2 Veiligheid op gebiedsniveau   | 117        |
|            | 6.2.3 Status en waardering van de beoordeling van compartimenteringskeringen              | 117        |
| <b>6.3</b> | <b>Maatregelen op grond van toetsresultaten</b>   | <b>118</b> |
| <b>6.4</b> | <b>Rapportage van de veiligheidstoetsing</b>  | <b>119</b> |
|            | 6.4.1 Rapportage aan GS   | 119        |
|            | 6.4.2 Beoordelingsrapport op kunstwerkniveau  | 119        |
|            | <b>LITERATUUR</b>   | <b>121</b> |
|            | <b>BEGRIPPENLIJST</b>   | <b>122</b> |
|            | <b>BIJLAGE 1 GRAFIEKEN TER BEPALING VAN GOLFOVERSLAGHOOGTE</b>                            | <b>125</b> |

# 1

## INLEIDING

### 1.1 DOEL

Dit deel Toetsing beschrijft de systematiek voor de toets op veiligheid van de verschillende soorten waterkerende kunstwerken in alle vier de gedefinieerde typen regionale waterkeringen<sup>1</sup>:

- Boezemwaterkeringen
- Waterkeringen langs regionale rivieren
- Droge of compartimenteringskeringen
- Voorlandkeringen

Doel van dit deel Toetsing van de Leidraad Waterkerende Kunstwerken in regionale waterkeringen is te komen tot een landelijk uniforme uitwerking van de toetsing van de actuele veiligheid van de waterkerende kunstwerken in de regionale waterkeringen door de verschillende beheerders. Op basis van dit deel Toetsing kan de veiligheid van de waterkerende kunstwerken in de regionale waterkeringen worden getoetst aan de gestelde veiligheidsnorm. Hiertoe beschrijft dit deel Toetsing de wijze waarop de beoordeling van de veiligheid uitgevoerd dient te worden. Uiteindelijk doel is op eenvoudige wijze op landelijk niveau een volledig en eenduidig beeld te verkrijgen van de veiligheid van de regionale waterkeringen en de bescherming van gebieden tegen overstromen.

Waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen vervullen altijd meerdere functies. Denk hierbij aan de functie in de waterbeheersing, afwikkeling van land- en scheepvaartverkeer, recreatieve functie enzovoort. De toets op veiligheid betreft uitsluitend de waterkerende functie van de regionale waterkering.

### 1.2 TOETSEN VERSUS ONTWERPEN

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. Na uitvoering van de toetsing zal gewerkt gaan worden aan de verbetering van de veiligheid van de waterkerende kunstwerken. Met nadruk wordt opgemerkt dat de toetsregels en -criteria in voorliggend deel Toetsing van deze Leidraad specifiek gelden voor het toetsen van de veiligheid van een waterkerend kunstwerk in een regionale waterkering, en dus niet bedoeld zijn voor het ontwerpen van verbeteringen of nieuwbouw van waterkerende kunstwerken. De rekenregels voor het toetsen komen namelijk niet op alle punten overeen met de methoden voor het ontwerpen van waterkerende kunstwerken. De belangrijkste verschillen tussen ontwerpen en toetsen zijn het verschil in tijdshorizon (planperiode 50-100 jaar bij ontwerpen versus eerstvolgende peildatum bij toetsen<sup>2</sup>) en het gegeven dat in een toetsituatie de geometrie reeds vastligt

1 Visie op regionale waterkeringen [Unie van Waterschappen, 2004]

2 De primaire waterkeringen worden iedere zes jaar getoetst, voor regionale waterkeringen is nog geen frequentie van toetsen afgesproken. Het voorstel vanuit de provincies is hiervoor een termijn van 12 jaar te hanteren.

waarbij in een ontwerp van meerdere vrijheden kan worden uitgegaan. Voor het ontwerpen van waterkerende kunstwerken wordt verwezen naar het deel Ontwerp van deze Leidraad.

### 1.3 UITGANGSPUNTEN

Het toetsen op veiligheid van de waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen maakt onderdeel uit van de toetsing van de gehele regionale waterkering. Hiervoor is in 2007 de Leidraad Toetsen op veiligheid regionale waterkeringen ontwikkeld [STOWA 2007-02]. Hierin wordt een uitgebreide beschrijving gegeven van een aantal zaken dat samenhangt met het proces rondom de veiligheidstoetsing van regionale waterkeringen. Het spreekt voor zich dat deze zaken vaak ook van toepassing zijn op de toetsing van de waterkerende kunstwerken in de regionale waterkeringen. Veelal worden deze zaken korthedshalve niet overgenomen in dit deel Toetsing, maar wordt volstaan met een verwijzing naar de Leidraad Toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02]. De belangrijkste zaken die hierin al omschreven staan zijn:

- Beschrijving afleiding en vaststelling van de benodigde hydraulische randvoorwaarden
- Beschrijving van de vier gedefinieerde typen regionale waterkeringen
- Beschrijving van het proces van aanwijzen en normeren tot beheren en onderhouden

Overige uitgangspunten die zijn gehanteerd bij het opstellen van dit deel Toetsing zijn:

- De veiligheidsnorm, waaraan de regionale waterkeringen moeten voldoen waarin de waterkerende kunstwerken zijn opgenomen, is vastgesteld. Ditzelfde geldt voor de daarbij te hanteren hydraulische randvoorwaarden en andere relevante belastingen. De veiligheidsnorm wordt door de provincie vastgesteld
- Het beheer en onderhoud van de regionale waterkeringen – en hiermee de waterkerende kunstwerken die hierin gelegen zijn - is erop gericht de veiligheidssituatie op een voldoende niveau te houden. Dit is tevens van belang voor het blijven voldoen aan het verkregen toetsresultaat
- Bij de toetsing van waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen wordt onderscheid gemaakt in vier verschillende typen regionale waterkeringen (zie ook paragraaf 1.1). Dit onderscheid is gebaseerd op verschillen in de relevante kenmerken van de hydraulische belasting van deze waterkeringen. Zodoende wordt bij de beoordeling van een waterkerend kunstwerk per type regionale waterkering soms meer of minder aandacht besteed aan een bepaald faalmechanisme. Deze differentiatie vereist dat voorafgaand aan de toetsing het type regionale waterkering, waarin het waterkerend kunstwerk is opgenomen, vaststaat. Uitgangspunt bij de toetsing is dus dat het type regionale 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. Deze Leidraad bevat dan ook geen nadere toelichting omtrent de typering van de verschillende regionale waterkeringen.

Indien een waterkerend kunstwerk niet voldoet aan de gestelde norm zal veelal het initiatief worden genomen om het kunstwerk te verbeteren. Hiervoor wordt verwezen naar het deel Ontwerp van deze Leidraad. 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 kunstwerk kan worden overwogen de hydraulische belasting te verlagen door ingrepen in het watersysteem. Bij waterkerende kunstwerken is dit echter zelden efficiënt, omdat de verbetering van een kunstwerk doorgaans met relatief beperkte middelen (ten opzichte van een verbetering van de regionale kering) mogelijk is.



#### 1.4 ONDERSTEUNING TIJDENS DE TOETSING

Gedurende de uitvoering van de toetsing kunnen de waterkeringbeheerders of hun adviseurs voor vragen terecht bij de Helpdesk Water ([www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl) of [contact@helpdeskwater.nl](mailto:contact@helpdeskwater.nl)). Zonodig wordt periodiek informatie verspreid over veelgestelde vragen en de antwoorden of over eventuele onvolkomenheden in de Leidraad.

#### 1.5 KENNISVRAGEN

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

- Op dit moment werkt het Rijk voor primaire waterkeringen aan nationaal beleid inzake buitendijkse gebieden. Dit maakt het lastig een eenduidig toetsingskader 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. Gelet daarop wordt ook geadviseerd om hangende de beleidsontwikkeling, op basis van de toetsing niet zonder meer over te gaan tot de uitvoer van versterkingswerken.
- 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 hiervoor praktische handreikingen gedaan ten aanzien van de stabiliteit en betrouwbaarheid sluiting van waterkerende kunstwerken in compartimenteringskeringen.

#### 1.6 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt in algemene zin ingegaan op de beoordeling van de veiligheid van waterkerende kunstwerken in regionale keringen. Aandacht is er daarbij voor het overzicht van beoordelingssporen, de gefaseerde aanpak van het toetsonderzoek (de invulling van de 'van grof naar fijn' benadering), en de wijze waarop de toetsing en het toetsresultaat kan worden gerapporteerd en gepresenteerd.

In hoofdstuk 3 worden de belastingen behandeld die bij het toetsen van waterkerende kunstwerken in regionale keringen een rol kunnen spelen. De belangrijkste daarbij zijn uiteraard de hydraulische belastingen (waterstanden en golven). Nadrukkelijk wordt stilgestaan bij de situatie waarin de toetsbelasting weinig afwijkt van de dagelijkse belasting, zoals bij boezemwaterkeringen met een lage norm.

Hoofdstuk 4 geeft een overzicht en beschrijving van de faalmechanismen die bij de toetsing van waterkerende kunstwerken een rol spelen.

In hoofdstuk 5 komt de concrete aanpak van de beoordeling van de waterkerende veiligheid van de waterkerende kunstwerken aan de hand van de onderscheiden beoordelingssporen aan de orde. Hierbij wordt dieper ingegaan op specifieke randvoorwaarden en uitgangspunten, gestelde eisen en methoden die voor het betreffende type regionale kering van toepassing zijn.

Hoofdstuk 6 geeft aan op welke wijze het beheerdersoordeel in het eindoordeel van de toetsing moet worden verwerkt. Aansluitend wordt een overzicht gepresenteerd van mogelijke verbetermaatregelen ingeval een onvoldoende toetsresultaat gerapporteerd wordt. Dit wordt gedaan per toetsspoor.

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

# 2

## BEOORDELING VAN DE VEILIGHEID

### 2.1 WIJZE VAN BEOORDELEN

Het beoordelen van de veiligheid betreft het zo goed mogelijk bepalen van de sterkte van een waterkerend kunstwerk en het vergelijken daarvan met de vereiste sterkte die behoort bij de norm die is gesteld aan de regionale waterkering waarin het kunstwerk is gelegen. Deze beoordeling beschouwt meerdere faalmechanismen. Per faalmechanisme wordt een toetsspoor doorlopen. De toetssporen zijn zodanig opgesteld dat op een zo hoog mogelijk abstractieniveau een oordeel over de veiligheid van het beschouwde faalmechanisme kan worden toegekend.

De uitwerking start met de meest eenvoudige maar ook meest conservatieve beoordeling. Wordt op dat niveau aan de veiligheidsnorm voldaan (score 'goed' of 'voldoende') dan is het waterkerend kunstwerk voor dat toetsspoor veilig. Voor het betreffende spoor is geen verder onderzoek meer nodig. Is het niet mogelijk om op een hoger abstractieniveau een toetsoordeel te vullen, dan wordt de toetsing op een lager abstractieniveau (meer gedetailleerd) voortgezet. De beoordeling gaat dan een stap dieper in op het faalmechanisme, en vergt meer inspanning van de beheerder. In totaal zijn er drie uitwerkingsniveaus:

- Niveau 1: eenvoudige beoordeling
- Niveau 2: gedetailleerde beoordeling
- Niveau 3: geavanceerde beoordeling

De beoordeling start normaliter met een uitwerking op een eenvoudig niveau. Op dit niveau is de beoordeling vaak in eerste instantie gericht op een controle of het betreffende faalmechanisme wel kan optreden, waarna vervolgens de veiligheid kan worden ingeschat op basis van evident veilige kenmerken. Deze controle en inschatting worden uitgevoerd aan de hand van enkele eenvoudig toe te passen criteria. Hieronder valt ook het criterium 'bewezen sterkte', dat met name van toepassing is op waterkerende kunstwerken in een boezemwaterkering met een lage veiligheidsnorm.

Indien op basis van de beoordeling op eenvoudig niveau niet de deelscore 'goed' of 'voldoende' kan worden toegekend, volgt de beoordeling op een lager abstractieniveau. Ook indien de beoordeling op een eenvoudig niveau niet kan worden uitgewerkt, volgt de uitwerking op het volgende niveau. Mogelijk blijkt uit een eenvoudige beoordeling reeds voldoende duidelijk dat ook een meer gedetailleerde uitwerking niet zal resulteren in de deelscore 'voldoende' of 'goed'. In dat geval hoeven niet alle niveaus te worden doorlopen, en kan direct voor het betreffende spoor een eindoordeel worden vastgesteld.

Bij een gedetailleerder uitwerkingsniveau neemt de vereiste (onderzoeks-)inspanning en de hoeveelheid benodigde informatie toe. De geavanceerde beoordeling is bijvoorbeeld vaak een nadere uitwerking van de gedetailleerde beoordeling, bijvoorbeeld na verzameling van aanvullende gegevens en met toepassing van bijzondere rekenmethodes. Deze beoordeling vraagt vaak om uitvoering door deskundigen.

Indien met de beschikbare gegevens niet tot een oordeel kan worden gekomen en verwacht wordt dat het verzamelen van aanvullende gegevens kan leiden tot een score 'voldoende' of 'goed', dan wordt een score 'geen oordeel' gegeven. In de volgende toetsronde moet de beheerder zich richten op het wegnemen van deze score 'geen oordeel'.

Opgemerkt wordt dat er een enorme diversiteit bestaat in soorten, afmetingen en omstandigheden van waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen. Hierdoor is ieder kunstwerk op maat gemaakt en derhalve uniek. Dit betekent dat een toetsspoor alleen op hoofdlijnen kan worden beschreven en dat de invulling per kunstwerk maatwerk is.

Tot slot geldt dat er een enorm aantal waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen aanwezig is. Om de benodigde toetsinspanning te beperken is het belangrijk voorafgaand aan de toetsing vast te stellen welke waterkerende kunstwerken daadwerkelijk in potentie een bijdrage kunnen leveren aan de faalkans van de regionale waterkering waarin het waterkerend kunstwerk is opgenomen en welke niet. Deze laatste categorie kan hiermee buiten de toetsing worden gelaten. In hoofdstuk 5 worden hiervoor handreikingen gedaan.

## 2.2 BEOORDELINGSSPOREN

De beoordeling van een waterkerend kunstwerk in een regionale kering verloopt volgens dezelfde beoordelingssporen als een kunstwerk in een primaire waterkering:

- Hoogte (HT) van de constructie, de afsluitmiddelen en het aanliggende grondlichaam
- Stabiliteit en sterkte (ST) van het waterkerend kunstwerk zelf, de waterkerende onderdelen van het waterkerend kunstwerk, de afsluitmiddelen en het aanliggende grondlichaam, onderverdeeld in:
  - Stabiliteit van constructie en grondlichaam (STCG)
  - Sterkte van (waterkerende) constructie-onderdelen (STCO)
  - Piping en heave (STPH)
  - Stabiliteit van het voorland (STVL)
- Betrouwbaarheid sluiting (BS)

De beoordelingssporen resulteren in een (technisch) toetsoordeel, waarbij per beoordelingsspoor wordt vastgesteld of de veiligheid van het waterkerend kunstwerk goed, voldoende of onvoldoende voldoet aan de norm. Indien onvoldoende informatie beschikbaar is voor een toetsoordeel, kan de aanduiding 'geen oordeel' resulteren. In dergelijke gevallen dient de reden (de ontbrekende informatie) te worden gespecificeerd.

## 2.3 BEHEERDERSOORDEEL

De inschatting van de beheerder van het betreffende waterkerende kunstwerk over de actuele sterkte van het kunstwerk maakt onderdeel uit van de veiligheidstoetsing. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 2.3 van de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02].

Hierbij beoordeelt de beheerder de veiligheid van een waterkerend kunstwerk ten aanzien van een faalmechanisme op grond van praktijkervaringen of kennis die niet wordt gebruikt in de toetssporen. Indien het beheerdersoordeel verschilt van het technisch oordeel, is dit in eerste instantie aanleiding voor nader onderzoek. Hoofdstuk 6.2 gaat nader in op de afweging tussen het technisch oordeel en het oordeel van de beheerder.

## 2.4 WAARDERING VAN DE VEILIGHEID

De veiligheid van een waterkerend kunstwerk in een regionale waterkering wordt beoordeeld op meerdere faalmechanismen. De beoordeling per faalmechanisme geschiedt op basis van een toetsspoor. Op basis van de scores van alle toetssporen wordt per waterkerend kunstwerk een eindoordeel over de veiligheid opgesteld. Dit eindoordeel betreft de laagste score van een van de toetssporen. Een waterkerend kunstwerk voldoet aan de toetscriteria indien geen van de toetssporen resulteert in de eindscore 'onvoldoende' of 'geen oordeel'. De veiligheid van het waterkerend kunstwerk voldoet dan aan de norm. De veiligheid van het waterkerend kunstwerk voldoet niet of nog niet aantoonbaar aan de norm indien een van de toetssporen, zonodig inclusief het beheerdersoordeel, resulteert in de score 'onvoldoende' of 'geen oordeel'. De veiligheid van een gehele waterkering, bijvoorbeeld de dijkkring om een polder of alle compartimenteringskeringen rondom een compartiment, wordt voldoende geacht indien alle dijkvakken inclusief waterkerende kunstwerken voldoen aan de norm. De veiligheid voldoet niet aan de norm indien een van de vakken of een van de waterkerende kunstwerken niet aan de norm voldoet.

## 2.5 OPZET TOETSINGSPROCEDURE

### 2.5.1 ALGEMENE OPZET EN PRIORITERING

Aanbevolen wordt om bij de beoordeling uit te gaan van een gefaseerde werkwijze, bestaande uit de volgende onderdelen:

1. Vooronderzoek, en indien mogelijk al een eenvoudige beoordeling (inclusief controle van gebruikte ontwerpmethodes).
2. Nader onderzoek en gedetailleerde beoordeling.
3. Zonodig en desgewenst een geavanceerd onderzoek en een geavanceerde beoordeling.

De inhoudelijke behandeling van beoordelingsmethoden komt aan de orde in hoofdstuk 5. Voor de beoordeling van de waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen zal het niet altijd nodig zijn om voor ieder waterkerend kunstwerk alle fasen van het onderzoek geheel te doorlopen. Na iedere fase kan worden beschouwd of het zinvol is om een volgende fase te doorlopen.

Bij aanvang van de toetsronde zal meestal om praktische redenen niet direct gestart kunnen worden met de toets van alle waterkerende kunstwerken in het beheersgebied. Bij een gefaseerde uitwerking verdient het aanbeveling te starten met de naar verwachting meest risicovolle kunstwerken, uit oogpunt van zowel doorbraakkans als gevolgschade. Een recept voor het vaststellen van een prioriteitenlijst wordt hier niet gegeven, maar algemeen kan worden gesteld dat belangrijke factoren daarbij zijn:

- De geometrie van de dwarsdoorsnede over het kunstwerk, met name de grootte van het doorstroomoppervlak bij falen van (delen van) het kunstwerk
- Ervaring met het 'gedrag' van het kunstwerk en indruk van de 'staat' van het kunstwerk
- De beschermde waarde achter het kunstwerk (zit verdisconteerd in de norm van de regionale waterkering waarin het kunstwerk is opgenomen)
- Verschillen tussen ontwerpbelastingen (indien voorhanden) en toetsbelastingen

## 2.5.2 VOORONDERZOEK EN EENVOUDIGE BEOORDELING

### ALGEMENE GEGEVENS

Aanbevolen wordt om bij aanvang van de beoordeling allereerst de volgende gegevens te verzamelen van het waterkerend kunstwerk:

- Aanlegtekeningen (situatietekeningen en doorsneden) van het kunstwerk, waarop de volgende gegevens kunnen worden afgelezen:
  - (ontwerp)waterstanden aan de binnen- en buitendijkse zijde van het kunstwerk
  - aantal, kerende hoogte, aard, materiaalsoort en samenstelling van de afsluitmiddelen en waterkerende constructieonderdelen van het kunstwerk
  - fundatiewijze
  - grondgegevens
  - aanwezigheid, materiaalsoort, wijze van aansluiting op constructie en afmetingen van eventuele onder- en achterloopsheidschermen
  - aard en samenstelling eventuele bodemverdediging
- Waterstanden aan de binnen- en buitendijkse zijde van het kunstwerk (hoge en lage waterstanden, gegevens omtrent peilbeheer)
- Gegevens van eventueel eerder verricht onderzoek (bijvoorbeeld bodemopbouw, grondparameters, onderzoek kwaliteit materialen (beton, wapening, staal, hout, metselwerk))
- Resultaten van hoogtemetingen
- De ontstaansgeschiedenis van het kunstwerk, inclusief historische informatie omtrent het eventueel ontwerp, de aanleg en het gedrag van het kunstwerk
- Opbouw omringende grondlichaam (klei-, zand of veen, aanwezigheid van puin) en bodemopbouw
- Eventuele restauratiewerkzaamheden en resultaten van eventuele berekeningen die hiervoor zijn uitgevoerd
- Inspectierapporten van eventueel uitgevoerde inspecties van (delen van) het kunstwerk
- Bedieningsprotocollen voor het openen en sluiten van de afsluitmiddelen
- Calamiteitenplannen
- Algehele onderhoudstoestand van het kunstwerk inclusief afsluitmiddelen en kwelschermen
- Bijzondere omstandigheden/bedreigingen in de omgeving van het kunstwerk (bijvoorbeeld munitieopslag, vandalisme)

### BESCHIKBARE GEGEVENS

Bovenstaande gegevens zijn door middel van archiefonderzoek te verzamelen. Er dient tijdens dit archiefonderzoek gezocht te worden naar ontwerprapporten, ontwerpberoekeningen, ontwerptekeningen, inspectierapporten, calamiteitenplannen, beheerplannen, bedieningsplannen, bestekken, vergunningen, sluitingsprotocollen en oude toetsrapporten. De ervaring leert dat van waterkerende kunstwerken in primaire en regionale waterkeringen doorgaans in archieven wel tekeningen en bestekken worden aangetroffen, maar dat rapportages waarin onderbouwingen van het ontwerp zijn vastgelegd een zeldzaamheid zijn. Uit de tekeningen kan echter vaak wel worden afgeleid met welke waterstanden ten tijde van het ontwerp rekening is gehouden.

Met name van historische kunstwerken blijken in de praktijk erg weinig gegevens beschikbaar te zijn. De Leidraad Historische Kunstwerken (STOWA 2006-03 [3]) bevat handreikingen om toch tot een eerste inschatting van de opbouw en gebruikte materialen van het kunstwerk te komen. Daarnaast is mogelijkwijs nog kennis aanwezig bij de beheerder of oud-beheerder(s) van het kunstwerk of bij medewerkers van het waterschap (of één van haar rechtsvoorgangers).

### GRONDMECHANISCHE ASPECTEN

Aanbevolen wordt aan de hand van beschikbaar grondonderzoek de bodemopbouw globaal vast te stellen ter plaatse van de binnen- en buitenzijde en kruin van het waterkerende kunstwerk. Hiermee wordt een eerste indruk van de opbouw van de ondergrond ter plaatse van het kunstwerk verkregen en de daarin voorkomende variaties (geotechnisch dwarsprofiel). Dit is sowieso noodzakelijk voor de beoordeling op onder- en achterloopsheid en de vaststelling van de plaats en de diepte van eventueel te verrichten aanvullend grondonderzoek.

### VELDBEZOEK

Voor het leren kennen van het waterkerend kunstwerk is het nuttig een visuele verkenning van het kunstwerk uit te voeren in aanwezigheid van de dagelijks beheerder van het kunstwerk. Hierbij kan aandacht worden besteed aan bijvoorbeeld de volgende aspecten:

- Algemene onderhoudstoestand van met name de waterkerende onderdelen van het kunstwerk
- Aard en samenstelling van de afsluitmiddelen en waar deze zijn opgeslagen. Veelal zijn de aard en samenstelling op tekeningen niet vastgelegd. Tevens komt het voor dat niet bekend is waar demontabele afsluitmiddelen zijn opgeslagen.
- Schadebeelden:
  - kwelverschijnselen, bijvoorbeeld zichtbaar uittredend water of welvorming, ontoegankelijk maaiveld aan de binnenzijde
  - kenmerken van instabiliteit, bijvoorbeeld verzakkingen, scheuren in wanden, vloeren, gevels, puin en verhardingen.

Het is aan te bevelen de resultaten van de visuele verkenning vast te leggen, bijvoorbeeld door een algemene beschrijving van de waarnemingen in combinatie met een fotoverslag. Het is nuttig de aantekeningen tevens op een situatietekening aan te geven.

### TOETSING

Waterkerende kunstwerken waarvan het evident is dat deze ruim aan de waterstaatkundige eisen voldoen, kunnen op een eenvoudig niveau al als voldoende veilig worden beoordeeld. Deze kunstwerken behoeven verder geen gedetailleerde toetsing op basis van nader onderzoek. Indien op grond van de eenvoudige methode geen score kan worden bereikt of indien het waargenomen gedrag niet in overeenstemming is met het toetsresultaat, dan gaat de beoordeling verder met nader onderzoek en een meer gedetailleerde beoordeling.

### CONTROLE VAN GEBRUIKTE ONTWERPMETHODE

Indien van een waterkerend kunstwerk ontwerpgegevens beschikbaar zijn, kan aan de hand van een controle van ontwerpuitgangspunten, belastingen, gehanteerde ontwerprichtlijnen en actuele conditie relatief snel worden vastgesteld of het kunstwerk nog steeds veilig is. Dit zal echter voor slechts een zeer beperkt deel van de waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen het geval zijn. Indien geen ontwerpgegevens beschikbaar zijn, dan wordt de toetsing vervolgd met nader onderzoek en een meer gedetailleerde beoordeling.

#### 2.5.3 NADER ONDERZOEK EN GEDETAILLEERDE BEOORDELING

Bij de gedetailleerde beoordeling wordt een herberekening uitgevoerd van de actuele sterkte van het waterkerend kunstwerk conform de huidige vigerende normen en leidraden. Om deze herberekening uit te kunnen voeren moeten bepaalde gegevens beschikbaar zijn over het kunstwerk. Onderstaand worden enkele van de mogelijke aanvullende onderzoeken beschreven die nodig kunnen zijn om een gedetailleerde beoordeling uit te kunnen voeren.

### **PEILBUISWAARNEMINGEN**

Via peilbuiswaarnemingen kan het verloop van de waterspanning in het watervoerend pakket worden vastgesteld. Aan de hand van deze gegevens kan de aanwezigheid en werking van eventuele kwelschermen worden aangetoond. Dit speelt met name bij historische kunstwerken, waar vaak wel een vermoeden bestaat van de aanwezigheid van kwelschermen maar waarvan het functioneren gezien de levensduur beslist niet meer vanzelfsprekend is. De peilbuizen dienen regelmatig te worden afgelezen, speciaal gedurende een periode waarbinnen de maatgevende situaties kunnen worden verwacht (nat najaar/winter). Gelijktijdig met het aflezen van de peilbuizen dient de waterstand en het peil van de teen- of kwelsloot (indien aanwezig) van het betreffende profiel te worden gemeten.

### **GRONDONDERZOEK**

Grondonderzoek dient om de opbouw van het omringende grondlichaam en de ondergrond nader in kaart te brengen. Grondonderzoek bestaat in de praktijk veelal uit handboringen aangevuld met sonderingen waarvan de diepte tenminste tot enkele meters in het watervoerende pakket dient te reiken. Sonderingen (met meting van de kleef) geven in combinatie met boringen een betrouwbaar inzicht in de aard, ligging en de dikte van verschillende bodemlagen.

De benodigde omvang van het grondonderzoek is afhankelijk van de variatie in dikte en de diepteligging van aanwezige grondlagen en de aanwezigheid van lokale verstoringen. Daarnaast is de intensiteit afhankelijk van de noodzaak om gedetailleerd en nauwkeurig te rekenen. Voor een beoordeling van waterkerende kunstwerken kan veelal worden volstaan met een globale bepaling van de laagopbouw en classificatie van de onderscheiden grondlagen.

### **LABORATORIUMONDERZOEK**

Door middel van laboratoriumonderzoek kunnen de (sterkte-) eigenschappen van onderscheiden grondlagen worden vastgesteld. Dergelijk onderzoek wordt meestal pas uitgevoerd indien een beoordeling op een eenvoudig niveau met conservatieve waarden voor de grondeigenschappen (bijvoorbeeld een regionale proevenverzameling of waarden volgens de NEN) niet een voldoende resultaat opleveren.

Meest voorkomend bij de toetsing van waterkerende kunstwerken is het bepalen van een of meerdere zeefkrommen van het zand in het watervoerend zandpakket. Hiermee kan een adequate inschatting worden gemaakt van de parameters die benodigd zijn voor de toets op onder- en achterloopsheid.

### **TOETSING**

Op basis van de resultaten van het gedetailleerde onderzoek kunnen de benodigde berekeningen volgens het gedetailleerde beoordelingsniveau worden uitgevoerd. Indien - met inachtneming van het waargenomen gedrag - geen positief oordeel kan worden gegeven, kan worden overgegaan tot geavanceerd onderzoek.



#### 2.5.4 GEAVANCEERD ONDERZOEK

In bijzondere gevallen kan gekozen worden voor een geavanceerd onderzoek. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de voor waterkerende kunstwerken in primaire keringen ontwikkelde methoden. Een voorbeeld hiervan is grondradaronderzoek naar de afmetingen van kwelschermen of materiaalonderzoek naar de kwaliteit van beton-, hout- en metselwerkconstructies. In Technische Rapporten of ontwerprichtlijnen is echter nergens de aard en omvang van eventuele onderzoeken vastgelegd. Dit betekent dat per waterkerend kunstwerk maatwerk geleverd moet worden. Aanbevolen wordt daarom hiervoor specialistische ondersteuning in te schakelen.

Geavanceerd onderzoek kan met hoge kosten gemoeid gaan. Met het oog daarop wordt geadviseerd eerst de doelmatigheid van dergelijk onderzoek af te tasten. Bijvoorbeeld door vergelijking van de kosten die met dergelijk onderzoek gemoeid zijn met de kosten voor aanpassing van het waterkerend kunstwerk.

# 3

## BELASTINGEN

### 3.1 INLEIDING

De te hanteren toetsnorm en -periode voor de regionale waterkeringen worden vastgesteld door de provincie. De uitgangspunten voor wat betreft de te hanteren belastingen, die in meer of mindere mate afhangen van de gehanteerde toetsnorm en toetsperiode, worden bepaald door het waterschap en dienen te worden vastgesteld door de provincie.

In tegenstelling tot de toetsing van de grondlichamen hoeft bij de toetsing van de waterkerende kunstwerken geen rekening te worden gehouden met de belastingsituatie 'droogte', met uitzondering van de toetsing van de stabiliteit van het aanliggende grondlichaam bij boezemwaterkeringen en regionale rivierkeringen. Voor de belastingsituatie droogte wordt verwezen naar de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02] paragraaf 3.2.2, 5.3.6 (boezemkaden) en 6.3.6 (regionale rivierkeringen).

De mogelijke hydraulische en overige belastingen worden uitgebreid besproken in paragraaf 3.3 en 3.5 van de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02]. Onderstaand wordt volstaan met het geven van enkele aanvullingen hierop.

### 3.2 HYDRAULISCHE BELASTINGEN

#### 3.2.1 WATERPEIL

Voor de bepaling van de maatgevende waterstanden zijn recent een aantal hulpmiddelen beschikbaar gekomen. Genoemd worden de programma's PROMOTOR en ProMoVeRa voor de afleiding van de hydraulische randvoorwaarden in respectievelijk boezemsystemen en voor de voorlandkeringen langs de Veluwerandmeren.

Met name bij boezemwaterkeringen met een lage veiligheidsnorm (1/10 en 1/30 per jaar) wijkt de maatgevende waterstand relatief weinig af van de dagelijkse waterstand. Dit biedt nadrukkelijk de gelegenheid gebruik te maken van de 'bewezen sterkte' van het waterkerend kunstwerk. In paragraaf 5.3 wordt hier nader op ingegaan.

#### 3.2.2 BINNENDIJKSE WATERSTANDEN

De keuze voor de maatgevende binnenwaterstand wordt bij waterkerende kunstwerken nadrukkelijk bepaald door het betreffende faalmechanisme. Onderstaand wordt per faalmechanisme een voorzet gegeven omtrent de maatgevende binnenwaterstand die in rekening gebracht moet worden. Hierbij geldt nadrukkelijk dat de situatie voor ieder kunstwerk uniek is, zodat voor elk kunstwerk afzonderlijk bepaald moet worden of onderstaande handreiking hierop van toepassing is.

TABEL 3.1 MAATGEVENDE BINNENWATERSTAND PER FAALMECHANISME

| Faalmechanisme   | Binnenwaterstand   |
|--|--|
| Piping en heave  | Streefpeil / gemiddeld peil  |
| Stabiliteit constructie: opdrijven                                 | Hoog polderpeil / hoog peil  |
| Stabiliteit constructie: afschuiven en kantelen                    | Streefpeil / gemiddeld peil  |
| Stabiliteit constructie: grondlichamen en grondkerende constructie | Zie Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen bijlage 2.1 t/m 2.3 |
| Sterkte van waterkerende constructie-onderdelen                    | Streefpeil / gemiddeld peil  |

### 3.2.3 WINDGOLVEN

Golven vormen een directe belasting op de afsluitmiddelen en waterkerende constructie-onderdelen van een waterkerend kunstwerk. Voorts kunnen golven tijdens hoge waterstanden bij hogere windsnelheden overslag van water veroorzaken over de afsluitmiddelen en aanliggende grondlichamen van een waterkerend kunstwerk. Door overslaand water kan erosie van de kruin of het binnentalud optreden en de freatische lijn worden verhoogd door infiltratie van het water in de kruin en het binnentalud. Overslag over de afsluitmiddelen kan leiden tot erosie van de bodemverdediging van het waterkerend kunstwerk. Beide processen kunnen leiden tot een afname van de stabiliteit. Bij de toetsproeven kerende hoogte en sterkte en stabiliteit zijn zodoende de golfrandvoorwaarden inbegrepen.

De benodigde golfrandvoorwaarden dienen per waterkerend kunstwerk te worden bepaald door de waterkeringbeheerder. Deze bepaling kan bijvoorbeeld aan de hand van bijlage 1 of desgewenst met golfgroeiberekeningen, zoals beschreven in bijlage E van het Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het Rivierengebied [ENW, 2007].

De grootte van windgolven is vooral afhankelijk van de windsnelheid en windrichting in relatie tot de ligging van het waterkerend kunstwerk, in combinatie met de geometrie van het water (strijklengte en waterdiepte). De verschillende katernen van de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02] beschrijven per type regionale waterkering specifieke aanbevelingen inzake de windsnelheid.

### 3.3 OVERIGE BELASTINGEN

Een bijzondere belasting treedt op bij waterkerende kunstwerken in voorlandkeringen en zomerkades met een lage veiligheidsnorm (1/10 en 1/30 per jaar). Deze maken doorgaans onderdeel uit van een regionale waterkering die bij een bepaalde waterstand op het buitenwater in zijn geheel overstroomt. Voor deze kunstwerken kan, afhankelijk van de procedure volgens welke het land achter de voorlandkering of zomerkade wordt geïnundeerd, aanvullend de eis worden gesteld dat het kunstwerk hetzij overstroombaar moet zijn dan wel geopend moet kunnen worden bij een naderende overschrijding van het toetspeil. Dit is echter een ontwerpvoorwaarde en speelt als zodanig in de toetsing geen rol.

Voor een beschrijving van de overige belastingen die kunnen optreden bij waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen wordt verwezen naar paragraaf 3.2 van het deel Ontwerp van deze Leidraad.

# 4

## FAALMECHANISMEN

### 4.1 ALGEMEEN

In dit hoofdstuk worden de relevante faalmechanismen voor waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen beschreven. De faalmechanismen die beschreven worden zijn:

- Overloop en golfoverslag
- Stabiliteitsverlies
  - Afschuiven of kantelen van het gehele kunstwerk
  - Opdrijven van het kunstwerk
  - Geotechnische instabiliteit van het omringende grondlichaam
  - Onvoldoende stabiliteit van grondkerende constructies
- Constructief falen van waterkerende constructie-onderdelen
- Piping en heave
- Sluiting afsluitmiddelen

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van deze faalmechanismen. In het volgende hoofdstuk wordt besproken hoe het waterkerend kunstwerk wordt getoetst op deze faalmechanismen. Ieder faalmechanisme wordt beoordeeld aan de hand van een toetsspoor, zoals aangegeven in paragraaf 2.2:

- Hoogte (HT) van de constructie, de afsluitmiddelen en het aanliggende grondlichaam
- Stabiliteit en sterkte (ST) van het waterkerend kunstwerk zelf, de waterkerende onderdelen van het waterkerend kunstwerk, de afsluitmiddelen en het aanliggende grondlichaam, onderverdeeld in:
  - Stabiliteit van constructie en grondlichaam (STCG)
  - Sterkte van (waterkerende) constructie-onderdelen (STCO)
  - Piping en heave (STPH)
  - Stabiliteit van het voorland (STVL)
- Betrouwbaarheid sluiting (BS)

### 4.2 OVERLOPEN EN GOLFOVERSLAG

Bij een te lage hoogte kan overlopen of golfoverslag optreden. Het waterkerend kunstwerk kan hierdoor falen via de volgende mechanismen:

- Erosie van aansluitende grondlichamen
- Erosie van de bodem achter het waterkerende kunstwerk
- Inundatie van het achterliggende gebied
- Eventueel trillingen in afsluitmiddelen ten gevolge van een overstortende straal

Erosie van de bodem of taluds kan instabiliteit van het kunstwerk veroorzaken.

Bij een grote overstortende straal kunnen trillingen in het afsluitmiddel ontstaan, die tot bezwijken van deze keermiddelen kunnen leiden. Een toetsmethodiek hiervoor ontbreekt echter. Indien uit de toetsing blijkt dat grote overstortende stralen optreden dan moet geavanceerd onderzoek hiernaar uitgevoerd worden.

#### 4.3 STABILITEIT

Verlies van stabiliteit kan optreden middels een aantal mechanismen.

##### **HORIZONTALAAL EVENWICHT EN KANTELEVENWICHT**

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

##### **OPDRIJVEN**

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

##### **GRONDLICHAAM - OVERALL STABILITEIT**

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

##### **ONVOLDOENDE STABILITEIT VAN GRONDKERENDE CONSTRUCTIES**

Door een hogere grondwaterstand in het omringende grondlichaam kunnen grondkerende constructies zoals damwanden en keermuren onder maatgevende omstandigheden bezwijken. Dit kan weer leiden tot een grondmechanische instabiliteit van het omringende grondlichaam. Het kunstwerk (of een deel hiervan) kan hierdoor met de grond mee afschuiven of het kunstwerk kan ernstig ondermijnd raken.

#### 4.4 CONSTRUCTIEF FALEN

De verschillende onderdelen van het waterkerend kunstwerk worden belast door grond, water en andere belastingen. Indien de sterkte van een onderdeel onvoldoende is, zal dit bezwijken, met mogelijk falen van het waterkerend kunstwerk als gevolg.

#### 4.5 PIPING EN HEAVE

Door het waterstandsverschil aan de binnen- en buitendijkse zijde zal een grondwaterstroming rondom het waterkerend kunstwerk op gaan treden. 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 kunstwerk holle ruimten ontstaan. Deze erosie kan leiden tot instabiliteit van het waterkerende kunstwerk en in het uiterste geval resulteren in een bres in de waterkering. Het waterstandsverschil kan ook tot verlies van grondspanning aan de lage zijde leiden, wat instabiliteit van het kunstwerk tot gevolg kan hebben.

#### 4.6 STABILITEIT VOORLAND

Een grondmechanische instabiliteit in het voorland (afschuiving, zettingsvloeiing) kan leiden tot een ondermijning of afschuiving van (delen van) het kunstwerk.

#### 4.7 SLUITING AFSLUITMIDDELEN

De afsluitmiddelen van het waterkerend kunstwerk moeten vanzelfsprekend tijdig gesloten worden. De sluiting kan falen door een aantal oorzaken (zie ook bijlage B3 van de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003]):

- Falende signalering van een naderend hoogwater
- Mobilisatie van personeel mislukt
- Het sluiten van de afsluitmiddelen zelf mislukt door fouten in de bedieningsprocedure
- Het sluiten van de afsluitmiddelen zelf mislukt door onvoldoende bedrijfszekerheid van de afsluitmiddelen

# 5

## TOETSING

### 5.1 PRIORITERING VOOR TE TOETSEN KUNSTWERKEN

In de naar schatting 14.000 kilometer regionale waterkeringen die ons land rijk is [STOWA 2002], zijn naar verwachting vele duizenden waterkerende kunstwerken aanwezig van diverse aard en omvang. Om de benodigde toetsinspanning te beperken is het belangrijk voorafgaand aan de toetsing vast te stellen welke waterkerende kunstwerken daadwerkelijk in potentie een significante bijdrage kunnen leveren aan de faalkans van de regionale waterkering waarin het waterkerend kunstwerk is opgenomen en welke niet. Deze laatste categorie kan hiermee om redenen van beperking van de benodigde toetsinspanning voorsnog buiten de toetsing worden gelaten. In overleg met de provincie kan de beheerder een prioritering opstellen op basis van de geschatte bijdrage aan de faalkans van de totale kadering.

#### 5.1.1 BOEZEMWATERKERINGEN

Alle waterkerende kunstwerken met alleen een in- of uitlaatfunctie en een leidingdiameter kleiner dan 0,30 m kunnen zonder inhoudelijke beoordeling als 'voldoende' beoordeeld worden. Hierbij geldt als randvoorwaarde dat uit het dagelijks beheer moet zijn gebleken dat de algehele onderhoudstoestand van het waterkerend kunstwerk goed is en ook het beheerdersoordeel goed is. Probleem hierbij is dat aantal en plaats van veel van dit soort 'kleine' waterkerende kunstwerken niet in voldoende mate bij de beheerder bekend is. Het is uiteraard de taak van de beheerder ook deze kunstwerken in kaart te brengen.

Gedachte is dat bij kleine in- en uitlaatwerken voor alle toetsporen de kans op falen van de waterkering door falen van het waterkerend kunstwerk acceptabel klein is. De hoogte bij deze waterkerende kunstwerken wordt bepaald door de hoogte van de waterkering waarin het waterkerend kunstwerk is opgenomen. Voorts is de kans op constructief falen van het afsluitmiddel en de leiding zelf klein, omdat de belasting onder extreme (hoogwater)omstandigheden relatief weinig afwijkt van de dagelijkse omstandigheden. Bovendien is sterkte van dit soort kleine afsluitmiddelen uit praktisch oogpunt meestal overgedimensioneerd. Verder is de kans op een bres in de waterkering als gevolg van een falend afsluitmiddel of falende sluiting klein, omdat vanwege de in- of uitlaatfunctie een uitstroombak, betonwerk (gemaal) of bodembescherming aan de binnenzijde aanwezig is. Deze bodembescherming is naar verwachting ook overgedimensioneerd. Omdat de belasting onder extreme (hoogwater)omstandigheden relatief weinig afwijkt van de dagelijkse omstandigheden (doordat het verval over het waterkerend kunstwerk relatief maar weinig groter is en de belasting met de wortel uit het verval toeneemt) mag verwacht worden dat de bodemverdediging intact blijft. Er is dus een aanvaardbaar kleine kans op bezwijken van het waterkerend kunstwerk als de sluiting van het afsluitmiddel of het afsluitmiddel zelf faalt. Hierdoor zijn de gevolgen beperkt, lokaal kan enige overlast ontstaan maar instroming door de geopende leiding zal niet leiden tot grote instromende hoeveelheden water in de polder. Ook onder- en achterloopsheid leidt niet snel tot falen van de boezemwaterkering, omdat door de geringe dimensies van de leiding het ontstaan van een grote doorgaande 'pipe' fysiek niet mogelijk is. Tot slot wordt opgemerkt dat

herstel bij dit soort kleine waterkerende kunstwerken eenvoudig mogelijk is bij geconstateerd falen.

Overigens is de gekozen diameter van 0,30 meter arbitrair. Bij deze keuze is aangesloten bij de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, waarin voor de niet-waterkerende objecten wordt aanbevolen eerst te beginnen met leidingen met een diameter groter dan 0,30 meter. Ook hier wordt de grens dus gelegd bij 0,30 m, zij het dan voor niet-waterkerende leidingen.

#### **5.1.2 OVERIGE TYPEN REGIONALE WATERKERINGEN**

Voor de overige typen regionale waterkering geldt bovenstaande redentatie in principe niet, omdat het verval over het waterkerend kunstwerk onder dagelijkse omstandigheden vele malen kleiner kan zijn dan het verval onder maatgevende omstandigheden. In principe moeten bij de overige typen regionale waterkeringen alle waterkerende kunstwerken worden getoetst die in de waterkering zijn opgenomen, tenzij in specifieke situaties geldt dat het verval onder maatgevende omstandigheden in dezelfde orde van grootte ligt als het verval onder dagelijkse omstandigheden.

### **5.2 OPZET TOETSMETHODIEK**

Vanwege de verschillende aard van de vier typen regionale waterkeringen die zijn gedefinieerd, wordt de toetsing begonnen met de vaststelling tot welk type regionale waterkering het waterkerend kunstwerk behoort. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar boezemwaterkeringen, regionale rivieren, voorlandkeringen en compartimenteringskeringen. Per type regionale waterkering worden in onderstaande paragrafen de toetssporen behandeld. Hierbij wordt per toetsspoor onderscheid gemaakt naar de veiligheidsklasse van de betreffende regionale waterkering.

### **5.3 DE BRUIKBAARHEID VAN BEWEZEN STERKTE**

In paragraaf 5.3.1 van de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [1] wordt aangetoond dat toepassing van de methode bewezen sterkte voor de toetsing van grondlichamen de nodige haken en ogen heeft. Voor waterkerende kunstwerken is de methode beter toepasbaar. Waterkerende kunstwerken zijn namelijk in zettingsgevoelig gebied veelal op palen gefundeerd, waardoor zettingen in de praktijk geen rol spelen. Dit in tegenstelling tot grondlichamen. Voorts wordt de standzekerheid van het waterkerend kunstwerk, veel minder dan bij grondlichamen, bepaald door andere belastingen dan de waterstand, zoals de waterspanningen in de watervoerende laag onder het waterkerend kunstwerk. Ook de mogelijke variatie van de sterkte in de loop der tijd, bijvoorbeeld door bodemdaling en periodieke kruinverhoging, speelt veel minder een rol dan bij grondlichamen. Hierdoor is bewezen sterkte bij het toetsen van waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen goed bruikbaar. Dit geldt overigens niet voor het merendeel van de compartimenteringskeringen, omdat bij dit type regionale waterkering er veelal geen ervaring is met het gedrag onder een bepaalde belasting. Voor nadere informatie wordt verwezen naar paragraaf 7.3 van de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02].



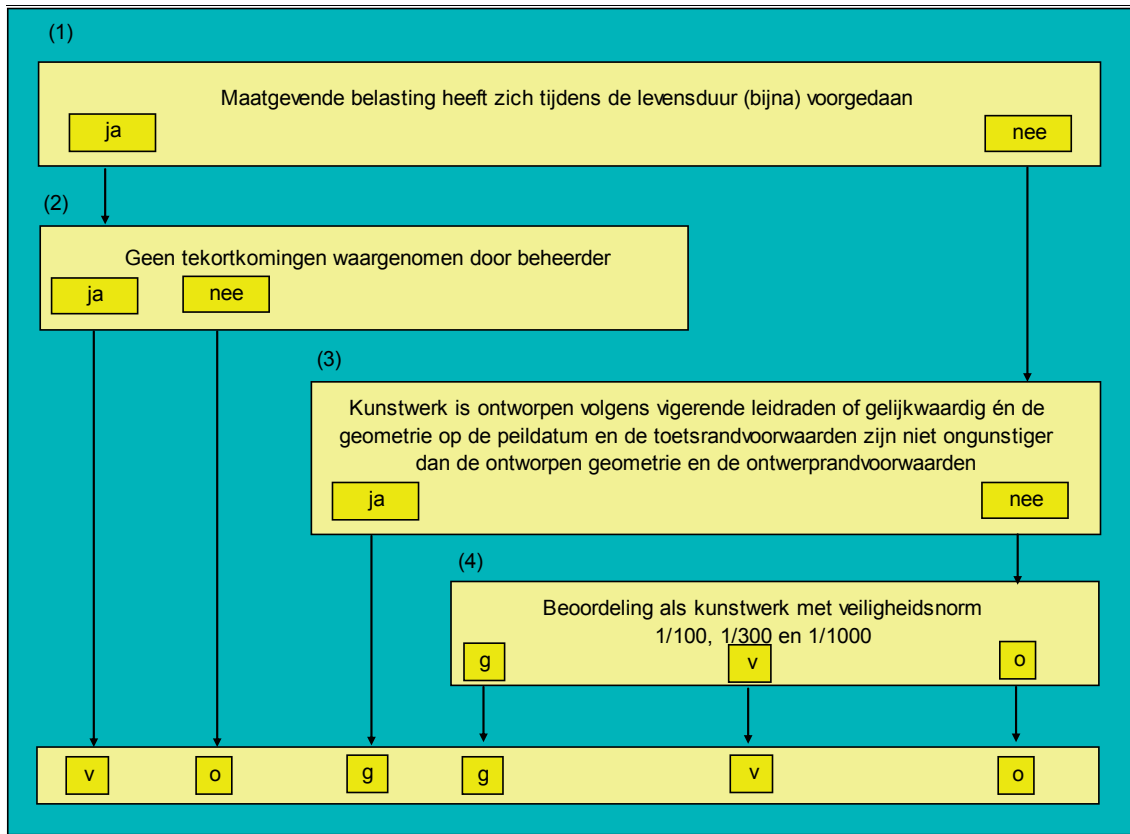
**BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/10 EN 1/30 PER JAAR**

Dit leidt ertoe dat waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een regionale waterkering met een veiligheidsnorm van 1/10 en 1/30 per jaar voor de toetssporen kerende hoogte en stabiliteit en sterkte worden beoordeeld op basis van de waargenomen tekortkomingen. De gedachte hierachter is dat de maatgevende hydraulische belasting zich gedurende de levensduur van het waterkerend kunstwerk reeds één of meerdere malen (bijna) heeft voorgedaan. Er is hierdoor praktijkervaring beschikbaar op basis waarvan beoordeeld kan worden of de kerende hoogte en stabiliteit van het waterkerend kunstwerk onder maatgevende omstandigheden voldoende is. Als bij de beheerder geen gevallen bekend zijn van opgetreden schade aan het waterkerend kunstwerk of een ontoelaatbaar grote instroming door overlopen en/of overslag van het waterkerend kunstwerk dan krijgt het kunstwerk op basis van de waarnemingen van de beheerder de score 'voldoende'. Hierbij dient uiteraard gecontroleerd te worden of de belasting niet is toegenomen of de sterkte niet is afgenomen, bijvoorbeeld door factoren als polderpeilverlaging, maaiveld daling of sterkte degradatie van de keermiddelen. Indien door de beheerder wel schade of ontoelaatbare instroming is geconstateerd krijgt het waterkerend kunstwerk direct de score 'onvoldoende'.

Voor waterkerende kunstwerken die recent zijn aangelegd kan het zijn dat er een te beperkte ervaring omtrent het gedrag beschikbaar is om op basis hiervan het waterkerend kunstwerk goed- of af te keuren. Voor deze kunstwerken geldt echter dat ze in principe zijn ontworpen volgens de vigerende normen en ontwerpvoorschriften en dat te verwachten valt dat de hydraulische randvoorwaarden nog steeds (nagenoeg) dezelfde zullen zijn. Dit moet dan gecontroleerd worden. Toch blijkt in de praktijk dat niet altijd conform de vigerende voorschriften is ontworpen. In voorkomende gevallen dient de beheerder aan te tonen dat de toegepaste ontwerpregels tenminste gelijkwaardig zijn aan de vigerende ontwerpregels. Kan de beheerder dit niet aantonen dan dient de toetsing te worden uitgevoerd conform de toetsing van de kunstwerken met een veiligheidsnorm 1/100, 1/300 en 1/1000.

Hiermee ziet het stroomschema voor waterkerende kunstwerken met een veiligheidsnorm van 1/10 en 1/30 per jaar er voor de toetssporen kerende hoogte en sterkte en stabiliteit als volgt uit:

FIGUUR 5.1 **BEORDELINGSSCHEMA VOOR DE HOOGTE EN STABILITEIT (HT EN ST) VAN WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN REGIONALE WATERKERINGEN MET EEN VEILIGHEID VAN 1/10 EN 1/30 PER JAAR**



Waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een regionale waterkering met een veiligheidsnorm van 1/100 tot en met 1/1000 per jaar mogen niet worden beoordeeld op basis van de al dan niet waargenomen tekortkomingen. Deze kunstwerken worden beoordeeld volgens de stroomschema's in de volgende paragrafen.

## 5.4 BOEZEMWATERKERINGEN

### 5.4.1 BELASTINGEN

De hydraulische belastingen kunnen worden bepaald volgens paragraaf 3.1 en 3.2. Voor specifieke aspecten voor het bepalen van de maatgevende waterstanden in boezems wordt verwezen naar paragraaf 5.2.1 van de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02].

### 5.4.2 OVERZICHT BEORDELINGSSPOREN WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN BOEZEMWATERKERINGEN

De belangrijkste te volgen beoordelingssporen bij het toetsen van waterkerende kunstwerken in boezemwaterkeringen zijn verzameld in tabel 5.1. Voor al deze beoordelingssporen geldt dat ze alleen voor de hoogwatersituatie moeten worden uitgewerkt, behalve voor de

beoordeling van de stabiliteit van het aanliggende grondlichaam. De belastingsituatie extreme droogte speelt bij de toetsing van waterkerende kunstwerken verder geen rol.

TABEL 5.1 OVERZICHT BEOORDELINGSSPOREN BOEZEMWATERKERINGEN

| Beoordelingsspoor                                    | Veiligheids-klasse | Beoordelingsmethode                |  |   |
|--|--------------------|------------------------------------|--|---|
|  |                    | Eenvoudig                          | Gedetailleerd                                  | Geavanceerd                                 |
| Hoogte (HT)  | 1/10 – 1/30        | Bewezen sterkte                    | n.v.t.   | n.v.t.                                      |
|  | 1/100 – 1/1000     | Methode STOWA (paragraaf 5.4.3)    | Vereenvoudigde methode VTV 2007 (katern 7-4.1) | n.v.t.                                      |
| Stabiliteit constructie en grondlichaam (STCG)       | 1/10 – 1/30        | Bewezen sterkte                    | n.v.t.   | n.v.t.                                      |
|  | 1/100 – 1/1000     | Methode VTV 2007 (katern 7-4.2.2)  | Methode VTV 2007 (katern 7-4.2.2)              | State of the art kennis (niet gedefinieerd) |
| Sterkte (waterkerende) constructie-onderdelen (STCO) | 1/10 – 1/30        | Bewezen sterkte                    | n.v.t.   | n.v.t.                                      |
|  | 1/100 – 1/1000     | Methode VTV 2007 (katern 7-4.2.3)  | Methode VTV 2007 (katern 7-4.2.3)              | State of the art kennis (niet gedefinieerd) |
| Piping en heave (STPH)                               | 1/10 – 1/30        | Bewezen sterkte                    | n.v.t.   | n.v.t.                                      |
|  | 1/100 – 1/1000     | Bewezen sterkte                    | Methode VTV 2007 (katern 7-4.2.4)              | State of the art kennis (niet gedefinieerd) |
| Stabiliteit voorland (STVL)                          | 1/10 – 1/1000      | methode VTV 2007 (katern 9)        | Methode VTV 2007 (katern 9)                    | Methode VTV 2007 (katern 9)                 |
| Betrouwbaarheid sluiting (BS)                        | 1/10 – 1/30        | Draaiboek of automatische sluiting | Methode VTV 2007 (katern 7-4.3)                | n.v.t.                                      |
|  | 1/100 – 1/1000     | Methode STOWA (paragraaf 5.4.7)    | Methode VTV 2007 (katern 7-4.3)                | State of the art kennis (niet gedefinieerd) |

De beoordelingssporen resulteren in een (technisch) toetsoordeel, waarbij per faalmechanisme wordt vastgesteld of de veiligheid van het waterkerende kunstwerk voldoet of niet voldoet aan de norm. Indien onvoldoende informatie beschikbaar is voor een toetsoordeel, kan de aanduiding 'geen oordeel' resulteren. In dergelijke gevallen dient de reden (de ontbrekende informatie) te worden gespecificeerd.

#### 5.4.3 KERENDE HOOGTE

Voor een beschrijving van het faalmechanisme overlopen/overslag wordt verwezen naar paragraaf 4.2. De beoordeling van de kans op het bezwijken van het waterkerende kunstwerk door het optreden van overlopen en/of overslag dient te worden uitgevoerd conform het stroomschema in figuur 5.1 (voor waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/10 en 1/30 per jaar) of figuur 5.2 (voor waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/100, 1/300 en 1/1000 per jaar). Bij kunstwerken die niet zelfstandig waterkerend zijn maar waarbij de kerende hoogte wordt verzorgd door het dijklichaam (zoals duikers en persleidingen van gemalen) hoeft uiteraard geen hoogtetoets uitgevoerd te worden, maar kan de score van de hoogtetoets van het dijklichaam worden overgenomen.

**BEORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/10 EN 1/30 PER JAAR**

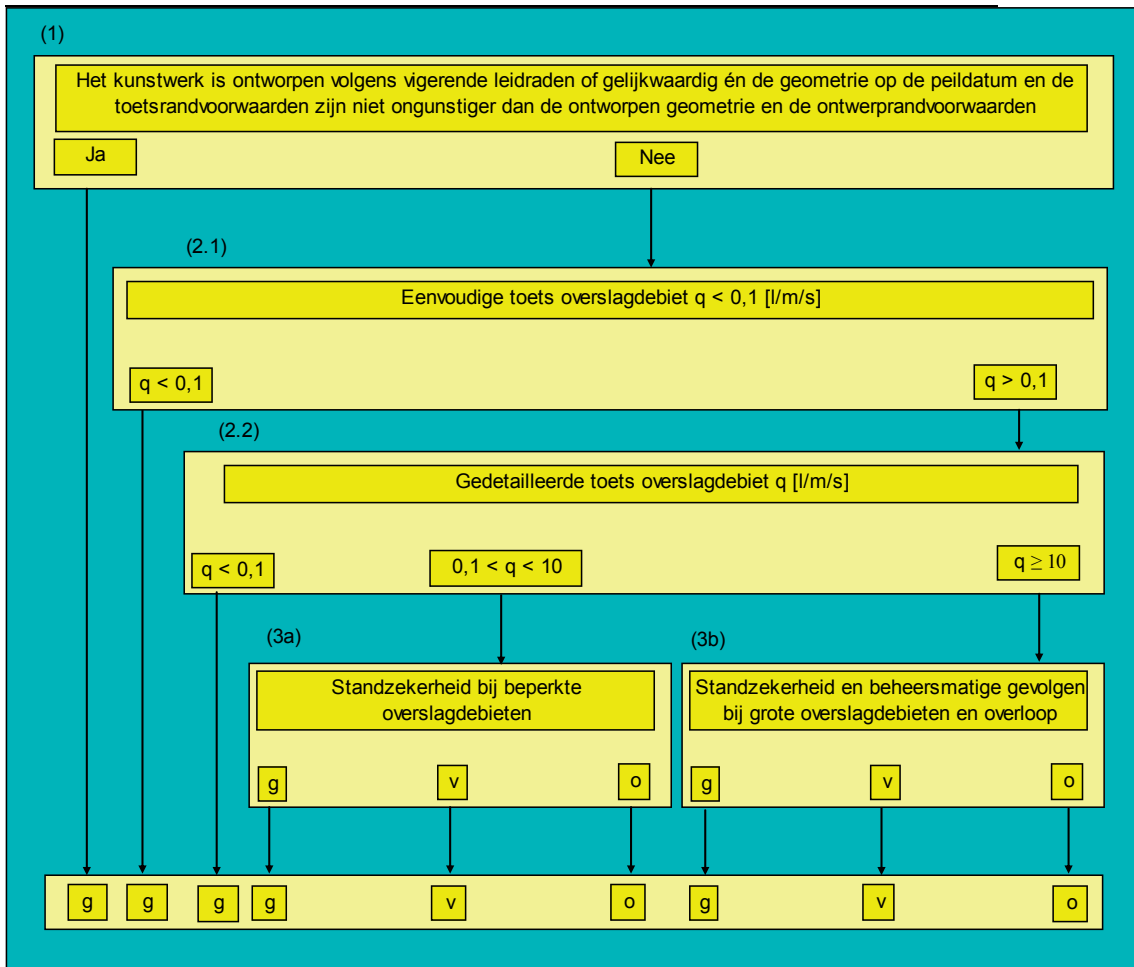
Als bij de beheerder geen gevallen bekend zijn van opgetreden schade aan het waterkerende kunstwerk of een ontoelaatbaar grote instroming door overlopen en/of overslag van het waterkerende kunstwerk dan krijgt het kunstwerk op basis van de waarnemingen van de beheerder de score ‘voldoende’. Indien door de beheerder wel schade of ontoelaatbare instroming is geconstateerd krijgt het waterkerende kunstwerk direct de score ‘onvoldoende’.

Voor waterkerende kunstwerken die recent zijn aangelegd geldt dat moet worden getoetst of ze zijn ontworpen volgens de vigerende normen en ontwerpvoorschriften en of de hydraulische randvoorwaarden nog steeds (nagenoeg) dezelfde zijn. Als dit niet het geval is dan kan de toetsing worden uitgevoerd conform de toetsing van waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/100, 1/300 en 1/1000 per jaar.

**BEORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/100, 1/300 EN 1/1000 PER JAAR**

De hoogte van waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een regionale boezemwaterkering met een veiligheidsnorm van 1/100 tot en met 1/1000 per jaar wordt beoordeeld volgens het stroomschema in figuur 5.2.

FIGUUR 5.2 BEORDELINGSSCHEMA VOOR DE HOOGTE (HT) VAN WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN BOEZEMWATERKERINGEN MET EEN VEILIGHEID VAN 1/100, 1/300 EN 1/1000 PER JAAR



## STAP 1 BEOORDELING ONTWERP

Als een waterkerend kunstwerk is ontworpen volgens de vigerende ontwerpkeidraden of gelijkwaardig én zowel geometrie als randvoorwaarden zijn niet verslechterd ten opzichte van de ontwerpsituatie dan kan de score 'goed' worden toegekend. In de praktijk betekent dit dat aan de volgende voorwaarden moet zijn voldaan:

- Het kunstwerk is ontworpen volgens de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003]; indien een kunstwerk is ontworpen volgens oudere ontwerprapporten (zoals het Basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies [TAW, 1997]) moet de beheerder de gelijkwaardigheid daarvan aantonen
- De hydraulische randvoorwaarden (Toetspeil + toeslagen, golfhoogte en -periode) en de geometrie (helling buitentalud, kruinhoogte inclusief zettingen) mogen niet zijn verslechterd ten opzichte van de ontwerpsituatie
- Het toelaatbare overslagdebiet uit het oogpunt van stabiliteit van het kunstwerk, de bekleding van aanliggende grondlichamen en beheersaspecten mag niet kleiner zijn dan de ontwerpwaarde

Voor een inschatting van de zetting van de kruinhoogte van het waterkerende kunstwerk en afsluitmiddelen tot aan de peildatum moet een actuele kruinhoogte worden bepaald. Uit revisietekeningen van het waterkerende kunstwerk kan vervolgens de opgetreden zetting in de periode na aanleg bepaald worden. Hieruit kan een prognose voor de zetting tot aan de peildatum worden afgeleid.

Voor kunstwerken die stap 1 niet met een positief resultaat doorlopen wordt de toetsing vervolgd met stap 2.

### STAP 2.1 EENVOUDIGE TOETSING OVERSLAGDEBIET

Bij de uitwerking op het eenvoudige niveau wordt het optredende golfoverslagdebiet  $q$  dat behoort bij de kruinhoogte  $h_{kr}$  voor waterkerende kunstwerken met een verticale wand afgeleid van de grafieken in bijlage 1. Deze methode verwaarloost enkele gunstige aspecten, en is daarmee conservatief.

Bij complexe geometrie (samengesteld talud met verticale delen door aanwezigheid van een waterkerend kunstwerk) moeten eerst de hydraulische belastingen worden bepaald conform paragraaf 3.1 en 3.2, waarna met het programma PC-OVERSLAG het overslagdebiet berekend kan worden. Feitelijk valt dit buiten het bestek van de eenvoudige toetsing.

De kruinhoogte op peildatum ( $h_{kr}$ ) voor deze stap kan worden bepaald door een actuele kruinhoogte te vergelijken met eerdere kruinhoogtemetingen dan wel aanleghoogte zoals afgeleid uit revisietekeningen. Aan de hand van de maatgevende windsnelheid (deze wordt normafhankelijk vastgesteld door de provincie; een handreiking is te vinden in bijlage 5 van de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02]) en de breedte van de boezem kan de benodigde golfoverslaghoogte worden afgelezen bij een overslagdebiet van 0,1 l/s/m. De beoordeling bestaat uit het toetsen aan de eis of de kruinhoogte op peildatum  $h_{kr}$  groter is dan de aanwezige kruinhoogte + lokale toeslagen + de golfoverslaghoogte die hoort bij een overslagdebiet van 0,1 l/m/s ( $h_{kr} > h_{toets} + \Delta h_{lok} + \Delta h_{golf;0,1}$ ).

Indien de eenvoudige methode resulteert in een overslagdebiet dat kleiner is dan 0,1 l/s/m dan volgt direct de score 'goed'. Is dit niet het geval dan kan een gedetailleerde toetsing worden uitgevoerd (stap 2.2).

Opgemerkt wordt dat de toetsing op kruinhoogtemarge, zoals deze voor waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen wel is opgenomen, voor boezemwaterkeringen achterwege blijft. Dit komt doordat in een boezemwatersysteem het waterpeil veel meer beheerst is dan in de watersystemen bij primaire waterkeringen het geval is. Hierdoor is de onzekerheid in de waterstandsvoorspelling veel kleiner, en is het niet noodzakelijk een minimale kruinhoogtemarge te eisen.

### STAP 2.2 GEDETAILLEERDE TOETSING OVERSLAGDEBIET

Het gedetailleerde niveau vergt berekening van de golfrandvoorwaarden, waarbij nauwkeurig rekening kan worden gehouden met specifieke kenmerken van de locatie. Mogelijkheden voor het inbrengen van meer gedetailleerde en meer op de specifieke situatie toegespitste gegevens zijn:

- Gedetailleerde bepaling van de verwachte kruindaling
- Gedetailleerde berekening van de golfoverslaghoogte, door het in rekening brengen van:
  - De verdeling van de wind over de verschillende windrichtingen, in combinatie met de ligging van het waterkerend kunstwerk ten opzichte van de wind
  - Eventueel aanwezige gunstige kenmerken, zoals een vooroeverconstructie of een ruwe bekleding van het buitentalud
- Gedetailleerd vaststellen van de maatgevende windsnelheid, door rekening te houden met de lokale ruwheid van het landschap

Dit toetsspoor veronderstelt het samenvallen van een maatgevend hoogwaterpeil met een extreem hoge windsnelheid. Een hoog peil wordt overwegend ook bepaald door de hoge windsnelheid en windrichting, aangezien de belangrijkste oorzaak van een toename van het toetspeil bij hogere veiligheidsniveaus de toename van de scheefstand van de boezem door opwaaiing is. Het is denkbaar dat het optreden van het Maatgevend Boezempeil minder sterk gecorreleerd is met de windsnelheid / windrichting. In dat geval kan worden overwogen de belastingsituatie te splitsen in:

- Een situatie met toetspeil en met een lagere windsnelheid
- Een situatie met een maatgevende windsnelheid en met een 'gemiddeld' hoog boezempeil

De toetsing dient dan beide situaties te bevatten. De specifieke randvoorwaarden die bij de toetsing voor beide situaties gehanteerd worden (combinatie waterstand en windsnelheid / windrichting) dienen met de provincie te worden overlegd.

De beoordeling voor de gedetailleerde toets is gelijk aan de eenvoudige toets en bestaat uit het toetsen aan de eis of het optredende overslagdebiet kleiner is dan 0,1 l/m/s. Is dit zo dan volgt de score 'goed'. Is dit niet zo, dan moet beoordeeld worden of het optredende overslagdebiet kleiner of groter is dan 10 l/s/m.

### STAP 3A STANDZEKERHEID BIJ BEPERKTE OVERSLAGDEBIETEN

Bij een overslagdebiet tussen 0,1 en 10 l/m/s wordt alleen de standzekerheid van het waterkerend kunstwerk ten gevolge van golfoverslag getoetst. Hierbij geldt als aanvullende voorwaarde dat het kunstwerk (kruin en binnentalud) als voldoende erosiebestendig moet zijn beoordeeld. Specifiek aandachtspunt bij 'droge' waterkerende kunstwerken (zoals coupures en keermuren) is dat de gevolgen van afstromend water voor aanliggende grondlichamen moeten worden beoordeeld (stabiliteit bekleding). Voor de beoordeling van de bekleding wordt verwezen naar katern 8 van het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007].

### STAP 3B STANDZEKERHEID EN BEHEERSMATIGE GEVOLGEN BIJ GROTE OVERSLAG- EN OVERLOOPDEBIETEN

Bij grote overslag- en overloopdebieten moet niet alleen de standzekeerheid van het waterkerend kunstwerk worden beoordeeld, maar ook of:

- Geen onaanvaardbare wateroverlast ontstaat in de polder
- Het kunstwerk en de directe omgeving hiervan voldoende begaanbaar is, indien deze voorwaarde (lokaal) vereist is

Hierbij moet bedacht worden dat onder maatgevende omstandigheden op de boezem het poldersysteem doorgaans ook volledig gevuld is en dat onder deze omstandigheden de ruimte om extra water te bergen vaak niet groot is.

Voor een meer uitgebreide beschrijving van deze stap wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.1 stap 3.2 en 3.3. Hierbij wordt de veiligheidsmarge van 0,3 m zoals die in stap 3.3 wordt gehanteerd buiten beschouwing gelaten.

#### 5.4.4 STABILITEIT VAN CONSTRUCTIE EN GRONDLICHAAM

Voor een beschrijving van relevante faalmechanismen die vallen onder de noemer stabiliteit van constructie en grondlichaam wordt verwezen naar paragraaf 4.3. De beoordeling van de kans op het bezwijken van het waterkerend kunstwerk door instabiliteit van constructie en grondlichaam dient te worden uitgevoerd conform het stroomschema in figuur 5.1 (voor waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/10 en 1/30 per jaar) of figuur 5.3 (voor waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/100, 1/300 en 1/1000 per jaar).

##### *Beoordeling waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/10 en 1/30 per jaar*

Als bij de beheerder geen gevallen bekend zijn van opgetreden schades die kunnen duiden op een onvoldoende stabiliteit van constructie en grondlichaam (bijvoorbeeld verzakkingen, vervormingen van damwanden, significante scheurvorming in vloeren, muren en plafonds, afschuivingen van (delen van) het grondlichaam) en ook anderszins de beheerervaring zonder voorbehoud goed is dan krijgt het waterkerend kunstwerk op basis van de waarnemingen van de beheerder de score 'voldoende'. Indien door de beheerder wel schade is geconstateerd krijgt het waterkerend kunstwerk direct de score 'onvoldoende'.

Voor waterkerende kunstwerken die recent zijn aangelegd geldt dat moet worden getoetst of ze zijn ontworpen volgens de vigerende normen en ontwerpvoorschriften (NEN-normen, Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] of gelijkwaardig) en of de hydraulische randvoorwaarden nog steeds (nagenoeg) dezelfde zijn. Als dit het geval is dan is de score 'goed'. Als dit niet het geval is dan kan de toetsing worden uitgevoerd conform de toetsing van waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/100, 1/300 en 1/1000 per jaar.

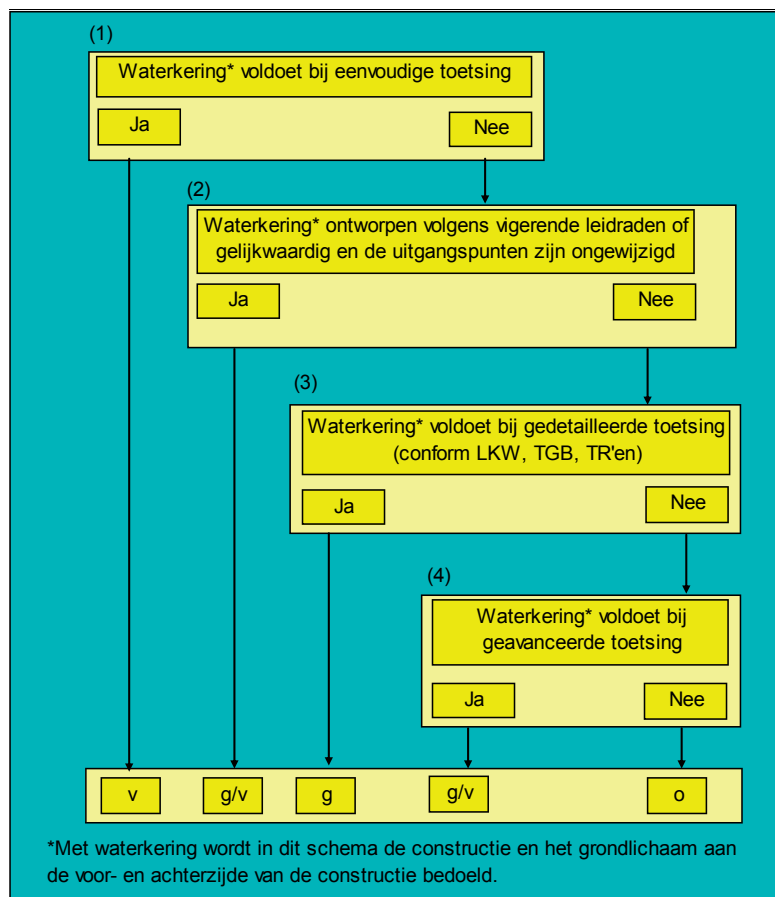
##### *Beoordeling waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/100, 1/300 en 1/1000 per jaar*

Het beoordelingsspoor voor stabiliteit van constructie en grondlichaam van waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een regionale waterkering met een veiligheidsnorm van 1/100 tot en met 1/1000 per jaar wordt beoordeeld volgens het stroomschema in figuur 5.3.

Het gaat in dit spoor om de weerstand tegen beweging en vervorming van het waterkerende kunstwerk (inclusief het grondlichaam dat het waterkerende kunstwerk omsluit) als geheel. De aparte onderdelen worden beoordeeld in toetsspoor Sterke van (waterkerende) constructieonderdelen. Te toetsen aspecten en daaruit volgende faalmechanismen kunnen zijn:

- Draagvermogen van de fundering (opdrijven, kantelen, horizontaal afschuiven)
- Stabiliteit van grondkerende constructies zoals damwanden en keermuren, voor zover deze significant worden beïnvloed door de waterstand in het grondlichaam dat zij moeten keren
- Macrostabiliteit van het grondlichaam aansluitend op het waterkerende kunstwerk of het grondlichaam inclusief het waterkerende kunstwerk. Hiervoor kan de beoordeling op de sporen Macrostabiliteit binnenwaarts en Macrostabiliteit buitenwaarts volgens de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02] paragraaf 5.3.6 en 5.3.7 worden gevolgd, met dien verstande dat ook belastingen in rekening moeten worden gebracht die via of vanuit het waterkerende kunstwerk op het grondlichaam worden afgedragen
- Instabiliteit van het voorland. Voor de beoordeling van dit onderdeel wordt verwezen naar toetsspoor Voorland in paragraaf 5.3.10 van de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02]
- Erosie van bekleding. Voor de beoordeling van dit onderdeel wordt verwezen naar Katern 8 van het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], waarin de toetsing per bekledingstype wordt behandeld

FIGUUR 5.3 BEOORDELINGSSCHEMA VOOR STABILITEIT VAN CONSTRUCTIE EN GRONDLICHAAM (STCG) EN WATERKERENDE CONSTRUCTIEONDERDELEN (STCO) VAN WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN BOEZEMWATERKERINGEN MET EEN VEILIGHEID VAN 1/100, 1/300 EN 1/1000 PER JAAR





**STAP 1 EENVOUDIGE TOETSING, BEOORDELING 'BEWEZEN STERKTE'**

Voor een uitgebreide beschrijving van deze stap wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.2.1 stap 1.

Opgemerkt wordt dat - in tegenstelling tot het mechanisme piping en heave - constructief bezwijken van onderdelen wel een progressief proces is. Een beperkte overschrijding van een 'overleefde' waargenomen belasting kan dus beslist niet worden toegestaan. Als het gaat om 'bewezen sterkte' dan gaat het vooral om onderhouds- of operationele omstandigheden die tot de maatgevende belasting leiden voor een bepaald deelspoor. Zo zal bij waterkerende kunstwerken in boezemwaterkeringen de maatgevende belastingsituatie voor het faalmechanisme horizontaal afschuiven bij een kunstwerk dat op staal is gefundeerd veelal bepaald worden door de situatie waarbij het waterkerend kunstwerk droogstaat en niet door de maatgevende hoogwatersituatie. Ditzelfde geldt voor het faalmechanisme opdrijven van het waterkerende kunstwerk.

**STAP 2 BEOORDELING ONTWERP**

Voor een beschrijving van deze stap wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.2.1 stap 2. Indien deze stap niet met een positief antwoord doorlopen kan worden, moet in de volgende stappen nader onderzoek worden uitgevoerd. De toetsing wordt dan vervolgd met stap 3.

**STAP 3 GEDETAILLEERDE TOETSING**

In deze stap wordt een herberekening uitgevoerd conform de rekenregels en methodes in de vigerende leidraden en normen. Zie hiervoor met name de NEN-normen (TGB), de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] en het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [TAW, 2001]. Indien de onderhoudstoestand en de actuele conditie van de constructie slecht is of onbekend, dient van veilige aannamen op dit punt te worden uitgegaan, en is het soms weinig zinvol de toetsing voort te zetten. In dat geval dient eerst de conditie nader te worden onderzocht. Dit geldt met name voor historische kunstwerken, waarbij doorgaans alleen van de zichtbare constructieonderdelen de actuele conditie bekend is.

Voorts geldt dat waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen in het verleden zijn ontworpen volgens veiligheidsklasse 3 van de TGB (de hoogste veiligheidsklasse) of volgens de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003], die een nog strengere norm stelt aan de betrouwbaarheidsindex . Deze norm kan, bij gebrek aan beter, ook zijn overgenomen bij het ontwerp voor waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen. Voor waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen met een lage norm kan echter met een lagere betrouwbaarheidsindex worden volstaan, zie ook het deel Ontwerp paragraaf 5.2. Dit betekent dat voor waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen met een lagere veiligheidsklasse volstaan kan worden. Het ontbreekt echter aan vastgesteld beleid op dit gebied. Daarom wordt voorgesteld dat bij herberekening van waterkerende kunstwerken in boezemwaterkeringen de veiligheidsklassen uit paragraaf 5.2 van het deel Ontwerp gehanteerd kunnen worden. Dit betekent dat er voor waterkerende kunstwerken met een normfrequentie van 1/100 die zijn ontworpen volgens veiligheidsklasse 3 uit de TGB of volgens de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] er ruimte is om enige achteruitgang in sterkte of verzwaring van de hydraulische randvoorwaarden ten opzichte van de ontwerpwaarden op te vangen. Dit geldt bij gebruik van de NEN6700-serie. Bij gebruik van de Eurocode geldt dit niet.

#### STAP 4 GEAVANCEERDE TOETSING

In deze stap worden specialistische analyses uitgevoerd die zijn toegespitst op de specifieke situatie van het betreffende waterkerend kunstwerk. Voor dit spoor kan bijvoorbeeld worden gedacht aan probabilistische berekeningen of (mits beargumenteerd) een andere verdeling van de faalkansruimte tussen de toetssporen worden toegepast dan in de Leidraad Waterkerende Kunstwerken. Opgemerkt wordt dat bij boezemwaterkeringen het uitvoeren van niet-stationaire grondwaterstromingsberekeningen op voorhand al niet zinvol wordt geacht gezien de stationaire belastingsituatie.

##### 5.4.5 STERKTE VAN WATERKERENDE CONSTRUCTIE-ONDERDELEN

Voor een beschrijving van relevante faalmechanismen die vallen onder de noemer sterkte van waterkerende constructieonderdelen wordt verwezen naar paragraaf 4.4. De beoordeling van de kans op het bezwijken van het waterkerende kunstwerk door constructief bezwijken of aanvaring van waterkerende constructieonderdelen dient te worden uitgevoerd conform het stroomschema in figuur 5.1 (voor waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/10 en 1/30 per jaar) of figuur 5.3 (voor waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/100, 1/300 en 1/1000 per jaar).

##### BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/10 EN 1/30 PER JAAR

Als bij de beheerder geen gevallen bekend zijn van opgetreden schades die kunnen duiden op een onvoldoende stabiliteit van waterkerende constructieonderdelen (bijvoorbeeld aanvaringen, doorgeroeste beplating of constructiedelen, verrotte beplanking of andere houten constructiedelen, significante vervormingen door vervalbelasting) en ook anderszins de beheerervaring zonder voorbehoud goed is dan krijgt het waterkerende kunstwerk op basis van de waarnemingen van de beheerder de score 'voldoende'. Indien door de beheerder wel schade is geconstateerd krijgt het waterkerend kunstwerk direct de score 'onvoldoende'.

Voor waterkerende kunstwerken die recent zijn aangelegd geldt dat moet worden getoetst of ze zijn ontworpen volgens de vigerende normen en ontwerpvoorschriften (NEN-normen, Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] of gelijkwaardig) en of de hydraulische randvoorwaarden nog steeds (nagenoeg) dezelfde zijn. Als dit het geval is dan is de score 'goed'. Als dit niet het geval is dan kan de toetsing worden uitgevoerd conform de toetsing van waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/100, 1/300 en 1/1000 per jaar.

##### *Beoordeling waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/100, 1/300 en 1/1000 per jaar*

Het beoordelingsspoor voor sterkte van waterkerende constructieonderdelen van waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een regionale waterkering met een veiligheidsnorm van 1/100 tot en met 1/1000 per jaar wordt beoordeeld volgens het stroomschema in figuur 5.3. Voor een uitgebreide beschrijving van de stappen wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.2.1 en paragraaf 5.4.4 van deze Leidraad. Hierbij wordt opgemerkt dat voor waterkerende kunstwerken met een veiligheidsnorm van 1/100 wellicht nog ruimte kan worden gevonden in de toegepaste betrouwbaarheidsindex. Hiervoor wordt verwezen naar het gestelde in paragraaf 5.4.4.

Het merendeel van de waterkerende kunstwerken in boezemwaterkeringen kenmerkt zich door de aanwezigheid van een permanent verval over het waterkerend kunstwerk. In deze situatie zijn de risico's van aanvaren onder hoogwateromstandigheden weinig anders dan onder dagelijkse omstandigheden. De beoordeling van het aanvaarrisico hoort hiermee in feite onderdeel te zijn van het dagelijks beheer van het waterkerend kunstwerk.

#### 5.4.6 PIPING EN HEAVE

Voor een beschrijving van het faalmechanisme piping en heave wordt verwezen naar paragraaf 4.5. De beoordeling van de kans op het bezwijken van het waterkerend kunstwerk door het optreden van piping en heave dient te worden uitgevoerd conform het stroomschema in figuur 5.1 (voor waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/10 en 1/30 per jaar) of figuur 5.4 (voor waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/100, 1/300 en 1/1000 per jaar).

##### **BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/10 EN 1/30 PER JAAR**

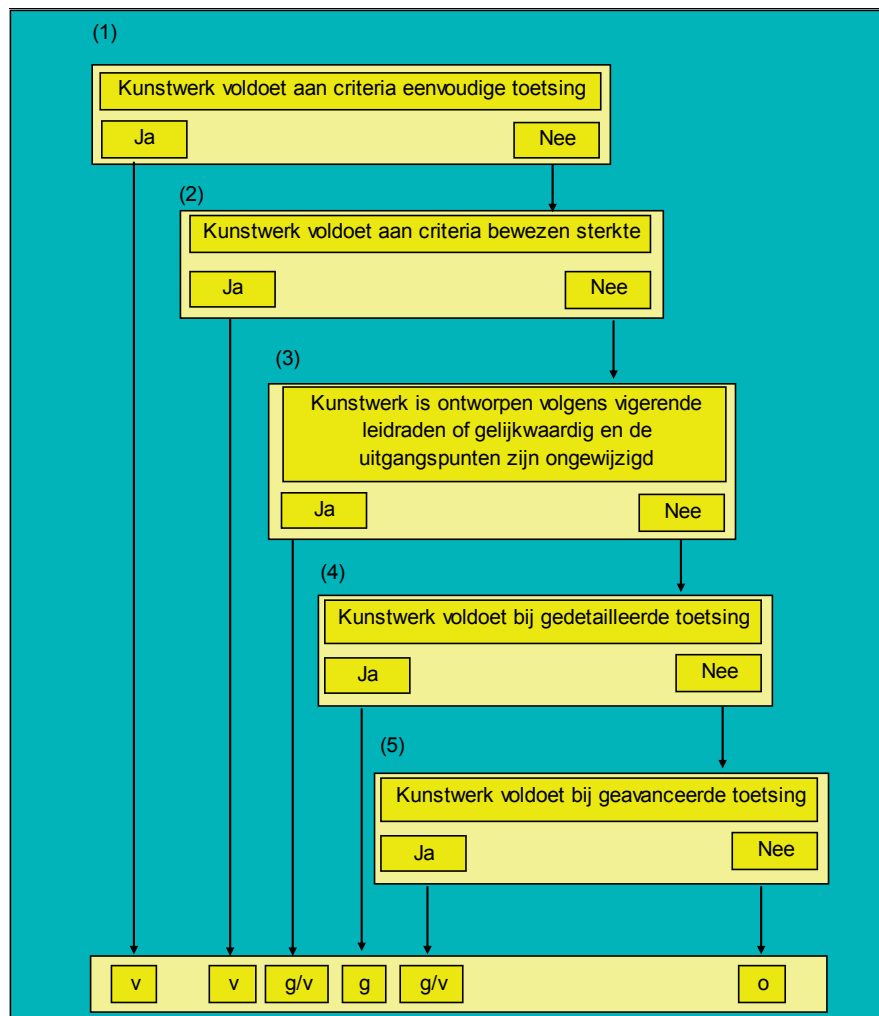
Als bij de beheerder geen gevallen bekend zijn van schades die kunnen duiden op een onvoldoende weerstand tegen piping (bijvoorbeeld opgetreden verzakkingen aan de uitstroomzijde van het waterkerend kunstwerk of welvorming is geconstateerd) en ook anderszins de beheerervaring zonder voorbehoud goed is dan krijgt het waterkerend kunstwerk op basis van de waarnemingen van de beheerder de score 'voldoende'. Hierbij dient de beheerder wel te verifiëren of het polderpeil niet significant is verlaagd ten opzichte van het moment dat de 'maatgevende omstandigheid' voor het laatst is opgetreden. Indien door de beheerder wel schade of welvorming is geconstateerd krijgt het waterkerende kunstwerk direct de score 'onvoldoende'.

Voor waterkerende kunstwerken die recent zijn aangelegd geldt dat moet worden getoetst of ze zijn ontworpen volgens de vigerende normen en ontwerpvoorschriften (Leidraad Zandmeevoerende Wellen [TAW, 1999], Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] of gelijkwaardig) en of de hydraulische randvoorwaarden nog steeds (nagenoeg) dezelfde zijn. Als dit het geval is dan is de score 'goed'. Als dit niet het geval is dan kan de toetsing worden uitgevoerd conform de toetsing van waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/100, 1/300 en 1/1000 per jaar.

##### *Beoordeling waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/100, 1/300 en 1/1000 per jaar*

Het beoordelingsspoor piping en heave van waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een regionale waterkering met een veiligheidsnorm van 1/100 tot en met 1/1000 per jaar wordt beoordeeld volgens het stroomschema in figuur 5.4.

FIGUUR 5.4 BEOORDELINGSSHEMA VOOR PIPING EN HEAVE (STPH) VAN WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN BOEZEMWATERKERINGEN MET EEN VEILIGHEID VAN 1/100, 1/300 EN 1/1000 PER JAAR



**STAP 1 EENVOUDIGE TOETSING PIPING EN HEAVE**

Voor het toetsspoor piping en heave is een eenvoudige toetsing beschikbaar. Hiervoor wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.2.4 stap 1.

**STAP 2 BEOORDELING ‘BEWEZEN STERKTE’**

Het merendeel van de waterkerende kunstwerken in boezemwaterkeringen kenmerkt zich door een permanent verval over het waterkerend kunstwerk. In deze situatie kan gebruik worden gemaakt van het principe van bewezen sterkte. Bij deze waterkerende kunstwerken staat in ieder geval vast dat er een bepaalde weerstand tegen piping aanwezig is. Aangezien piping geen proces is dat progressief reageert op een overschrijding van een bepaalde drempelwaarde kan worden gesteld dat in uitzonderlijke gevallen een beperkte overschrijding van een drempelwaarde kan worden toegestaan. De uitstroom van zanddeeltjes leidt namelijk tot het ontstaan van holle ruimtes onder het waterkerend kunstwerk. Dit heeft een reducerende werking op het erosieproces, doordat stromingsgradiënten afnemen waardoor de terugschrijdende erosie tot stilstand komt. Hierdoor kan gesteld worden dat een beperkt hogere waarde dan een reeds opgetreden belasting – waarvan met zekerheid is geconstateerd dat geen piping is opgetreden – niet zal leiden tot een dusdanige mate van piping dat het waterkerend kunst-

werk hierdoor instabiel wordt. Aangenomen is dat een overschrijdingspercentage van 10 % van het maximaal opgetreden verval geen significante invloed heeft op de stabiliteit van het waterkerend kunstwerk met betrekking tot piping.

In deze stap moet dus het maatgevende verval over het waterkerend kunstwerk worden nagegaan dat min of meer recent (afgelopen 10 jaar) is opgetreden en waarbij met zekerheid is geconstateerd dat geen piping is opgetreden. Hierbij moet dus gekeken worden naar de maatgevende combinatie van boezem- en polderwaterstand. Vervolgens moet worden vergeleken of het verval onder toetsomstandigheden minder dan 10 % afwijkt van het opgetreden verval. Is dit het geval én de onderhoudstoestand van het waterkerend kunstwerk is goed dan krijgt het waterkerend kunstwerk de score 'voldoende', anders wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

### STAP 3 BEOORDELING ONTWERP

Als een waterkerend kunstwerk is ontworpen volgens de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] en/of het Technisch rapport Zandmeevoerende Wellen [TAW, 1999] of gelijkwaardige ontwerpvoorschriften, én zowel geometrie als randvoorwaarden zijn niet verslechterd ten opzichte van de ontwerpsituatie dan kan de score 'goed' worden toegekend. In de praktijk betekent dit dat aan de volgende voorwaarden moet zijn voldaan:

- Het kunstwerk is ontworpen volgens de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] en/of de Technisch rapport Zandmeevoerende Wellen [TAW, 1999]; indien een kunstwerk is ontworpen volgens oudere ontwerprapporten (zoals het Basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies [TAW, 1997]) moet de beheerder de gelijkwaardigheid aantonen
- De hydraulische randvoorwaarden (Toetspeil + toeslagen, maatgevende binnenwaterstand) zijn niet verslechterd ten opzichte van de ontwerpsituatie

Het overgrote deel van de waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen is ontworpen en aangelegd voor 1999. Indien hiervan een ontwerprapport beschikbaar is, kan worden nagegaan of de gehanteerde ontwerpmethodiek voldoende overeenkomt met de methodiek zoals in bovengenoemde rapporten is verwoord. Is dit niet het geval dan wordt de toetsing vervolgd met stap 4.

### STAP 4 GEDETAILLEERDE TOETSING PIPING EN HEAVE

In deze stap wordt een herberekening uitgevoerd conform de rekenregels en methodes in de vigerende leidraden en normen. Zie hiervoor met name de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] en het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [TAW, 1999]. Indien de onderhoudstoestand en de actuele conditie van het waterkerende kunstwerk niet goed of onbekend is, dient van veilige aannamen op dit punt te worden uitgegaan. In dat geval is het veelal efficiënt eerst de conditie van het waterkerende kunstwerk nader te onderzoeken alvorens de toetsing voort te zetten. Dit geldt met name voor historische kunstwerken, waarbij de afmetingen en functioneren van kwelschermen vaak niet goed bekend is.

Voor een meer uitgebreide beschrijving van deze stap wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.2.4 stap 3.

### STAP 5 GEAVANCEERDE TOETSING PIPING EN HEAVE

In deze stap worden specialistische analyses uitgevoerd die zijn toegespitst op de specifieke situatie van het betreffende waterkerend kunstwerk. Voor dit spoor kan bijvoorbeeld worden gedacht aan probabilistische berekeningen of (mits beargumenteerd) een andere ver-

deling van de faalkansruimte tussen de toetssporen worden toegepast dan in de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003]. Voor een meer uitgebreide beschrijving van deze stap wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.2.4 stap 4. Opgemerkt wordt dat bij boezemwaterkeringen het uitvoeren van niet-stationaire grondwaterstromingsberekeningen op voorhand al niet zinvol wordt geacht gezien de stationaire belastingsituatie.

#### 5.4.7 STABILITEIT VOORLAND

Het beoordelingsspoor 'Stabiliteit voorland' is bij boezemwaterkeringen zelden een relevant beoordelingsspoor, eenvoudigweg omdat:

- De breedte en diepte van de boezem beperkte afmetingen hebben
- Geen diepe geul of ontgraving aanwezig is

Op voorhand kan de relevantie van dit faalmechanisme echter niet worden uitgesloten. Zo kan lokaal bijvoorbeeld een diepe zandwininput aanwezig zijn. Zodoende is dit faalmechanisme toch een onderdeel van de toets op veiligheid. In veel gevallen zal voor de beoordeling met een korte opmerking over de afwezigheid van geulen kunnen worden volstaan. Uitsluitend indien een geul aanwezig is met een diepte die groter is dan 9 m dient de stabiliteit van het voorland te worden getoetst. Voor de beoordeling van het mechanisme stabiliteit voorland wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 9.

#### 5.4.8 BETROUWBAARHEID SLUITING

Voor een beschrijving van het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting wordt verwezen naar paragraaf 4.7. De beoordeling van de betrouwbaarheid van de sluiting dient te worden uitgevoerd conform het stroomschema in figuur 5.5 (voor waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/10 en 1/30 per jaar) of figuur 5.6 (voor waterkerende kunstwerken met veiligheidsnorm 1/100, 1/300 en 1/1000 per jaar).

#### BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/10 EN 1/30 PER JAAR

Aan waterkerende kunstwerken met een lage veiligheidsnorm die normaliter gesloten zijn en alleen in 'bediende tijd' worden geopend kan direct de score 'voldoende' worden toegekend. De beoordeling van de overige waterkerende kunstwerken met een lage veiligheidsnorm vindt plaats aan de hand van het eenvoudige criterium of de sluitingsprocedure automatisch gebeurt of is vastgelegd in een draaiboek. Indien de hoogwatersluiting automatisch gebeurt op basis van een peilregistratiesysteem dan kan direct de score 'voldoende' worden toegekend onder voorwaarde dat tenminste jaarlijks wordt gecontroleerd of het automatische systeem nog werkt en of het afsluitmiddel nog functioneert. Is dit niet het geval dan moet voor het betreffende waterkerend kunstwerk een draaiboek aanwezig zijn. In dit draaiboek moet worden vastgelegd wanneer, door wie en op welke wijze het waterkerend kunstwerk gesloten wordt. Hierbij moet worden voldaan aan de eisen A2, B1 tot en met B6, C1 tot en met C5 en D3 tot en met D4 van de eenvoudige methode uit bijlage B3.3 van de Leidraad Waterkerende Kunstwerken. Hierbij gelden de volgende opmerkingen:

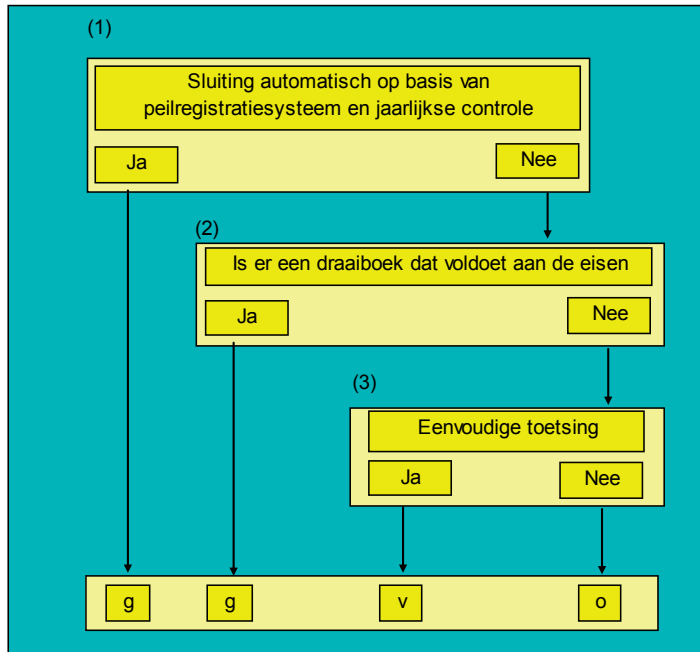
- Onderdeel B2: volstaan kan worden met alleen een terugmeldingssysteem
- Onderdeel C6: verlichting van het waterkerend kunstwerk hoeft niet permanent aanwezig te zijn, als gebruik van hulpmiddelen noodzakelijk is moet dit wel zijn vastgelegd in de procedure voor sluiting
- Onderdeel D4: gezien de aard van het watersysteem maakt de beoordeling van het aanvaarrisico onderdeel uit van het dagelijks beheer van het waterkerend kunstwerk
- Gezien de aard van de gevolgen van een calamiteit (beperkte overlast) wordt een tweede

onafhankelijke set afsluitlemiddelen niet noodzakelijk geacht  
 Indien hieraan niet wordt voldaan dan kan de toetsing worden vervolgd met een eenvoudige toetsing van het type afsluitlemiddel en het verschil in het verval tussen maatgevende en dagelijkse omstandigheden. Deze verloopt analoog aan de eenvoudige toetsing in stap 0 voor waterkerende kunstwerken met een hogere veiligheidsnorm. Levert deze eenvoudige toets geen score ‘voldoende’ op dan wordt de toetsing vervolgd conform stap 1 t/m 5 van figuur 5.6.

Hiermee ziet het stroomschema voor waterkerende kunstwerken met een veiligheidsnorm van 1/10 en 1/30 per jaar er voor het toetsingspoor betrouwbaarheid sluiting als volgt uit:

FIGUUR 5.5

BEOORDELINGSSCHEMA VOOR DE BETROUWBAARHEID VAN DE SLUITING (BS) VAN WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN BOEZEMWATERKERINGEN



**BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/100, 1/300 EN 1/1000 PER JAAR**

Het beoordelingsspoor voor de betrouwbaarheid van de sluiting van waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een regionale waterkering met een veiligheidsnorm van 1/100 tot en met 1/1000 per jaar wordt beoordeeld volgens het stroomschema in figuur 5.6. Het schema begint met een eenvoudige toetsing van het type afsluitlemiddel en het verschil in het verval tussen maatgevende en dagelijkse omstandigheden. Levert dit geen score ‘voldoende’ dan worden de standzekerheid en beheersmatige gevolgen getoetst. Indien de eenvoudige toetsing geen oordeel ‘voldoende’ oplevert dan wordt de toetsing uitgevoerd conform het beoordelingsschema voor betrouwbaarheid sluiting uit het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007]. Voor een uitgebreide beschrijving van de bijbehorende stappen wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.3. Onderstaand wordt volstaan met een aanvulling op deze stappen.

**STAP 0 EENVOUDIGE TOETSING**

Het merendeel van de waterkerende kunstwerken in boezemwaterkeringen kenmerkt zich door de aanwezigheid van een permanent verval over het waterkerend kunstwerk. Hierdoor zijn de afsluitlemiddelen van het waterkerend kunstwerk in beginsel gesloten, behalve bij

waterkerende kunstwerken met een functie als waterinlaat zoals stuwen en inlaatduikers. Bij deze waterkerende kunstwerken zal de opening van het waterkerend kunstwerk veelal beperkt zijn. Voor deze kunstwerken is een score ‘voldoende’ mogelijk in twee gevallen.

#### **STAP 0.1 TOETSING OP VERSCHIL IN VERVAL EN TYPE WATERKEREND KUNSTWERK**

Voor waterkerende kunstwerken met een onderlaat neemt het instromende debiet toe met de wortel uit het verval over het waterkerend kunstwerk. Hierdoor zijn de gevolgen van een beperkte toename van het verval op de achterliggende constructieonderdelen en het achterliggende watersysteem gering. Daarom kan veilig gesteld worden dat het kunstwerk voldoet als sprake is van:

- Een kunstwerk met een onderlaat
- Een verschil in maatgevend verval tussen dagelijkse omstandigheden en hoogwateromstandigheden van maximaal 10 %. Hierbij moet dus gekeken worden naar de maatgevende combinatie van boezem- en polderwaterstand. Vervolgens moet worden vergeleken of het verval onder toetsomstandigheden minder dan 10 % afwijkt van het opgetreden verval.

Voor waterkerende kunstwerken met een overlaat (stuwconstructies) geldt deze redenering niet, omdat het debiet dan ruwweg lineair toeneemt met het verval over het kunstwerk. Voor deze kunstwerken gaat de eenvoudige toetsregel niet op!

Voldoet het waterkerend kunstwerk niet aan de bovenstaande eisen dan wordt de toetsing vervolgd met stap 0.2.

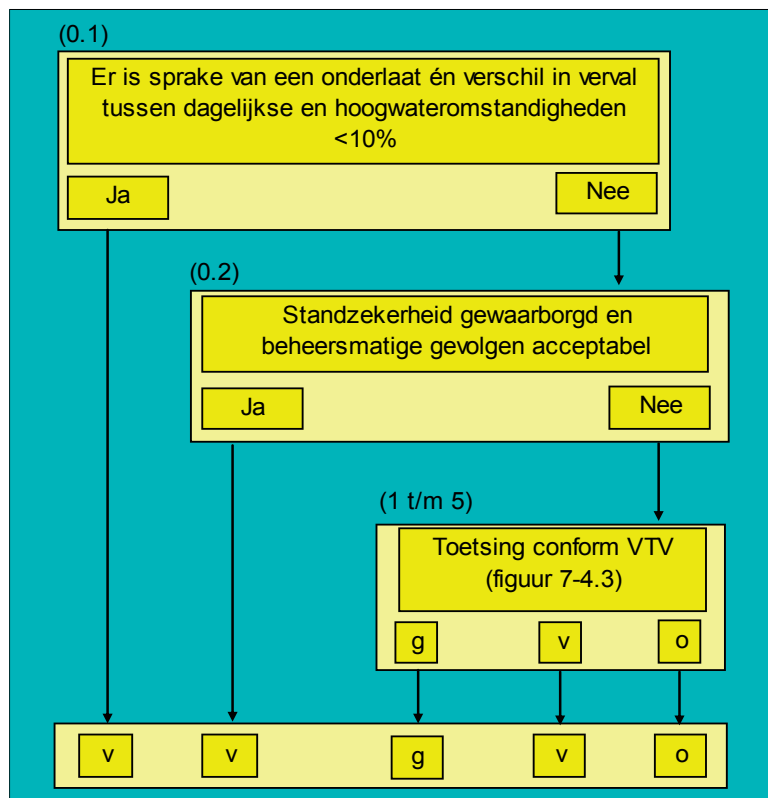
#### **STAP 0.2 TOETSING OP STANDZEKERHEID EN BEHEERSMATIGE GEVOLGEN NIET-SLUITEN**

In deze stap wordt beoordeeld of het instromende debiet door het geopende kunstwerk niet leidt tot onaanvaardbare gevolgen voor de stabiliteit van het waterkerend kunstwerk en het waterbezwaar in de achterliggende polder. De toetsing op stabiliteit van het kunstwerk bevat in hoofdzaak een toetsing of de achterliggende bodemverdediging nog steeds stabiel is onder de optredende belasting. Voorts moet beoordeeld worden of het instromende debiet gedurende de periode dat de hoge waterstand optreedt in het achterliggende poldersysteem kan worden geborgen zonder dat dit leidt tot onaanvaardbare wateroverlast. Hierbij moet bedacht worden dat onder maatgevende omstandigheden op de boezem het poldersysteem doorgaans ook volledig gevuld is en dat onder deze omstandigheden de ruimte om extra water te bergen vaak niet groot is.

Als zowel de standzekerheid is gewaarborgd en het instromende water niet leidt tot een onacceptabele beheerssituatie, kan de score ‘voldoende’ worden toegekend. Is dit niet het geval dan wordt de toetsing vervolgd conform de toetsing van primaire waterkeringen. Hiervoor wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], figuur 7-4.3.



FIGUUR 5.6 BEOORDELINGSSCHEMA VOOR DE BETROUWBAARHEID VAN DE SLUITING (BS) VAN WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN BOEZEMWATERKERINGEN MET EEN VEILIGHEID VAN 1/100, 1/300 EN 1/1000 PER JAAR



## 5.5 KERINGEN LANGS REGIONALE RIVIEREN

### 5.5.1 BELASTINGEN

De hydraulische belastingen kunnen worden bepaald volgens paragraaf 3.1 en 3.2. Voor specifieke aspecten voor het bepalen van de maatgevende waterstanden bij regionale rivierkeringen wordt verwezen naar paragraaf 6.2 van de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02]. Twee elementen worden hieruit naar voren gehaald.

Regionale rivierkeringen hoeven in beginsel niet te worden getoetst ten aanzien van de situatie tijdens langdurige droge omstandigheden. Een eerste reden hiervoor is het naar verwachting weinig voorkomen van regionale rivierkeringen die voor een belangrijk deel uit veen bestaan. Een tweede reden is de in het algemeen sterke samenhang tussen het optreden van hoogwater en het optreden van veel neerslag, waarmee het gelijktijdig optreden van hoogwater en het uitgedroogd zijn van de regionale rivierkering weinig waarschijnlijk is.

Voorts moet bij de bepaling van de maatgevende windsnelheden rekening worden gehouden met het gestelde in paragraaf 6.2.2 van de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02]. Kortweg komt het hierop neer dat de maatgevende windsnelheid varieert over de verschillende windrichtingen tussen 12 en 15 m/s als de waterstand wordt gedomineerd door de afvoer.

### 5.5.2 OVERZICHT BEOORDELINGSSPOREN WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN REGIONALE RIVIERKERINGEN

De belangrijkste te volgen beoordelingssporen bij het toetsen van waterkerende kunstwerken in regionale rivierkeringen zijn verzameld in tabel 5.2. Voor al deze beoordelingssporen geldt dat ze in beginsel alleen voor de hoogwatersituatie moeten worden uitgewerkt.

TABEL 5.2 OVERZICHT BEOORDELINGSSPOREN REGIONALE RIVIEREN

| Beoordelingsspoor                                    | Veiligheids-klasse | Beoordelingsmethode  |  |   |
|--|--------------------|--|--|---|
|  |                    | Eenvoudig  | Gedetailleerd  | Geavanceerd                                 |
| Hoogte (HT)  | 1/10 – 1/30        | Bewezen sterkte  | n.v.t.   | n.v.t.                                      |
|  | 1/100 – 1/1000     | Methode STOWA (paragraaf 5.5.3)                                  | Methode VTV 2007 (katern 7-4.1)                                  | n.v.t.                                      |
| Stabiliteit constructie en grondlichaam (STCG)       | 1/10 – 1/30        | Bewezen sterkte  | n.v.t.   | n.v.t.                                      |
|  | 1/100 – 1/1000     | methode VTV 2007 (katern 7-4.2.2), STOWA 2007-02 (paragraaf 6.3) | Methode VTV 2007 (katern 7-4.2.2), STOWA 2007-02 (paragraaf 6.3) | State of the art kennis (niet gedefinieerd) |
| Sterkte (waterkerende) constructie-onderdelen (STCO) | 1/10 – 1/30        | Bewezen sterkte  | n.v.t.   | n.v.t.                                      |
|  | 1/100 – 1/1000     | methode VTV 2007 (katern 7-4.2.3)                                | Methode VTV 2007 (katern 7-4.2.3)                                | State of the art kennis (niet gedefinieerd) |
| Piping en heave (STPH)                               | 1/10 – 1/30        | Bewezen sterkte  | n.v.t.   | n.v.t.                                      |
|  | 1/100 – 1/1000     | methode VTV 2007 (katern 7-4.2.4)                                | Methode VTV 2007 (katern 7-4.2.4)                                | State of the art kennis (niet gedefinieerd) |
| Stabiliteit voorland (STVL)                          | 1/10 – 1/1000      | methode VTV 2007 (katern 9)                                      | Methode VTV 2007 (katern 9)                                      | Methode VTV 2007 (katern 9)                 |
| Betrouwbaarheid sluiting (BS)                        | 1/10 – 1/30        | Draaiboek of automatische sluiting                               | Methode VTV 2007 (katern 7-4.3)                                  | n.v.t.                                      |
|  | 1/100 – 1/1000     | Methode STOWA (paragraaf 5.5.7)                                  | Methode VTV 2007 (katern 7-4.3)                                  | State of the art kennis (niet gedefinieerd) |

De beoordelingssporen resulteren in een (technisch) toetsoordeel, waarbij per faalmechanisme wordt vastgesteld of de veiligheid van het waterkerende kunstwerk voldoet of niet voldoet aan de norm. Indien onvoldoende informatie beschikbaar is voor een toetsoordeel, kan de aanduiding ‘geen oordeel’ resulteren. In dergelijke gevallen dient de reden (de ontbrekende informatie) te worden gespecificeerd.

### 5.5.3 KERENDE HOOGTE

Voor een beschrijving van het faalmechanisme overlopen/overslag wordt verwezen naar paragraaf 4.2.

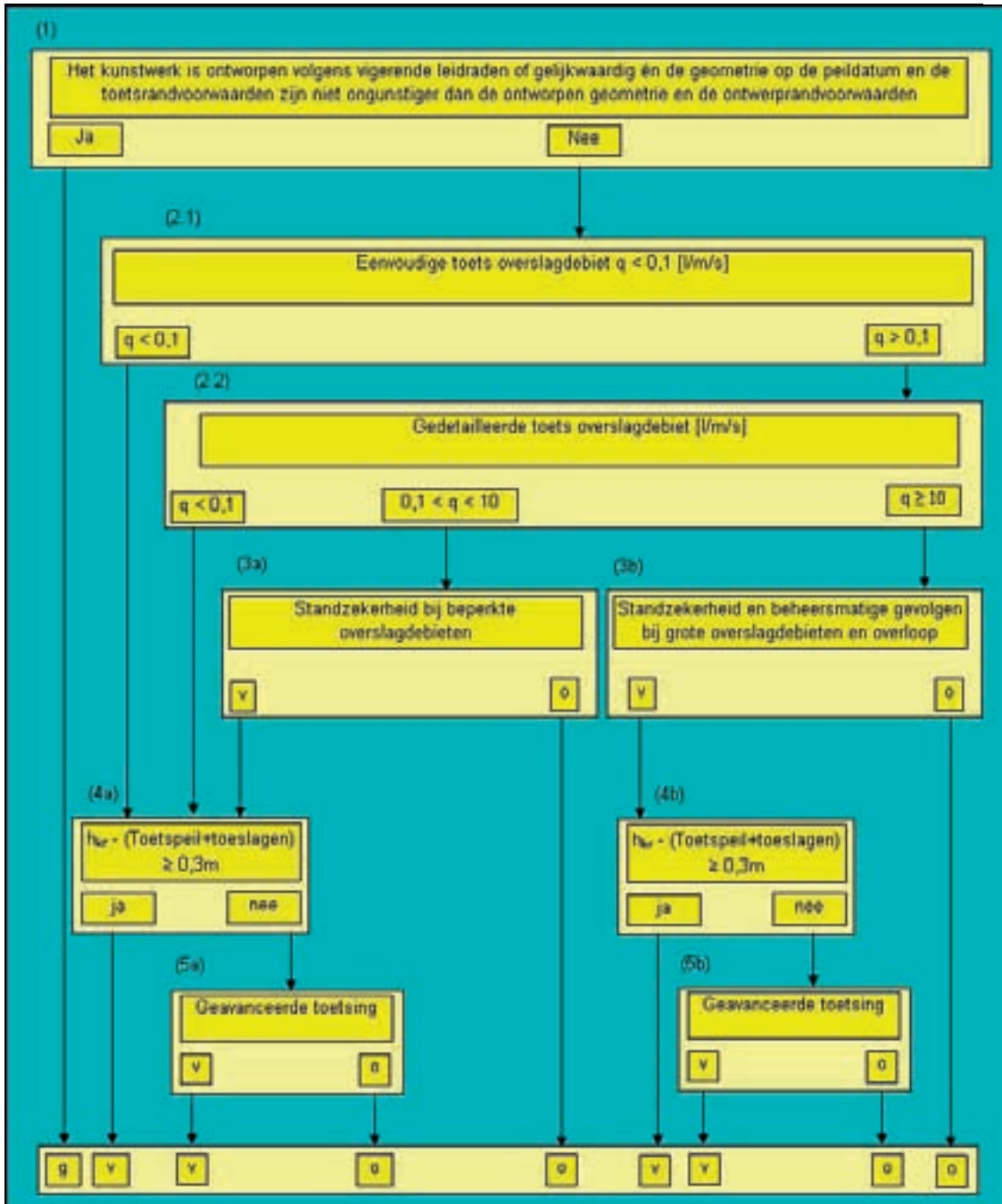
#### BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/10 EN 1/30 PER JAAR

De beoordeling van de kans op het bezwijken van het waterkerend kunstwerk door het optreden van overlopen en/of overslag is voor regionale rivierkeringen hetzelfde als voor boezemwaterkeringen. De beoordeling dient te worden uitgevoerd conform het stroomschema in figuur 5.1 en de bijbehorende beschrijving in paragraaf 5.4.3.

**BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/100, 1/300 EN 1/1000 PER JAAR**

De hoogte van waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een regionale waterkering met een veiligheidsnorm van 1/100 tot en met 1/1000 per jaar wordt beoordeeld volgens het stroomschema in figuur 5.7.

FIGUUR 5.7 BEOORDELINGSSCHEMA VOOR DE HOOGTE (HT) VAN WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN REGIONALE RIVIERKERINGEN MET EEN VEILIGHEID VAN 1/100, 1/300 EN 1/1000 PER JAAR



### STAP 1 BEOORDELING ONTWERP

Als een waterkerend kunstwerk is ontworpen volgens de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] of gelijkwaardig, én zowel geometrie als randvoorwaarden zijn niet verslechterd ten opzichte van de ontwerpsituatie dan kan de score 'goed' worden toegekend. In de praktijk betekent dit dat aan de volgende voorwaarden moet zijn voldaan:

- Het kunstwerk is ontworpen volgens de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003]; indien een kunstwerk is ontworpen volgens oudere ontwerprapporten (zoals het Basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies [TAW, 1997]) dan moet de beheerder de gelijkwaardigheid aantonen
- De hydraulische randvoorwaarden (Toetspeil + toeslagen, golfhoogte en -periode) en de geometrie (helling buitentalud, kruinhoogte inclusief zettingen) mogen niet zijn verslechterd ten opzichte van de ontwerpsituatie
- Het toelaatbare overslagdebiet uit het oogpunt van stabiliteit van het kunstwerk, de bekleding van aanliggende grondlichamen en beheersaspecten mag niet kleiner zijn dan de ontwerpwaarde

Voor een inschatting van de zetting van de kruinhoogte van constructie en afsluitmiddelen tot aan de peildatum moet een actuele kruinhoogte worden bepaald. Uit revisietekeningen van het waterkerende kunstwerk kan vervolgens de opgetreden zetting in de periode na aanleg bepaald kan worden. Hieruit kan een prognose voor de zetting tot aan de peildatum worden afgeleid.

Voor kunstwerken die stap 1 niet met een positief resultaat doorlopen wordt de toetsing vervolgd met stap 2.

#### STAP 2.1 EENVOUDIGE TOETSING OVERSLAGDEBIET

Bij de uitwerking op het eenvoudige niveau wordt het optredende golfoverslagdebiet  $q$  dat behoort bij de kruinhoogte  $h_{kr}$  voor waterkerende kunstwerken met een verticale wand afgeleid van de grafieken in bijlage 1. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een maatgevende windsnelheid van 16 m/s, onder voorwaarde dat de waterstand wordt gedomineerd door de afvoer. Indien niet aan deze voorwaarde wordt voldaan, dient de windsnelheid met een overschrijdingsfrequentie gelijk aan de norm van de waterkering te worden gebruikt. Tevens wordt voor de strijklengte de grootst mogelijke waarde aangehouden die binnen het spectrum tussen  $+42^\circ$  en  $-42^\circ$  op de normaal over het waterkerend kunstwerk aanwezig is. Deze methode verwaarloost enkele gunstige aspecten, en is daarmee conservatief.

Bij complexe geometrie (samengesteld talud met verticale delen door aanwezigheid van een waterkerend kunstwerk) moeten eerst de hydraulische belastingen worden bepaald conform paragraaf 3.1 en 3.2, waarna met het programma PC-OVERSLAG het overslagdebiet berekend kan worden.

De kruinhoogte op peildatum ( $h_{kr}$ ) voor deze stap kan worden bepaald door een actuele kruinhoogte te vergelijken met eerdere kruinhoogtemetingen dan wel aanleghoogte zoals afgeleid uit revisietekeningen. De beoordeling bestaat uit het toetsen aan de eis of het optredende overslagdebiet kleiner is dan 0,1 l/m/s.

Indien de eenvoudige methode resulteert in een overslagdebiet dat kleiner is dan 0,1 l/s/m dan wordt de toetsing voortgezet met een toetsing op de aanwezige kruinhoogtemarge (stap 4). Is dit niet het geval dan kan een gedetailleerde toets worden uitgevoerd (stap 2.2).

### STAP 2.2 GEDETAILLEERDE TOETSING OVERSLAGDEBIET

Het gedetailleerde niveau vergt berekening van de golfrandvoorwaarden, waarbij nauwkeurig rekening kan worden gehouden met specifieke kenmerken van de locatie. Mogelijkheden voor het inbrengen van meer gedetailleerde en meer op de specifieke situatie toegespitste gegevens zijn:

- Gedetailleerde bepaling van de verwachte kruindaling
- Gedetailleerde berekening van de golfoverslaghoogte, door het in rekening brengen van:
  - Nadere bepaling van de maatgevende windrichting (kan leiden tot een daling van de maatgevende windsnelheid)
  - Nadere bepaling van de strijklengte
  - Eventueel aanwezige gunstige kenmerken, zoals een vooroeverconstructie of een ruwe bekleding van het buitentalud

De beoordeling voor de gedetailleerde toets is gelijk aan de eenvoudige toets en bestaat uit het toetsen aan de eis of het optredende overslagdebiet kleiner is dan 0,1 l/m/s. Is dit zo dan volgt de score 'goed'. Is dit niet zo, dan moet beoordeeld worden of het optredende overslagdebiet kleiner of groter is dan 10 l/s/m.

### STAP 3A STANDZEKERHEID BIJ BEPERKTE OVERSLAGDEBIETEN

Bij een overslagdebiet tussen 0,1 en 10 l/m/s wordt alleen de standzekerheid van het waterkerende kunstwerk ten gevolg van golfoverslag getoetst. Hierbij geldt als aanvullende voorwaarde dat het waterkerende kunstwerk (kruin en binnentalud) als voldoende erosiebestendig moet zijn beoordeeld. Specifiek aandachtspunt bij 'droge' waterkerende kunstwerken (coupures en keermuren) is dat de gevolgen van afstromend water voor aanliggende grondlichamen moeten worden beoordeeld (stabiliteit bekleding). Voor de beoordeling van de bekleding wordt verwezen naar katern 8 van de VTV.

### STAP 3B STANDZEKERHEID EN BEHEERSMATIGE GEVOLGEN BIJ GROTE OVERSLAG- EN OVERLOOPDEBIETEN

Bij grote overslag- en overloopdebieten moet niet alleen de standzekerheid van het waterkerend kunstwerk worden beoordeeld, maar ook of:

- Geen onaanvaardbare wateroverlast ontstaat in de polder
- Het kunstwerk en de directe omgeving hiervan voldoende begaanbaar is, indien deze voorwaarde (lokaal) vereist is

Voor een meer uitgebreide beschrijving van deze stap wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.1 stap 3.2 en 3.3.

### STAP 4 TOETSING AANWEZIGE KRUIHOOGTEMARGE

In deze stap wordt berekend hoe groot de marge tussen Toetspeil + toeslagen en de kruinhoogte op de peildatum is. Als de marge tussen kruinhoogte en waterstand groter of gelijk aan 0,3 m is dan volgt de score 'voldoende'. Als de marge kleiner dan 0,3 m, is er mogelijk sprake van overgangssituatie tussen de faalmechanismen overloop en overslag. Het mechanisme overloop is veel gevaarlijker voor de veiligheid dan het mechanisme overslag en het overloop debiet is zeer gevoelig voor onnauwkeurigheden in de maatgevende waterstand. In die situatie is daarom zowel in geval 4a als 4b geavanceerde toetsing nodig om aan te tonen dat de veiligheid niet in gevaar wordt gebracht door de kans op overloop (stap 5a en 5b).

**STAP 5: GEAVANCEERDE BEOORDELING**

Als er sprake is van een overgangssituatie tussen de faalmechanismen overloop en overslag, is geavanceerde toetsing nodig. Daarbij moet worden beschouwd in hoeverre de onzekerheden in de maatgevende waterstand worden afgedekt door de marge tussen kruinhoogte en Toetspeil + toeslagen. Indien uit de geavanceerde beoordeling volgt dat de veiligheid bedreigd wordt, is de score 'onvoldoende'.

**5.5.4 STABILITEIT VAN CONSTRUCTIE EN GRONDLICHAAM**

Voor een beschrijving van relevante faalmechanismen die vallen onder de noemer stabiliteit van constructie en grondlichaam wordt verwezen naar paragraaf 4.3.

**BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/10 EN 1/30 PER JAAR**

De beoordeling van de kans op het bezwijken van het waterkerend kunstwerk door instabiliteit van constructie en grondlichaam is voor regionale rivierkeringen hetzelfde als voor boezemwaterkeringen. De beoordeling dient te worden uitgevoerd conform het stroomschema in figuur 5.1 en de bijbehorende beschrijving in paragraaf 5.4.4.

**BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/100, 1/300 EN 1/1000 PER JAAR**

Het beoordelingsspoor voor stabiliteit van constructie en grondlichaam van waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een regionale rivierkering met een veiligheidsnorm van 1/100 tot en met 1/1000 per jaar is niet anders dan de beoordeling voor stabiliteit van constructie en grondlichaam bij waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen. Daarom wordt volstaan met een verwijzing naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.2.2. Hierbij wordt opgemerkt dat voor waterkerende kunstwerken met een veiligheidsnorm van 1/100 wellicht nog ruimte kan worden gevonden in de toegepaste veiligheidsfactor. Hiervoor wordt verwezen naar het gestelde in paragraaf 5.4.4.

De beoordeling van de macrostabiliteit van het grondlichaam aansluitend op de constructie of het grondlichaam inclusief de constructie kan benodigd zijn. Hiervoor kan de beoordeling op de sporen Macrostabiliteit binnenwaarts en Macrostabiliteit buitenwaarts volgens de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02] paragraaf 6.3.6 en 6.3.7 worden gevolgd, met dien verstande dat ook belastingen in rekening moeten worden gebracht die via of vanuit de constructie op het grondlichaam worden afgedragen.

**5.5.5 STERKTE VAN WATERKERENDE CONSTRUCTIE-ONDERDELEN**

Voor een beschrijving van relevante faalmechanismen die vallen onder de noemer sterkte van waterkerende constructieonderdelen wordt verwezen naar paragraaf 4.4.

**BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/10 EN 1/30 PER JAAR**

De beoordeling van de kans op het bezwijken van het waterkerend kunstwerk door instabiliteit van waterkerende constructieonderdelen is voor regionale rivierkeringen hetzelfde als voor boezemwaterkeringen. De beoordeling dient te worden uitgevoerd conform het stroomschema in figuur 5.1 en de bijbehorende beschrijving in paragraaf 5.4.5.

**BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/100, 1/300 EN 1/1000 PER JAAR**

Het beoordelingsspoor voor stabiliteit van waterkerende constructieonderdelen van waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een regionale rivierkering met een veiligheidsnorm van 1/100 tot en met 1/1000 per jaar is niet anders dan de beoordeling voor sta-

biliteit van waterkerende constructieonderdelen bij waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen. Daarom wordt volstaan met een verwijzing naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.2.3. Hierbij wordt opgemerkt dat voor waterkerende kunstwerken met een veiligheidsnorm van 1/100 wellicht nog ruimte kan worden gevonden in de toegepaste betrouwbaarheidsindex. Hiervoor wordt verwezen naar het gestelde in paragraaf 5.4.5.

#### 5.5.6 PIPING EN HEAVE

Voor een beschrijving van het faalmechanisme piping en heave wordt verwezen naar paragraaf 4.5.

##### **BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/10 EN 1/30 PER JAAR**

De beoordeling van de kans op het bezwijken van het waterkerend kunstwerk door piping is voor regionale rivierkeringen hetzelfde als voor boezemwaterkeringen. De beoordeling dient te worden uitgevoerd conform het stroomschema in figuur 5.1 en de bijbehorende beschrijving in paragraaf 5.4.6.

##### **BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/100, 1/300 EN 1/1000 PER JAAR**

Het beoordelingsspoor piping en heave van waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een regionale rivierkering met een veiligheidsnorm van 1/100 tot en met 1/1000 per jaar is niet anders dan de beoordeling van piping en heave bij waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen. Daarom wordt volstaan met een verwijzing naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.2.4.

#### 5.5.7 STABILITEIT VOORLAND

Net als bij boezemwaterkeringen is bij waterkeringen langs regionale rivieren het beoordelingsspoor 'Stabiliteit voorland' zelden een relevant beoordelingsspoor. Voor de beoordeling van de stabiliteit van het voorland geldt voor waterkeringen langs regionale rivieren hetzelfde als voor boezemwaterkeringen. Volstaan wordt daarom met een verwijzing naar paragraaf 5.4.7.

#### 5.5.8 BETROUWBAARHEID SLUITING

Voor een beschrijving van het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting wordt verwezen naar paragraaf 4.7.

##### **BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/10 EN 1/30 PER JAAR**

De beoordeling van de betrouwbaarheid van de sluiting dient te worden uitgevoerd conform het stroomschema in figuur 5.5. Hierbij wordt alleen de opmerking gemaakt dat in stap 2 van de toetsing de beoordeling van het aanvaarrisico hier wel onderdeel uitmaakt van de toetsing, dit in tegenstelling tot bij boezemwaterkeringen.

Indien hieraan niet wordt voldaan dan kan de toetsing worden vervolgd met een eenvoudige toetsing. Hiervoor wordt verwezen naar de eenvoudige toetsing in stap 0 voor waterkerende kunstwerken met een hogere veiligheidsnorm.

**BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN MET VEILIGHEIDSNORM 1/100, 1/300 EN 1/1000 PER JAAR**

Het beoordelingsspoor voor de betrouwbaarheid van de sluiting van waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een regionale waterkering met een veiligheidsnorm van 1/100 tot en met 1/1000 per jaar wordt beoordeeld volgens het stroomschema in figuur 5.8. Het schema begint met een eenvoudige toetsing van de standzekerheid en beheersmatige gevolgen van instroming bij waterkerende kunstwerken met een kleine doorlaatopening. Indien de eenvoudige toetsing geen oordeel ‘voldoende’ oplevert dan wordt de toetsing uitgevoerd conform het beoordelingsschema voor betrouwbaarheid sluiting uit het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007]. Voor een uitgebreide beschrijving van de bijbehorende stappen wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.3.

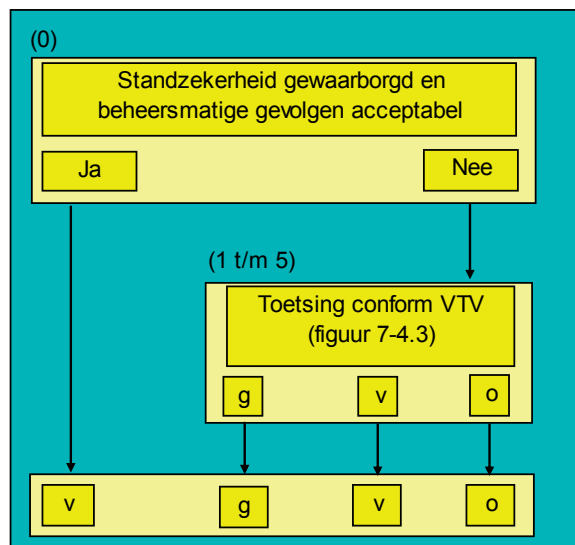
**STAP 0 TOETSING OP STANDZEKERHEID EN BEHEERSMATIGE GEVOLGEN NIET-SLUITEN**

In deze stap wordt beoordeeld of het instromende debiet door het geopende waterkerende kunstwerk niet leidt tot onaanvaardbare gevolgen voor de stabiliteit van het waterkerende kunstwerk en het waterbezwaar in het achterliggende gebied. De toetsing op stabiliteit van het waterkerende kunstwerk bevat in hoofdzaak een toetsing of de achterliggende bodemverdediging nog steeds stabiel is onder de optredende belasting. Voorts moet beoordeeld worden of het instromende debiet gedurende de periode dat de hoge waterstand optreedt in het achterliggende watersysteem kan worden geborgen zonder dat dit leidt tot onaanvaardbare wateroverlast. Hierbij moet bedacht worden dat onder maatgevende omstandigheden op de rivier het achterliggende watersysteem doorgaans ook volledig gevuld is en dat onder deze omstandigheden de ruimte om extra water te bergen vaak niet groot is. Praktisch gezien betekent dit dat deze stap alleen mogelijkheden biedt als sprake is van een onderlaat met een zeer beperkte doorstroomopening.

Als zowel de standzekerheid is gewaarborgd en het instromende water niet leidt tot een onacceptabele beheerssituatie dan kan de score voldoende worden toegekend. Is dit niet het geval dan wordt de toetsing vervolgd conform de toetsing van primaire waterkeringen. Hiervoor wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], figuur 7-4.3.

FIGUUR 5.8

**BEOORDELINGSSCHEMA VOOR DE BETROUWBAARHEID VAN DE SLUITING (BS) VAN WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN REGIONALE RIVIERKERINGEN MET EEN VEILIGHEID VAN 1/100, 1/300 EN 1/1000 PER JAAR**





## 5.6 VOORLANDKERINGEN EN ZOMERKADES

### 5.6.1 BESCHRIJVING FUNCTIES EN KENMERKEN VOORLANDKERINGEN EN ZOMERKADES

Voorlandkeringen en zomerkades zijn waterkeringen die buitenwater keren, maar geen primaire waterkering zijn. Deze regionale waterkeringen bieden bescherming aan gebieden die zich buiten een dijkkringgebied bevinden. Buitendijkse gebieden komen in alle watersystemen voor, dus zowel langs de grote rivieren als het IJsselmeer/Markermeer en in het kustgebied van de Noord- en Waddenzee. Op dit moment werkt het Rijk aan nationaal beleid inzake deze buitendijkse gebieden. Dit maakt het lastig een eenduidig toetsingskader op te stellen.

### 5.6.2 BELASTINGEN

De hydraulische belastingen kunnen worden bepaald volgens paragraaf 3.1, 3.2 en 3.3.

Ook voorlandkeringen en zomerkades hoeven in beginsel niet te worden getoetst ten aanzien van de situatie tijdens langdurige droge omstandigheden om dezelfde redenen als bij regionale rivierkeringen:

- Naar verwachting komen voorlandkeringen en zomerkades die voor een belangrijk deel uit veen bestaan weinig voor
- De samenhang tussen het optreden van hoogwater en het optreden van veel neerslag is in het algemeen sterk, waarmee het gelijktijdig optreden van hoogwater en het uitgedroogd zijn van de voorlandkering of zomerkade weinig waarschijnlijk is

Voorts moet bij de bepaling van de maatgevende windsnelheden rekening worden gehouden met het gestelde in paragraaf 6.2.2 van de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02]. Kortweg komt het hierop neer dat de maatgevende windsnelheid varieert tussen 12 en 15 m/s (afhankelijk van de windrichting) als de waterstand wordt gedomineerd door de afvoer. Indien niet aan deze voorwaarde wordt voldaan, dan moet de windsnelheid met een overschrijdingsfrequentie gelijk aan de norm van de waterkering worden gebruikt.

### 5.6.3 BEOORDELING WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN VOORLANDKERINGEN EN ZOMERKADES

Omdat de aard van de belasting op voorlandkeringen en zomerkades hetzelfde is als op waterkeringen langs regionale rivieren wordt de beoordeling op dezelfde wijze uitgevoerd als bij regionale rivierkeringen. Voor een overzicht van de belangrijkste te volgen beoordelingsspooren bij het toetsen van waterkerende kunstwerken in voorlandkeringen en zomerkades wordt daarom verwezen naar tabel 5.2. Voor de beoordeling zelf wordt verwezen naar paragraaf 5.5.3 tot en met 5.5.8.

## 5.7 COMPARTIMENTERINGSKERINGEN

### 5.7.1 BELASTINGEN

De hydraulische belastingen kunnen worden bepaald volgens paragraaf 3.1, 3.2 en 3.3. Voor specifieke aspecten voor het bepalen van de maatgevende waterstanden voor compartimenteringskeringen wordt verwezen naar paragraaf 7.2 van de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02]. Twee elementen worden hieruit naar voren gehaald.

Ook compartimenteringskeringen hoeven niet te worden getoetst ten aanzien van de situatie tijdens langdurige droge omstandigheden. Een compartimenteringskering treedt in werking na het bezwijken van een primaire waterkering. Het lijkt uitgesloten dat een primaire waterkering bezwijkt ten gevolge van een periode met langdurige droogte. Voorts moet bij de bepaling van de maatgevende windsnelheden rekening worden gehouden met het gestelde in paragraaf 7.2.2 van de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02].

Tot slot geldt voor het merendeel van de compartimenteringskeringen dat er geen gebruik kan worden gemaakt van het concept van bewezen sterkte, omdat bij dit type regionale waterkering meestal geen ervaring is met het gedrag onder een bepaalde belasting. Daarom vervalt in de toetsing het onderscheid tussen de verschillende veiligheidsklassen van de compartimenteringskering waarin het waterkerend kunstwerk is opgenomen.

### 5.7.2 OVERZICHT BEOORDELINGSSPOREN WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN COMPARTIMENTERINGSKERINGEN

De belangrijkste te volgen beoordelingssporen bij het toetsen van waterkerende kunstwerken in compartimenteringskeringen zijn verzameld in tabel 5.3. Voor al deze beoordelingssporen geldt dat ze in beginsel alleen voor de hoogwatersituatie moeten worden uitgewerkt.

TABEL 5.3 OVERZICHT BEOORDELINGSSPOREN COMPARTIMENTERINGSKERINGEN

| Beoordelingsspoor                                    | Veiligheids-klasse | Beoordelingsmethode  |   |   |
|--|--------------------|--|---|---|
|  |                    | Eenvoudig  | Gedetailleerd   | Geavanceerd                                 |
| Hoogte (HT)  | 1/10 – 1/1000      | Methode STOWA (paragraaf 5.7.3)                                  | Methode VTV 2007 (katern 7-4.1)   | n.v.t.                                      |
| Stabiliteit constructie en grondlichaam (STCG)       | 1/10 – 1/1000      | Methode VTV 2007 (katern 7-4.2.2), STOWA 2007-02 (paragraaf 6.3) | Methode VTV 2007 (katern 7-4.2.2) met nuancering veiligheidsklasse, STOWA 2007-02 (paragraaf 6.3) | State of the art kennis (niet gedefinieerd) |
| Sterkte (waterkerende) constructie-onderdelen (STCO) | 1/10 – 1/1000      | Methode VTV 2007 (katern 7-4.2.3)                                | methode VTV 2007 (katern 7-4.2.3) met nuancering veiligheidsklasse                                | State of the art kennis (niet gedefinieerd) |
| Piping en heave (STPH)                               | 1/10 – 1/1000      | Methode VTV 2007 (katern 7-4.2.4)                                | methode VTV 2007 (katern 7-4.2.4)   | State of the art kennis (niet gedefinieerd) |
| Stabiliteit voorland (STVL)                          | 1/10 – 1/1000      | Methode VTV 2007 (katern 9)                                      | methode VTV 2007 (katern 9)   | Methode VTV 2007 (katern 9)                 |
| Betrouwbaarheid sluiting (BS)                        | 1/10 – 1/1000      | Draaiboek of automatische sluiting                               | Standzekerheid  | n.v.t.                                      |

De beoordelingssporen resulteren in een (technisch) toetsoordeel, waarbij per faalmechanisme wordt vastgesteld of de veiligheid van het waterkerende kunstwerk voldoet of niet voldoet aan de norm. Indien onvoldoende informatie beschikbaar is voor een toetsoordeel, kan de aanduiding 'geen oordeel' resulteren. In dergelijke gevallen dient de reden (de ontbrekende informatie) te worden gespecificeerd.

Opgemerkt wordt dat er nog geen vastgestelde richtlijn bestaat voor de toetsing van compartimenteringskeringen, en dat het naar verwachting nog tenminste enkele jaren duurt voordat een definitieve, gevalideerde methodiek hiervoor is vastgesteld. In paragraaf 6.2.3 wordt aangegeven wat dit mogelijk kan betekenen voor het vaststellen van het eindresultaat van de toetsing op basis van de methodiek die in onderstaande paragrafen wordt gepresenteerd.

### 5.7.3 KERENDE HOOGTE

Voor een beschrijving van het faalmechanisme overlopen/overslag wordt verwezen naar paragraaf 4.2.

De hoogte van waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een compartimenteringskering wordt op dezelfde wijze beoordeeld als een waterkerend kunstwerk in een regionale rivierkering met een veiligheid van 1/100 tot en met 1/1000 per jaar. De beoordeling volgt het stroomschema in figuur 5.7. Voor een beschrijving van de te nemen stappen wordt verwezen naar paragraaf 5.5.3. Onderstaand wordt, indien de te nemen stap daar aanleiding toe geeft, volstaan met het geven van een enkele aanvulling betreffende de te hanteren windsnelheid.

#### *Stap 2.1 Eenvoudige toetsing overslagdebiet*

Bij de uitwerking op het eenvoudige niveau wordt het optredende golfoverslagdebiet  $q$  dat behoort bij de kruinhoogte  $h_{kr}$  voor waterkerende kunstwerken met een verticale wand afgeleid van de grafieken in bijlage 1. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de volgende maatgevende windsnelheid:

- Indien de normering gebaseerd is op een overstroming door een hoogwatersituatie die gecorreleerd is aan het optreden van een storm (met name keringen in het kust-, benedenrivieren- en grote merengebied), dan dient voor de maatgevend hoge windsnelheid te worden uitgegaan van:
  - Een windsnelheid overeenkomend met de normfrequentie van de voorliggende primaire waterkering, indien in het compartiment binnen een korte tijd (< 18 uur) de maatgevende waterstand ontstaat
  - Een maatgevende windsnelheid overeenkomend met de normfrequentie van de compartimenteringskering, indien in het compartiment niet binnen een korte tijd (dus na 18 uur) de maatgevende waterstand ontstaat
- Indien de normering niet is gebaseerd op een overstroming door een hoogwatersituatie die gecorreleerd is aan het optreden van een storm, dan dient te worden uitgegaan van een windsnelheid behorende bij normfrequentie van de compartimenteringskering

### 5.7.4 STABILITEIT VAN CONSTRUCTIE EN GRONDLICHAAM

Voor een beschrijving van relevante faalmechanismen die vallen onder de noemer stabiliteit van constructie en grondlichaam wordt verwezen naar paragraaf 4.3.

Het beoordelingsspoor voor stabiliteit van constructie en grondlichaam van waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een compartimenteringskering volgt de beoordeling voor stabiliteit van constructie en grondlichaam bij waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen. Voor een beschrijving van de te nemen stappen wordt verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.2.1 en 4.2.2. Onderstaand worden per stap uit het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007] enkele nuanceringen gegeven.

#### **STAP 1 EENVOUDIGE TOETSING, BEOORDELING 'BEWEZEN STERKTE'**

Opgemerkt wordt dat – zoals reeds eerder gesteld – het principe van bewezen sterkte bij compartimenteringskeringen niet of nauwelijks toepasbaar is. Operationele of onderhoudsomstandigheden zullen zelden of nooit leiden tot een maatgevende belastingsituatie.

#### **STAP 2 BEOORDELING ONTWERP**

In deze stap wordt nagegaan of de constructie op basis van vigerende leidraden en technische rapporten (met name NEN-normen (TGB), Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003]) of gelijkwaardig is ontworpen en uitgevoerd en bovendien randvoorwaarden en condities niet zijn verslechterd.

Indien deze stap niet met een positief antwoord doorlopen kan worden, moet in de volgende stappen nader onderzoek worden uitgevoerd. De toetsing wordt dan vervolgd met stap 3.

#### **STAP 3 GEDETAILLEERDE TOETSING**

In deze stap wordt een herberekening uitgevoerd conform de rekenregels en methodes in de vigerende leidraden en normen. Zie hiervoor met name de NEN-normen (TGB), de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003] en het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [TAW, 2001]. Indien de onderhoudstoestand en de actuele conditie van de constructie niet goed of onbekend is, dient van veilige aannamen op dit punt te worden uitgegaan, en is het soms weinig zinvol de toetsing voort te zetten. In dat geval dient eerst de conditie nader te worden onderzocht. Dit geldt met name voor historische kunstwerken, waarbij doorgaans alleen van de zichtbare constructieonderdelen de actuele conditie bekend is.

Ook bij waterkerende kunstwerken in compartimenteringskeringen geldt dat voor kunstwerken met een veiligheidsnorm van 1/10, 1/30 en 1/100 wellicht nog ruimte kan worden gevonden in de toegepaste betrouwbaarheidsindex. Hiervoor wordt verwezen naar het gestelde in paragraaf 5.4.4.

De beoordeling van de macrostabiliteit van het grondlichaam aansluitend op het waterkerende kunstwerk of het grondlichaam inclusief het waterkerende kunstwerk kan benodigd zijn. Hiervoor kan de beoordeling op de sporen Macrostabiliteit binnenwaarts en Macrostabiliteit buitenwaarts volgens de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen [STOWA 2007-02] paragraaf 7.4.6 en 7.4.7 worden gevolgd, met dien verstande dat ook belastingen in rekening moeten worden gebracht die via of vanuit het waterkerende kunstwerk op het grondlichaam worden afgedragen.

#### **STAP 4 GEAVANCEERDE TOETSING**

In deze stap worden specialistische analyses uitgevoerd die zijn toegespitst op de specifieke situatie van het betreffende kunstwerk. Voor dit spoor kan bijvoorbeeld worden gedacht aan probabilistische berekeningen of (mits beargumenteerd) een andere verdeling van de

faalkansruimte tussen de toetssporen worden toegepast dan in de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003].

#### **5.7.5 STERKTE VAN WATERKERENDE CONSTRUCTIE-ONDERDELEN**

Voor een beschrijving van relevante faalmechanismen die vallen onder de noemer sterkte van waterkerende constructieonderdelen wordt verwezen naar paragraaf 4.4.

Het beoordelingsspoor voor stabiliteit van waterkerende constructieonderdelen van waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een compartimenteringskering is niet anders dan de beoordeling voor stabiliteit van waterkerende constructieonderdelen bij waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen. Daarom wordt volstaan met een verwijzing naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.2.3. Ook hierbij geldt de opmerking dat bij herberekening mogelijk een lagere veiligheidsklasse gehanteerd kan worden.

#### **5.7.6 PIPING EN HEAVE**

Voor een beschrijving van het faalmechanisme piping en heave wordt verwezen naar paragraaf 4.5.

Het beoordelingsspoor piping en heave van waterkerende kunstwerken die onderdeel uitmaken van een compartimenteringskering is niet anders dan de beoordeling van piping en heave bij waterkerende kunstwerken in primaire waterkeringen. Daarom wordt volstaan met een verwijzing naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], katern 7 paragraaf 4.2.4.

#### **5.7.7 STABILITEIT VOORLAND**

Bij droge compartimenteringskeringen is het beoordelingsspoor 'Stabiliteit voorland' geen relevant beoordelingsspoor. Voor de beoordeling van de stabiliteit van het voorland bij 'natte' compartimenteringskeringen geldt hetzelfde als voor boezemwaterkeringen. Volstaan wordt daarom met een verwijzing naar paragraaf 5.4.7.

#### **5.7.8 BETROUWBAARHEID SLUITING**

Voor een beschrijving van het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting wordt verwezen naar paragraaf 4.7.

Bij compartimenteringskeringen speelt de bijzondere situatie dat, als beoordeeld wordt conform de richtlijnen uit de Leidraad Waterkerende Kunstwerken, er veelal in het geheel geen eisen aan de betrouwbaarheid van de sluiting worden gesteld. Immers, de vereiste betrouwbaarheid bedraagt 0,1 maal de norm van de regionale waterkering. Bij compartimenteringskeringen met een norm van 1/10, 1/30 en 1/100 voldoet het waterkerend kunstwerk hier altijd aan, omdat het open keerpeil alleen wordt overschreden bij falen van de primaire waterkering. De overschrijdingsfrequentie van het open keerpeil is dus tenminste 1/1.250 of lager (bij primaire waterkeringen met een hogere veiligheidsnorm of een hoger gelegen open keerpeil) en hiermee in de meeste gevallen kleiner dan 0,1 maal de norm van de compartimenteringskering.

Daarom wordt voor compartimenteringskeringen een andere benadering voorgesteld, waarbij een voorwaardelijke betrouwbaarheid van de sluiting wordt geëist van 0,1 gegeven de noodzaak tot sluiting. Gezien het incidentele karakter van de sluiting worden eisen gesteld aan alle vier aspecten van de eenvoudige methode. De beoordeling volgt het stroomschema in figuur 5.9.

**STAP 1 EN 2**

De beoordeling vindt plaats aan de hand van het eenvoudige criterium of de sluitingsprocedure automatisch gebeurt (stap 1) of is vastgelegd in een draaiboek (stap 2). Indien de hoogwatersluiting automatisch gebeurt (denk bijvoorbeeld aan oprijfbare afsluitmiddelen) dan kan direct de score ‘voldoende’ worden toegekend onder voorwaarde dat tenminste jaarlijks wordt gecontroleerd of het automatische systeem nog werkt en of het afsluitmiddel nog functioneert. Is dit niet het geval dan moet voor het betreffende waterkerend kunstwerk een draaiboek aanwezig zijn. In dit draaiboek moet worden vastgelegd wanneer, door wie en op welke wijze het waterkerend kunstwerk gesloten wordt. Hierbij moet worden voldaan aan de eisen A2, B1 tot en met B6, C1 tot en met C8 en D3 tot en met D4 van de eenvoudige methode uit bijlage B3.3 van de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003]. Hierbij gelden de volgende opmerkingen:

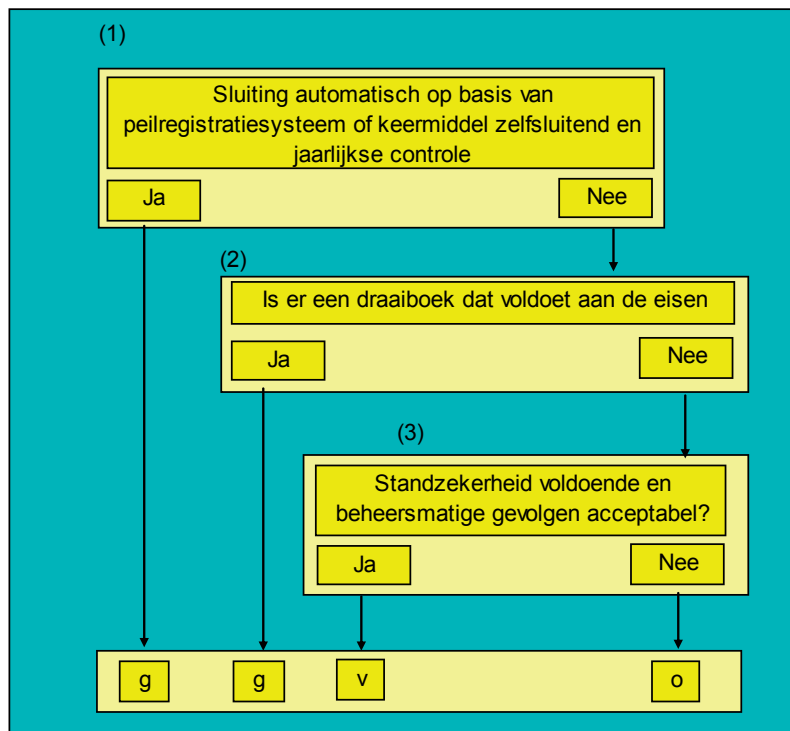
- Onderdeel B2: volstaan kan worden met alleen een terugmeldingssysteem
- Onderdeel C6: verlichting van het kunstwerk hoeft niet permanent aanwezig te zijn, als gebruik van hulpmiddelen noodzakelijk is moet dit wel zijn vastgelegd in de procedure voor sluiting
- Onderdeel D4: beoordeling van het aanvaarrisico speelt bij droge compartimenteringskeringen geen rol
- Gezien het zeer incidentele karakter van de belasting wordt een tweede onafhankelijke set afsluitmiddelen niet noodzakelijk geacht

**STAP 3 TOETSING OP STANDZEKERHEID EN BEHEERSMATIGE GEVOLGEN NIET-SLUITEN**

In deze stap wordt beoordeeld of het instromende debiet door het geopende waterkerend kunstwerk niet leidt tot onaanvaardbare gevolgen voor de stabiliteit van het kunstwerk en het waterbezwaar in het achterliggende gebied. Als zowel de standzekerheid is gewaarborgd en het instromende water leidt niet tot een onacceptabele beheerssituatie dan kan de score voldoende worden toegekend. Is dit niet het geval dan volgt de score ‘onvoldoende’.

FIGUUR 5.9

BEOORDELINGSSCHEMA VOOR DE BETROUWBAARHEID VAN DE SLUITING (BS) VAN WATERKERENDE KUNSTWERKEN IN COMPARTIMENTERINGSKERINGEN



# 6

## OMGAAN MET TOETSINGSRESULTATEN

### 6.1 BEHEERDERSOORDEEL

Naast het (technische) toetsspoor maakt het beheerdersoordeel over de veiligheid van het waterkerende kunstwerk deel uit van de veiligheidstoetsing. Hierbij beoordeelt de beheerder de veiligheid van een waterkerend kunstwerk ten aanzien van een faalmechanisme op grond van praktijkervaringen of kennis die niet wordt gebruikt in de toetssporen. Belangrijk aandachtspunt ten aanzien van praktijkervaringen is dat de waarnemingen zoveel mogelijk moeten zijn opgedaan tijdens extreme omstandigheden. Het spreekt voor zich dat dit voor waterkerende kunstwerken in boezemkaden met een lage veiligheidsnorm eenvoudiger is dan voor compartimenteringskeringen.

In beginsel dient de beheerder voor ieder waterkerend kunstwerk een oordeel op te stellen ten aanzien van elk faalmechanisme. Indien de beheerder instemt met het technische oordeel, kan eenvoudig worden volstaan met de vastlegging van deze constatering. Het is ook mogelijk dat de beheerder niet instemt met de technische score, bijvoorbeeld doordat:

1. Het waargenomen gedrag van het waterkerende kunstwerk niet overeenstemt met de technische score
2. Nieuwe inzichten of kennis ten aanzien de faalmechanismen en uitwerking van de beoordelingssporen zijn ontwikkeld

Ad.1: indien het gedrag niet overeenstemt, is dit in eerste instantie aanleiding voor nader onderzoek. Dit geldt zowel indien de beheerder de veiligheid gunstiger als ongunstiger dan de technische score beoordeeld. Als ook na nader onderzoek verschil bestaat tussen de technische score en het oordeel van de beheerder, dient het beheerdersoordeel goed te worden onderbouwd. Onderbouwing kan bijvoorbeeld door beschrijving van:

- De vermoedelijke oorzaak van het verschil
- Zo kwantitatief als redelijkerwijs mogelijk de waarneming waarop het oordeel is gebaseerd, inclusief een indicatie van de omvang van de belastingsituatie waarbij de waarneming is gedaan.

Ad.2: In een situatie met nieuw ontwikkelde kennis of inzichten dient de resulterende score te zijn gerapporteerd als beheerdersoordeel, ook als de beoordeling is uitgevoerd na aanpassing (door de beheerder of ingeschakelde adviseur) van het beoordelingsspoor op basis van de nieuwe kennis of inzichten. Een situatie met nieuw ontwikkelde kennis is met name denkbaar ten aanzien van de beoordeling van waterkerende kunstwerken in compartimenteringskeringen.

Tenslotte is het denkbaar dat op basis van een toetsspoor niet tot een technische score kan worden gekomen, bijvoorbeeld doordat onvoldoende informatie aanwezig is en/of het beoordelingsspoor onvoldoende aansluit op de betreffende situatie. In een dergelijke situatie is het nuttig te beschikken over een beheerdersoordeel.

Opgemerkt wordt dat het opstellen van een beheedersoordeel primair de verantwoordelijkheid van de beheerder zelf is. Het staat de beheerder dan ook vrij dit oordeel naar eigen inzicht op te stellen met een goede onderbouwing van het gekozen oordeel. De eisen aan de wijze van onderbouwing van het beheedersoordeel dient de beheerder in overleg met de provincie vast te stellen. Hierbij kan het document 'Nadere uitwerking beheedersoordeel' (aanvulling op het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 [TAW, 2007], te vinden op [www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl)) als richtlijn dienen.

Belangrijk nut van het beheedersoordeel is tenslotte het opsporen van mogelijke tekortkomingen in de verschillende beoordelingssporen, zowel ten aanzien van de toepasbaarheid als de uitkomsten.

## 6.2 VASTSTELLEN EINDRESULTAAT

### 6.2.1 AFWEGING TUSSEN TECHNISCHE SCORE EN BEHEEDERSOORDEEL

De beoordeling van de veiligheid van het waterkerende kunstwerk resulteert per faalmechanisme in een technische score en het oordeel van de beheerder. De eindscore wordt opgesteld door een combinatie van beide oordelen. Hierbij zijn de volgende situaties denkbaar:

1. Een technische score is niet toegekend
2. De oordelen komen overeen
3. De oordelen komen niet overeen

Ad.1: indien op basis van een toetsspoor niet tot een technische score kan worden gekomen doordat onvoldoende informatie aanwezig is (de technische score 'geen oordeel') wordt de eindscore opgesteld op basis van het beheedersoordeel.

Ad.2: idealiter komen de oordelen overeen, zonodig nadat eerst nader onderzoek is uitgevoerd vanwege een aanvankelijk verschil tussen beide oordelen. De eindscore is dan gelijk aan het gezamenlijke oordeel.

Ad.3: indien de oordelen niet overeenkomen dient een afweging te worden gemaakt. Deze afweging is complex. Uitgangspunt bij de afweging is een voorzichtige benadering, dit houdt in dat in eerste instantie:

- De technische score als eindoordeel wordt toegekend indien geen onvolkomenheden in het toetsspoor worden aangetoond
- Het beheedersoordeel als eindoordeel wordt toegekend indien waarnemingen, nieuwe inzichten of ontwikkelde kennis duiden op een ongunstiger beeld van de veiligheid dan de technische score

Indien het beheedersoordeel een betere score kent dan de technische score, is toekenning van het beheedersoordeel als eindscore niet onmogelijk. Dit kan bijvoorbeeld indien het gunstiger oordeel op basis van waarnemingen, nieuwe inzichten of ontwikkelde kennis kan worden onderbouwd. Overigens, ook als het beheedersoordeel een minder gunstige score kent dan het technische oordeel dient het beheedersoordeel onderbouwd te worden.



De afweging wordt uitgevoerd door de waterkeringbeheerder zelf. Bij keuze voor een gunstiger beheerdersoordeel is het van belang dat de oorzaak van het verschil en de afweging voldoende worden onderbouwd en inzichtelijk worden gerapporteerd. Als onderdeel van de integrale beoordeling van de rapportage van de toets op veiligheid beoordeelt de provincie tevens deze afweging. Het staat de provincie daarbij vrij, al of niet na overleg, een afwijkende conclusie te trekken.

### 6.2.2 VEILIGHEID OP GEBIEDSNIVEAU

Op basis van de scores van alle toetssporen wordt per waterkerend kunstwerk een eindoordeel over de veiligheid opgesteld. Dit eindoordeel betreft de laagste score van een van de toetssporen. Een waterkerend kunstwerk voldoet aan de toetscriteria indien geen van de toetssporen resulteert in de eindscore 'onvoldoende' of 'geen oordeel'. De veiligheid van het waterkerende kunstwerk voldoet dan aan de norm. Indien een van de toetssporen, zonedig inclusief het beheerdersoordeel, resulteert in de score 'onvoldoende' of 'geen oordeel', dan voldoet de veiligheid van het waterkerende kunstwerk niet of nog niet aantoonbaar aan de norm.

De veiligheid van een gebied (bijvoorbeeld een polder of een compartiment) voldoet geheel aan de norm indien alle dijkvakken rondom het gebied (= alle boezemkaden of alle compartimenteringskeringen) inclusief alle waterkerende kunstwerken die in de betreffende dijkvakken liggen voldoen aan de norm. De veiligheid van het gebied voldoet niet aan de norm indien een van de dijkvakken of een van de waterkerende kunstwerken niet aan de norm voldoet.

### 6.2.3 STATUS EN WAARDERING VAN DE BEOORDELING VAN COMPARTIMENTERINGSKERINGEN

Zoals eerder al aangegeven zijn de gepresenteerde uitgangspunten voor de toetsingsmethode voor de faalmechanismen stabiliteit (van constructie en grondlichaam en waterkerende constructieonderdelen) alsmede betrouwbaarheid sluiting gebaseerd op een pragmatische benadering. Er bestaat nog geen vastgestelde richtlijn voor de toetsing van deze mechanismen bij compartimenteringskeringen. Het duurt naar verwachting tenminste enkele jaren voordat een definitieve, gevalideerde methodiek of rekenregel voor de beoordeling van compartimenteringskeringen is vastgesteld. Om toch een (voorlopig) beeld te verkrijgen over de veiligheid van compartimenteringskeringen is besloten de toetsing hiervan wel in deze versie van de Leidraad op te nemen. Hierbij geldt het bereikte toetsoordeel als een 'voorlopig' oordeel. Indien de nog vast te stellen richtlijnen uiteindelijk afwijken van de hier gepresenteerde pragmatische benadering dan resulteert een toekomstige toetsing mogelijk in een verandering van het oordeel. Hierbij is het dus niet uitgesloten dat een waterkerend kunstwerk in een compartimenteringskering waarvan de veiligheid volgens het voorlopige toetsoordeel wel voldoet aan de norm, uiteindelijk niet aan de norm kan blijken te voldoen.

### 6.3 MAATREGELEN OP GROND VAN TOETSRESULTATEN

In geval van een 'onvoldoende' toetsresultaat moet de beheerder verbetermaatregelen treffen om de veiligheid van het betreffende waterkerend kunstwerk weer op het vereiste niveau te brengen. Deze verbetermaatregelen kunnen bestaan uit fysieke ingrepen om de sterkte van het waterkerend kunstwerk te vergroten, maar ook uit maatregelen om de belasting te verlagen. Daarnaast kan de beheerder overwegen in hoogwatersituaties een beheermaatregel te treffen, zoals het verkleinen van het verval over het kunstwerk door getrapt te keren of het binnenpeil op te zetten.

Ten aanzien van de fysieke verbetermaatregelen kan gedacht worden aan:

- Kerende hoogte:
  - Verhogen van de afsluitmiddelen
  - Vergroten van het toelaatbaar overslag- of overloopdebiet, bijvoorbeeld door verzwaren van bodemverdediging of versterken van taludbekleding
- Piping en heave:
  - Vergroten van de horizontale kwelweg, bijvoorbeeld door het aanbrengen van een gesloten bodemverdediging of betonvloer aansluitend op het waterkerend kunstwerk
  - Vergroten van de verticale kwelweg door het aanbrengen van erosieschermen
  - Gecontroleerde uitstroom door het aanbrengen van een filterconstructie aan de benedenstroomse zijde van het waterkerende kunstwerk
- Stabiliteit constructie en grondlichaam:
  - Reparatie en constructief herstel van dragende delen
  - Vervanging/verlenging van damwanden
- Sterkte van waterkerende constructieonderdelen:
  - Versterken of vervangen van afsluitmiddelen en/of waterkerende constructiedelen
- Betrouwbaarheid sluiting:
  - Vastleggen processen in procedures
  - Aanscherpen van reeds bestaande procedures
  - Automatisering van sluitingsproces
  - Realiseren extra aandrijfmiddel
  - Aanbrengen extra afsluitmiddel

Voor het ontwerp van fysieke verbetermaatregelen wordt verwezen naar het deel Ontwerp van deze leidraad.

In het geval van waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen van de typen boezemwaterkeringen en (soms) regionale rivierkeringen kan een verbetermaatregel ook worden ingevuld door het verlagen van de maatgevende belasting. De hydraulische belasting kan worden verlaagd door ingrepen in het watersysteem, zoals:

- Compartimentering van de boezem
- Het afleiden of overlaten van afvoergolven
- Een wijziging van het peil van de maalstop
- Het vergroten van de bergingscapaciteit
- Het vergroten van de bemalingscapaciteit

Bij individuele kunstwerken is dit echter zelden een haalbare oplossing, omdat de verbetering van een waterkerend kunstwerk doorgaans met relatief beperkte middelen (ten opzichte van een verbetering van de regionale waterkering) mogelijk is. De haalbaarheid van een ingreep in het watersysteem neemt toe als op deze wijze voorkomen kan worden dat meerdere kunstwerken moeten worden verbeterd.

Bij waterkerende kunstwerken in compartimenteringskeringen, zomerkaden en voorlandkeringen wordt de belasting bepaald door de belasting door buitenwater. Een verlaging van de belasting door een ingreep in het watersysteem is hierdoor niet mogelijk.

## 6.4 RAPPORTAGE VAN DE VEILIGHEIDSTOETSING

### 6.4.1 RAPPORTAGE AAN GS

De waterkeringbeheerder dient de resultaten van de veiligheidstoetsing van de regionale keringen, op basis van de Leidraad voor het Toetsen van de Veiligheid van regionale keringen [STOWA 2007-02], te rapporteren aan Gedeputeerde Staten van de provincie. In de Leidraad voor het Toetsen van de Veiligheid van regionale keringen [STOWA 2007-02] is hiervoor een format opgenomen, waarin tevens de presentatie van de resultaten van de veiligheidstoetsing van de inliggende waterkerende kunstwerken is opgenomen. Gedeputeerde Staten bepalen voor de verschillende regionale waterkeringen het tijdstip waarop het rapport over de veiligheid moet worden ingediend.

De algemene doelstelling van het rapport is het bieden van inzicht in de veiligheid van de regionale waterkeringen en de planning van groot onderhoud en eventuele verbeteringsmaatregelen. De toetsing van de waterkerende kunstwerken dient onderdeel te zijn van deze rapportage. Indien de beoordeling van de veiligheid daartoe aanleiding geeft, dient het verslag tevens een omschrijving te bevatten van de verbeteringen die nodig worden geacht, inclusief een termijn waarop deze verbeteringen getroffen zullen zijn. Om de rapportage door de verschillende waterkeringbeheerders te uniformeren, zijn onderstaand enkele wensen ten aanzien van de inhoud van dit rapport geformuleerd:

- a) Kaarten met het toetsresultaat per waterkerend kunstwerk en vermelding van het (de) kritieke faalmechanisme (n)
- b) Tabel met de kunstwerken (nummer en/of naam), het toetsresultaat en toetsjaar, en zonodig de planning van het groot onderhoud, eventuele verbeteringswerken of redenen waarom niet tot een eindoordeel is gekomen
- c) Voor kunstwerken met de technische eindscore 'geen oordeel' geeft de beheerder aan om welke redenen niet tot een oordeel kan worden gekomen, en welk onderzoek wordt uitgevoerd om de veiligheid alsnog te kunnen toetsen
- d) Het beheerdersoordeel dient goed te zijn onderbouwd, speciaal wanneer dit afwijkt van de technische score
- e) Toelichtende tekst

Een belangrijke meerwaarde van de kaarten is dat een geografisch inzicht wordt verkregen in de veiligheid van de waterkerende kunstwerken in de regionale waterkeringen en het kritieke faalmechanisme voor een specifiek waterkerend kunstwerk. Deze meerwaarde geldt tevens voor de (reguliere) inspectie van de kunstwerken, dankzij dit inzicht in kritieke faalmechanismen kan gericht op de bijbehorende faalverschijnselen worden geïnspecteerd.

### 6.4.2 BEOORDELINGSRAPPORT OP KUNSTWERKNIVEAU

Aanbevolen wordt per waterkerend kunstwerk een document op te stellen waarin het toetsoordeel wordt onderbouwd. Uiteraard kunnen deze documenten op dijkvak- of dijkringniveau worden gebundeld (zie paragraaf 6.4.1). Om de rapportage door de verschillende waterkeringbeheerders te uniformeren, zijn onderstaand enkele wensen ten aanzien van de inhoud van dit rapport geformuleerd:

- a Algemene beschrijving van het waterkerend kunstwerk, met hierin tenminste opgenomen de volgende items:
- Beschrijving van de functies van het waterkerend kunstwerk
  - Kaart waarop de ligging van het waterkerend kunstwerk te zien is
  - Dwarsdoorsnede over het waterkerend kunstwerk
  - Beschrijving van de kerende middelen
  - Omschrijving van het gebruik en de bediening van met name de kerende middelen van het waterkerend kunstwerk
  - Beschrijving van de maatgevende belastingsituatie per faalmechanisme en het kritieke faalmechanisme
  - Beschrijving van de ondergrond ter plaatse van het waterkerend kunstwerk
  - Beschrijving van de ervaringen met het gebruik en de bediening van het waterkerend kunstwerk
- b Onderbouwing van de toetsscores per toetsspoor
- c Samenvattende tabel met het toetsresultaat en toetsjaar, en zonodig de planning van het groot onderhoud, eventuele verbeteringswerken of reden waarom niet tot een eindoordeel is gekomen
- d Voor toetssporen met de technische eindscore 'geen oordeel' geeft de beheerder aan om welke redenen niet tot een oordeel kan worden gekomen, en welk onderzoek wordt uitgevoerd om de veiligheid alsnog te kunnen toetsen
- e Het beheerdersoordeel dient goed te zijn onderbouwd, speciaal wanneer dit afwijkt van de technische score

De onderdelen c, d en e worden zodanig opgesteld dat ze kunnen worden overgenomen in het samenvattende toetsrapport dat aan Gedeputeerde Staten van de provincie wordt aangeboden.

Voorts wordt aanbevolen de informatie die gaandeweg de toetsing wordt verzameld en gebruikt te ordenen en op te slaan als een achtergronddocument bij het toetsrapport. Tevens dient de informatie te worden verwerkt in het beheerregister. Dit voorkomt dat bij een volgende toetsing opnieuw de zoektocht naar beschikbare informatie moet worden opgestart en reduceert de toetsinspanning aanzienlijk.

# LITERATUUR

- 1 Leidraad Waterkerende Kunstwerken, TAW, 2003
- 2 Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, STOWA 2007-02
- 3 Voorschrift Toetsen op veiligheid Primaire Waterkeringen, ENW, 2007
- 4 Visie op regionale waterkeringen, Unie van Waterschappen, 2004
- 5 Normering Keringen langs regionale rivieren, STOWA 2008-04
- 6 Normeren Compartimenteringskeringen, STOWA 2007-03
- 7 IPO-richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden, IPO, 1999
- 8 Historische Kunstwerken, STOWA 2006-03
- 9 Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Boezemkaden, STOWA 2009-06
- 10 Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Waterkeringen langs regionale rivieren, STOWA 2009-07
- 11 Handleidingen voor beplanting op en nabij primaire waterkeringen, STOWA 2000-06
- 12 Handleidingen voor beplanting op en nabij boezemkaden, STOWA 2000-05
- 13 Bomen op en nabij waterkeringen, achtergrondrapport, STOWA 2000-04
- 14 Aanvullingen op de rapportages beplanting op en nabij waterkeringen, STOWA 2002-20
- 15 Toepassing handreikingen beplanting op en nabij waterkeringen, STOWA 2002-19
- 16 Leidraad Rivieren, ENW, 2007
- 17 Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het Rivierengebied, ENW, 2007
- 18 Technische Rapport Waterkerende Grondconstructies, TAW, 2001
- 19 Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen, TAW, 1999
- 20 Basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies, TAW, 1997
- 21 The Rock Manual, The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition), CUR/CIRIA, 2007
- 22 Handboek Ontwerp van Schutsluizen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000
- 23 CUR-publicatie 201 Natuurvriendelijke oevers: Belasting en sterkte, stichting CUR, 1999
- 24 CUR-publicatie 197 Breuksteen in de Praktijk – Deel 2: dimensionering van constructies in binnenwateren, stichting CUR, 2000
- 25 UAV-GC 2005, CROW, februari 2005
- 26 Het Geïntegreerd Samenwerkingsconcept gezien vanuit het contractueel kader, CROW, december 2004
- 27 UAVgc: ruim baan voor innovatieve contracten, CROW, november 2004

# BEGRIPPENLIJST

## **Aanleghoogte**

Kerende hoogte van de constructie onmiddellijk na het gereedkomen ervan

## **Beheer**

Het geheel van activiteiten dat noodzakelijk is om te waarborgen dat de functies van de waterkering blijven voldoen aan de daarvoor vastgestelde eisen en normen

## **Beheersregister**

Documenten waarin de voor het behoud van het waterkerend vermogen kenmerkende gegevens van de constructie en de feitelijke toestand van de (primaire) waterkering nader zijn omschreven

## **Betrouwbaarheid**

Het vermogen een functie te vervullen in een bepaalde omgeving gedurende een van tevoren bepaalde periode, belastingswisselingen of gebeurtenissen

## **Bevoegd gezag**

De overheidsinstantie die bevoegd is het MER-plichtige besluit te nemen (bij dijkversterking de provincie)

## **Bezwijken**

Het optreden van ontoelaatbaar grote vervormingen van een constructie zodanig dat de samenhang daarvan verloren gaat

## **Bezwijkmechanisme**

De wijze waarop een constructie bezwijkt (bijvoorbeeld breuk, piping)

## **Bijzondere water kerende constructie**

Waterkerende constructie die niet geheel of geheel niet uit grond is opgebouwd zoals dijkmu-  
ren, kistdammen en damwanden

## **Commissie MER**

Onafhankelijke commissie die het bevoegd gezag adviseert over de richtlijnen voor een op te stellen MER en die een opgesteld MER toetst op juistheid en volledigheid

## **Coupure**

Onderbreking in de waterkering voor de doorgang naar de stad of veerpont of de doorvoer van een (water)weg of spoorweg die bij hoge standen afsluitbaar is

## **Dijkkringgebied**

Gebied dat door een stelsel van waterkeringen, of hoge gronden, beveiligd moet zijn tegen overstroming, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij hoog opperwater van een van de grote rivieren, bij hoogwater van het IJsselmeer of een combinatie daarvan

### **Dijktafelhoogte**

De minimaal vereiste kruinhoogte van de (gesloten) kerende constructie tijdens de planperiode

### **Falen**

Het niet meer vervullen van de functie, ofwel het overschrijden van een grenstoestand. Onderscheid wordt gemaakt in uiterste grenstoestanden (leidend tot overstroming) en bruikbaarheidsgrenstoestanden (leidend tot overlast en schade, maar nog niet tot overstroming)

### **Golfoverslag**

Hoeveelheid water die door golven per strekkende meter gemiddeld per tijdseenheid over de waterkering slaat

### **Kerende Hoogte**

De daadwerkelijke, momentane hoogte van het gesloten kunstwerk. De minimaal vereiste kerende hoogte is gelijk aan het MHW vermeerderd met de op dat moment minimaal vereiste waakhoogte

### **Kruin**

Het hoogste punt van de waterkerende constructie

### **Kwel**

Het uittreden van grondwater onder invloed van een waterstandsverschil over een kering

### **Legger**

Document waarin is omschreven waaraan de waterkering moet voldoen naar richting, vorm, afmeting en constructie en waarin de keurbegrenzingsen worden weergegeven

### **MER**

Milieueffectrapport

### **Maatgevende Hoogwaterstand**

(MHW) Ontwerppeil volgens de norm van art. 3.2 van de Wet op de waterkering c.q. de waterstand die als uitgangspunt wordt genomen voor het ontwerpen van primaire waterkeringen

### **NAP**

Normaal Amsterdams Peil. Hoogte ten opzichte van het 'Amsterdams Peil', de gemiddelde zomervloedstand van het IJ voor Amsterdam toen dit nog in vrije verbinding stond met de Zuiderzee

### **Normfrequentie of norm**

Overschrijdingsfrequentie van Maatgevend Hoogwater. Deze is per dijkkring vastgelegd in de Wet op de waterkering (per december 2009 Waterwet)

### **Onderhoud**

Het geheel van activiteiten die tot doel hebben een object in een technische staat te houden of terug te brengen, die nodig wordt geacht voor de door het object te vervullen functie(s)

**Open keerhoogte**

De kerende hoogte van een waterkering met beweegbare afsluitmiddelen bij open afsluitmiddel, danwel de kerende hoogte van de kaden langs het achterliggende (binnen)watersysteem wanneer dit bij open afsluitmiddel in directe verbinding staat met het buitenwater

**Open keerpeil**

Buitenwaterstand welke bij open afsluitmiddel nog juist niet tot een ontoelaatbaar instromend volume buitenwater leidt

**Overbelasting**

Treedt op als het geldende overslagcriterium (maximaal toelaatbaar debiet over de kering) wordt overschreden

**Overlopen**

Het verschijnsel waarbij water over de kruin van het kunstwerk het achterland in loopt omdat de waterstand in de rivier hoger is dan de kruin

**Overschrijdingsfrequentie**

Gemiddeld aantal keren dat in een bepaalde tijd een verschijnsel een zekere waarde bereikt en overschrijdt

**Piping**

Het verschijnsel dat onder een waterkering een holle pijpvormige ruimte ontstaat doordat het erosieproces van een zandmeevoerende wel niet stopt

**Planperiode**

Periode (voor waterkerende constructies meestal 100 jaar) waarvoor de voorziene wijzigingen in omstandigheden worden meegenomen in het ontwerp van een waterkering

**Primaire waterkering**

Waterkering die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkkringgebied omsluit, ofwel voor een dijkkringgebied is gelegen

**Significante golfhoogte**

Gemiddelde van de hoogste 33 % van de golven in een golfveld

**Waakhoogte**

De actuele hoogte van een kruin van een waterkering boven het MHW

**Waterkerende kunstwerken**

Kunstwerken, die onderdeel uitmaken van een waterkering of de waterkering vervangen, maar worden gemaakt ten behoeve van een andere (utilitaire) functie, die de waterkering kruist (zoals schutten en spuien)

**Zetting**

Daling van het maaiveld, hoofdzakelijk ten gevolge van een bovenbelasting



**BIJLAGE 1**

# GRAFIEKEN TER BEPALING VAN GOLFOVERSLAGHOOGTE

## INTRODUCTIE

Ten behoeve van de toetsing is een aantal grafieken ontwikkeld waaruit de benodigde golf-overslaghoogte voor een waterkerend kunstwerk met een verticale wand eenvoudig kan worden afgeleid. De grafieken zijn samengesteld voor een aantal realistische combinaties van de relevante kenmerken, zoals weergegeven in onderstaande tabel. Deze bijlage presenteert de grafieken, evenals de gehanteerde uitgangspunten bij de samenstelling en enkele voorwaarden bij het gebruik daarvan.

TABEL

PARAMETERS VOOR BEPALING VAN DE OVERSLAGHOOGTE

| Variabele                   | Symbool | Beschouwde variatie                     |
|-----------------------------|---------|---|
| Het overslagdebiet          | Q       | 0,1 en 10 l/m/s                         |
| De maatgevende windsnelheid | u       | 12 t/m 16, 22, 24, 26, 28, 30 en 32 m/s |
| De waterdiepte              | D       | 2, 3, 4, 5, 7,5 en 10 m                 |
| De breedte van de boezem    | B       | variërend van 10 tot 5000 m             |

Iedere grafiek presenteert steeds de golfoverslaghoogte voor een combinatie van een overslagdebiet van 0,1 l/m/s of 10 l/m/s en een maatgevende windsnelheid. Aldus zijn in totaal 22 grafieken samengesteld. In de grafiek is de benodigde golfoverslaghoogte uitgezet tegen de breedte van de boezem, voor verschillende combinaties van de waterdiepte. De verschillende lijnen in de grafiek betreffen de waterdiepte (D2, D3, enzovoorts).

## UITGANGSPUNTEN

Bij de ontwikkeling van de grafieken zijn ten aanzien van de beschouwde variabelen de onderstaande uitgangspunten gehanteerd.

### OVERSLAGDEBIET

Beschouwd is een toelaatbaar overslagdebiet van 0,1 en 10 l/m/s. Voor een groter overslagdebiet is een geavanceerde beoordeling benodigd, waarbij rekening wordt gehouden met de standzekerheid van het waterkerend kunstwerk, stabiliteit van eventuele achterliggende bodembescherming, eventuele toegankelijkheid van het kunstwerk voor (nood-) maatregelen en de overlast voor de polder. Het overslagdebiet is berekend volgens de formules in bijlage B2.4 van de Leidraad Waterkerende Kunstwerken [TAW, 2003].

### WINDSNELHEID

De grafieken houden geen rekening met de ligging van de kade ten opzichte van de windrichtingen. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een maatgevende windsnelheid, die waait vanuit alle windrichtingen. Met de specifieke verdeling van de maatgevende windsnelheden over de verschillende windrichtingen is geen rekening gehouden.

### WATERDIEPTE

De waterdiepte betreft de waterdiepte, zoals die tijdens de toetssituatie optreedt. Met totale waterdiepte wordt bedoeld het verschil tussen de waterbodem en het toetspeil, dus inclusief de lokale toeslagen. De waterdiepte is aangegeven met een hoofdletter D aan de rechterzijde van de grafieken, het getal geeft de waterdiepte aan (dus D2 = waterdiepte 2 meter).

**STRIJKLENGTE EN BREEDTE VAN HET WATER**

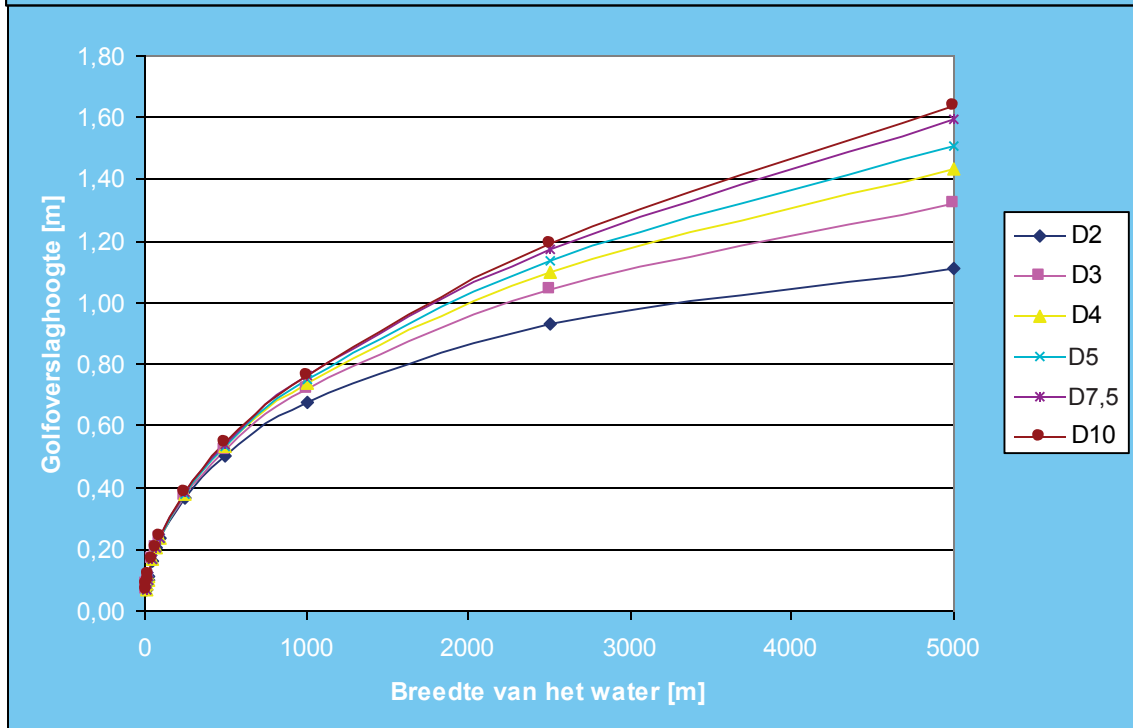
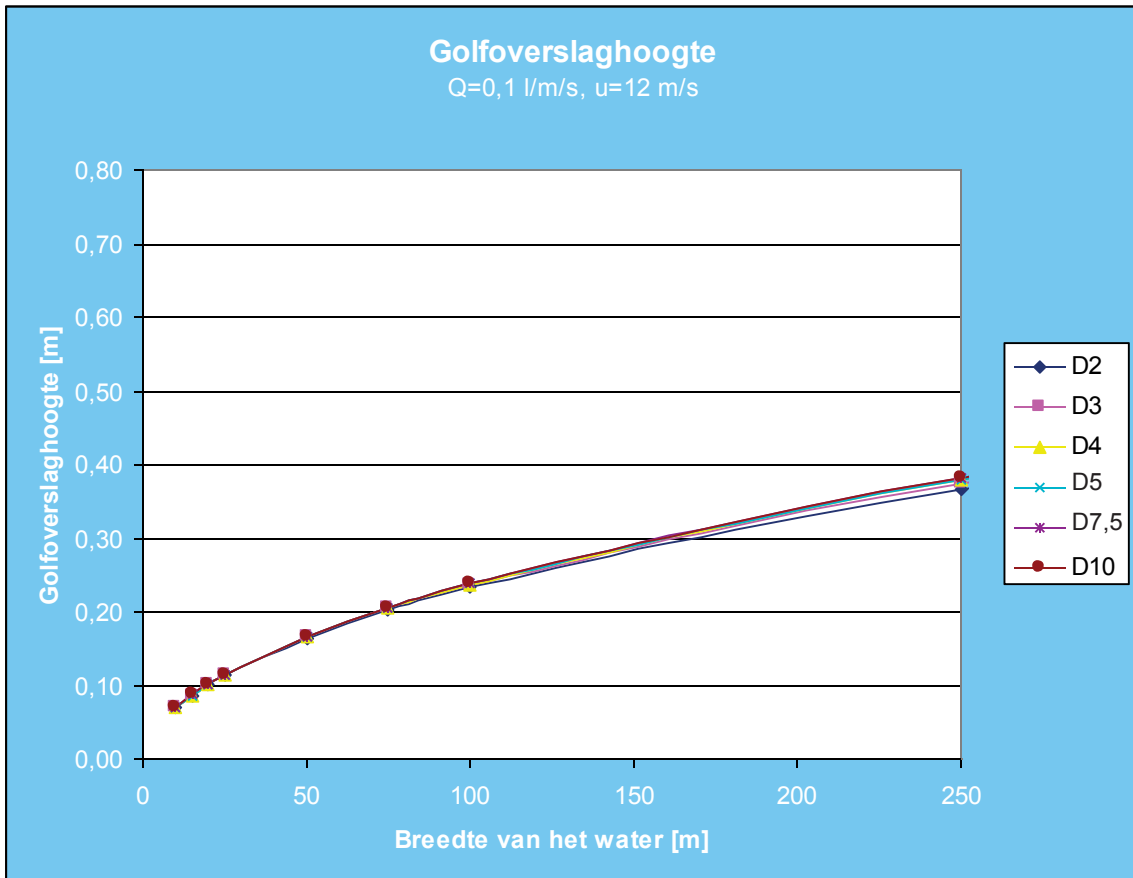
Bij de berekeningen is een breedte van het water beschouwd variërend van 10 tot 5000 meter. De bijbehorende strijklengte vanuit verschillende invalshoeken is berekend op basis van het uitgangspunt van een rechte boezem, kanaal of regionale rivier, waarbij de keringen evenwijdig aan elkaar lopen. De strijklengte is berekend volgens bijlage E van het Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het Rivierengebied [ENW, 2007].

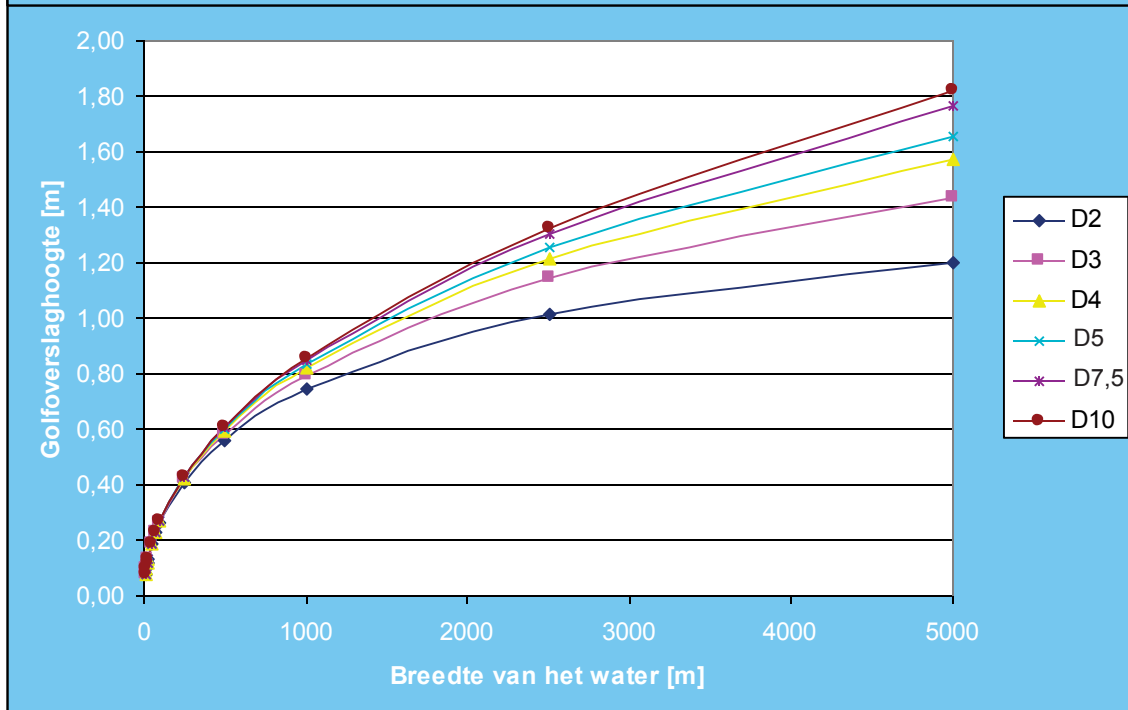
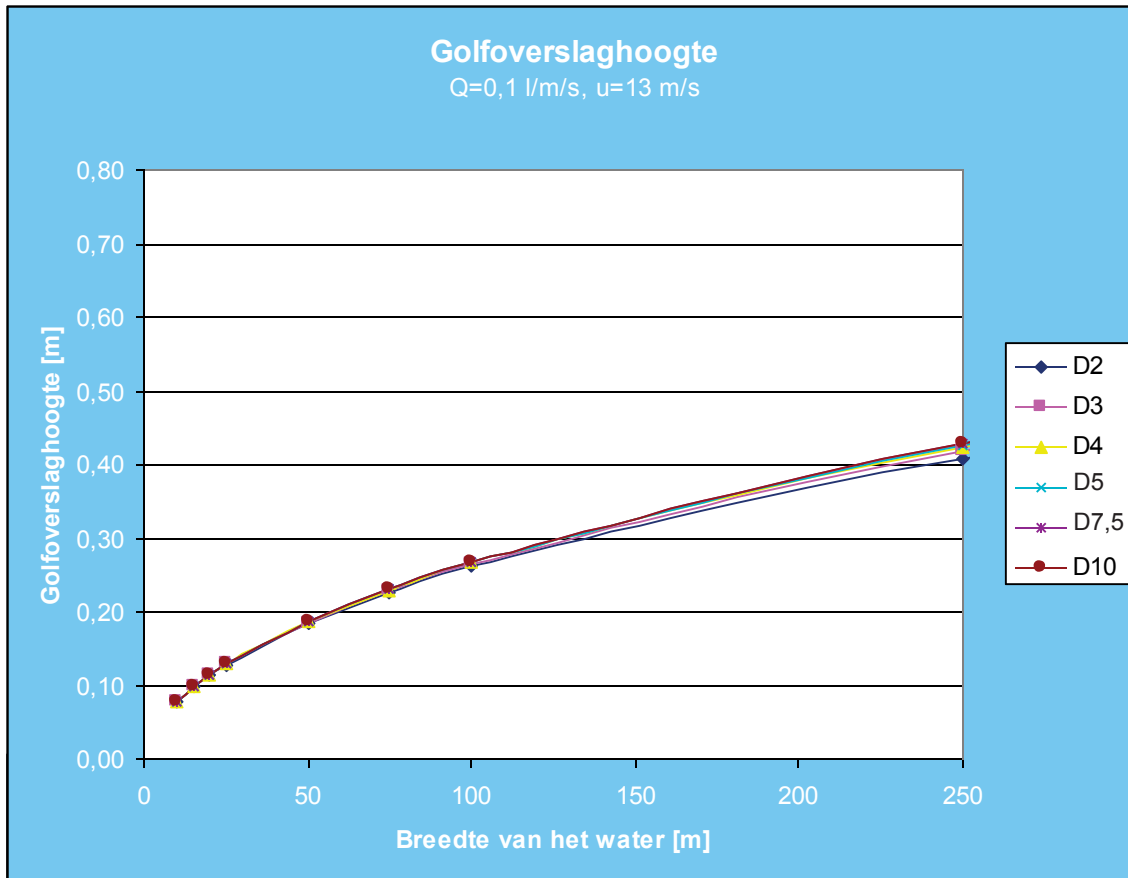
**INVLOED SCHEVE GOLFAANVAL**

De grootste golfaanval wordt gevonden bij loodrechte golfaanval. Het is echter mogelijk dat de maatgevende situatie golven oplevert die onder een scheve hoek de constructie aanvallen. Hier is bij het opstellen van de grafieken geen rekening mee gehouden. De Leidraad Waterkerende Kunstwerken geeft richtlijnen voor situaties waar scheve golfaanval maatgevend is.

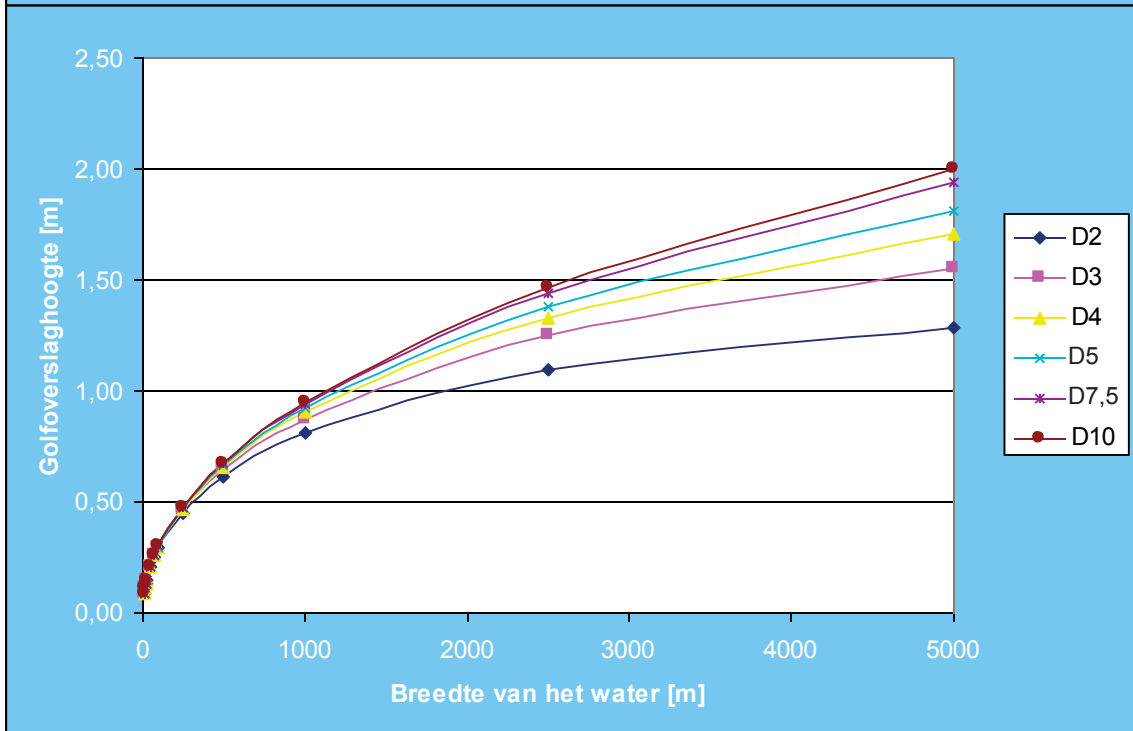
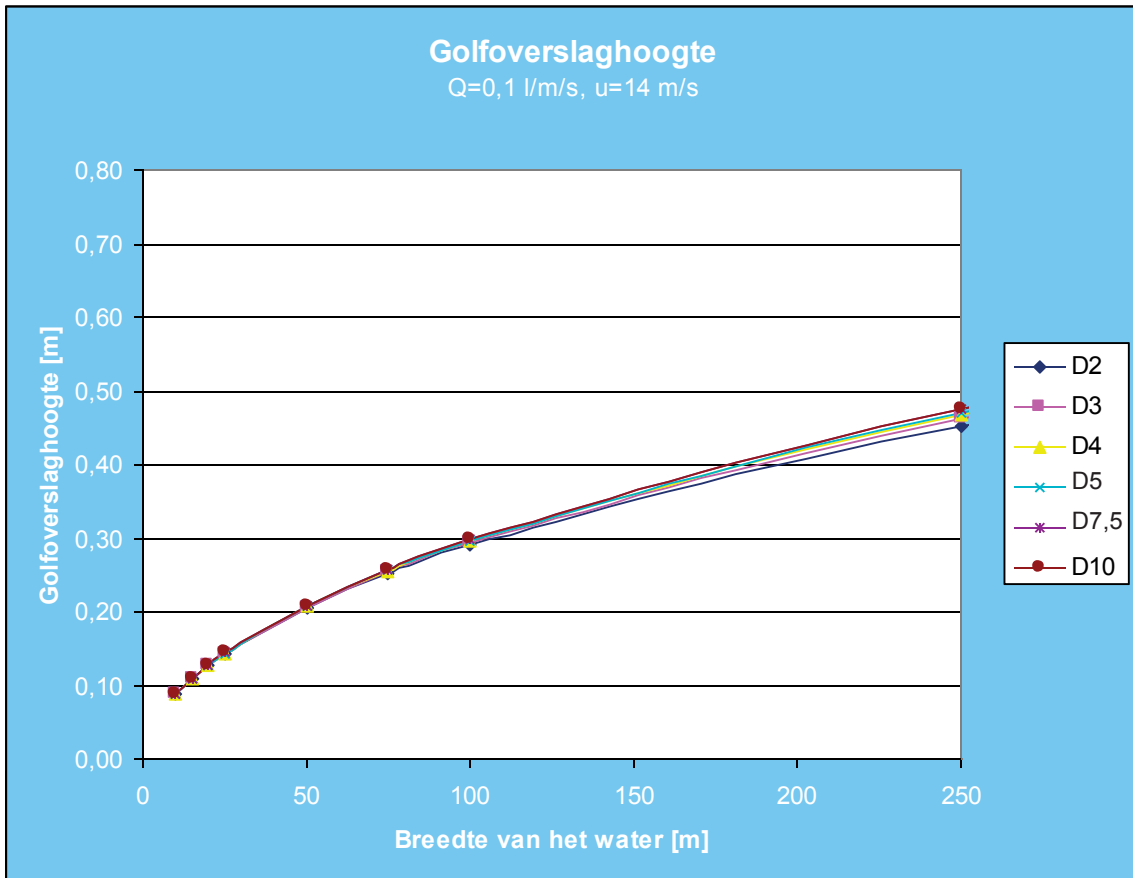
**REDUCTIE GOLFOVERSLAGHOOGTE DOOR NEUSCONSTRUCTIE**

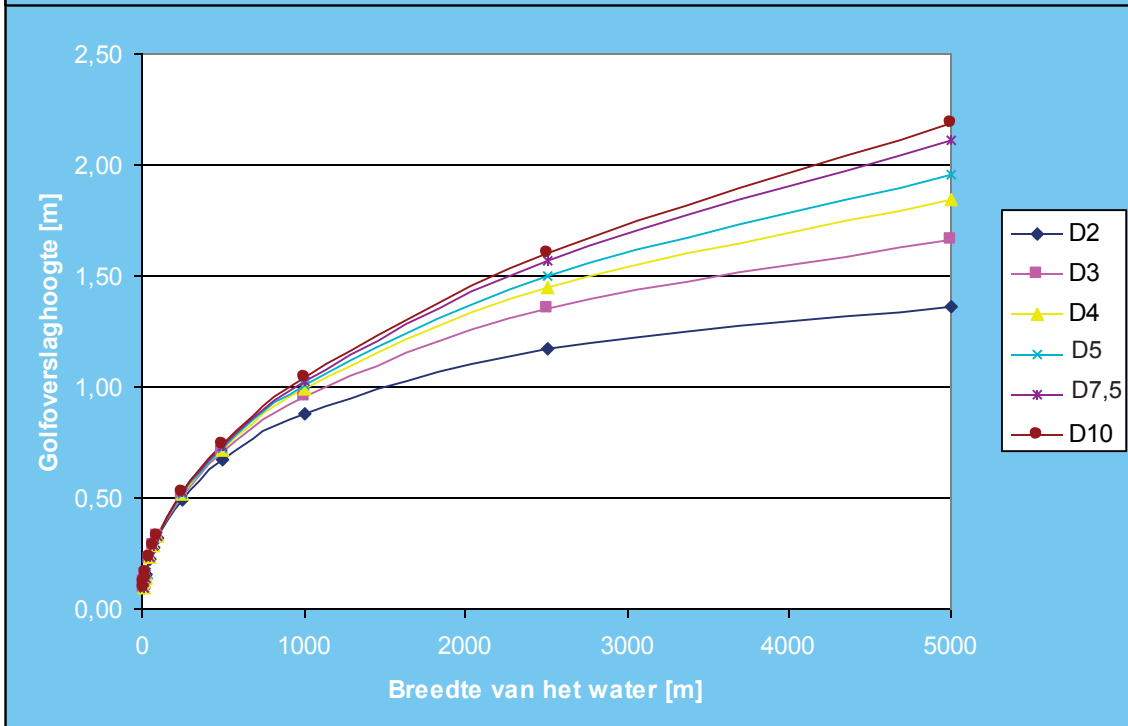
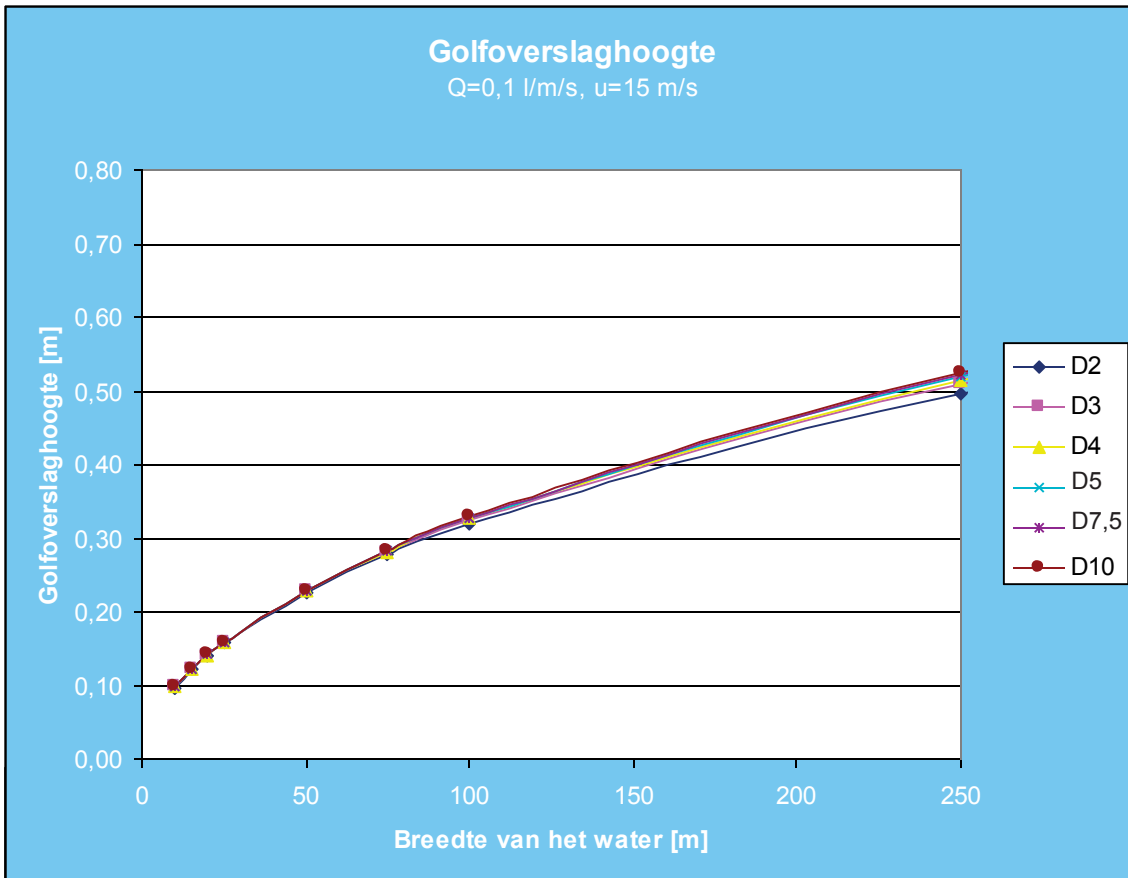
Een kunstwerk met een neus kan de golfoverslag aanzienlijk reduceren. Uitgangspunt bij het opstellen van de grafieken is dat er geen neus aanwezig is. De Leidraad Waterkerende Kunstwerken geeft richtlijnen voor situaties waar wel een neus aanwezig is.

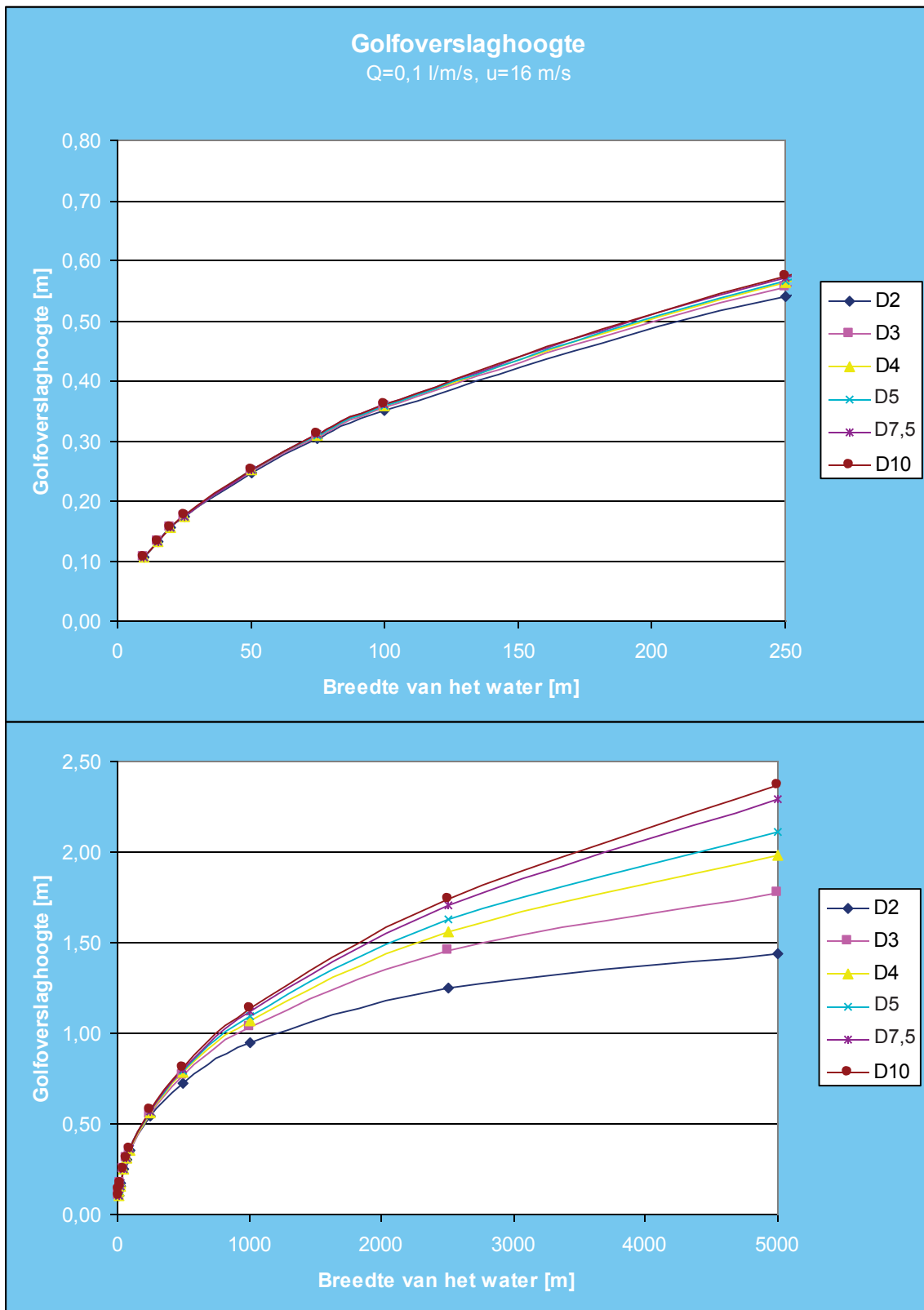




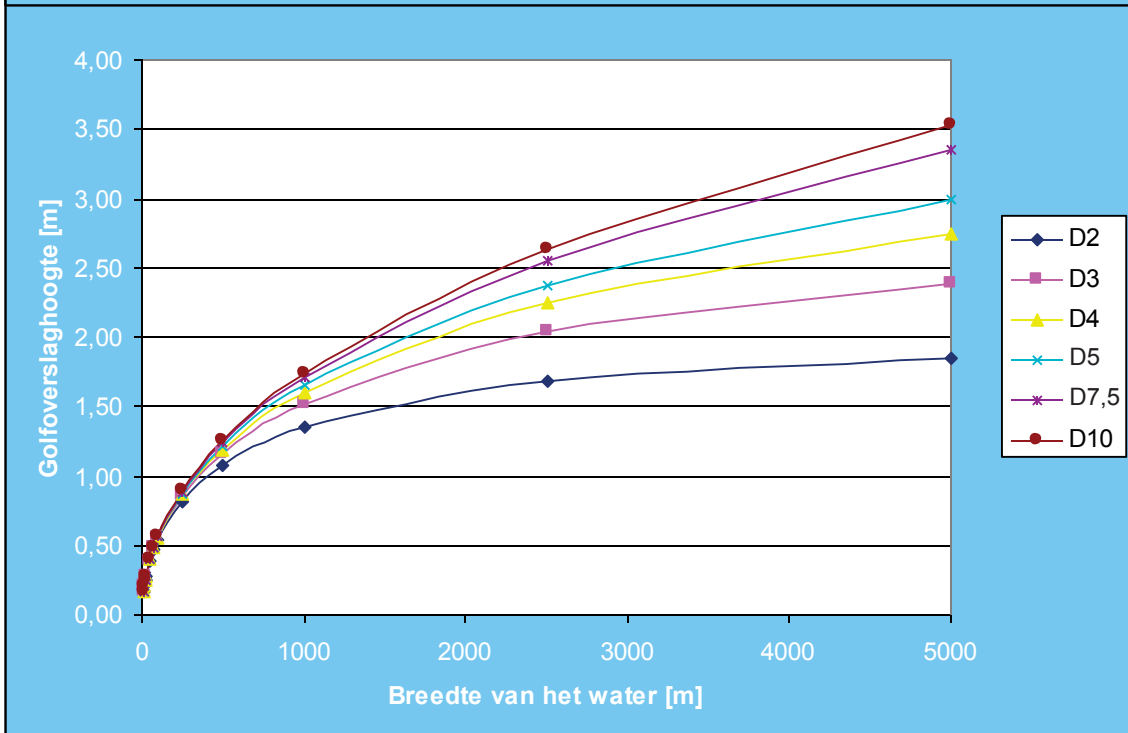
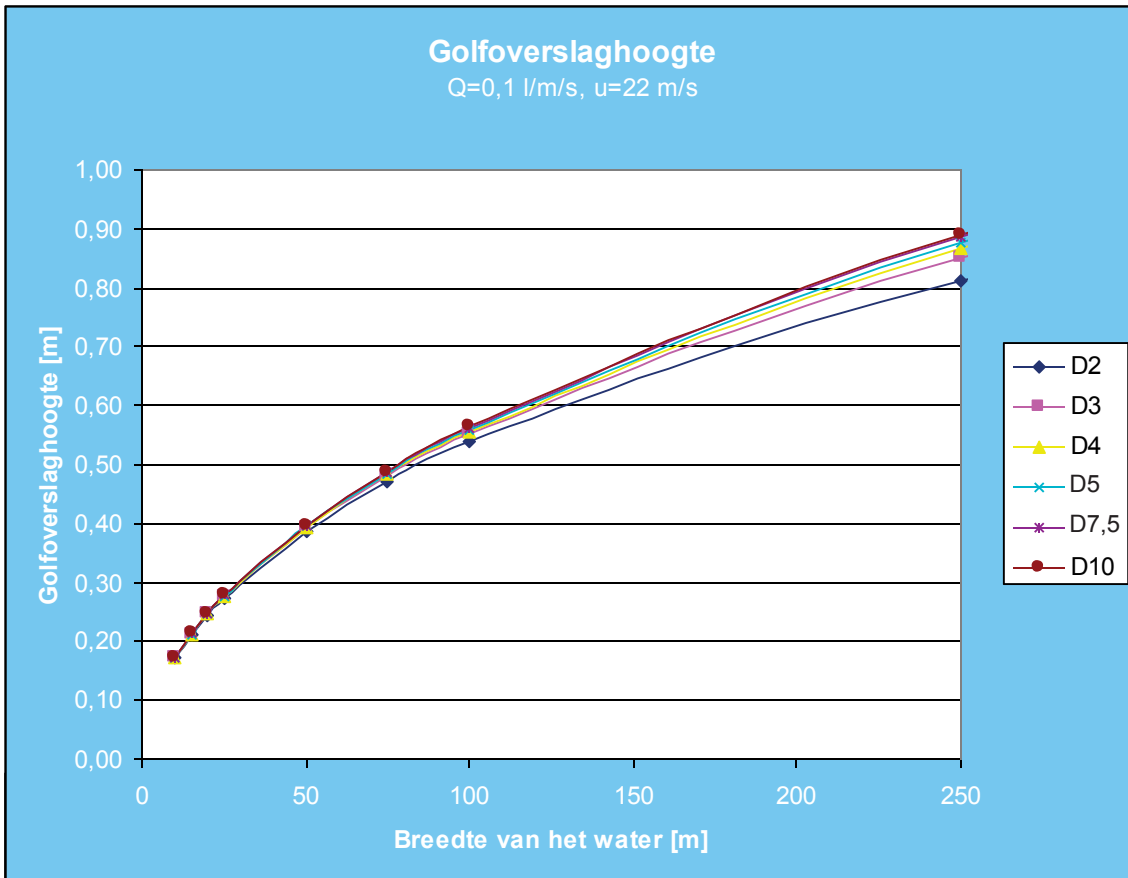
TOETSING

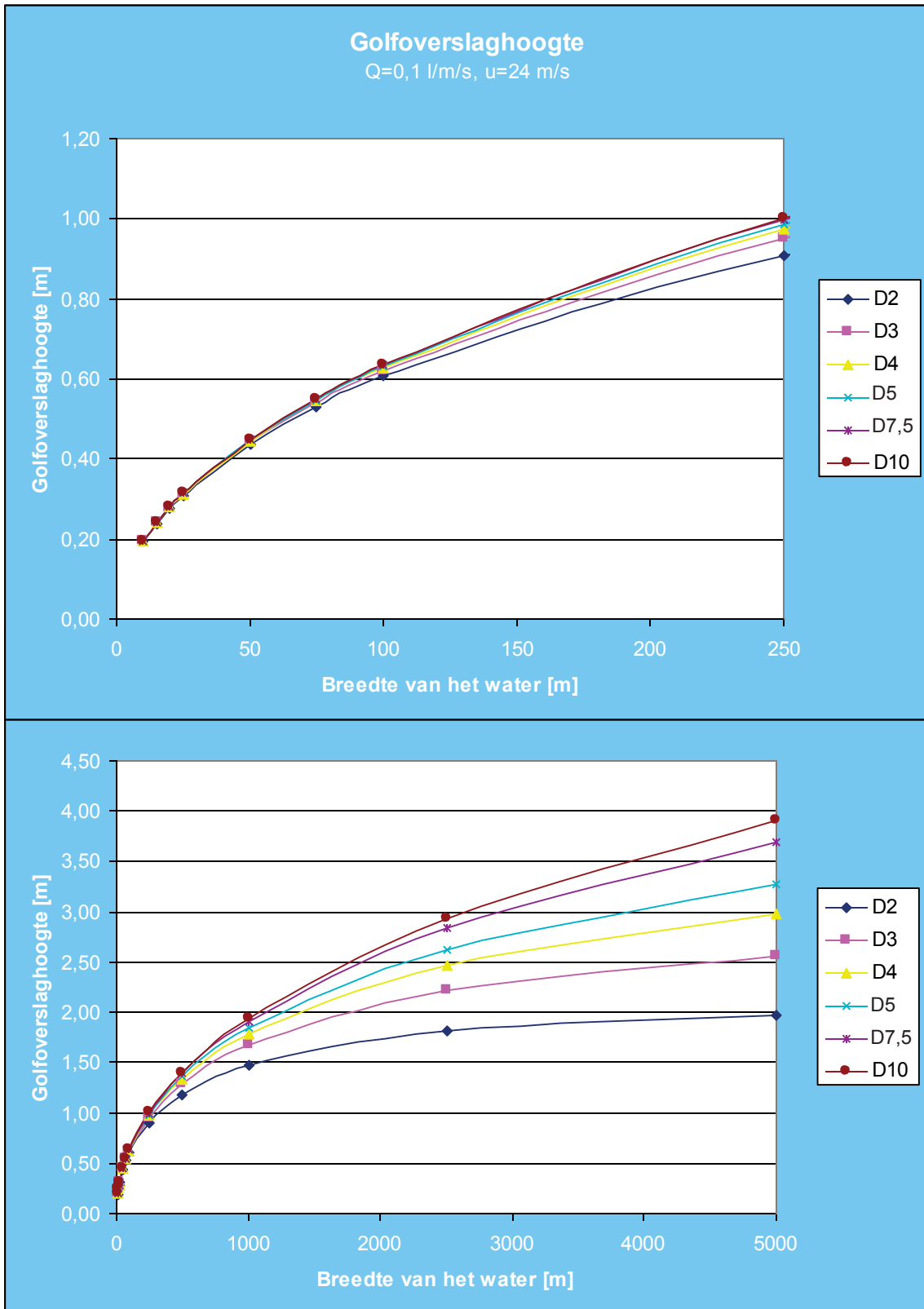


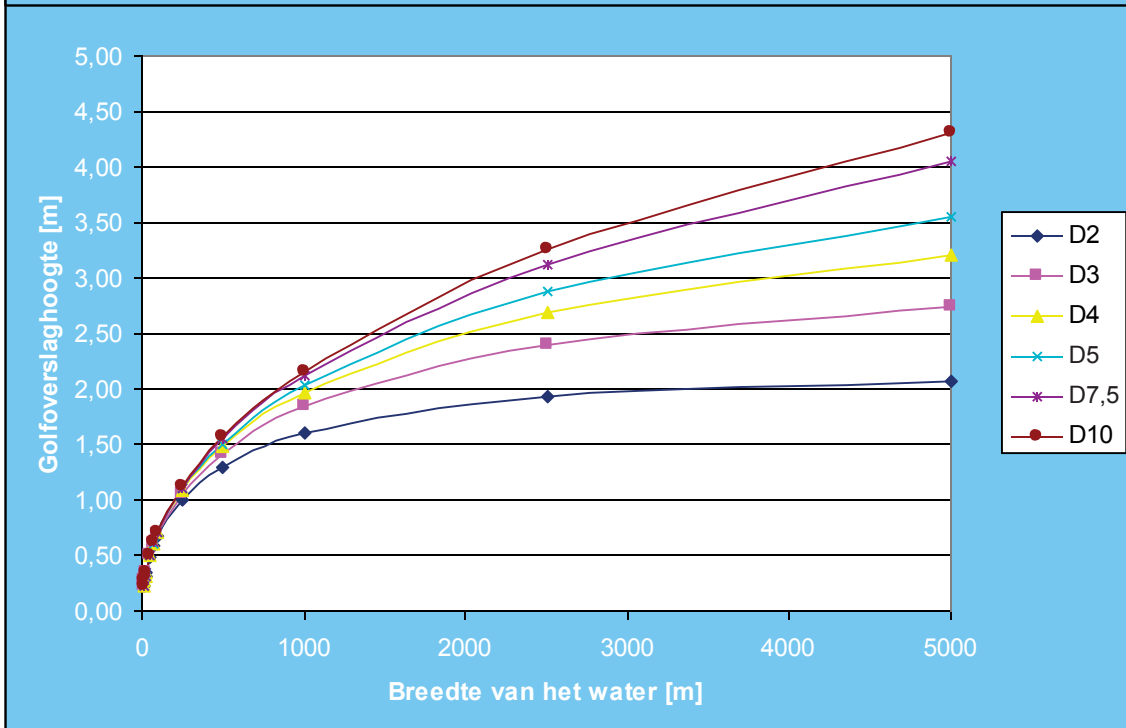
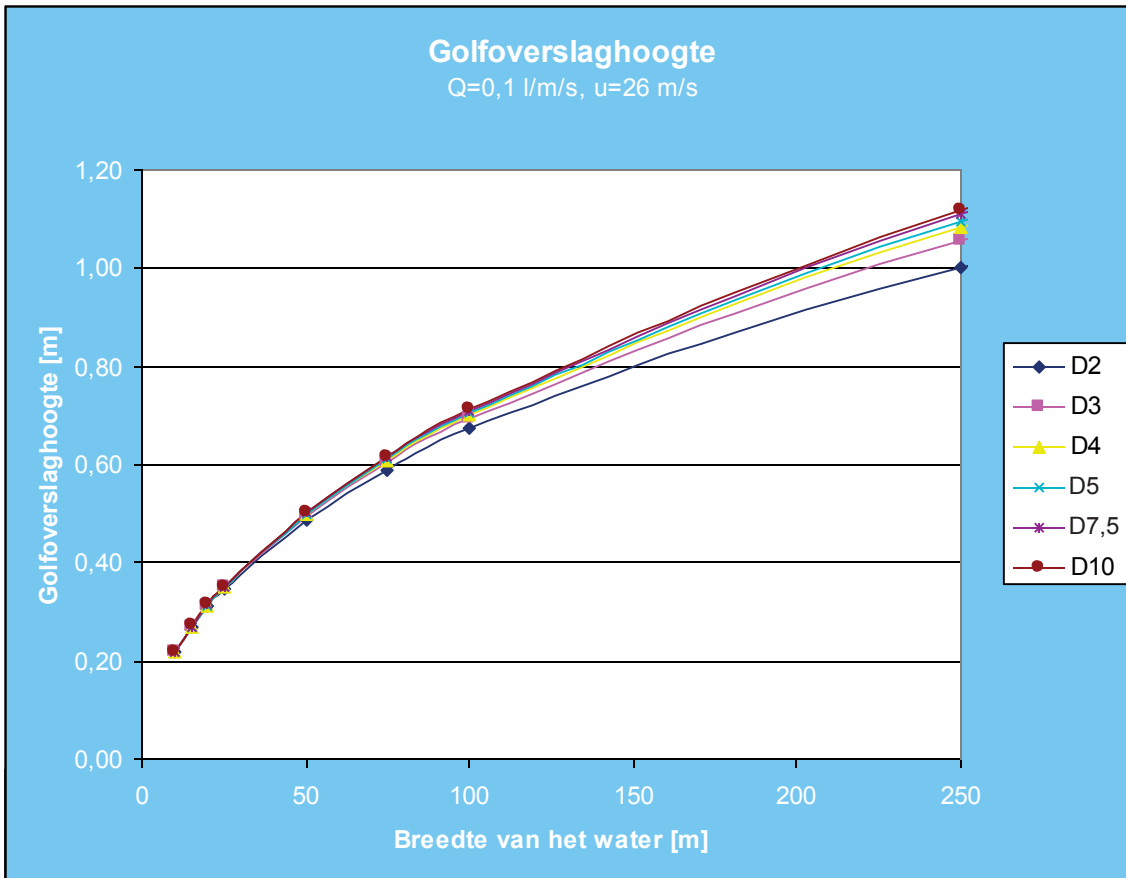


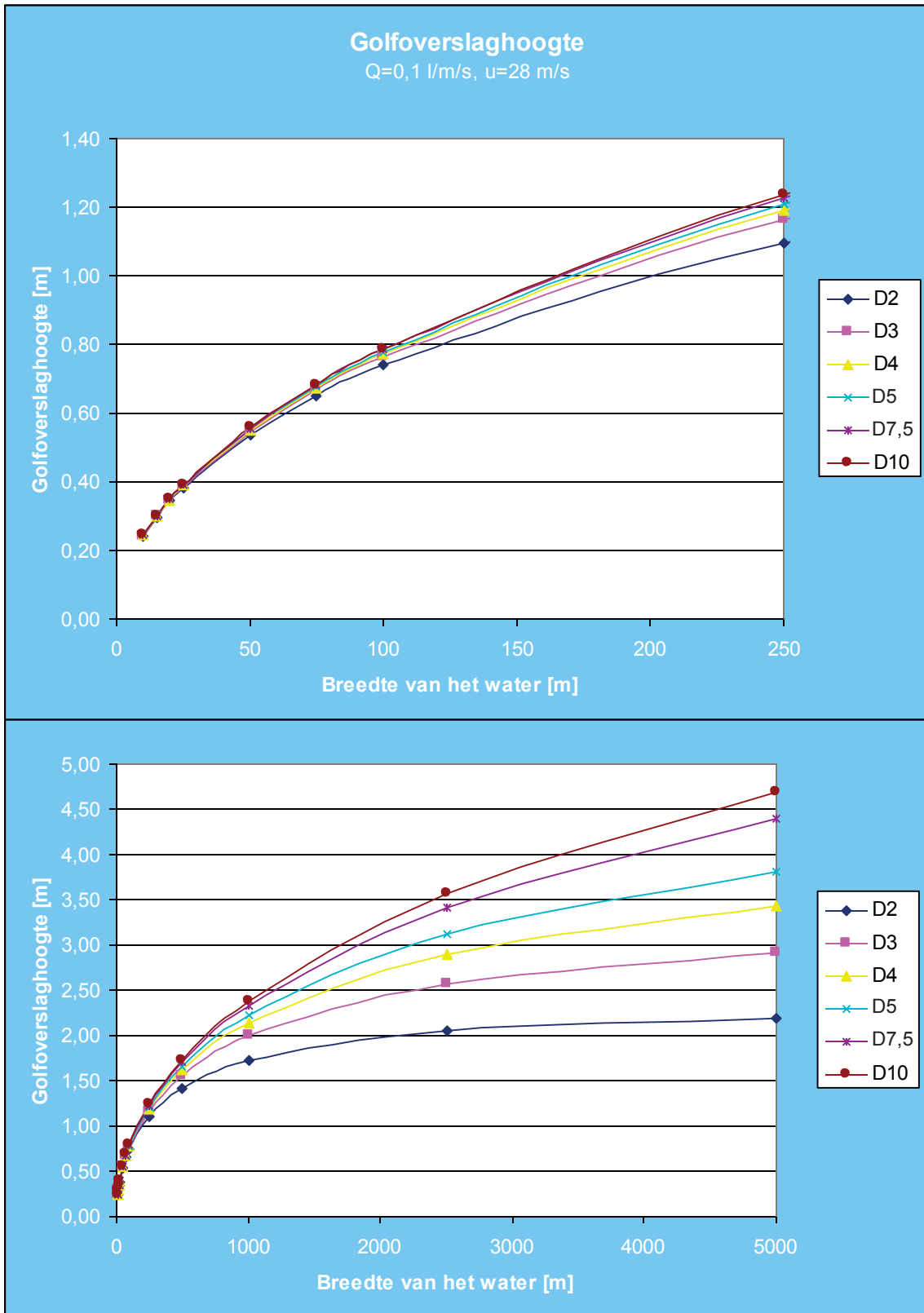


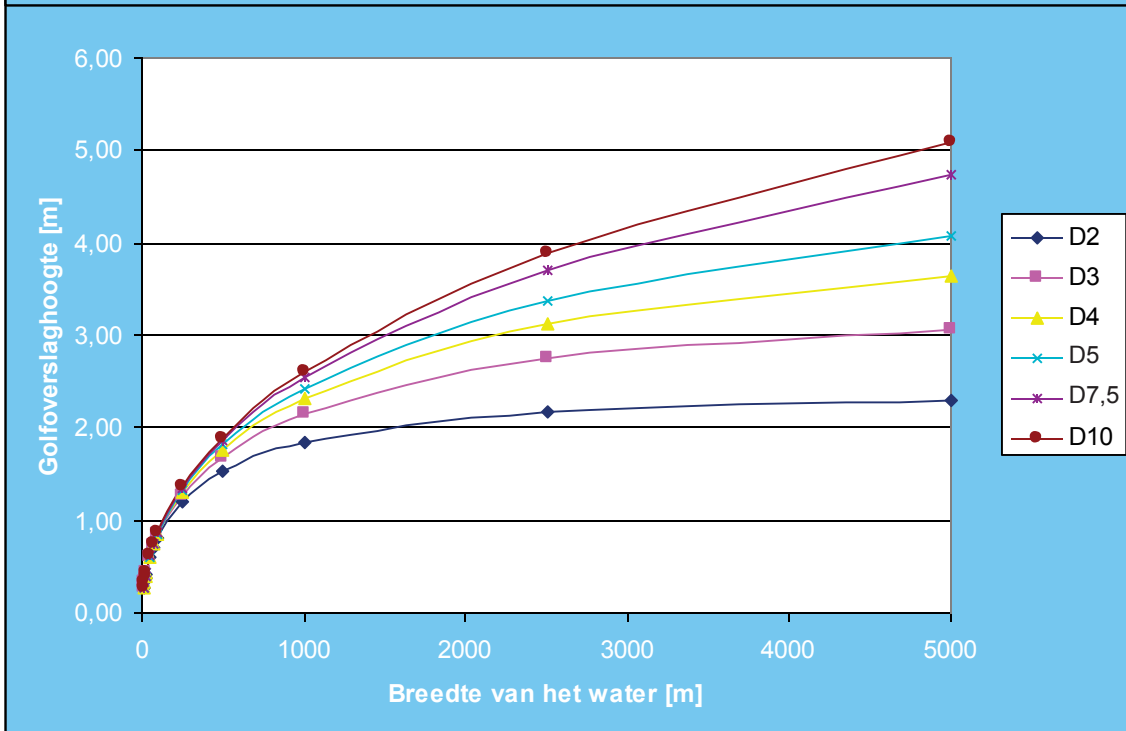
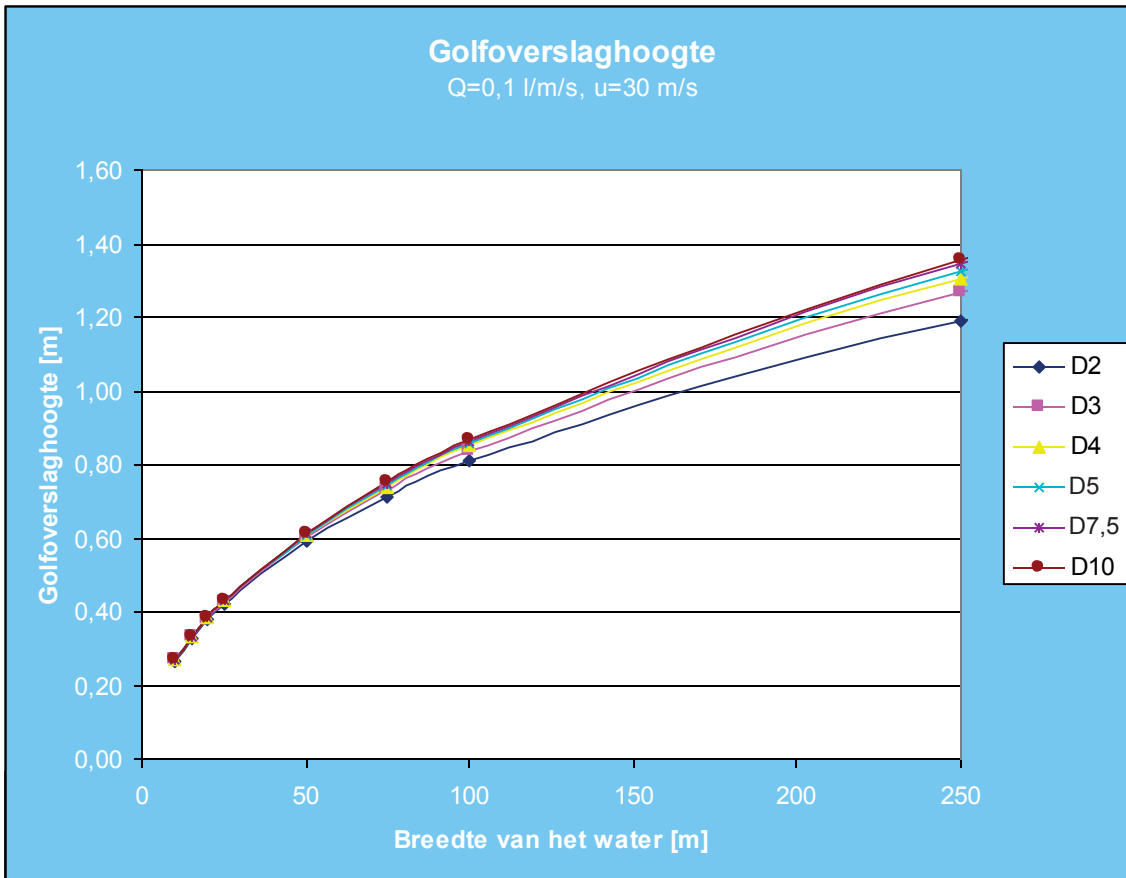


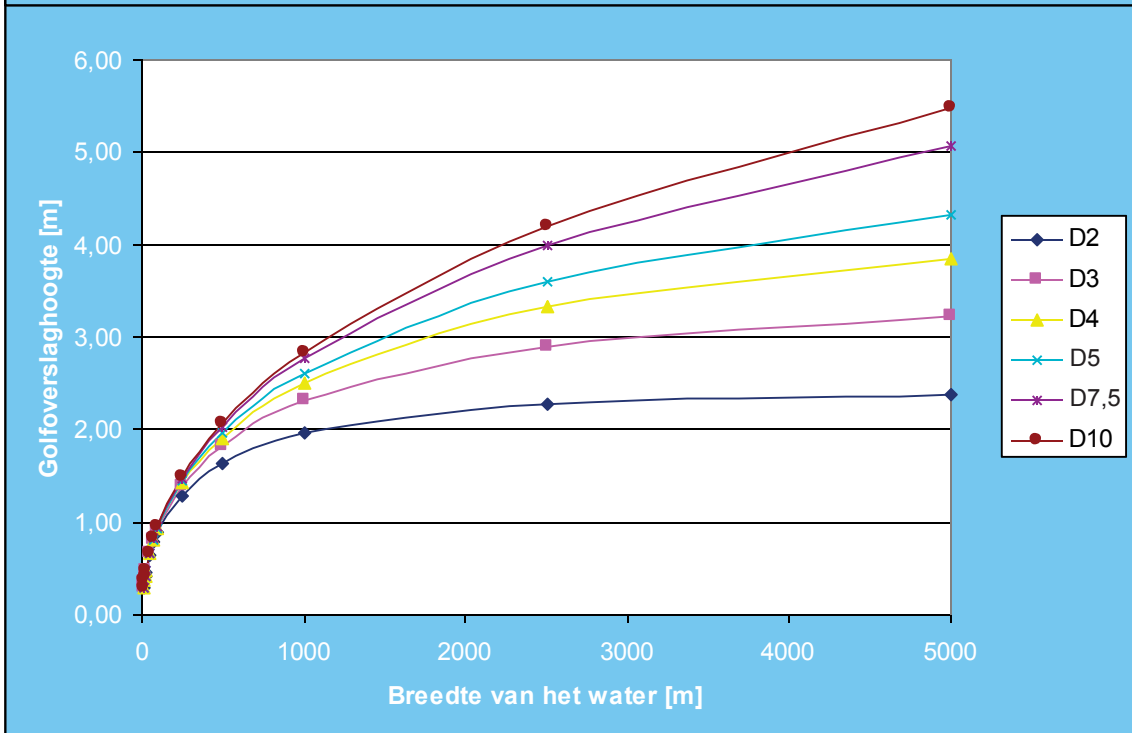
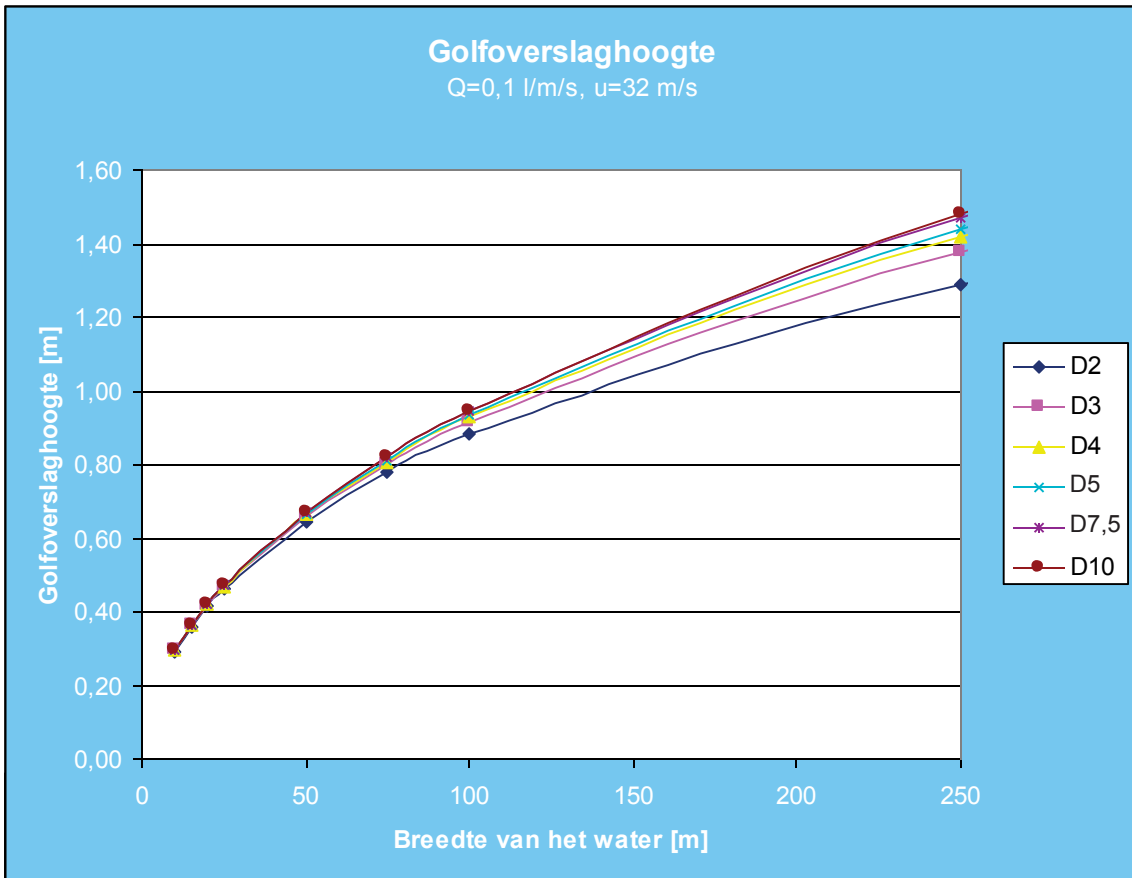


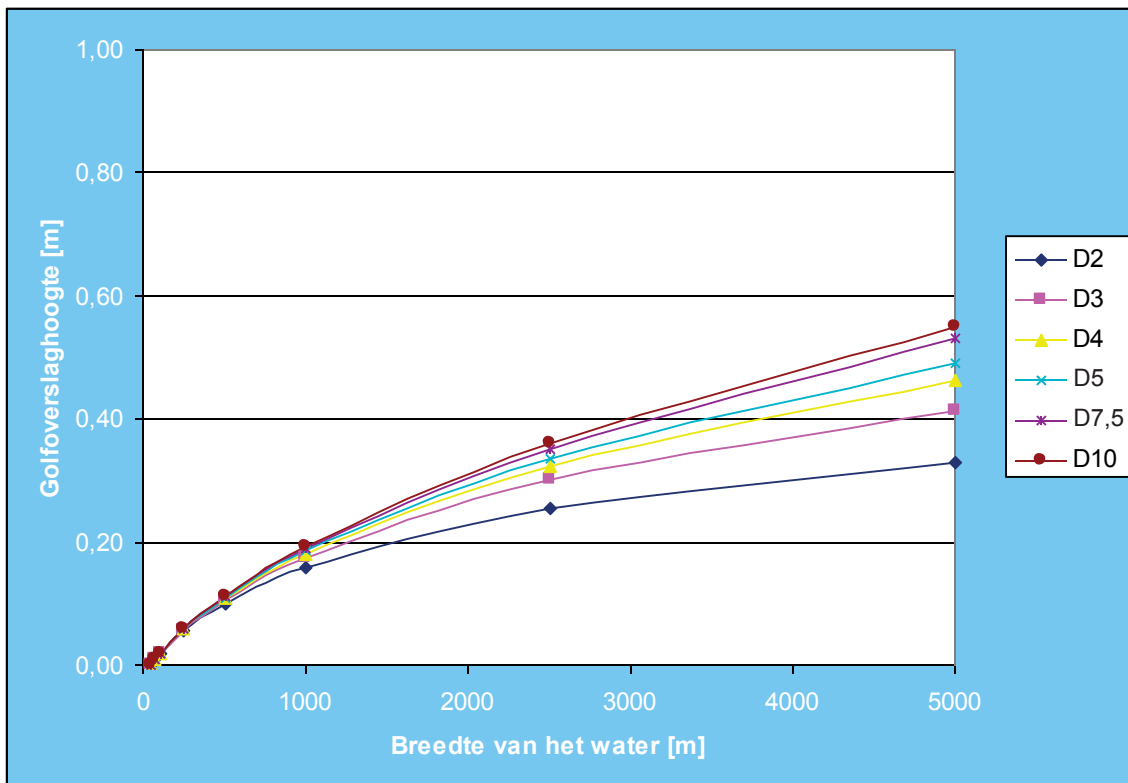
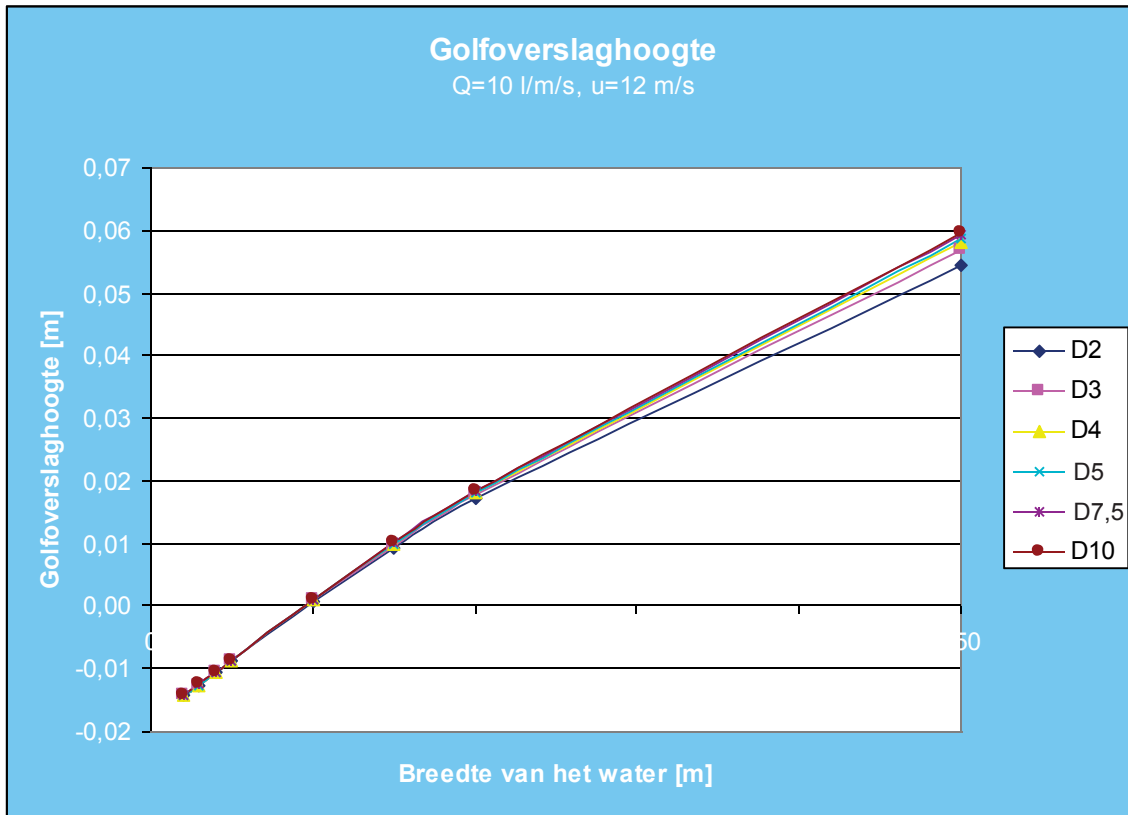


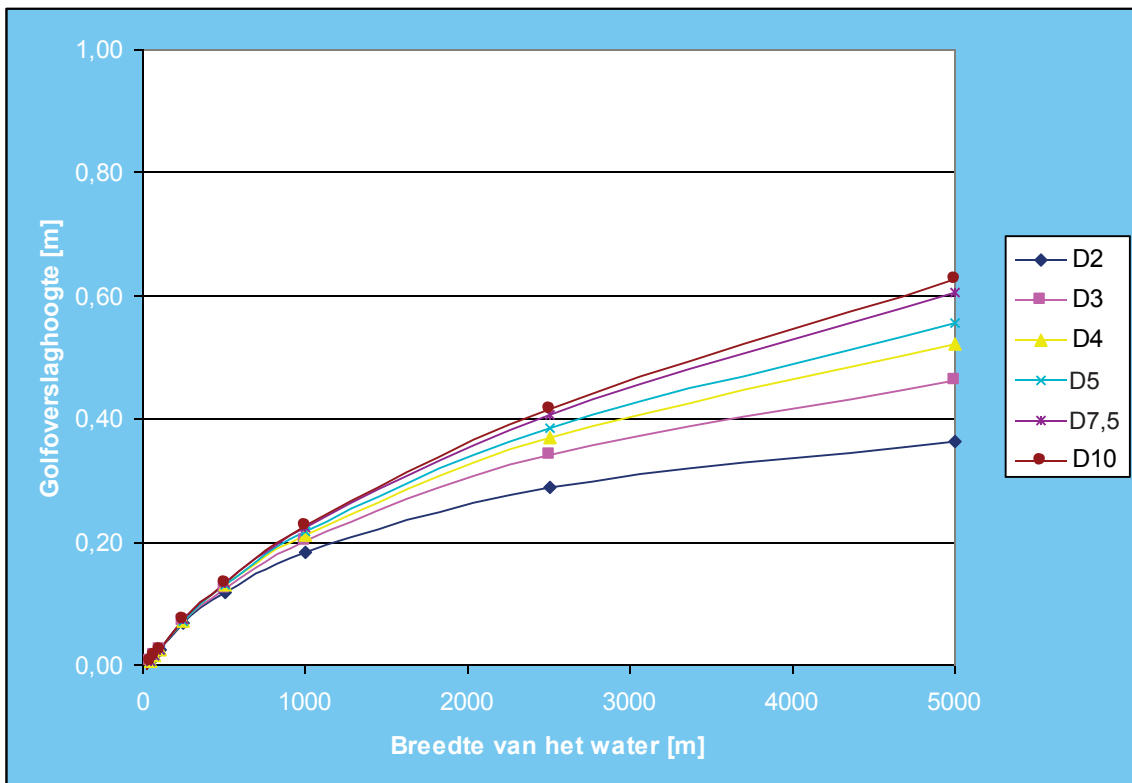
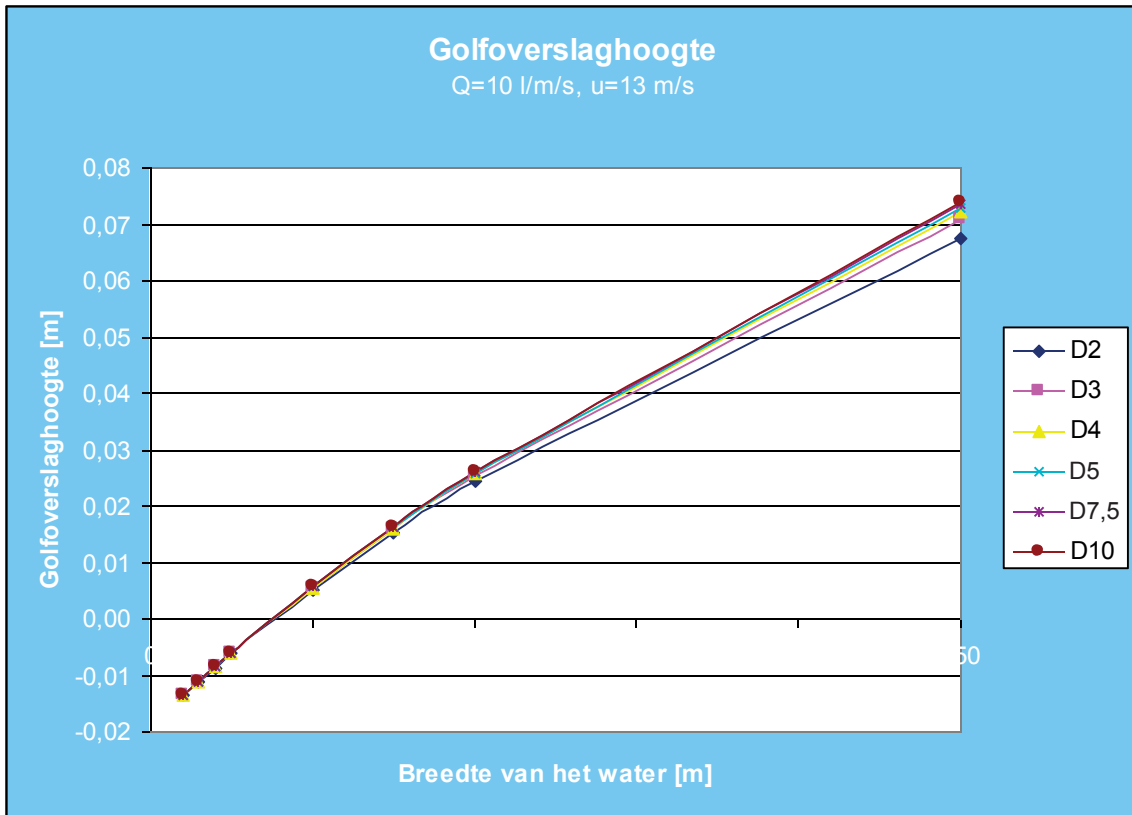




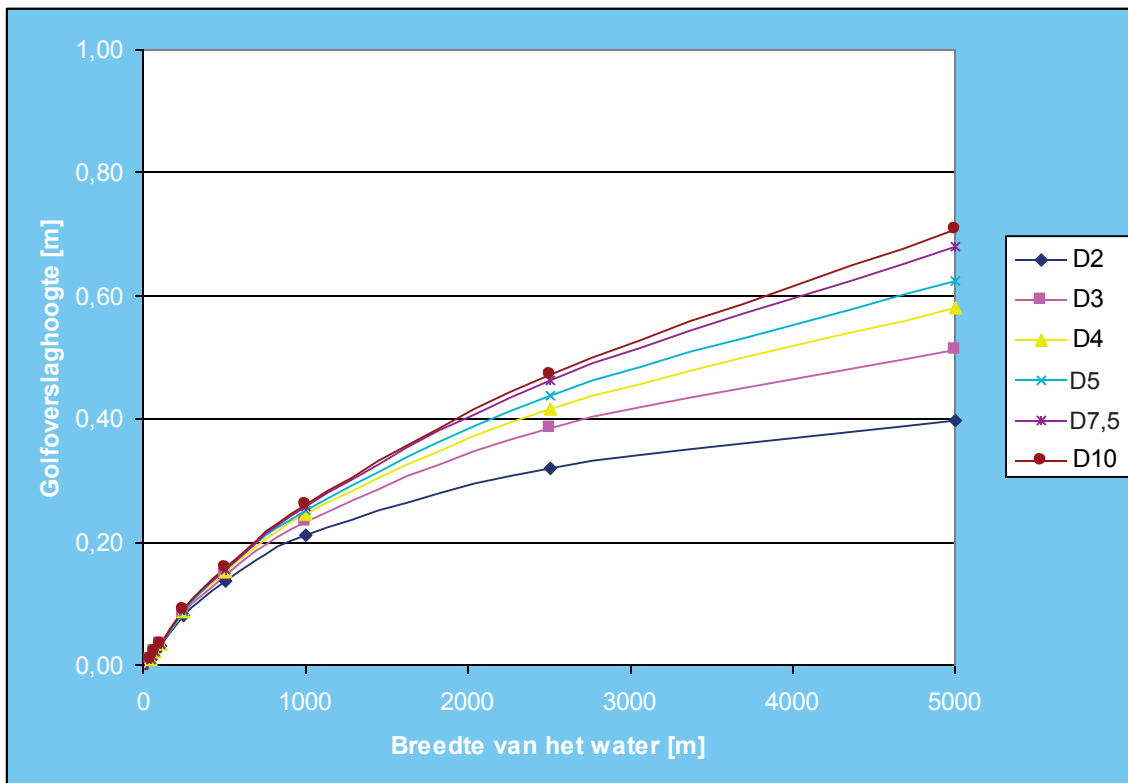
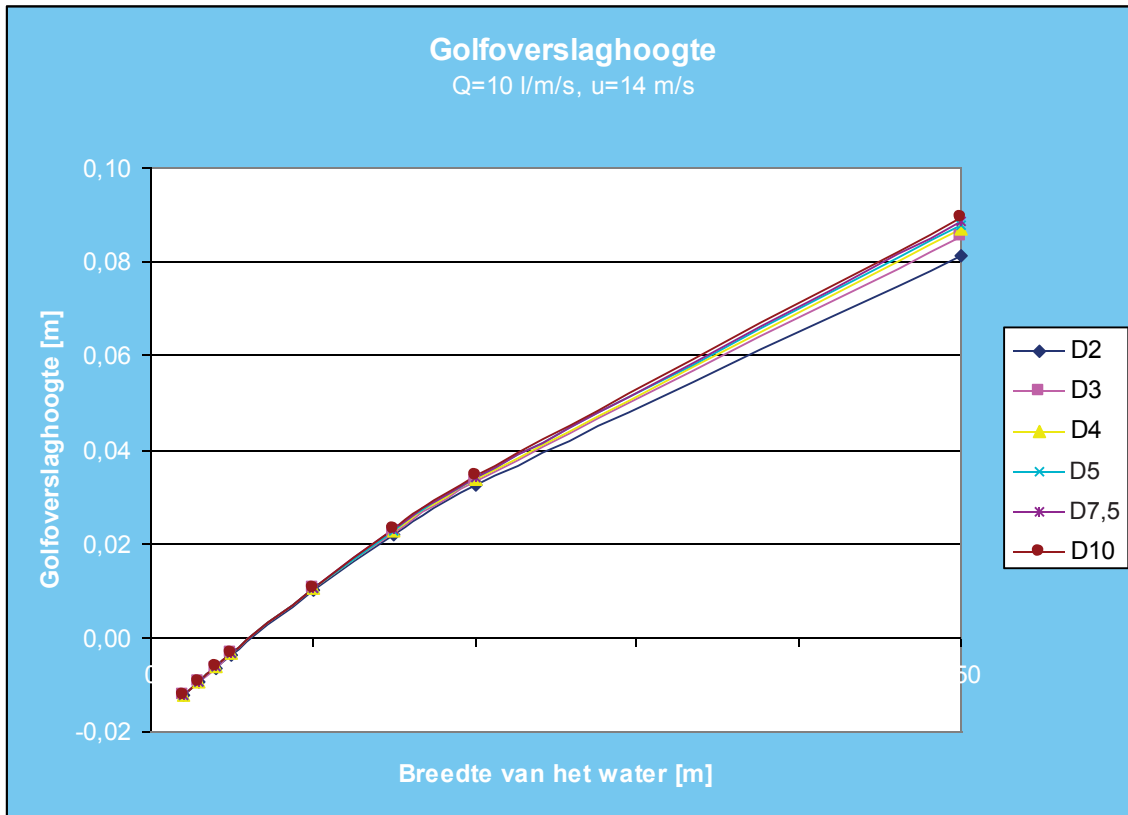


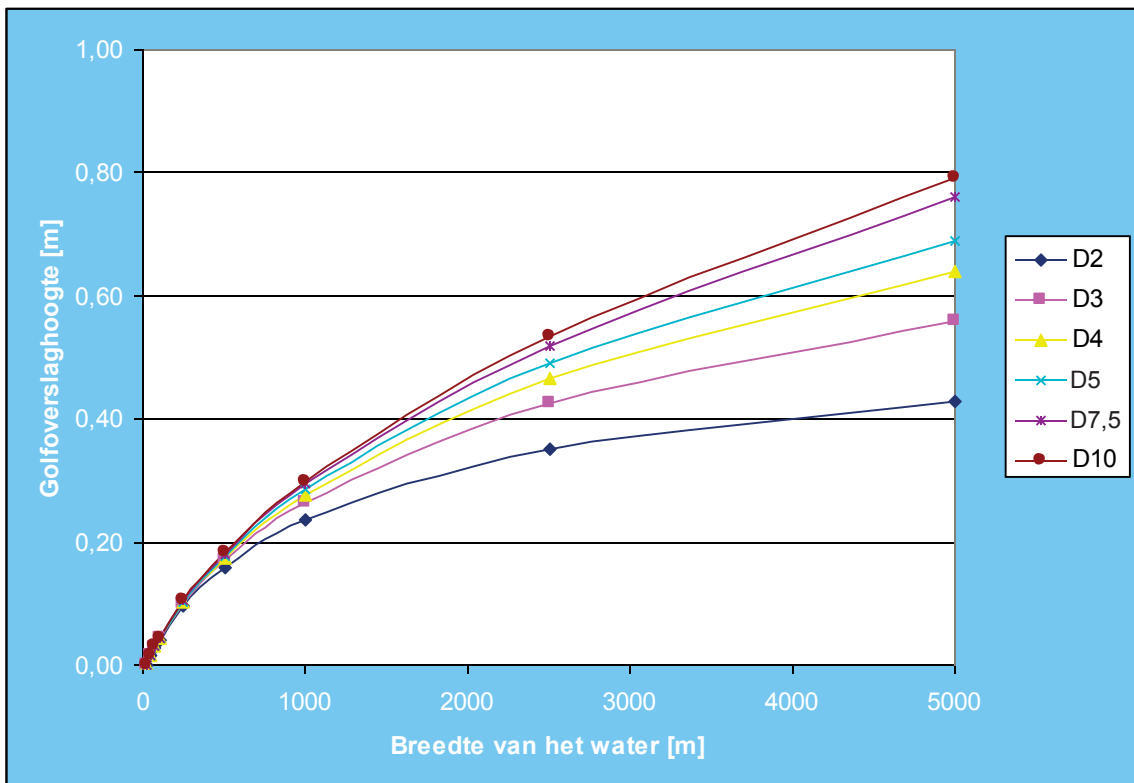
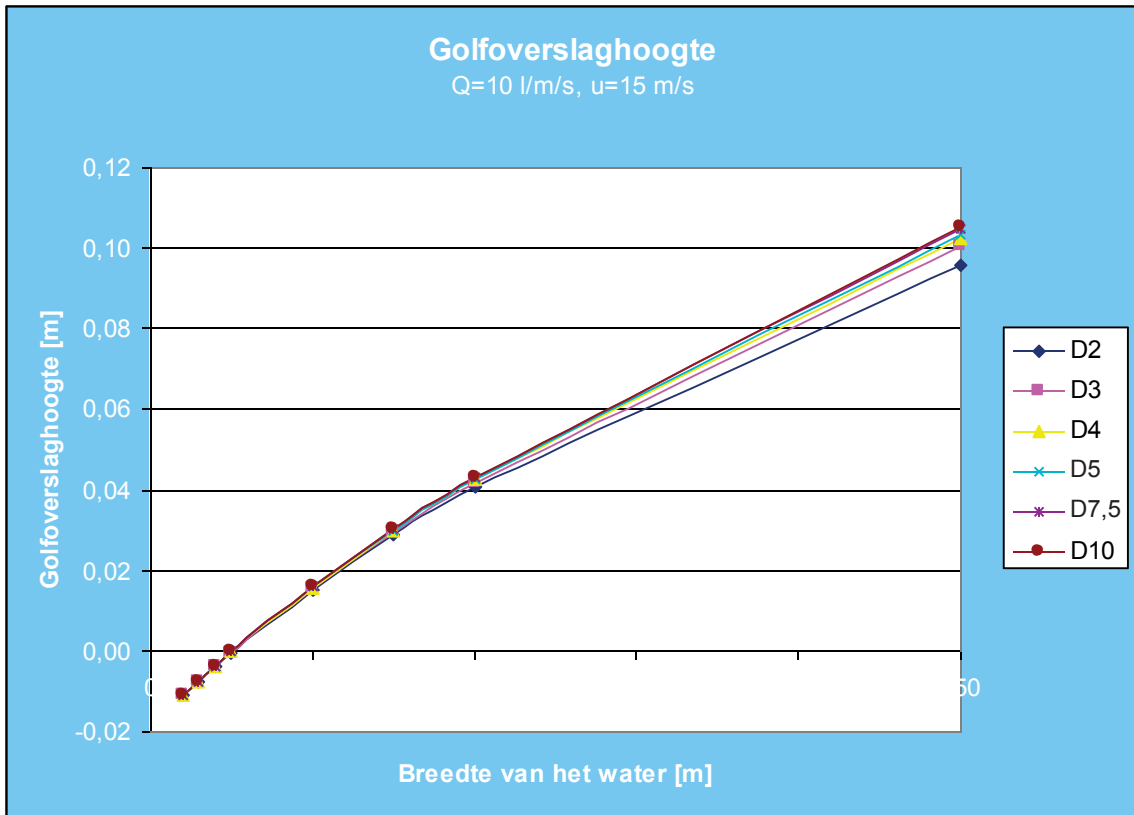


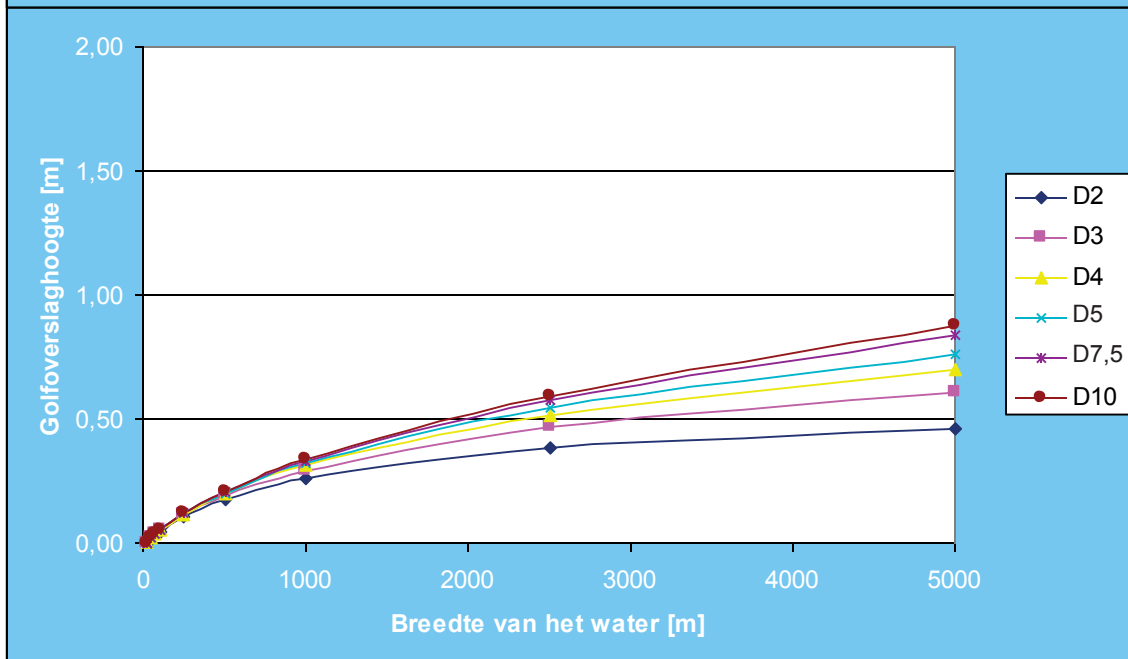
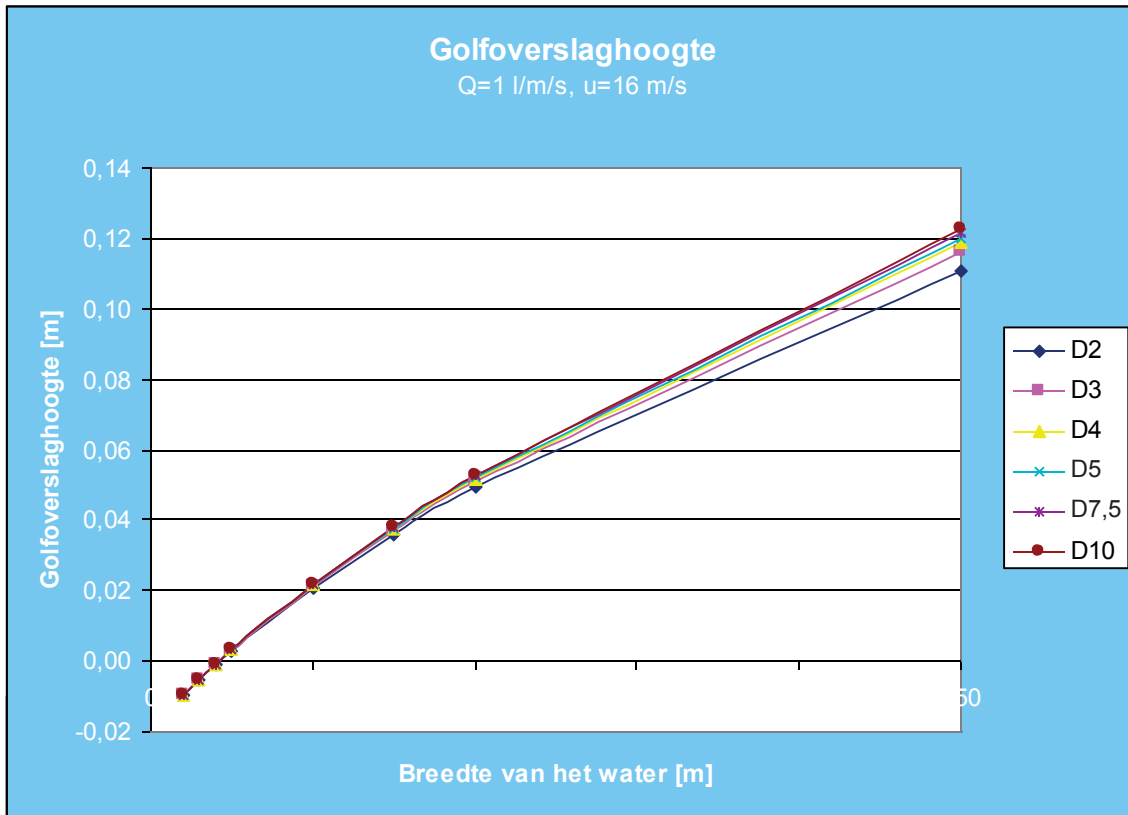


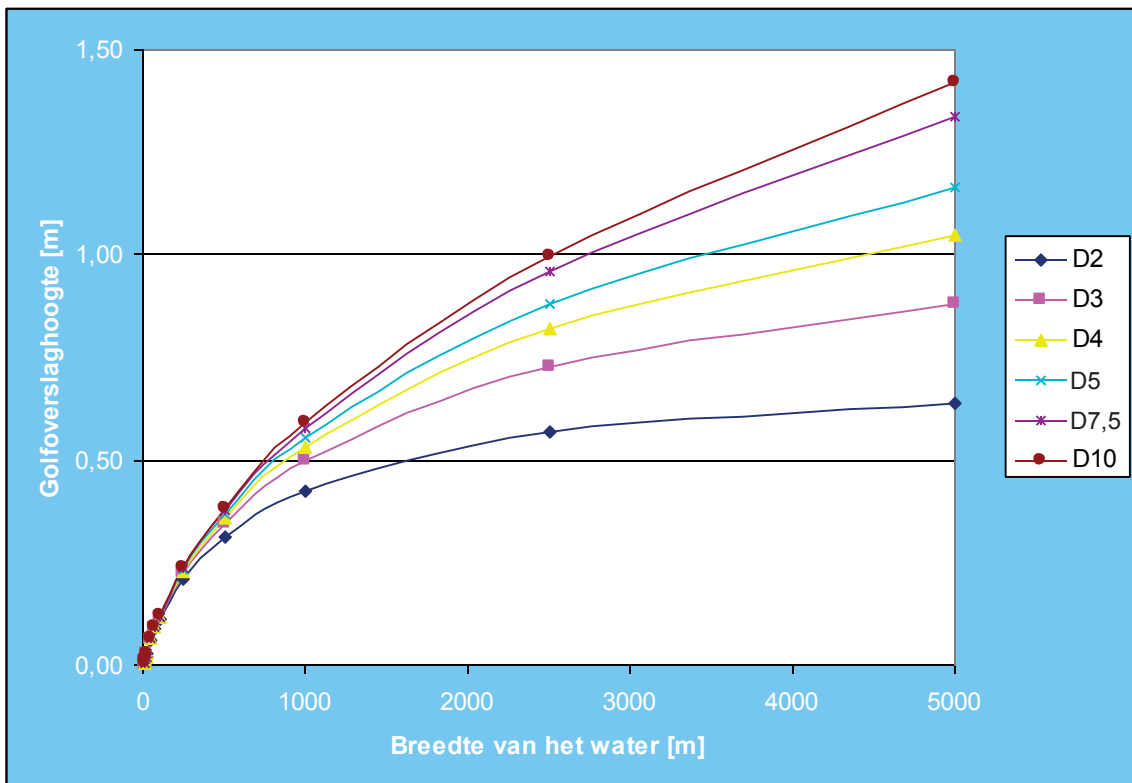
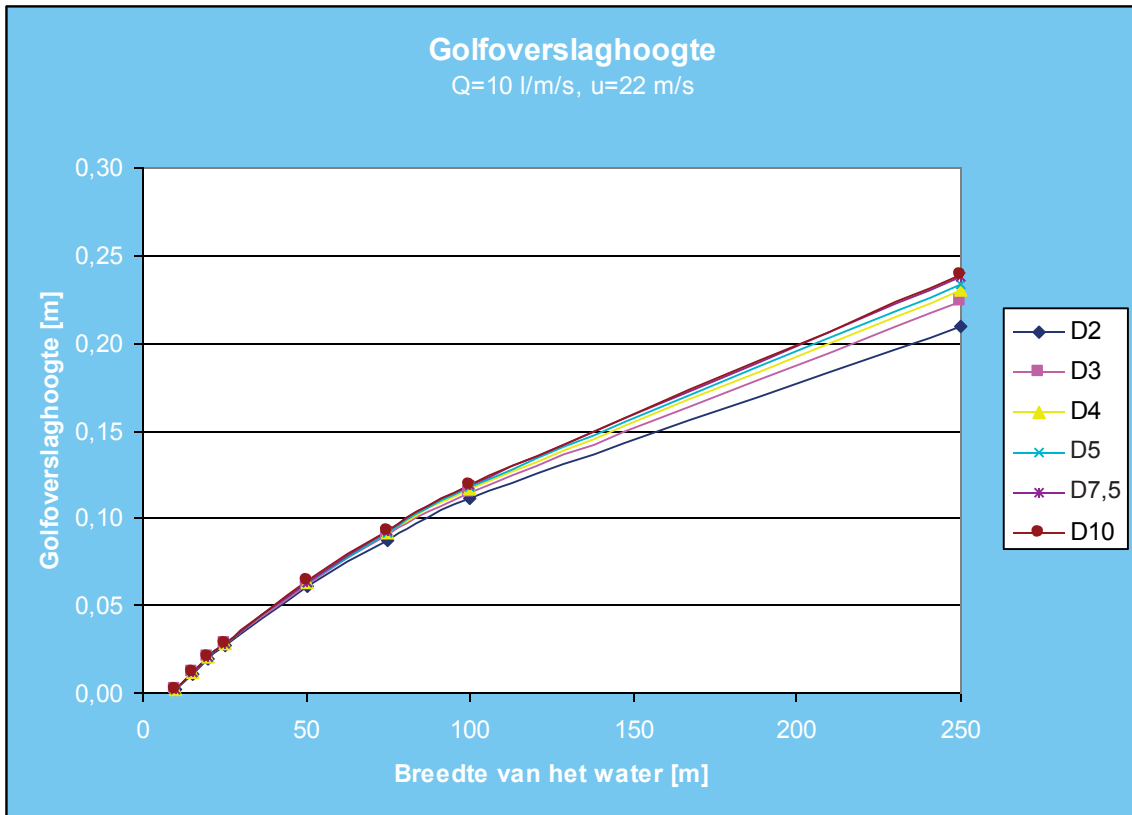


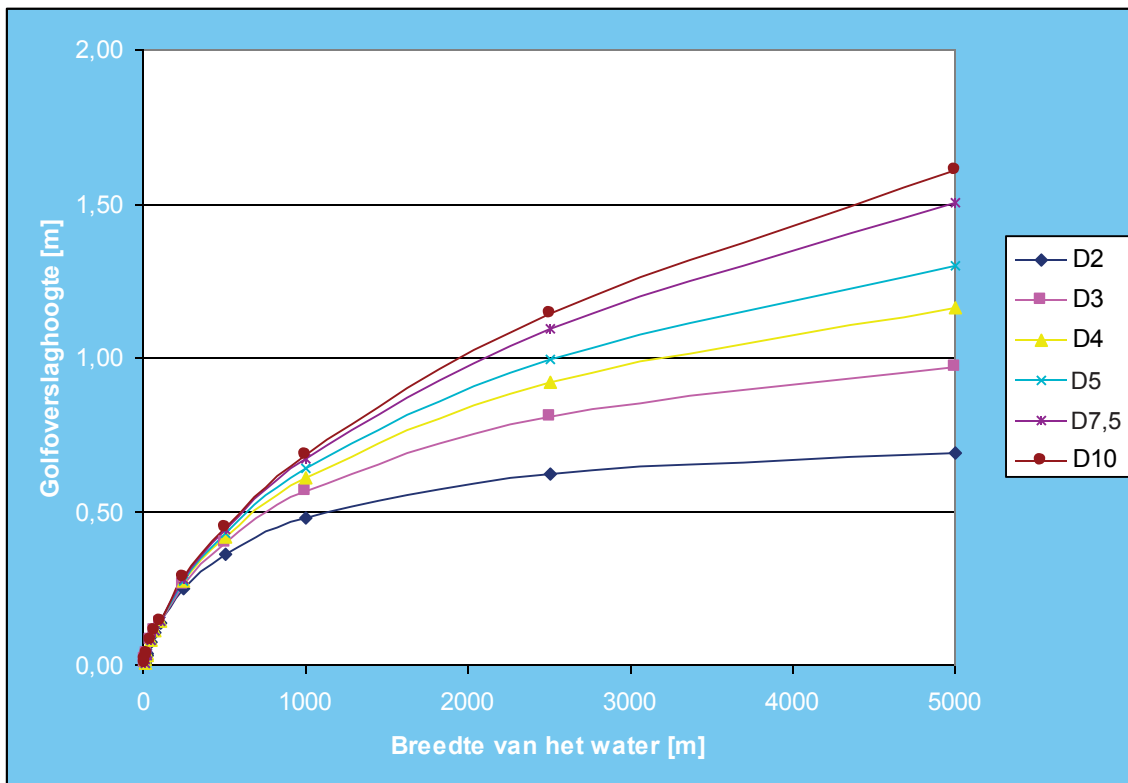
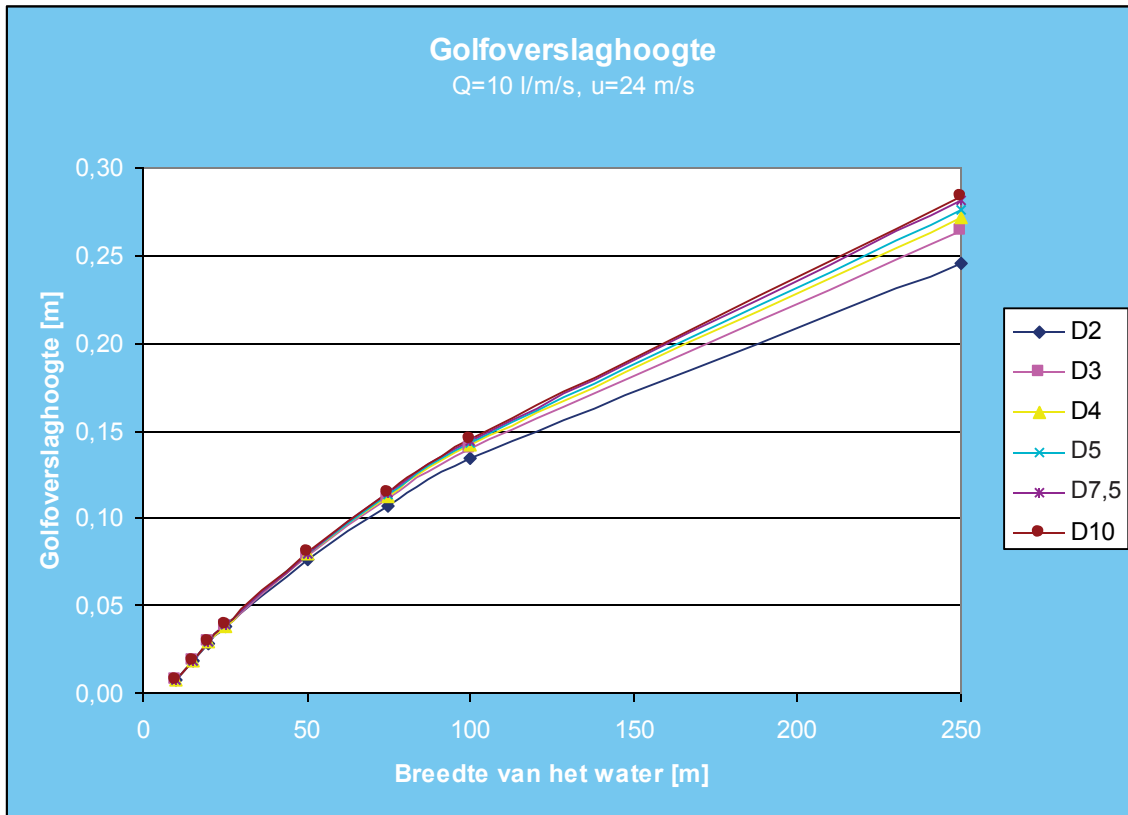


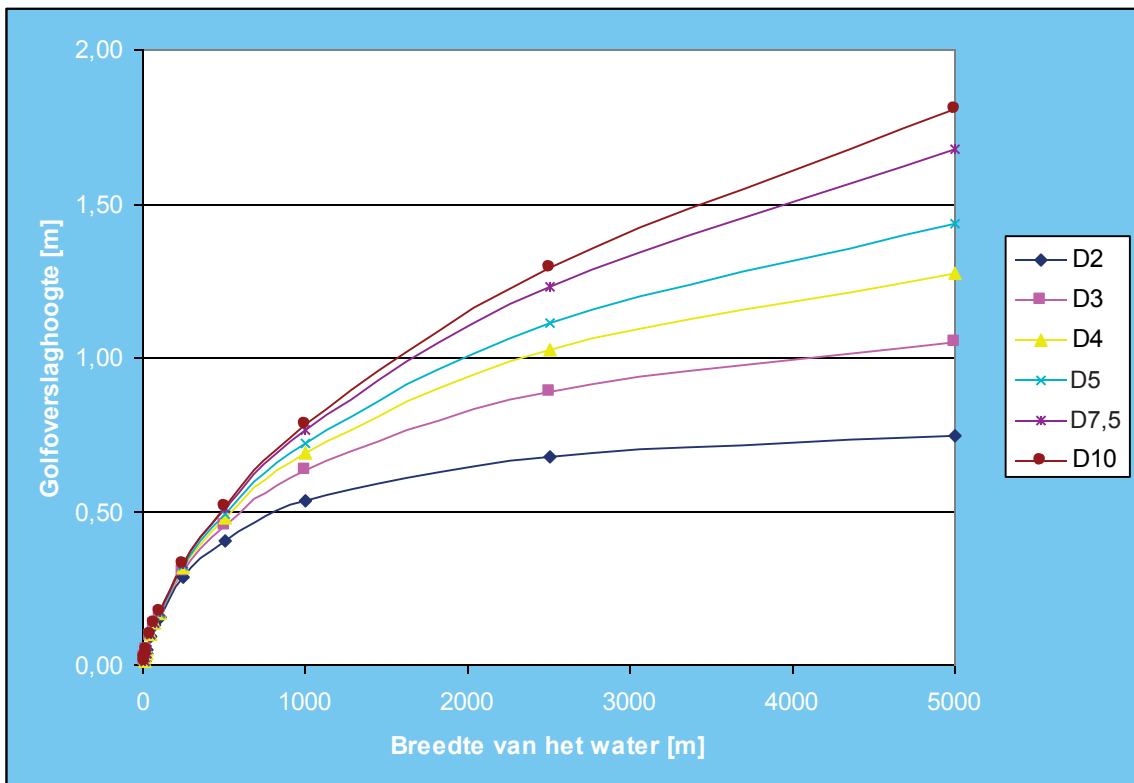
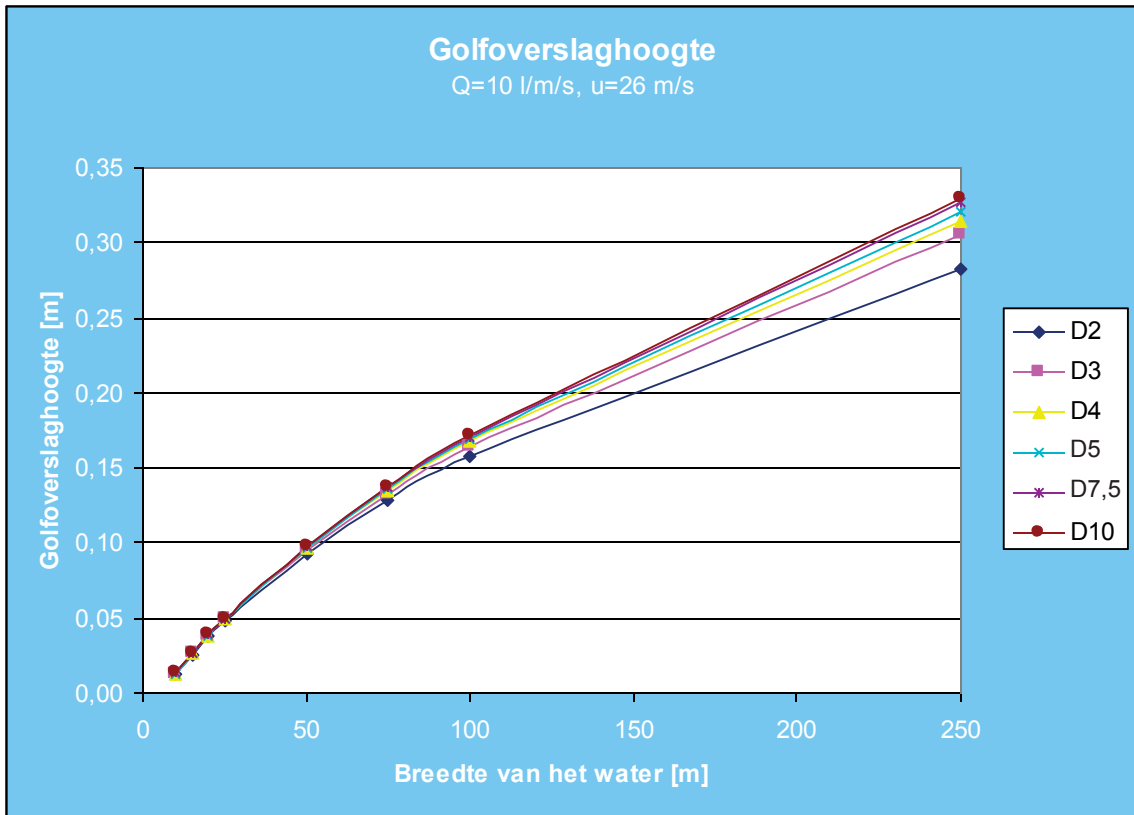


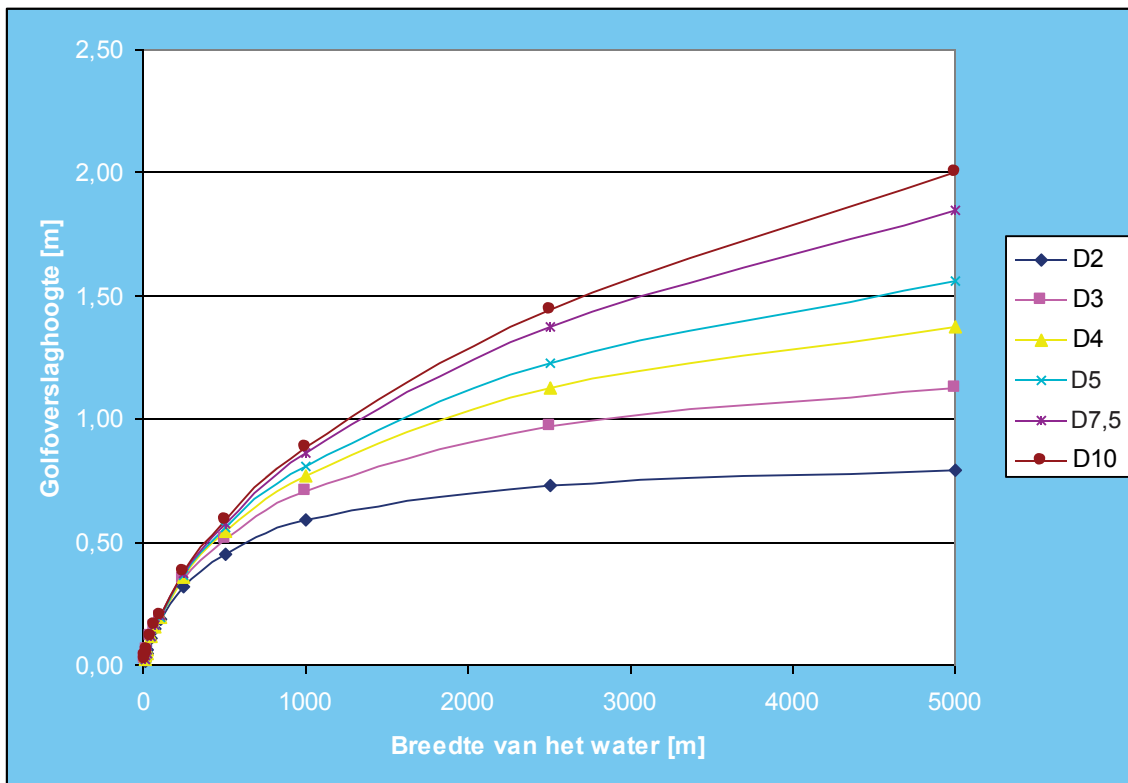
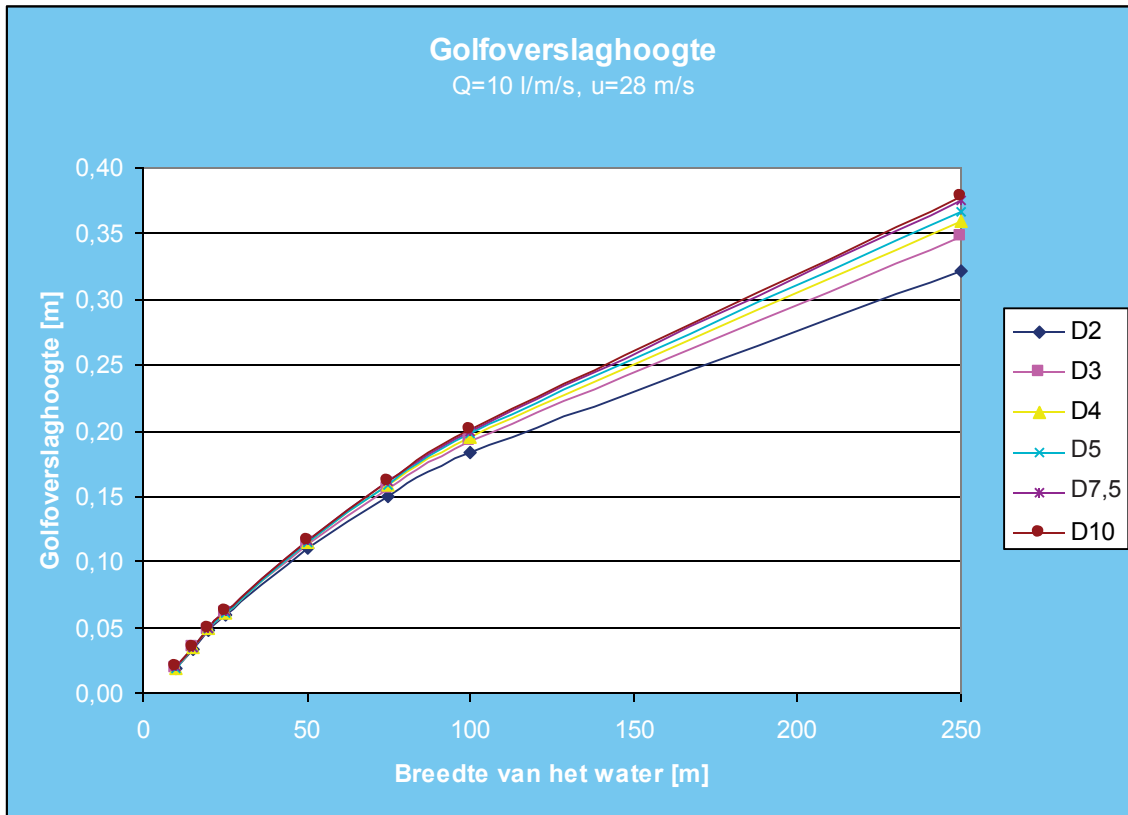


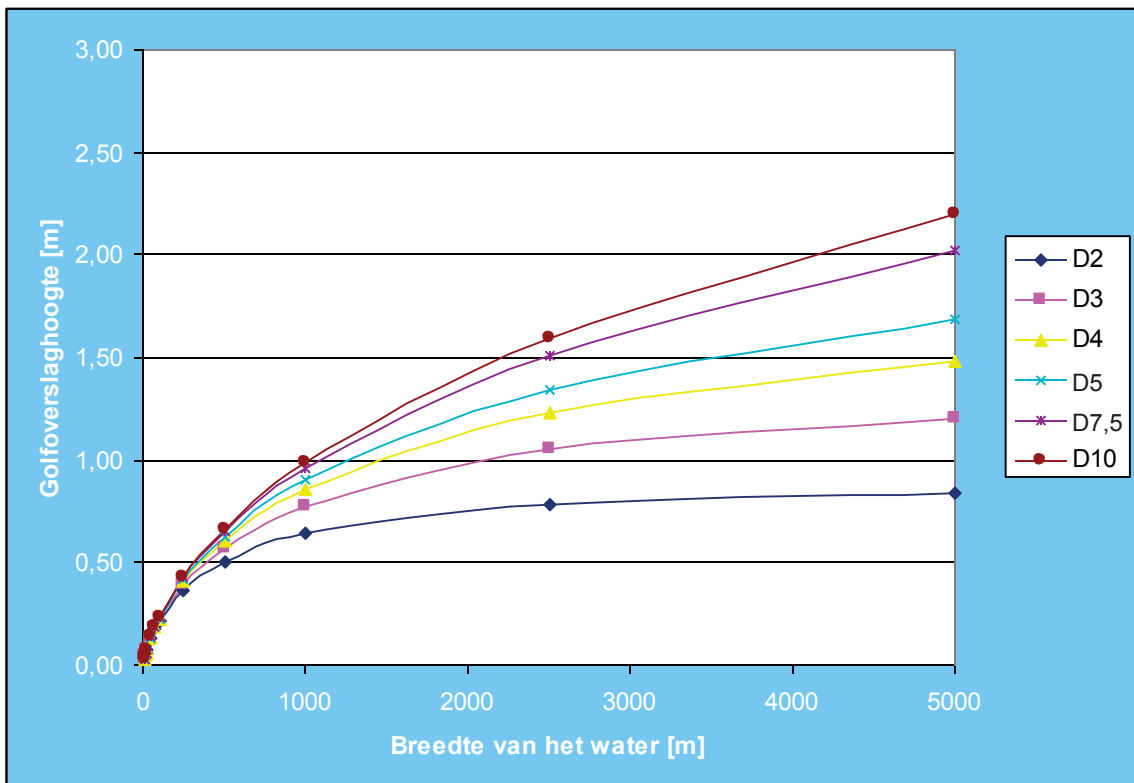
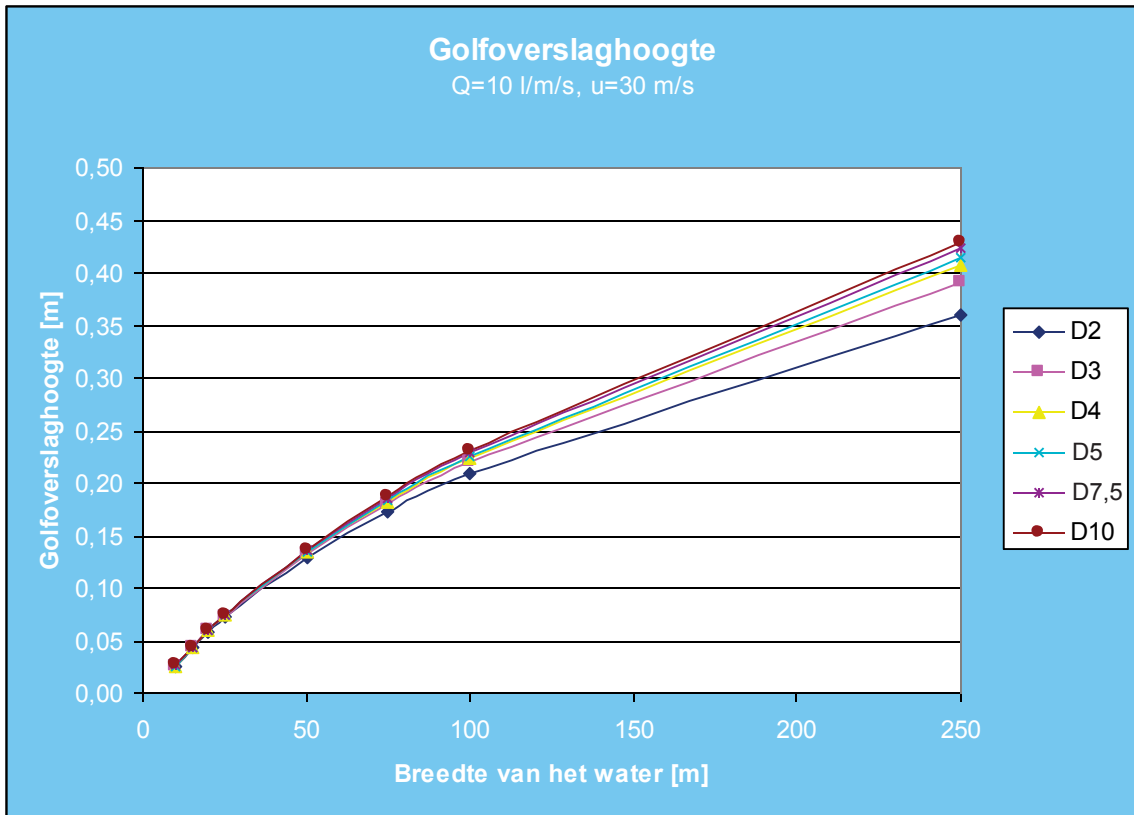




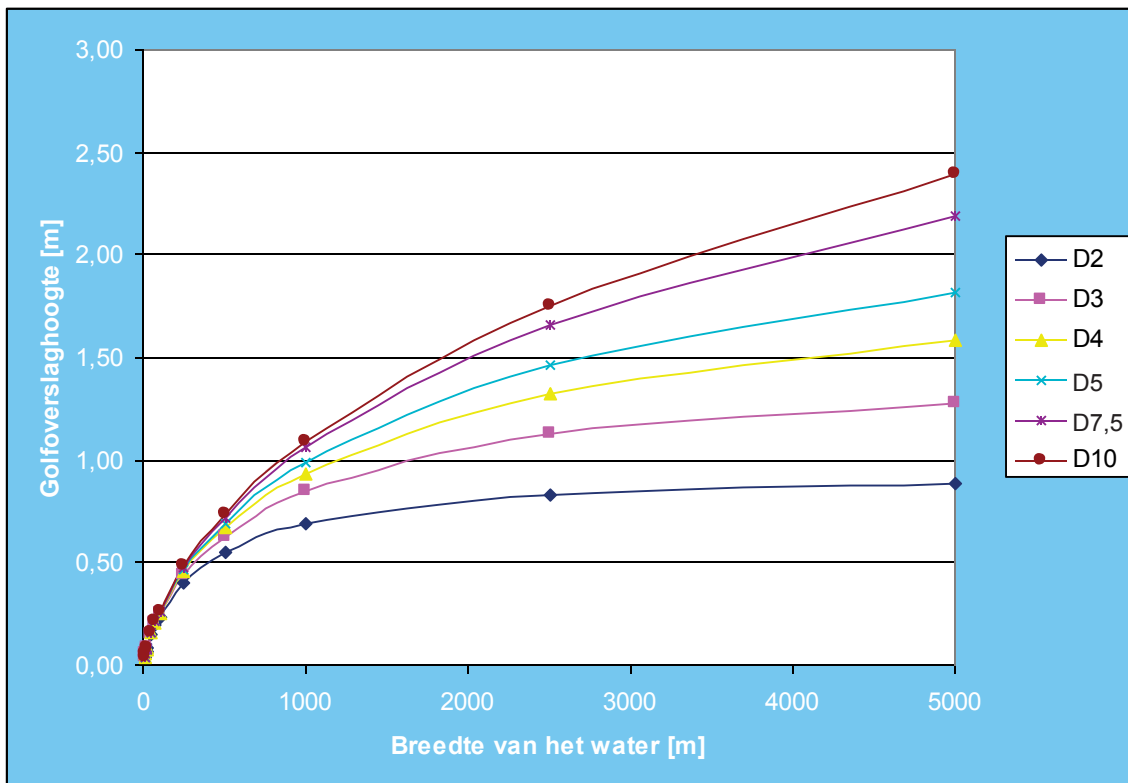
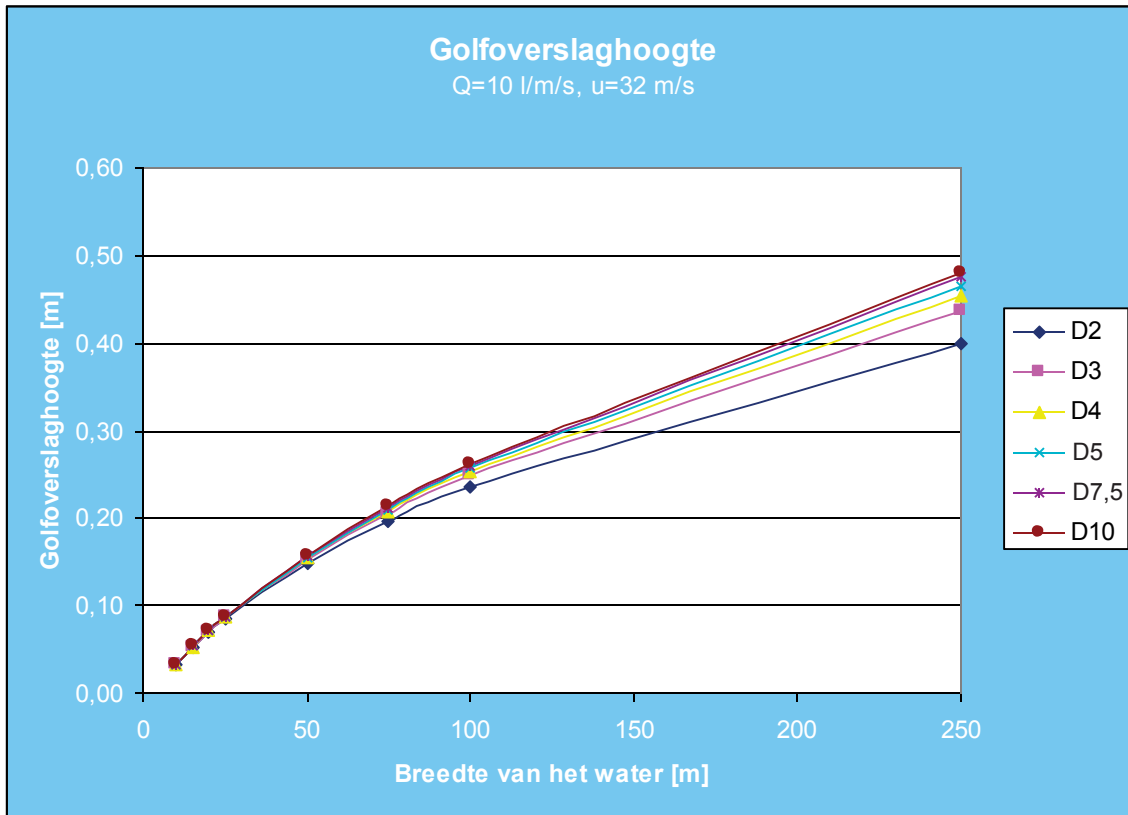












| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 32               | 2               | 10               | 0,14                           | 1,04            | 0,29                           | 0,03                          |
| 32               | 2               | 15               | 0,16                           | 1,14            | 0,36                           | 0,05                          |
| 32               | 2               | 20               | 0,18                           | 1,22            | 0,41                           | 0,07                          |
| 32               | 2               | 25               | 0,20                           | 1,29            | 0,46                           | 0,08                          |
| 32               | 2               | 50               | 0,26                           | 1,52            | 0,64                           | 0,15                          |
| 32               | 2               | 75               | 0,31                           | 1,66            | 0,78                           | 0,20                          |
| 32               | 2               | 100              | 0,34                           | 1,78            | 0,88                           | 0,24                          |
| 32               | 2               | 250              | 0,47                           | 2,17            | 1,29                           | 0,40                          |
| 32               | 2               | 500              | 0,57                           | 2,50            | 1,63                           | 0,55                          |
| 32               | 2               | 1000             | 0,67                           | 2,85            | 1,96                           | 0,69                          |
| 32               | 2               | 2500             | 0,76                           | 3,32            | 2,27                           | 0,83                          |
| 32               | 2               | 5000             | 0,79                           | 3,65            | 2,39                           | 0,88                          |
| 32               | 3               | 10               | 0,14                           | 1,04            | 0,29                           | 0,03                          |
| 32               | 3               | 15               | 0,16                           | 1,15            | 0,36                           | 0,05                          |
| 32               | 3               | 20               | 0,18                           | 1,23            | 0,42                           | 0,07                          |
| 32               | 3               | 25               | 0,20                           | 1,30            | 0,47                           | 0,09                          |
| 32               | 3               | 50               | 0,27                           | 1,53            | 0,66                           | 0,15                          |
| 32               | 3               | 75               | 0,31                           | 1,68            | 0,80                           | 0,20                          |
| 32               | 3               | 100              | 0,35                           | 1,80            | 0,91                           | 0,25                          |
| 32               | 3               | 250              | 0,49                           | 2,21            | 1,38                           | 0,44                          |
| 32               | 3               | 500              | 0,63                           | 2,57            | 1,82                           | 0,63                          |
| 32               | 3               | 1000             | 0,77                           | 2,96            | 2,31                           | 0,85                          |
| 32               | 3               | 2500             | 0,94                           | 3,50            | 2,91                           | 1,13                          |
| 32               | 3               | 5000             | 1,02                           | 3,90            | 3,22                           | 1,28                          |
| 32               | 4               | 10               | 0,14                           | 1,04            | 0,29                           | 0,03                          |
| 32               | 4               | 15               | 0,16                           | 1,15            | 0,36                           | 0,05                          |
| 32               | 4               | 20               | 0,18                           | 1,23            | 0,42                           | 0,07                          |
| 32               | 4               | 25               | 0,20                           | 1,30            | 0,47                           | 0,09                          |
| 32               | 4               | 50               | 0,27                           | 1,54            | 0,66                           | 0,15                          |
| 32               | 4               | 75               | 0,32                           | 1,69            | 0,81                           | 0,21                          |
| 32               | 4               | 100              | 0,35                           | 1,81            | 0,93                           | 0,25                          |
| 32               | 4               | 250              | 0,51                           | 2,24            | 1,42                           | 0,45                          |
| 32               | 4               | 500              | 0,65                           | 2,61            | 1,91                           | 0,67                          |
| 32               | 4               | 1000             | 0,82                           | 3,02            | 2,50                           | 0,94                          |
| 32               | 4               | 2500             | 1,05                           | 3,61            | 3,32                           | 1,32                          |
| 32               | 4               | 5000             | 1,19                           | 4,06            | 3,85                           | 1,58                          |
| 32               | 5               | 10               | 0,14                           | 1,04            | 0,30                           | 0,03                          |
| 32               | 5               | 15               | 0,16                           | 1,15            | 0,36                           | 0,05                          |
| 32               | 5               | 20               | 0,18                           | 1,24            | 0,42                           | 0,07                          |
| 32               | 5               | 25               | 0,20                           | 1,31            | 0,47                           | 0,09                          |
| 32               | 5               | 50               | 0,27                           | 1,54            | 0,67                           | 0,16                          |
| 32               | 5               | 75               | 0,32                           | 1,70            | 0,81                           | 0,21                          |
| 32               | 5               | 100              | 0,36                           | 1,82            | 0,93                           | 0,26                          |
| 32               | 5               | 250              | 0,51                           | 2,26            | 1,44                           | 0,46                          |
| 32               | 5               | 500              | 0,67                           | 2,64            | 1,97                           | 0,69                          |
| 32               | 5               | 1000             | 0,86                           | 3,06            | 2,62                           | 0,99                          |
| 32               | 5               | 2500             | 1,13                           | 3,68            | 3,60                           | 1,46                          |
| 32               | 5               | 5000             | 1,32                           | 4,17            | 4,33                           | 1,82                          |

| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 32               | 7,5             | 10               | 0,14                           | 1,05            | 0,30                           | 0,03                          |
| 32               | 7,5             | 15               | 0,16                           | 1,16            | 0,36                           | 0,05                          |
| 32               | 7,5             | 20               | 0,18                           | 1,24            | 0,42                           | 0,07                          |
| 32               | 7,5             | 25               | 0,20                           | 1,31            | 0,47                           | 0,09                          |
| 32               | 7,5             | 50               | 0,27                           | 1,55            | 0,67                           | 0,16                          |
| 32               | 7,5             | 75               | 0,32                           | 1,71            | 0,82                           | 0,21                          |
| 32               | 7,5             | 100              | 0,36                           | 1,83            | 0,94                           | 0,26                          |
| 32               | 7,5             | 250              | 0,52                           | 2,28            | 1,47                           | 0,48                          |
| 32               | 7,5             | 500              | 0,69                           | 2,67            | 2,03                           | 0,72                          |
| 32               | 7,5             | 1000             | 0,90                           | 3,12            | 2,76                           | 1,06                          |
| 32               | 7,5             | 2500             | 1,23                           | 3,79            | 4,00                           | 1,66                          |
| 32               | 7,5             | 5000             | 1,52                           | 4,34            | 5,07                           | 2,19                          |
| 32               | 10              | 10               | 0,14                           | 1,05            | 0,30                           | 0,03                          |
| 32               | 10              | 15               | 0,16                           | 1,16            | 0,36                           | 0,05                          |
| 32               | 10              | 20               | 0,18                           | 1,24            | 0,42                           | 0,07                          |
| 32               | 10              | 25               | 0,20                           | 1,31            | 0,47                           | 0,09                          |
| 32               | 10              | 50               | 0,27                           | 1,56            | 0,67                           | 0,16                          |
| 32               | 10              | 75               | 0,32                           | 1,72            | 0,82                           | 0,21                          |
| 32               | 10              | 100              | 0,36                           | 1,84            | 0,95                           | 0,26                          |
| 32               | 10              | 250              | 0,53                           | 2,29            | 1,48                           | 0,48                          |
| 32               | 10              | 500              | 0,70                           | 2,70            | 2,06                           | 0,73                          |
| 32               | 10              | 1000             | 0,92                           | 3,16            | 2,83                           | 1,09                          |
| 32               | 10              | 2500             | 1,29                           | 3,86            | 4,20                           | 1,75                          |
| 32               | 10              | 5000             | 1,62                           | 4,45            | 5,47                           | 2,39                          |
| 30               | 2               | 10               | 0,13                           | 1,00            | 0,27                           | 0,03                          |
| 30               | 2               | 15               | 0,15                           | 1,11            | 0,33                           | 0,04                          |
| 30               | 2               | 20               | 0,17                           | 1,18            | 0,38                           | 0,06                          |
| 30               | 2               | 25               | 0,18                           | 1,25            | 0,42                           | 0,07                          |
| 30               | 2               | 50               | 0,24                           | 1,47            | 0,59                           | 0,13                          |
| 30               | 2               | 75               | 0,28                           | 1,61            | 0,71                           | 0,17                          |
| 30               | 2               | 100              | 0,32                           | 1,72            | 0,81                           | 0,21                          |
| 30               | 2               | 250              | 0,44                           | 2,11            | 1,19                           | 0,36                          |
| 30               | 2               | 500              | 0,54                           | 2,43            | 1,52                           | 0,50                          |
| 30               | 2               | 1000             | 0,63                           | 2,77            | 1,84                           | 0,64                          |
| 30               | 2               | 2500             | 0,73                           | 3,23            | 2,16                           | 0,78                          |
| 30               | 2               | 5000             | 0,76                           | 3,56            | 2,29                           | 0,84                          |
| 30               | 3               | 10               | 0,13                           | 1,01            | 0,27                           | 0,03                          |
| 30               | 3               | 15               | 0,15                           | 1,11            | 0,33                           | 0,04                          |
| 30               | 3               | 20               | 0,17                           | 1,19            | 0,38                           | 0,06                          |
| 30               | 3               | 25               | 0,19                           | 1,26            | 0,43                           | 0,07                          |
| 30               | 3               | 50               | 0,25                           | 1,48            | 0,60                           | 0,13                          |
| 30               | 3               | 75               | 0,29                           | 1,63            | 0,73                           | 0,18                          |
| 30               | 3               | 100              | 0,33                           | 1,74            | 0,84                           | 0,22                          |
| 30               | 3               | 250              | 0,46                           | 2,15            | 1,27                           | 0,39                          |
| 30               | 3               | 500              | 0,59                           | 2,49            | 1,68                           | 0,57                          |
| 30               | 3               | 1000             | 0,72                           | 2,87            | 2,15                           | 0,78                          |
| 30               | 3               | 2500             | 0,89                           | 3,40            | 2,74                           | 1,05                          |
| 30               | 3               | 5000             | 0,98                           | 3,80            | 3,07                           | 1,20                          |

| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 30               | 4               | 10               | 0,13                           | 1,01            | 0,27                           | 0,03                          |
| 30               | 4               | 15               | 0,15                           | 1,11            | 0,33                           | 0,04                          |
| 30               | 4               | 20               | 0,17                           | 1,20            | 0,38                           | 0,06                          |
| 30               | 4               | 25               | 0,19                           | 1,26            | 0,43                           | 0,07                          |
| 30               | 4               | 50               | 0,25                           | 1,49            | 0,61                           | 0,13                          |
| 30               | 4               | 75               | 0,29                           | 1,64            | 0,74                           | 0,18                          |
| 30               | 4               | 100              | 0,33                           | 1,76            | 0,85                           | 0,22                          |
| 30               | 4               | 250              | 0,47                           | 2,17            | 1,30                           | 0,41                          |
| 30               | 4               | 500              | 0,61                           | 2,53            | 1,76                           | 0,60                          |
| 30               | 4               | 1000             | 0,77                           | 2,93            | 2,32                           | 0,85                          |
| 30               | 4               | 2500             | 0,99                           | 3,50            | 3,12                           | 1,23                          |
| 30               | 4               | 5000             | 1,14                           | 3,95            | 3,65                           | 1,48                          |
| 30               | 5               | 10               | 0,13                           | 1,01            | 0,27                           | 0,03                          |
| 30               | 5               | 15               | 0,15                           | 1,12            | 0,33                           | 0,04                          |
| 30               | 5               | 20               | 0,17                           | 1,20            | 0,38                           | 0,06                          |
| 30               | 5               | 25               | 0,19                           | 1,27            | 0,43                           | 0,07                          |
| 30               | 5               | 50               | 0,25                           | 1,50            | 0,61                           | 0,13                          |
| 30               | 5               | 75               | 0,29                           | 1,65            | 0,74                           | 0,18                          |
| 30               | 5               | 100              | 0,33                           | 1,77            | 0,86                           | 0,23                          |
| 30               | 5               | 250              | 0,48                           | 2,19            | 1,32                           | 0,41                          |
| 30               | 5               | 500              | 0,62                           | 2,56            | 1,81                           | 0,62                          |
| 30               | 5               | 1000             | 0,80                           | 2,97            | 2,42                           | 0,90                          |
| 30               | 5               | 2500             | 1,06                           | 3,57            | 3,36                           | 1,34                          |
| 30               | 5               | 5000             | 1,25                           | 4,06            | 4,07                           | 1,69                          |
| 30               | 7,5             | 10               | 0,13                           | 1,01            | 0,27                           | 0,03                          |
| 30               | 7,5             | 15               | 0,15                           | 1,12            | 0,33                           | 0,04                          |
| 30               | 7,5             | 20               | 0,17                           | 1,20            | 0,38                           | 0,06                          |
| 30               | 7,5             | 25               | 0,19                           | 1,27            | 0,43                           | 0,07                          |
| 30               | 7,5             | 50               | 0,25                           | 1,50            | 0,61                           | 0,14                          |
| 30               | 7,5             | 75               | 0,30                           | 1,66            | 0,75                           | 0,19                          |
| 30               | 7,5             | 100              | 0,33                           | 1,78            | 0,86                           | 0,23                          |
| 30               | 7,5             | 250              | 0,49                           | 2,21            | 1,35                           | 0,42                          |
| 30               | 7,5             | 500              | 0,64                           | 2,59            | 1,87                           | 0,65                          |
| 30               | 7,5             | 1000             | 0,84                           | 3,03            | 2,55                           | 0,96                          |
| 30               | 7,5             | 2500             | 1,16                           | 3,68            | 3,71                           | 1,51                          |
| 30               | 7,5             | 5000             | 1,43                           | 4,22            | 4,73                           | 2,02                          |
| 30               | 10              | 10               | 0,13                           | 1,01            | 0,27                           | 0,03                          |
| 30               | 10              | 15               | 0,15                           | 1,12            | 0,33                           | 0,04                          |
| 30               | 10              | 20               | 0,17                           | 1,20            | 0,39                           | 0,06                          |
| 30               | 10              | 25               | 0,19                           | 1,27            | 0,43                           | 0,07                          |
| 30               | 10              | 50               | 0,25                           | 1,51            | 0,61                           | 0,14                          |
| 30               | 10              | 75               | 0,30                           | 1,66            | 0,75                           | 0,19                          |
| 30               | 10              | 100              | 0,33                           | 1,78            | 0,87                           | 0,23                          |
| 30               | 10              | 250              | 0,49                           | 2,22            | 1,36                           | 0,43                          |
| 30               | 10              | 500              | 0,65                           | 2,61            | 1,89                           | 0,66                          |
| 30               | 10              | 1000             | 0,85                           | 3,06            | 2,61                           | 0,99                          |
| 30               | 10              | 2500             | 1,20                           | 3,74            | 3,88                           | 1,60                          |
| 30               | 10              | 5000             | 1,52                           | 4,32            | 5,09                           | 2,20                          |

| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 28               | 2               | 10               | 0,12                           | 0,97            | 0,24                           | 0,02                          |
| 28               | 2               | 15               | 0,14                           | 1,07            | 0,30                           | 0,03                          |
| 28               | 2               | 20               | 0,16                           | 1,15            | 0,34                           | 0,05                          |
| 28               | 2               | 25               | 0,17                           | 1,21            | 0,38                           | 0,06                          |
| 28               | 2               | 50               | 0,23                           | 1,42            | 0,54                           | 0,11                          |
| 28               | 2               | 75               | 0,26                           | 1,56            | 0,65                           | 0,15                          |
| 28               | 2               | 100              | 0,29                           | 1,67            | 0,74                           | 0,18                          |
| 28               | 2               | 250              | 0,41                           | 2,04            | 1,10                           | 0,32                          |
| 28               | 2               | 500              | 0,50                           | 2,35            | 1,41                           | 0,45                          |
| 28               | 2               | 1000             | 0,60                           | 2,69            | 1,73                           | 0,59                          |
| 28               | 2               | 2500             | 0,69                           | 3,14            | 2,05                           | 0,73                          |
| 28               | 2               | 5000             | 0,73                           | 3,47            | 2,19                           | 0,79                          |
| 28               | 3               | 10               | 0,12                           | 0,97            | 0,24                           | 0,02                          |
| 28               | 3               | 15               | 0,14                           | 1,07            | 0,30                           | 0,03                          |
| 28               | 3               | 20               | 0,16                           | 1,15            | 0,35                           | 0,05                          |
| 28               | 3               | 25               | 0,17                           | 1,22            | 0,39                           | 0,06                          |
| 28               | 3               | 50               | 0,23                           | 1,43            | 0,55                           | 0,11                          |
| 28               | 3               | 75               | 0,27                           | 1,58            | 0,67                           | 0,16                          |
| 28               | 3               | 100              | 0,30                           | 1,69            | 0,76                           | 0,19                          |
| 28               | 3               | 250              | 0,43                           | 2,08            | 1,16                           | 0,35                          |
| 28               | 3               | 500              | 0,55                           | 2,41            | 1,55                           | 0,51                          |
| 28               | 3               | 1000             | 0,68                           | 2,78            | 2,00                           | 0,71                          |
| 28               | 3               | 2500             | 0,84                           | 3,30            | 2,57                           | 0,97                          |
| 28               | 3               | 5000             | 0,94                           | 3,70            | 2,91                           | 1,13                          |
| 28               | 4               | 10               | 0,12                           | 0,98            | 0,24                           | 0,02                          |
| 28               | 4               | 15               | 0,14                           | 1,08            | 0,30                           | 0,03                          |
| 28               | 4               | 20               | 0,16                           | 1,16            | 0,35                           | 0,05                          |
| 28               | 4               | 25               | 0,17                           | 1,22            | 0,39                           | 0,06                          |
| 28               | 4               | 50               | 0,23                           | 1,44            | 0,55                           | 0,11                          |
| 28               | 4               | 75               | 0,27                           | 1,59            | 0,67                           | 0,16                          |
| 28               | 4               | 100              | 0,30                           | 1,70            | 0,77                           | 0,20                          |
| 28               | 4               | 250              | 0,44                           | 2,10            | 1,19                           | 0,36                          |
| 28               | 4               | 500              | 0,57                           | 2,45            | 1,62                           | 0,54                          |
| 28               | 4               | 1000             | 0,72                           | 2,84            | 2,14                           | 0,77                          |
| 28               | 4               | 2500             | 0,94                           | 3,40            | 2,90                           | 1,13                          |
| 28               | 4               | 5000             | 1,08                           | 3,84            | 3,43                           | 1,38                          |
| 28               | 5               | 10               | 0,12                           | 0,98            | 0,24                           | 0,02                          |
| 28               | 5               | 15               | 0,14                           | 1,08            | 0,30                           | 0,04                          |
| 28               | 5               | 20               | 0,16                           | 1,16            | 0,35                           | 0,05                          |
| 28               | 5               | 25               | 0,17                           | 1,22            | 0,39                           | 0,06                          |
| 28               | 5               | 50               | 0,23                           | 1,45            | 0,55                           | 0,12                          |
| 28               | 5               | 75               | 0,27                           | 1,59            | 0,68                           | 0,16                          |
| 28               | 5               | 100              | 0,31                           | 1,71            | 0,78                           | 0,20                          |
| 28               | 5               | 250              | 0,44                           | 2,11            | 1,21                           | 0,37                          |
| 28               | 5               | 500              | 0,58                           | 2,47            | 1,66                           | 0,56                          |
| 28               | 5               | 1000             | 0,74                           | 2,88            | 2,23                           | 0,81                          |
| 28               | 5               | 2500             | 1,00                           | 3,46            | 3,12                           | 1,23                          |
| 28               | 5               | 5000             | 1,18                           | 3,94            | 3,81                           | 1,56                          |

| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 28               | 7,5             | 10               | 0,12                           | 0,98            | 0,24                           | 0,02                          |
| 28               | 7,5             | 15               | 0,14                           | 1,08            | 0,30                           | 0,04                          |
| 28               | 7,5             | 20               | 0,16                           | 1,16            | 0,35                           | 0,05                          |
| 28               | 7,5             | 25               | 0,17                           | 1,23            | 0,39                           | 0,06                          |
| 28               | 7,5             | 50               | 0,23                           | 1,45            | 0,56                           | 0,12                          |
| 28               | 7,5             | 75               | 0,27                           | 1,60            | 0,68                           | 0,16                          |
| 28               | 7,5             | 100              | 0,31                           | 1,72            | 0,79                           | 0,20                          |
| 28               | 7,5             | 250              | 0,45                           | 2,14            | 1,23                           | 0,37                          |
| 28               | 7,5             | 500              | 0,59                           | 2,51            | 1,70                           | 0,58                          |
| 28               | 7,5             | 1000             | 0,78                           | 2,93            | 2,33                           | 0,86                          |
| 28               | 7,5             | 2500             | 1,08                           | 3,56            | 3,42                           | 1,37                          |
| 28               | 7,5             | 5000             | 1,34                           | 4,09            | 4,39                           | 1,85                          |
| 28               | 10              | 10               | 0,12                           | 0,98            | 0,24                           | 0,02                          |
| 28               | 10              | 15               | 0,14                           | 1,08            | 0,30                           | 0,04                          |
| 28               | 10              | 20               | 0,16                           | 1,16            | 0,35                           | 0,05                          |
| 28               | 10              | 25               | 0,17                           | 1,23            | 0,39                           | 0,06                          |
| 28               | 10              | 50               | 0,23                           | 1,46            | 0,56                           | 0,12                          |
| 28               | 10              | 75               | 0,27                           | 1,61            | 0,68                           | 0,16                          |
| 28               | 10              | 100              | 0,31                           | 1,72            | 0,79                           | 0,20                          |
| 28               | 10              | 250              | 0,45                           | 2,15            | 1,24                           | 0,38                          |
| 28               | 10              | 500              | 0,60                           | 2,53            | 1,73                           | 0,59                          |
| 28               | 10              | 1000             | 0,79                           | 2,96            | 2,38                           | 0,88                          |
| 28               | 10              | 2500             | 1,12                           | 3,62            | 3,56                           | 1,44                          |
| 28               | 10              | 5000             | 1,42                           | 4,18            | 4,70                           | 2,00                          |
| 26               | 2               | 10               | 0,11                           | 0,93            | 0,22                           | 0,01                          |
| 26               | 2               | 15               | 0,13                           | 1,03            | 0,27                           | 0,03                          |
| 26               | 2               | 20               | 0,14                           | 1,10            | 0,31                           | 0,04                          |
| 26               | 2               | 25               | 0,16                           | 1,16            | 0,35                           | 0,05                          |
| 26               | 2               | 50               | 0,21                           | 1,37            | 0,49                           | 0,09                          |
| 26               | 2               | 75               | 0,24                           | 1,51            | 0,59                           | 0,13                          |
| 26               | 2               | 100              | 0,27                           | 1,61            | 0,67                           | 0,16                          |
| 26               | 2               | 250              | 0,38                           | 1,97            | 1,00                           | 0,28                          |
| 26               | 2               | 500              | 0,47                           | 2,27            | 1,30                           | 0,40                          |
| 26               | 2               | 1000             | 0,56                           | 2,60            | 1,60                           | 0,53                          |
| 26               | 2               | 2500             | 0,66                           | 3,05            | 1,93                           | 0,68                          |
| 26               | 2               | 5000             | 0,70                           | 3,37            | 2,08                           | 0,74                          |
| 26               | 3               | 10               | 0,11                           | 0,94            | 0,22                           | 0,01                          |
| 26               | 3               | 15               | 0,13                           | 1,04            | 0,27                           | 0,03                          |
| 26               | 3               | 20               | 0,14                           | 1,11            | 0,31                           | 0,04                          |
| 26               | 3               | 25               | 0,16                           | 1,17            | 0,35                           | 0,05                          |
| 26               | 3               | 50               | 0,21                           | 1,38            | 0,49                           | 0,10                          |
| 26               | 3               | 75               | 0,25                           | 1,52            | 0,60                           | 0,13                          |
| 26               | 3               | 100              | 0,28                           | 1,63            | 0,69                           | 0,16                          |
| 26               | 3               | 250              | 0,40                           | 2,01            | 1,06                           | 0,30                          |
| 26               | 3               | 500              | 0,51                           | 2,33            | 1,42                           | 0,45                          |
| 26               | 3               | 1000             | 0,63                           | 2,69            | 1,84                           | 0,64                          |
| 26               | 3               | 2500             | 0,79                           | 3,20            | 2,40                           | 0,89                          |
| 26               | 3               | 5000             | 0,89                           | 3,58            | 2,74                           | 1,05                          |

| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 26               | 4               | 10               | 0,11                           | 0,94            | 0,22                           | 0,01                          |
| 26               | 4               | 15               | 0,13                           | 1,04            | 0,27                           | 0,03                          |
| 26               | 4               | 20               | 0,14                           | 1,11            | 0,31                           | 0,04                          |
| 26               | 4               | 25               | 0,16                           | 1,18            | 0,35                           | 0,05                          |
| 26               | 4               | 50               | 0,21                           | 1,39            | 0,50                           | 0,10                          |
| 26               | 4               | 75               | 0,25                           | 1,53            | 0,61                           | 0,13                          |
| 26               | 4               | 100              | 0,28                           | 1,64            | 0,70                           | 0,17                          |
| 26               | 4               | 250              | 0,40                           | 2,03            | 1,08                           | 0,31                          |
| 26               | 4               | 500              | 0,52                           | 2,37            | 1,47                           | 0,48                          |
| 26               | 4               | 1000             | 0,67                           | 2,74            | 1,96                           | 0,69                          |
| 26               | 4               | 2500             | 0,88                           | 3,29            | 2,69                           | 1,02                          |
| 26               | 4               | 5000             | 1,02                           | 3,72            | 3,21                           | 1,27                          |
| 26               | 5               | 10               | 0,11                           | 0,94            | 0,22                           | 0,01                          |
| 26               | 5               | 15               | 0,13                           | 1,04            | 0,27                           | 0,03                          |
| 26               | 5               | 20               | 0,14                           | 1,12            | 0,31                           | 0,04                          |
| 26               | 5               | 25               | 0,16                           | 1,18            | 0,35                           | 0,05                          |
| 26               | 5               | 50               | 0,21                           | 1,39            | 0,50                           | 0,10                          |
| 26               | 5               | 75               | 0,25                           | 1,54            | 0,61                           | 0,14                          |
| 26               | 5               | 100              | 0,28                           | 1,65            | 0,70                           | 0,17                          |
| 26               | 5               | 250              | 0,41                           | 2,04            | 1,10                           | 0,32                          |
| 26               | 5               | 500              | 0,53                           | 2,39            | 1,51                           | 0,49                          |
| 26               | 5               | 1000             | 0,69                           | 2,78            | 2,03                           | 0,72                          |
| 26               | 5               | 2500             | 0,93                           | 3,35            | 2,88                           | 1,11                          |
| 26               | 5               | 5000             | 1,11                           | 3,81            | 3,55                           | 1,43                          |
| 26               | 7,5             | 10               | 0,11                           | 0,94            | 0,22                           | 0,01                          |
| 26               | 7,5             | 15               | 0,13                           | 1,04            | 0,27                           | 0,03                          |
| 26               | 7,5             | 20               | 0,14                           | 1,12            | 0,31                           | 0,04                          |
| 26               | 7,5             | 25               | 0,16                           | 1,18            | 0,35                           | 0,05                          |
| 26               | 7,5             | 50               | 0,21                           | 1,40            | 0,50                           | 0,10                          |
| 26               | 7,5             | 75               | 0,25                           | 1,55            | 0,61                           | 0,14                          |
| 26               | 7,5             | 100              | 0,28                           | 1,66            | 0,71                           | 0,17                          |
| 26               | 7,5             | 250              | 0,41                           | 2,06            | 1,11                           | 0,33                          |
| 26               | 7,5             | 500              | 0,55                           | 2,42            | 1,55                           | 0,51                          |
| 26               | 7,5             | 1000             | 0,71                           | 2,83            | 2,12                           | 0,76                          |
| 26               | 7,5             | 2500             | 1,00                           | 3,44            | 3,13                           | 1,23                          |
| 26               | 7,5             | 5000             | 1,25                           | 3,95            | 4,04                           | 1,68                          |
| 26               | 10              | 10               | 0,11                           | 0,94            | 0,22                           | 0,01                          |
| 26               | 10              | 15               | 0,13                           | 1,04            | 0,27                           | 0,03                          |
| 26               | 10              | 20               | 0,14                           | 1,12            | 0,31                           | 0,04                          |
| 26               | 10              | 25               | 0,16                           | 1,18            | 0,35                           | 0,05                          |
| 26               | 10              | 50               | 0,21                           | 1,40            | 0,50                           | 0,10                          |
| 26               | 10              | 75               | 0,25                           | 1,55            | 0,62                           | 0,14                          |
| 26               | 10              | 100              | 0,28                           | 1,66            | 0,71                           | 0,17                          |
| 26               | 10              | 250              | 0,41                           | 2,07            | 1,12                           | 0,33                          |
| 26               | 10              | 500              | 0,55                           | 2,44            | 1,56                           | 0,52                          |
| 26               | 10              | 1000             | 0,73                           | 2,86            | 2,16                           | 0,78                          |
| 26               | 10              | 2500             | 1,03                           | 3,50            | 3,25                           | 1,29                          |
| 26               | 10              | 5000             | 1,31                           | 4,04            | 4,30                           | 1,80                          |

| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 24               | 2               | 10               | 0,10                           | 0,90            | 0,19                           | 0,01                          |
| 24               | 2               | 15               | 0,12                           | 0,99            | 0,24                           | 0,02                          |
| 24               | 2               | 20               | 0,13                           | 1,06            | 0,28                           | 0,03                          |
| 24               | 2               | 25               | 0,14                           | 1,12            | 0,31                           | 0,04                          |
| 24               | 2               | 50               | 0,19                           | 1,32            | 0,44                           | 0,08                          |
| 24               | 2               | 75               | 0,22                           | 1,45            | 0,53                           | 0,11                          |
| 24               | 2               | 100              | 0,25                           | 1,55            | 0,61                           | 0,13                          |
| 24               | 2               | 250              | 0,35                           | 1,90            | 0,91                           | 0,25                          |
| 24               | 2               | 500              | 0,44                           | 2,19            | 1,19                           | 0,36                          |
| 24               | 2               | 1000             | 0,53                           | 2,51            | 1,48                           | 0,48                          |
| 24               | 2               | 2500             | 0,62                           | 2,94            | 1,81                           | 0,62                          |
| 24               | 2               | 5000             | 0,67                           | 3,26            | 1,96                           | 0,69                          |
| 24               | 3               | 10               | 0,10                           | 0,90            | 0,19                           | 0,01                          |
| 24               | 3               | 15               | 0,12                           | 1,00            | 0,24                           | 0,02                          |
| 24               | 3               | 20               | 0,13                           | 1,07            | 0,28                           | 0,03                          |
| 24               | 3               | 25               | 0,14                           | 1,13            | 0,31                           | 0,04                          |
| 24               | 3               | 50               | 0,19                           | 1,33            | 0,44                           | 0,08                          |
| 24               | 3               | 75               | 0,23                           | 1,46            | 0,54                           | 0,11                          |
| 24               | 3               | 100              | 0,25                           | 1,57            | 0,62                           | 0,14                          |
| 24               | 3               | 250              | 0,36                           | 1,93            | 0,95                           | 0,26                          |
| 24               | 3               | 500              | 0,47                           | 2,25            | 1,28                           | 0,40                          |
| 24               | 3               | 1000             | 0,58                           | 2,59            | 1,68                           | 0,57                          |
| 24               | 3               | 2500             | 0,74                           | 3,09            | 2,22                           | 0,81                          |
| 24               | 3               | 5000             | 0,84                           | 3,47            | 2,57                           | 0,97                          |
| 24               | 4               | 10               | 0,10                           | 0,90            | 0,19                           | 0,01                          |
| 24               | 4               | 15               | 0,12                           | 1,00            | 0,24                           | 0,02                          |
| 24               | 4               | 20               | 0,13                           | 1,07            | 0,28                           | 0,03                          |
| 24               | 4               | 25               | 0,14                           | 1,13            | 0,31                           | 0,04                          |
| 24               | 4               | 50               | 0,19                           | 1,34            | 0,44                           | 0,08                          |
| 24               | 4               | 75               | 0,23                           | 1,47            | 0,54                           | 0,11                          |
| 24               | 4               | 100              | 0,26                           | 1,58            | 0,63                           | 0,14                          |
| 24               | 4               | 250              | 0,37                           | 1,95            | 0,97                           | 0,27                          |
| 24               | 4               | 500              | 0,48                           | 2,28            | 1,33                           | 0,42                          |
| 24               | 4               | 1000             | 0,62                           | 2,64            | 1,78                           | 0,61                          |
| 24               | 4               | 2500             | 0,81                           | 3,17            | 2,47                           | 0,92                          |
| 24               | 4               | 5000             | 0,96                           | 3,59            | 2,98                           | 1,16                          |
| 24               | 5               | 10               | 0,10                           | 0,91            | 0,20                           | 0,01                          |
| 24               | 5               | 15               | 0,12                           | 1,00            | 0,24                           | 0,02                          |
| 24               | 5               | 20               | 0,13                           | 1,07            | 0,28                           | 0,03                          |
| 24               | 5               | 25               | 0,14                           | 1,13            | 0,31                           | 0,04                          |
| 24               | 5               | 50               | 0,19                           | 1,34            | 0,45                           | 0,08                          |
| 24               | 5               | 75               | 0,23                           | 1,48            | 0,55                           | 0,11                          |
| 24               | 5               | 100              | 0,26                           | 1,58            | 0,63                           | 0,14                          |
| 24               | 5               | 250              | 0,37                           | 1,96            | 0,98                           | 0,28                          |
| 24               | 5               | 500              | 0,49                           | 2,30            | 1,36                           | 0,43                          |
| 24               | 5               | 1000             | 0,63                           | 2,67            | 1,84                           | 0,64                          |
| 24               | 5               | 2500             | 0,86                           | 3,23            | 2,63                           | 1,00                          |
| 24               | 5               | 5000             | 1,04                           | 3,68            | 3,27                           | 1,30                          |



| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 24               | 7,5             | 10               | 0,10                           | 0,91            | 0,20                           | 0,01                          |
| 24               | 7,5             | 15               | 0,12                           | 1,00            | 0,24                           | 0,02                          |
| 24               | 7,5             | 20               | 0,13                           | 1,08            | 0,28                           | 0,03                          |
| 24               | 7,5             | 25               | 0,14                           | 1,14            | 0,31                           | 0,04                          |
| 24               | 7,5             | 50               | 0,19                           | 1,35            | 0,45                           | 0,08                          |
| 24               | 7,5             | 75               | 0,23                           | 1,49            | 0,55                           | 0,11                          |
| 24               | 7,5             | 100              | 0,26                           | 1,59            | 0,63                           | 0,14                          |
| 24               | 7,5             | 250              | 0,38                           | 1,98            | 1,00                           | 0,28                          |
| 24               | 7,5             | 500              | 0,50                           | 2,33            | 1,39                           | 0,44                          |
| 24               | 7,5             | 1000             | 0,65                           | 2,72            | 1,91                           | 0,67                          |
| 24               | 7,5             | 2500             | 0,92                           | 3,32            | 2,84                           | 1,09                          |
| 24               | 7,5             | 5000             | 1,15                           | 3,81            | 3,70                           | 1,51                          |
| 24               | 10              | 10               | 0,10                           | 0,91            | 0,20                           | 0,01                          |
| 24               | 10              | 15               | 0,12                           | 1,00            | 0,24                           | 0,02                          |
| 24               | 10              | 20               | 0,13                           | 1,08            | 0,28                           | 0,03                          |
| 24               | 10              | 25               | 0,14                           | 1,14            | 0,31                           | 0,04                          |
| 24               | 10              | 50               | 0,19                           | 1,35            | 0,45                           | 0,08                          |
| 24               | 10              | 75               | 0,23                           | 1,49            | 0,55                           | 0,11                          |
| 24               | 10              | 100              | 0,26                           | 1,60            | 0,64                           | 0,14                          |
| 24               | 10              | 250              | 0,38                           | 1,99            | 1,00                           | 0,28                          |
| 24               | 10              | 500              | 0,50                           | 2,34            | 1,40                           | 0,45                          |
| 24               | 10              | 1000             | 0,66                           | 2,75            | 1,95                           | 0,68                          |
| 24               | 10              | 2500             | 0,95                           | 3,37            | 2,94                           | 1,14                          |
| 24               | 10              | 5000             | 1,21                           | 3,89            | 3,91                           | 1,61                          |
| 22               | 2               | 10               | 0,09                           | 0,86            | 0,17                           | 0,00                          |
| 22               | 2               | 15               | 0,10                           | 0,95            | 0,21                           | 0,01                          |
| 22               | 2               | 20               | 0,12                           | 1,02            | 0,24                           | 0,02                          |
| 22               | 2               | 25               | 0,13                           | 1,07            | 0,27                           | 0,03                          |
| 22               | 2               | 50               | 0,17                           | 1,26            | 0,39                           | 0,06                          |
| 22               | 2               | 75               | 0,20                           | 1,39            | 0,47                           | 0,09                          |
| 22               | 2               | 100              | 0,23                           | 1,48            | 0,54                           | 0,11                          |
| 22               | 2               | 250              | 0,32                           | 1,82            | 0,81                           | 0,21                          |
| 22               | 2               | 500              | 0,40                           | 2,11            | 1,07                           | 0,31                          |
| 22               | 2               | 1000             | 0,49                           | 2,42            | 1,35                           | 0,43                          |
| 22               | 2               | 2500             | 0,59                           | 2,84            | 1,68                           | 0,57                          |
| 22               | 2               | 5000             | 0,63                           | 3,15            | 1,84                           | 0,64                          |
| 22               | 3               | 10               | 0,09                           | 0,86            | 0,17                           | 0,00                          |
| 22               | 3               | 15               | 0,11                           | 0,95            | 0,21                           | 0,01                          |
| 22               | 3               | 20               | 0,12                           | 1,02            | 0,25                           | 0,02                          |
| 22               | 3               | 25               | 0,13                           | 1,08            | 0,28                           | 0,03                          |
| 22               | 3               | 50               | 0,17                           | 1,27            | 0,39                           | 0,06                          |
| 22               | 3               | 75               | 0,20                           | 1,40            | 0,48                           | 0,09                          |
| 22               | 3               | 100              | 0,23                           | 1,50            | 0,55                           | 0,11                          |
| 22               | 3               | 250              | 0,33                           | 1,85            | 0,85                           | 0,22                          |
| 22               | 3               | 500              | 0,43                           | 2,16            | 1,15                           | 0,34                          |
| 22               | 3               | 1000             | 0,54                           | 2,49            | 1,52                           | 0,50                          |
| 22               | 3               | 2500             | 0,69                           | 2,97            | 2,04                           | 0,72                          |
| 22               | 3               | 5000             | 0,79                           | 3,34            | 2,38                           | 0,88                          |

| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 22               | 4               | 10               | 0,09                           | 0,87            | 0,17                           | 0,00                          |
| 22               | 4               | 15               | 0,11                           | 0,96            | 0,21                           | 0,01                          |
| 22               | 4               | 20               | 0,12                           | 1,03            | 0,25                           | 0,02                          |
| 22               | 4               | 25               | 0,13                           | 1,08            | 0,28                           | 0,03                          |
| 22               | 4               | 50               | 0,17                           | 1,28            | 0,39                           | 0,06                          |
| 22               | 4               | 75               | 0,21                           | 1,41            | 0,48                           | 0,09                          |
| 22               | 4               | 100              | 0,23                           | 1,51            | 0,56                           | 0,12                          |
| 22               | 4               | 250              | 0,33                           | 1,87            | 0,87                           | 0,23                          |
| 22               | 4               | 500              | 0,44                           | 2,19            | 1,19                           | 0,36                          |
| 22               | 4               | 1000             | 0,56                           | 2,54            | 1,60                           | 0,53                          |
| 22               | 4               | 2500             | 0,75                           | 3,05            | 2,25                           | 0,82                          |
| 22               | 4               | 5000             | 0,89                           | 3,46            | 2,74                           | 1,05                          |
| 22               | 5               | 10               | 0,09                           | 0,87            | 0,17                           | 0,00                          |
| 22               | 5               | 15               | 0,11                           | 0,96            | 0,21                           | 0,01                          |
| 22               | 5               | 20               | 0,12                           | 1,03            | 0,25                           | 0,02                          |
| 22               | 5               | 25               | 0,13                           | 1,09            | 0,28                           | 0,03                          |
| 22               | 5               | 50               | 0,17                           | 1,28            | 0,40                           | 0,06                          |
| 22               | 5               | 75               | 0,21                           | 1,42            | 0,48                           | 0,09                          |
| 22               | 5               | 100              | 0,23                           | 1,52            | 0,56                           | 0,12                          |
| 22               | 5               | 250              | 0,34                           | 1,88            | 0,88                           | 0,23                          |
| 22               | 5               | 500              | 0,44                           | 2,20            | 1,21                           | 0,37                          |
| 22               | 5               | 1000             | 0,58                           | 2,57            | 1,65                           | 0,55                          |
| 22               | 5               | 2500             | 0,79                           | 3,10            | 2,38                           | 0,88                          |
| 22               | 5               | 5000             | 0,96                           | 3,54            | 2,99                           | 1,17                          |
| 22               | 7,5             | 10               | 0,09                           | 0,87            | 0,17                           | 0,00                          |
| 22               | 7,5             | 15               | 0,11                           | 0,96            | 0,21                           | 0,01                          |
| 22               | 7,5             | 20               | 0,12                           | 1,03            | 0,25                           | 0,02                          |
| 22               | 7,5             | 25               | 0,13                           | 1,09            | 0,28                           | 0,03                          |
| 22               | 7,5             | 50               | 0,17                           | 1,29            | 0,40                           | 0,06                          |
| 22               | 7,5             | 75               | 0,21                           | 1,42            | 0,49                           | 0,09                          |
| 22               | 7,5             | 100              | 0,23                           | 1,53            | 0,56                           | 0,12                          |
| 22               | 7,5             | 250              | 0,34                           | 1,90            | 0,89                           | 0,24                          |
| 22               | 7,5             | 500              | 0,45                           | 2,23            | 1,24                           | 0,38                          |
| 22               | 7,5             | 1000             | 0,59                           | 2,61            | 1,71                           | 0,58                          |
| 22               | 7,5             | 2500             | 0,84                           | 3,18            | 2,55                           | 0,96                          |
| 22               | 7,5             | 5000             | 1,06                           | 3,66            | 3,35                           | 1,34                          |
| 22               | 10              | 10               | 0,09                           | 0,87            | 0,17                           | 0,00                          |
| 22               | 10              | 15               | 0,11                           | 0,96            | 0,21                           | 0,01                          |
| 22               | 10              | 20               | 0,12                           | 1,03            | 0,25                           | 0,02                          |
| 22               | 10              | 25               | 0,13                           | 1,09            | 0,28                           | 0,03                          |
| 22               | 10              | 50               | 0,18                           | 1,29            | 0,40                           | 0,06                          |
| 22               | 10              | 75               | 0,21                           | 1,43            | 0,49                           | 0,09                          |
| 22               | 10              | 100              | 0,23                           | 1,53            | 0,56                           | 0,12                          |
| 22               | 10              | 250              | 0,34                           | 1,91            | 0,89                           | 0,24                          |
| 22               | 10              | 500              | 0,46                           | 2,25            | 1,25                           | 0,38                          |
| 22               | 10              | 1000             | 0,60                           | 2,64            | 1,74                           | 0,59                          |
| 22               | 10              | 2500             | 0,86                           | 3,23            | 2,63                           | 1,00                          |
| 22               | 10              | 5000             | 1,11                           | 3,73            | 3,52                           | 1,42                          |

| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 16               | 2               | 10               | 0,06                           | 0,74            | 0,11                           | -0,01                         |
| 16               | 2               | 15               | 0,07                           | 0,81            | 0,13                           | -0,01                         |
| 16               | 2               | 20               | 0,08                           | 0,87            | 0,15                           | 0,00                          |
| 16               | 2               | 25               | 0,09                           | 0,92            | 0,17                           | 0,00                          |
| 16               | 2               | 50               | 0,12                           | 1,08            | 0,25                           | 0,02                          |
| 16               | 2               | 75               | 0,14                           | 1,19            | 0,30                           | 0,04                          |
| 16               | 2               | 100              | 0,16                           | 1,27            | 0,35                           | 0,05                          |
| 16               | 2               | 250              | 0,23                           | 1,57            | 0,54                           | 0,11                          |
| 16               | 2               | 500              | 0,29                           | 1,82            | 0,73                           | 0,18                          |
| 16               | 2               | 1000             | 0,36                           | 2,09            | 0,95                           | 0,26                          |
| 16               | 2               | 2500             | 0,46                           | 2,48            | 1,25                           | 0,38                          |
| 16               | 2               | 5000             | 0,51                           | 2,77            | 1,44                           | 0,46                          |
| 16               | 3               | 10               | 0,06                           | 0,74            | 0,11                           | -0,01                         |
| 16               | 3               | 15               | 0,07                           | 0,81            | 0,13                           | -0,01                         |
| 16               | 3               | 20               | 0,08                           | 0,87            | 0,16                           | 0,00                          |
| 16               | 3               | 25               | 0,09                           | 0,92            | 0,17                           | 0,00                          |
| 16               | 3               | 50               | 0,12                           | 1,09            | 0,25                           | 0,02                          |
| 16               | 3               | 75               | 0,14                           | 1,20            | 0,31                           | 0,04                          |
| 16               | 3               | 100              | 0,16                           | 1,29            | 0,36                           | 0,05                          |
| 16               | 3               | 250              | 0,23                           | 1,59            | 0,56                           | 0,12                          |
| 16               | 3               | 500              | 0,30                           | 1,85            | 0,77                           | 0,19                          |
| 16               | 3               | 1000             | 0,39                           | 2,15            | 1,03                           | 0,30                          |
| 16               | 3               | 2500             | 0,52                           | 2,58            | 1,45                           | 0,47                          |
| 16               | 3               | 5000             | 0,61                           | 2,91            | 1,77                           | 0,61                          |
| 16               | 4               | 10               | 0,06                           | 0,74            | 0,11                           | -0,01                         |
| 16               | 4               | 15               | 0,07                           | 0,82            | 0,13                           | -0,01                         |
| 16               | 4               | 20               | 0,08                           | 0,88            | 0,16                           | 0,00                          |
| 16               | 4               | 25               | 0,09                           | 0,93            | 0,17                           | 0,00                          |
| 16               | 4               | 50               | 0,12                           | 1,09            | 0,25                           | 0,02                          |
| 16               | 4               | 75               | 0,14                           | 1,21            | 0,31                           | 0,04                          |
| 16               | 4               | 100              | 0,16                           | 1,29            | 0,36                           | 0,05                          |
| 16               | 4               | 250              | 0,23                           | 1,60            | 0,56                           | 0,12                          |
| 16               | 4               | 500              | 0,31                           | 1,88            | 0,78                           | 0,20                          |
| 16               | 4               | 1000             | 0,40                           | 2,18            | 1,07                           | 0,31                          |
| 16               | 4               | 2500             | 0,55                           | 2,64            | 1,56                           | 0,52                          |
| 16               | 4               | 5000             | 0,67                           | 3,00            | 1,98                           | 0,70                          |
| 16               | 5               | 10               | 0,06                           | 0,74            | 0,11                           | -0,01                         |
| 16               | 5               | 15               | 0,07                           | 0,82            | 0,13                           | -0,01                         |
| 16               | 5               | 20               | 0,08                           | 0,88            | 0,16                           | 0,00                          |
| 16               | 5               | 25               | 0,09                           | 0,93            | 0,18                           | 0,00                          |
| 16               | 5               | 50               | 0,12                           | 1,10            | 0,25                           | 0,02                          |
| 16               | 5               | 75               | 0,14                           | 1,21            | 0,31                           | 0,04                          |
| 16               | 5               | 100              | 0,16                           | 1,30            | 0,36                           | 0,05                          |
| 16               | 5               | 250              | 0,23                           | 1,61            | 0,57                           | 0,12                          |
| 16               | 5               | 500              | 0,31                           | 1,89            | 0,79                           | 0,20                          |
| 16               | 5               | 1000             | 0,41                           | 2,21            | 1,10                           | 0,32                          |
| 16               | 5               | 2500             | 0,57                           | 2,68            | 1,63                           | 0,54                          |
| 16               | 5               | 5000             | 0,71                           | 3,06            | 2,11                           | 0,76                          |

| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 16               | 7,5             | 10               | 0,06                           | 0,74            | 0,11                           | -0,01                         |
| 16               | 7,5             | 15               | 0,07                           | 0,82            | 0,13                           | -0,01                         |
| 16               | 7,5             | 20               | 0,08                           | 0,88            | 0,16                           | 0,00                          |
| 16               | 7,5             | 25               | 0,09                           | 0,93            | 0,18                           | 0,00                          |
| 16               | 7,5             | 50               | 0,12                           | 1,10            | 0,25                           | 0,02                          |
| 16               | 7,5             | 75               | 0,14                           | 1,22            | 0,31                           | 0,04                          |
| 16               | 7,5             | 100              | 0,16                           | 1,30            | 0,36                           | 0,05                          |
| 16               | 7,5             | 250              | 0,24                           | 1,62            | 0,57                           | 0,12                          |
| 16               | 7,5             | 500              | 0,31                           | 1,91            | 0,80                           | 0,21                          |
| 16               | 7,5             | 1000             | 0,42                           | 2,24            | 1,12                           | 0,33                          |
| 16               | 7,5             | 2500             | 0,59                           | 2,74            | 1,71                           | 0,58                          |
| 16               | 7,5             | 5000             | 0,76                           | 3,16            | 2,29                           | 0,84                          |
| 16               | 10              | 10               | 0,06                           | 0,74            | 0,11                           | -0,01                         |
| 16               | 10              | 15               | 0,07                           | 0,82            | 0,13                           | -0,01                         |
| 16               | 10              | 20               | 0,08                           | 0,88            | 0,16                           | 0,00                          |
| 16               | 10              | 25               | 0,09                           | 0,93            | 0,18                           | 0,00                          |
| 16               | 10              | 50               | 0,12                           | 1,10            | 0,25                           | 0,02                          |
| 16               | 10              | 75               | 0,14                           | 1,22            | 0,31                           | 0,04                          |
| 16               | 10              | 100              | 0,16                           | 1,31            | 0,36                           | 0,05                          |
| 16               | 10              | 250              | 0,24                           | 1,63            | 0,57                           | 0,12                          |
| 16               | 10              | 500              | 0,32                           | 1,92            | 0,81                           | 0,21                          |
| 16               | 10              | 1000             | 0,42                           | 2,26            | 1,13                           | 0,34                          |
| 16               | 10              | 2500             | 0,60                           | 2,77            | 1,74                           | 0,59                          |
| 16               | 10              | 5000             | 0,79                           | 3,21            | 2,37                           | 0,88                          |
| 15               | 2               | 10               | 0,06                           | 0,71            | 0,10                           | -0,01                         |
| 15               | 2               | 15               | 0,07                           | 0,79            | 0,12                           | -0,01                         |
| 15               | 2               | 20               | 0,08                           | 0,84            | 0,14                           | 0,00                          |
| 15               | 2               | 25               | 0,08                           | 0,89            | 0,16                           | 0,00                          |
| 15               | 2               | 50               | 0,11                           | 1,05            | 0,23                           | 0,02                          |
| 15               | 2               | 75               | 0,13                           | 1,15            | 0,28                           | 0,03                          |
| 15               | 2               | 100              | 0,15                           | 1,23            | 0,32                           | 0,04                          |
| 15               | 2               | 250              | 0,21                           | 1,52            | 0,50                           | 0,10                          |
| 15               | 2               | 500              | 0,27                           | 1,76            | 0,67                           | 0,16                          |
| 15               | 2               | 1000             | 0,34                           | 2,03            | 0,88                           | 0,24                          |
| 15               | 2               | 2500             | 0,43                           | 2,41            | 1,17                           | 0,35                          |
| 15               | 2               | 5000             | 0,49                           | 2,69            | 1,36                           | 0,43                          |
| 15               | 3               | 10               | 0,06                           | 0,71            | 0,10                           | -0,01                         |
| 15               | 3               | 15               | 0,07                           | 0,79            | 0,12                           | -0,01                         |
| 15               | 3               | 20               | 0,08                           | 0,85            | 0,14                           | 0,00                          |
| 15               | 3               | 25               | 0,08                           | 0,89            | 0,16                           | 0,00                          |
| 15               | 3               | 50               | 0,11                           | 1,06            | 0,23                           | 0,02                          |
| 15               | 3               | 75               | 0,13                           | 1,16            | 0,28                           | 0,03                          |
| 15               | 3               | 100              | 0,15                           | 1,25            | 0,32                           | 0,04                          |
| 15               | 3               | 250              | 0,21                           | 1,54            | 0,51                           | 0,10                          |
| 15               | 3               | 500              | 0,28                           | 1,80            | 0,70                           | 0,17                          |
| 15               | 3               | 1000             | 0,36                           | 2,09            | 0,95                           | 0,26                          |
| 15               | 3               | 2500             | 0,49                           | 2,50            | 1,35                           | 0,43                          |
| 15               | 3               | 5000             | 0,58                           | 2,83            | 1,66                           | 0,56                          |

| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 15               | 4               | 10               | 0,06                           | 0,72            | 0,10                           | -0,01                         |
| 15               | 4               | 15               | 0,07                           | 0,79            | 0,12                           | -0,01                         |
| 15               | 4               | 20               | 0,08                           | 0,85            | 0,14                           | 0,00                          |
| 15               | 4               | 25               | 0,08                           | 0,90            | 0,16                           | 0,00                          |
| 15               | 4               | 50               | 0,11                           | 1,06            | 0,23                           | 0,02                          |
| 15               | 4               | 75               | 0,13                           | 1,17            | 0,28                           | 0,03                          |
| 15               | 4               | 100              | 0,15                           | 1,25            | 0,33                           | 0,04                          |
| 15               | 4               | 250              | 0,22                           | 1,55            | 0,52                           | 0,10                          |
| 15               | 4               | 500              | 0,29                           | 1,82            | 0,72                           | 0,17                          |
| 15               | 4               | 1000             | 0,37                           | 2,12            | 0,99                           | 0,28                          |
| 15               | 4               | 2500             | 0,52                           | 2,56            | 1,45                           | 0,47                          |
| 15               | 4               | 5000             | 0,63                           | 2,92            | 1,85                           | 0,64                          |
| 15               | 5               | 10               | 0,06                           | 0,72            | 0,10                           | -0,01                         |
| 15               | 5               | 15               | 0,07                           | 0,79            | 0,12                           | -0,01                         |
| 15               | 5               | 20               | 0,08                           | 0,85            | 0,14                           | 0,00                          |
| 15               | 5               | 25               | 0,08                           | 0,90            | 0,16                           | 0,00                          |
| 15               | 5               | 50               | 0,11                           | 1,06            | 0,23                           | 0,02                          |
| 15               | 5               | 75               | 0,13                           | 1,17            | 0,28                           | 0,03                          |
| 15               | 5               | 100              | 0,15                           | 1,26            | 0,33                           | 0,04                          |
| 15               | 5               | 250              | 0,22                           | 1,56            | 0,52                           | 0,10                          |
| 15               | 5               | 500              | 0,29                           | 1,83            | 0,73                           | 0,18                          |
| 15               | 5               | 1000             | 0,38                           | 2,14            | 1,01                           | 0,28                          |
| 15               | 5               | 2500             | 0,53                           | 2,60            | 1,50                           | 0,49                          |
| 15               | 5               | 5000             | 0,67                           | 2,97            | 1,96                           | 0,69                          |
| 15               | 7,5             | 10               | 0,06                           | 0,72            | 0,10                           | -0,01                         |
| 15               | 7,5             | 15               | 0,07                           | 0,79            | 0,12                           | -0,01                         |
| 15               | 7,5             | 20               | 0,08                           | 0,85            | 0,14                           | 0,00                          |
| 15               | 7,5             | 25               | 0,08                           | 0,90            | 0,16                           | 0,00                          |
| 15               | 7,5             | 50               | 0,11                           | 1,07            | 0,23                           | 0,02                          |
| 15               | 7,5             | 75               | 0,13                           | 1,18            | 0,28                           | 0,03                          |
| 15               | 7,5             | 100              | 0,15                           | 1,26            | 0,33                           | 0,04                          |
| 15               | 7,5             | 250              | 0,22                           | 1,57            | 0,52                           | 0,10                          |
| 15               | 7,5             | 500              | 0,29                           | 1,85            | 0,74                           | 0,18                          |
| 15               | 7,5             | 1000             | 0,39                           | 2,17            | 1,03                           | 0,29                          |
| 15               | 7,5             | 2500             | 0,55                           | 2,65            | 1,57                           | 0,52                          |
| 15               | 7,5             | 5000             | 0,71                           | 3,06            | 2,11                           | 0,76                          |
| 15               | 10              | 10               | 0,06                           | 0,72            | 0,10                           | -0,01                         |
| 15               | 10              | 15               | 0,07                           | 0,79            | 0,12                           | -0,01                         |
| 15               | 10              | 20               | 0,08                           | 0,85            | 0,14                           | 0,00                          |
| 15               | 10              | 25               | 0,08                           | 0,90            | 0,16                           | 0,00                          |
| 15               | 10              | 50               | 0,11                           | 1,07            | 0,23                           | 0,02                          |
| 15               | 10              | 75               | 0,13                           | 1,18            | 0,28                           | 0,03                          |
| 15               | 10              | 100              | 0,15                           | 1,27            | 0,33                           | 0,04                          |
| 15               | 10              | 250              | 0,22                           | 1,58            | 0,52                           | 0,11                          |
| 15               | 10              | 500              | 0,29                           | 1,86            | 0,74                           | 0,18                          |
| 15               | 10              | 1000             | 0,39                           | 2,19            | 1,04                           | 0,30                          |
| 15               | 10              | 2500             | 0,56                           | 2,68            | 1,60                           | 0,53                          |
| 15               | 10              | 5000             | 0,73                           | 3,11            | 2,19                           | 0,79                          |

| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 14               | 2               | 10               | 0,05                           | 0,69            | 0,09                           | -0,01                         |
| 14               | 2               | 15               | 0,06                           | 0,76            | 0,11                           | -0,01                         |
| 14               | 2               | 20               | 0,07                           | 0,81            | 0,13                           | -0,01                         |
| 14               | 2               | 25               | 0,08                           | 0,86            | 0,14                           | 0,00                          |
| 14               | 2               | 50               | 0,10                           | 1,01            | 0,21                           | 0,01                          |
| 14               | 2               | 75               | 0,12                           | 1,12            | 0,25                           | 0,02                          |
| 14               | 2               | 100              | 0,14                           | 1,19            | 0,29                           | 0,03                          |
| 14               | 2               | 250              | 0,19                           | 1,47            | 0,45                           | 0,08                          |
| 14               | 2               | 500              | 0,25                           | 1,71            | 0,62                           | 0,14                          |
| 14               | 2               | 1000             | 0,32                           | 1,97            | 0,81                           | 0,21                          |
| 14               | 2               | 2500             | 0,41                           | 2,33            | 1,09                           | 0,32                          |
| 14               | 2               | 5000             | 0,46                           | 2,61            | 1,28                           | 0,40                          |
| 14               | 3               | 10               | 0,05                           | 0,69            | 0,09                           | -0,01                         |
| 14               | 3               | 15               | 0,06                           | 0,76            | 0,11                           | -0,01                         |
| 14               | 3               | 20               | 0,07                           | 0,82            | 0,13                           | -0,01                         |
| 14               | 3               | 25               | 0,08                           | 0,86            | 0,14                           | 0,00                          |
| 14               | 3               | 50               | 0,10                           | 1,02            | 0,21                           | 0,01                          |
| 14               | 3               | 75               | 0,12                           | 1,12            | 0,25                           | 0,02                          |
| 14               | 3               | 100              | 0,14                           | 1,20            | 0,29                           | 0,03                          |
| 14               | 3               | 250              | 0,20                           | 1,49            | 0,46                           | 0,09                          |
| 14               | 3               | 500              | 0,26                           | 1,74            | 0,64                           | 0,15                          |
| 14               | 3               | 1000             | 0,34                           | 2,02            | 0,87                           | 0,23                          |
| 14               | 3               | 2500             | 0,46                           | 2,42            | 1,25                           | 0,38                          |
| 14               | 3               | 5000             | 0,55                           | 2,75            | 1,55                           | 0,51                          |
| 14               | 4               | 10               | 0,05                           | 0,69            | 0,09                           | -0,01                         |
| 14               | 4               | 15               | 0,06                           | 0,76            | 0,11                           | -0,01                         |
| 14               | 4               | 20               | 0,07                           | 0,82            | 0,13                           | -0,01                         |
| 14               | 4               | 25               | 0,08                           | 0,87            | 0,14                           | 0,00                          |
| 14               | 4               | 50               | 0,10                           | 1,02            | 0,21                           | 0,01                          |
| 14               | 4               | 75               | 0,12                           | 1,13            | 0,26                           | 0,02                          |
| 14               | 4               | 100              | 0,14                           | 1,21            | 0,30                           | 0,03                          |
| 14               | 4               | 250              | 0,20                           | 1,50            | 0,47                           | 0,09                          |
| 14               | 4               | 500              | 0,26                           | 1,76            | 0,66                           | 0,15                          |
| 14               | 4               | 1000             | 0,35                           | 2,05            | 0,90                           | 0,24                          |
| 14               | 4               | 2500             | 0,48                           | 2,48            | 1,33                           | 0,42                          |
| 14               | 4               | 5000             | 0,59                           | 2,83            | 1,71                           | 0,58                          |
| 14               | 5               | 10               | 0,05                           | 0,69            | 0,09                           | -0,01                         |
| 14               | 5               | 15               | 0,06                           | 0,77            | 0,11                           | -0,01                         |
| 14               | 5               | 20               | 0,07                           | 0,82            | 0,13                           | -0,01                         |
| 14               | 5               | 25               | 0,08                           | 0,87            | 0,14                           | 0,00                          |
| 14               | 5               | 50               | 0,10                           | 1,03            | 0,21                           | 0,01                          |
| 14               | 5               | 75               | 0,12                           | 1,13            | 0,26                           | 0,02                          |
| 14               | 5               | 100              | 0,14                           | 1,21            | 0,30                           | 0,03                          |
| 14               | 5               | 250              | 0,20                           | 1,51            | 0,47                           | 0,09                          |
| 14               | 5               | 500              | 0,27                           | 1,77            | 0,66                           | 0,15                          |
| 14               | 5               | 1000             | 0,35                           | 2,07            | 0,92                           | 0,25                          |
| 14               | 5               | 2500             | 0,49                           | 2,51            | 1,38                           | 0,44                          |
| 14               | 5               | 5000             | 0,62                           | 2,88            | 1,81                           | 0,62                          |

| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 14               | 7,5             | 10               | 0,05                           | 0,69            | 0,09                           | -0,01                         |
| 14               | 7,5             | 15               | 0,06                           | 0,77            | 0,11                           | -0,01                         |
| 14               | 7,5             | 20               | 0,07                           | 0,82            | 0,13                           | -0,01                         |
| 14               | 7,5             | 25               | 0,08                           | 0,87            | 0,14                           | 0,00                          |
| 14               | 7,5             | 50               | 0,10                           | 1,03            | 0,21                           | 0,01                          |
| 14               | 7,5             | 75               | 0,12                           | 1,14            | 0,26                           | 0,02                          |
| 14               | 7,5             | 100              | 0,14                           | 1,22            | 0,30                           | 0,03                          |
| 14               | 7,5             | 250              | 0,20                           | 1,52            | 0,47                           | 0,09                          |
| 14               | 7,5             | 500              | 0,27                           | 1,79            | 0,67                           | 0,16                          |
| 14               | 7,5             | 1000             | 0,36                           | 2,10            | 0,94                           | 0,26                          |
| 14               | 7,5             | 2500             | 0,51                           | 2,57            | 1,44                           | 0,46                          |
| 14               | 7,5             | 5000             | 0,66                           | 2,96            | 1,94                           | 0,68                          |
| 14               | 10              | 10               | 0,05                           | 0,69            | 0,09                           | -0,01                         |
| 14               | 10              | 15               | 0,06                           | 0,77            | 0,11                           | -0,01                         |
| 14               | 10              | 20               | 0,07                           | 0,82            | 0,13                           | -0,01                         |
| 14               | 10              | 25               | 0,08                           | 0,87            | 0,14                           | 0,00                          |
| 14               | 10              | 50               | 0,10                           | 1,03            | 0,21                           | 0,01                          |
| 14               | 10              | 75               | 0,12                           | 1,14            | 0,26                           | 0,02                          |
| 14               | 10              | 100              | 0,14                           | 1,22            | 0,30                           | 0,03                          |
| 14               | 10              | 250              | 0,20                           | 1,53            | 0,48                           | 0,09                          |
| 14               | 10              | 500              | 0,27                           | 1,80            | 0,67                           | 0,16                          |
| 14               | 10              | 1000             | 0,36                           | 2,11            | 0,95                           | 0,26                          |
| 14               | 10              | 2500             | 0,52                           | 2,59            | 1,46                           | 0,47                          |
| 14               | 10              | 5000             | 0,68                           | 3,01            | 2,00                           | 0,71                          |
| 13               | 2               | 10               | 0,05                           | 0,66            | 0,08                           | -0,01                         |
| 13               | 2               | 15               | 0,06                           | 0,73            | 0,10                           | -0,01                         |
| 13               | 2               | 20               | 0,06                           | 0,79            | 0,11                           | -0,01                         |
| 13               | 2               | 25               | 0,07                           | 0,83            | 0,13                           | -0,01                         |
| 13               | 2               | 50               | 0,09                           | 0,98            | 0,18                           | 0,01                          |
| 13               | 2               | 75               | 0,11                           | 1,08            | 0,23                           | 0,02                          |
| 13               | 2               | 100              | 0,12                           | 1,15            | 0,26                           | 0,02                          |
| 13               | 2               | 250              | 0,18                           | 1,42            | 0,41                           | 0,07                          |
| 13               | 2               | 500              | 0,23                           | 1,65            | 0,56                           | 0,12                          |
| 13               | 2               | 1000             | 0,29                           | 1,90            | 0,74                           | 0,18                          |
| 13               | 2               | 2500             | 0,38                           | 2,26            | 1,01                           | 0,29                          |
| 13               | 2               | 5000             | 0,44                           | 2,53            | 1,20                           | 0,36                          |
| 13               | 3               | 10               | 0,05                           | 0,67            | 0,08                           | -0,01                         |
| 13               | 3               | 15               | 0,06                           | 0,74            | 0,10                           | -0,01                         |
| 13               | 3               | 20               | 0,06                           | 0,79            | 0,11                           | -0,01                         |
| 13               | 3               | 25               | 0,07                           | 0,83            | 0,13                           | -0,01                         |
| 13               | 3               | 50               | 0,09                           | 0,98            | 0,19                           | 0,01                          |
| 13               | 3               | 75               | 0,11                           | 1,08            | 0,23                           | 0,02                          |
| 13               | 3               | 100              | 0,13                           | 1,16            | 0,27                           | 0,03                          |
| 13               | 3               | 250              | 0,18                           | 1,44            | 0,42                           | 0,07                          |
| 13               | 3               | 500              | 0,24                           | 1,68            | 0,58                           | 0,13                          |
| 13               | 3               | 1000             | 0,31                           | 1,95            | 0,80                           | 0,20                          |
| 13               | 3               | 2500             | 0,42                           | 2,34            | 1,15                           | 0,34                          |
| 13               | 3               | 5000             | 0,51                           | 2,66            | 1,44                           | 0,46                          |

| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 13               | 4               | 10               | 0,05                           | 0,67            | 0,08                           | -0,01                         |
| 13               | 4               | 15               | 0,06                           | 0,74            | 0,10                           | -0,01                         |
| 13               | 4               | 20               | 0,06                           | 0,79            | 0,11                           | -0,01                         |
| 13               | 4               | 25               | 0,07                           | 0,83            | 0,13                           | -0,01                         |
| 13               | 4               | 50               | 0,09                           | 0,99            | 0,19                           | 0,01                          |
| 13               | 4               | 75               | 0,11                           | 1,09            | 0,23                           | 0,02                          |
| 13               | 4               | 100              | 0,13                           | 1,17            | 0,27                           | 0,03                          |
| 13               | 4               | 250              | 0,18                           | 1,45            | 0,42                           | 0,07                          |
| 13               | 4               | 500              | 0,24                           | 1,70            | 0,59                           | 0,13                          |
| 13               | 4               | 1000             | 0,32                           | 1,98            | 0,82                           | 0,21                          |
| 13               | 4               | 2500             | 0,44                           | 2,39            | 1,22                           | 0,37                          |
| 13               | 4               | 5000             | 0,55                           | 2,73            | 1,57                           | 0,52                          |
| 13               | 5               | 10               | 0,05                           | 0,67            | 0,08                           | -0,01                         |
| 13               | 5               | 15               | 0,06                           | 0,74            | 0,10                           | -0,01                         |
| 13               | 5               | 20               | 0,06                           | 0,79            | 0,11                           | -0,01                         |
| 13               | 5               | 25               | 0,07                           | 0,84            | 0,13                           | -0,01                         |
| 13               | 5               | 50               | 0,10                           | 0,99            | 0,19                           | 0,01                          |
| 13               | 5               | 75               | 0,11                           | 1,09            | 0,23                           | 0,02                          |
| 13               | 5               | 100              | 0,13                           | 1,17            | 0,27                           | 0,03                          |
| 13               | 5               | 250              | 0,19                           | 1,45            | 0,43                           | 0,07                          |
| 13               | 5               | 500              | 0,25                           | 1,71            | 0,60                           | 0,13                          |
| 13               | 5               | 1000             | 0,32                           | 2,00            | 0,83                           | 0,22                          |
| 13               | 5               | 2500             | 0,46                           | 2,43            | 1,25                           | 0,39                          |
| 13               | 5               | 5000             | 0,58                           | 2,78            | 1,66                           | 0,56                          |
| 13               | 7,5             | 10               | 0,05                           | 0,67            | 0,08                           | -0,01                         |
| 13               | 7,5             | 15               | 0,06                           | 0,74            | 0,10                           | -0,01                         |
| 13               | 7,5             | 20               | 0,06                           | 0,79            | 0,11                           | -0,01                         |
| 13               | 7,5             | 25               | 0,07                           | 0,84            | 0,13                           | -0,01                         |
| 13               | 7,5             | 50               | 0,10                           | 0,99            | 0,19                           | 0,01                          |
| 13               | 7,5             | 75               | 0,11                           | 1,10            | 0,23                           | 0,02                          |
| 13               | 7,5             | 100              | 0,13                           | 1,18            | 0,27                           | 0,03                          |
| 13               | 7,5             | 250              | 0,19                           | 1,46            | 0,43                           | 0,07                          |
| 13               | 7,5             | 500              | 0,25                           | 1,72            | 0,60                           | 0,13                          |
| 13               | 7,5             | 1000             | 0,33                           | 2,02            | 0,85                           | 0,22                          |
| 13               | 7,5             | 2500             | 0,47                           | 2,47            | 1,30                           | 0,41                          |
| 13               | 7,5             | 5000             | 0,61                           | 2,86            | 1,77                           | 0,61                          |
| 13               | 10              | 10               | 0,05                           | 0,67            | 0,08                           | -0,01                         |
| 13               | 10              | 15               | 0,06                           | 0,74            | 0,10                           | -0,01                         |
| 13               | 10              | 20               | 0,06                           | 0,79            | 0,11                           | -0,01                         |
| 13               | 10              | 25               | 0,07                           | 0,84            | 0,13                           | -0,01                         |
| 13               | 10              | 50               | 0,10                           | 0,99            | 0,19                           | 0,01                          |
| 13               | 10              | 75               | 0,11                           | 1,10            | 0,23                           | 0,02                          |
| 13               | 10              | 100              | 0,13                           | 1,18            | 0,27                           | 0,03                          |
| 13               | 10              | 250              | 0,19                           | 1,47            | 0,43                           | 0,07                          |
| 13               | 10              | 500              | 0,25                           | 1,73            | 0,61                           | 0,13                          |
| 13               | 10              | 1000             | 0,33                           | 2,04            | 0,86                           | 0,23                          |
| 13               | 10              | 2500             | 0,48                           | 2,50            | 1,33                           | 0,42                          |
| 13               | 10              | 5000             | 0,63                           | 2,90            | 1,82                           | 0,63                          |



| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 12               | 2               | 10               | 0,04                           | 0,64            | 0,07                           | -0,01                         |
| 12               | 2               | 15               | 0,05                           | 0,70            | 0,09                           | -0,01                         |
| 12               | 2               | 20               | 0,06                           | 0,75            | 0,10                           | -0,01                         |
| 12               | 2               | 25               | 0,06                           | 0,80            | 0,11                           | -0,01                         |
| 12               | 2               | 50               | 0,09                           | 0,94            | 0,16                           | 0,00                          |
| 12               | 2               | 75               | 0,10                           | 1,04            | 0,20                           | 0,01                          |
| 12               | 2               | 100              | 0,11                           | 1,11            | 0,23                           | 0,02                          |
| 12               | 2               | 250              | 0,16                           | 1,36            | 0,37                           | 0,05                          |
| 12               | 2               | 500              | 0,21                           | 1,59            | 0,50                           | 0,10                          |
| 12               | 2               | 1000             | 0,27                           | 1,83            | 0,67                           | 0,16                          |
| 12               | 2               | 2500             | 0,36                           | 2,18            | 0,93                           | 0,26                          |
| 12               | 2               | 5000             | 0,41                           | 2,45            | 1,11                           | 0,33                          |
| 12               | 3               | 10               | 0,04                           | 0,64            | 0,07                           | -0,01                         |
| 12               | 3               | 15               | 0,05                           | 0,71            | 0,09                           | -0,01                         |
| 12               | 3               | 20               | 0,06                           | 0,76            | 0,10                           | -0,01                         |
| 12               | 3               | 25               | 0,06                           | 0,80            | 0,11                           | -0,01                         |
| 12               | 3               | 50               | 0,09                           | 0,95            | 0,17                           | 0,00                          |
| 12               | 3               | 75               | 0,10                           | 1,04            | 0,20                           | 0,01                          |
| 12               | 3               | 100              | 0,12                           | 1,12            | 0,24                           | 0,02                          |
| 12               | 3               | 250              | 0,17                           | 1,38            | 0,37                           | 0,06                          |
| 12               | 3               | 500              | 0,22                           | 1,62            | 0,52                           | 0,11                          |
| 12               | 3               | 1000             | 0,29                           | 1,88            | 0,72                           | 0,17                          |
| 12               | 3               | 2500             | 0,39                           | 2,26            | 1,04                           | 0,30                          |
| 12               | 3               | 5000             | 0,48                           | 2,56            | 1,32                           | 0,41                          |
| 12               | 4               | 10               | 0,04                           | 0,64            | 0,07                           | -0,01                         |
| 12               | 4               | 15               | 0,05                           | 0,71            | 0,09                           | -0,01                         |
| 12               | 4               | 20               | 0,06                           | 0,76            | 0,10                           | -0,01                         |
| 12               | 4               | 25               | 0,06                           | 0,80            | 0,11                           | -0,01                         |
| 12               | 4               | 50               | 0,09                           | 0,95            | 0,17                           | 0,00                          |
| 12               | 4               | 75               | 0,10                           | 1,05            | 0,20                           | 0,01                          |
| 12               | 4               | 100              | 0,12                           | 1,12            | 0,24                           | 0,02                          |
| 12               | 4               | 250              | 0,17                           | 1,39            | 0,38                           | 0,06                          |
| 12               | 4               | 500              | 0,22                           | 1,63            | 0,53                           | 0,11                          |
| 12               | 4               | 1000             | 0,29                           | 1,90            | 0,74                           | 0,18                          |
| 12               | 4               | 2500             | 0,41                           | 2,30            | 1,10                           | 0,32                          |
| 12               | 4               | 5000             | 0,51                           | 2,63            | 1,44                           | 0,46                          |
| 12               | 5               | 10               | 0,04                           | 0,64            | 0,07                           | -0,01                         |
| 12               | 5               | 15               | 0,05                           | 0,71            | 0,09                           | -0,01                         |
| 12               | 5               | 20               | 0,06                           | 0,76            | 0,10                           | -0,01                         |
| 12               | 5               | 25               | 0,06                           | 0,80            | 0,11                           | -0,01                         |
| 12               | 5               | 50               | 0,09                           | 0,95            | 0,17                           | 0,00                          |
| 12               | 5               | 75               | 0,10                           | 1,05            | 0,21                           | 0,01                          |
| 12               | 5               | 100              | 0,12                           | 1,12            | 0,24                           | 0,02                          |
| 12               | 5               | 250              | 0,17                           | 1,40            | 0,38                           | 0,06                          |
| 12               | 5               | 500              | 0,22                           | 1,64            | 0,54                           | 0,11                          |
| 12               | 5               | 1000             | 0,30                           | 1,92            | 0,75                           | 0,19                          |
| 12               | 5               | 2500             | 0,42                           | 2,33            | 1,13                           | 0,34                          |
| 12               | 5               | 5000             | 0,53                           | 2,68            | 1,51                           | 0,49                          |

| Wind<br>snelheid | Water<br>diepte | Breedte<br>water | Golfhoogte<br>bij<br>kunstwerk | Golf<br>periode | Overslag<br>hoogte<br>Q = 0,1l | Overslag<br>hoogte<br>Q = 10l |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| [m/s]            | [m]             | [m]              | [m]                            | [s]             | [m]                            | [m]                           |
| 12               | 7,5             | 10               | 0,04                           | 0,64            | 0,07                           | -0,01                         |
| 12               | 7,5             | 15               | 0,05                           | 0,71            | 0,09                           | -0,01                         |
| 12               | 7,5             | 20               | 0,06                           | 0,76            | 0,10                           | -0,01                         |
| 12               | 7,5             | 25               | 0,06                           | 0,80            | 0,11                           | -0,01                         |
| 12               | 7,5             | 50               | 0,09                           | 0,95            | 0,17                           | 0,00                          |
| 12               | 7,5             | 75               | 0,10                           | 1,05            | 0,21                           | 0,01                          |
| 12               | 7,5             | 100              | 0,12                           | 1,13            | 0,24                           | 0,02                          |
| 12               | 7,5             | 250              | 0,17                           | 1,41            | 0,38                           | 0,06                          |
| 12               | 7,5             | 500              | 0,23                           | 1,66            | 0,54                           | 0,11                          |
| 12               | 7,5             | 1000             | 0,30                           | 1,94            | 0,76                           | 0,19                          |
| 12               | 7,5             | 2500             | 0,43                           | 2,38            | 1,17                           | 0,35                          |
| 12               | 7,5             | 5000             | 0,56                           | 2,75            | 1,60                           | 0,53                          |
| 12               | 10              | 10               | 0,04                           | 0,64            | 0,07                           | -0,01                         |
| 12               | 10              | 15               | 0,05                           | 0,71            | 0,09                           | -0,01                         |
| 12               | 10              | 20               | 0,06                           | 0,76            | 0,10                           | -0,01                         |
| 12               | 10              | 25               | 0,06                           | 0,81            | 0,11                           | -0,01                         |
| 12               | 10              | 50               | 0,09                           | 0,96            | 0,17                           | 0,00                          |
| 12               | 10              | 75               | 0,10                           | 1,06            | 0,21                           | 0,01                          |
| 12               | 10              | 100              | 0,12                           | 1,13            | 0,24                           | 0,02                          |
| 12               | 10              | 250              | 0,17                           | 1,41            | 0,38                           | 0,06                          |
| 12               | 10              | 500              | 0,23                           | 1,67            | 0,54                           | 0,11                          |
| 12               | 10              | 1000             | 0,30                           | 1,96            | 0,77                           | 0,19                          |
| 12               | 10              | 2500             | 0,44                           | 2,41            | 1,19                           | 0,36                          |
| 12               | 10              | 5000             | 0,57                           | 2,79            | 1,64                           | 0,55                          |