



Ministerie van Infrastructuur en Milieu

## **Schematiseringshandleiding hoogte kunstwerk**

WBI 2017

Datum	2 januari 2017
Status	Definitief



## Colofon

Uitgegeven door	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Informatie	Helpdesk Water, <a href="http://www.helpdeskwater.nl">www.helpdeskwater.nl</a>
Contact	<a href="mailto:helpdeskwater@rws.nl">helpdeskwater@rws.nl</a>
Uitgevoerd door	Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving
Datum	2 januari 2017
Status	Definitief
Versienummer	1.0



## Inhoud

### **Schematiseringshandleidingen en WBI 7**

#### **1 Inleiding Schematiseringshandleiding hoogte kunstwerk 11**

- 1.1 Uitgangspunten voor het toetsspoor hoogte kunstwerk 11
- 1.2 Opbouw 11
- 1.3 Opmerkingen bij versie 1.0 van de Schematiseringshandleiding hoogte kunstwerk 11

#### **2 Stappenschema 13**

- 2.1 Eenvoudige toets 14
- 2.2 Gedetailleerde toets 14
- 2.3 Toets op maat 17

#### **3 Belastinggevallen en hydraulische belasting 21**

- 3.1 Maatgevende belasting 21
- 3.2 Hydraulische Belastingen 21
- 3.3 Belastinggevallen 22

#### **4 Inventarisatie beschikbare gegevens 23**

- 4.1 Geometrie kunstwerk 23
- 4.2 Gegevens bodembescherming 23
- 4.3 Gegevens komberging 25
- 4.4 Gegevens veldbezoek / inspectie 26
  - 4.4.1 Veldbezoek 26
  - 4.4.2 Inspectie, beheer en onderhoud 26

#### **5 Vakindeling 27**

#### **6 Schematisering 29**

- 6.1 Schematisering geometrie voor bepaling optredend overslag-/overloopdebiet 29
- 6.2 Schematisering bodembescherming voor bepaling kritiek debiet 29
- 6.3 Schematisering komberging 31
- 6.4 Analyse van de uitkomsten 32

#### **7 Overzicht parameters per deelfaalmechanisme 35**

- 7.1 Overzichtstabel modelparameters 35
- 7.2 Veiligheidseisen 36
- 7.3 Deelfaalmechanisme  $Z_{11}$ : bezwijken bodembescherming 36
  - 7.3.1 Kritiek overslag-/overloopdebiet 37
  - 7.3.2 Stroomvoerende breedte bodembescherming 42
  - 7.3.3 Optredend overslag-/overloopdebiet 43
  - 7.3.4 Modelfactor voor overslagdebiet 46
  - 7.3.5 Kerende hoogte kunstwerk 46
  - 7.3.6 Invloedsfactor neusconstructie 47
  - 7.3.7 Oriëntatie normaal van het kunstwerk 48
  - 7.3.8 Modelfactor overloopdebiet volkomen overlaat 49
  - 7.3.9 Breedte van de kruin van het kunstwerk 50
- 7.4 Deelfaalmechanisme  $Z_{12}$ : kans bezwijken kunstwerk als gevolg van erosie bodem 51
  - 7.4.1 Faalkans kunstwerk gegeven bezwijken bodembescherming en optreden van erosie bodem 51
- 7.5 Deelfaalmechanisme  $Z_{13}$ : overschrijden bergend vermogen 54
  - 7.5.1 Modelfactor kombergend vermogen 55
  - 7.5.2 Kombergend oppervlak 56

- 7.5.3 Kritieke peilverhoging komberging 58
- 7.5.4 Modelfactor instromend volume 60
- 7.5.5 Stormduur 60
- 7.5.6 Optredend overslag-/overloopdebiet 62
- 7.5.7 Breedte van de kruin van het kunstwerk 62

## **8 Voorbeeld 63**

## **A Literatuur 65**

## **B Begrippen, afkortingen en symbolenlijst 67**

## **C Definitie falen komberging 69**

## **D Schema werkwijze beoordeling hoogte kunstwerk 75**

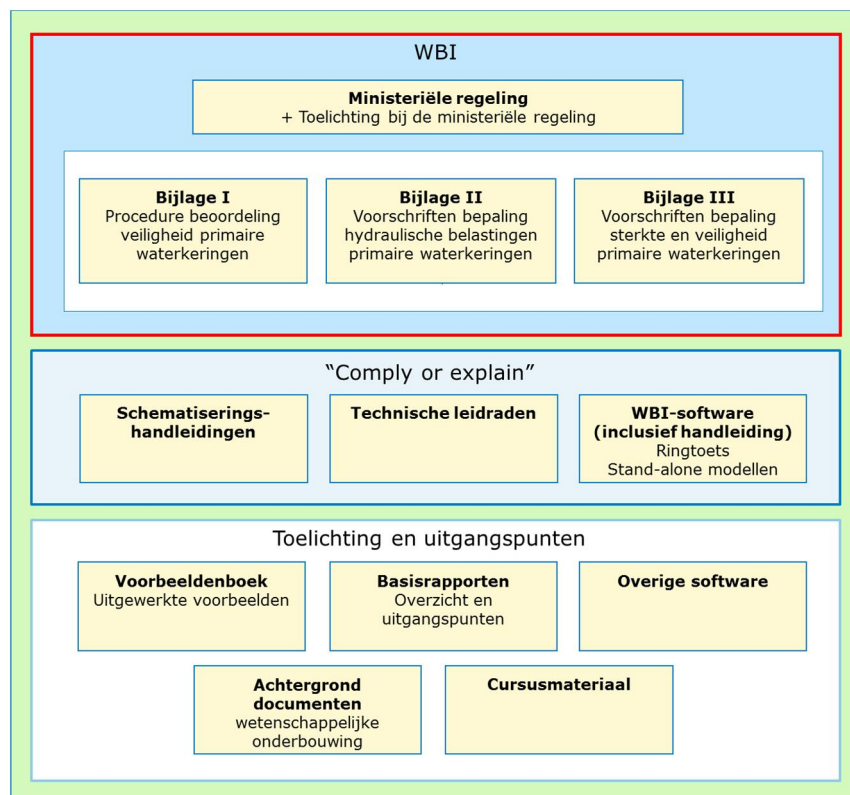
- D.1 Toelichting op het schema werkwijze beoordeling 75
- D.2 Schema werkwijze beoordeling Hoogte kunstwerk (HTKW) 76
- D.3 Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Hoogte kunstwerk (HTKW) 77
  - D.3.1 Activiteit 'data verzamelen' 77
  - D.3.2 Activiteit 'schematiseren' 77
  - D.3.3 Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen' 77
  - D.3.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel' 77
  - D.3.5 Activiteit 'analyseren' 78
  - D.3.6 Toelichting bij de referenties 78

## Schematiseringshandleidingen en WBI

Deze schematiseringshandleiding is opgesteld in het kader van het Wettelijk Beoordelings-instrumentarium (hierna: WBI 2017 of WBI). Het WBI voor de beoordelingsronde 2017-2023 bestaat uit de ministeriële regeling en 3 bijlagen. Die drie bijlagen zullen verder worden aangeduid als:

- *WBI 2017 Bijlage I Procedure.*
- *WBI 2017 Bijlage II Hydraulische belastingen.*
- *WBI 2017 Bijlage III Sterkte en veiligheid.*

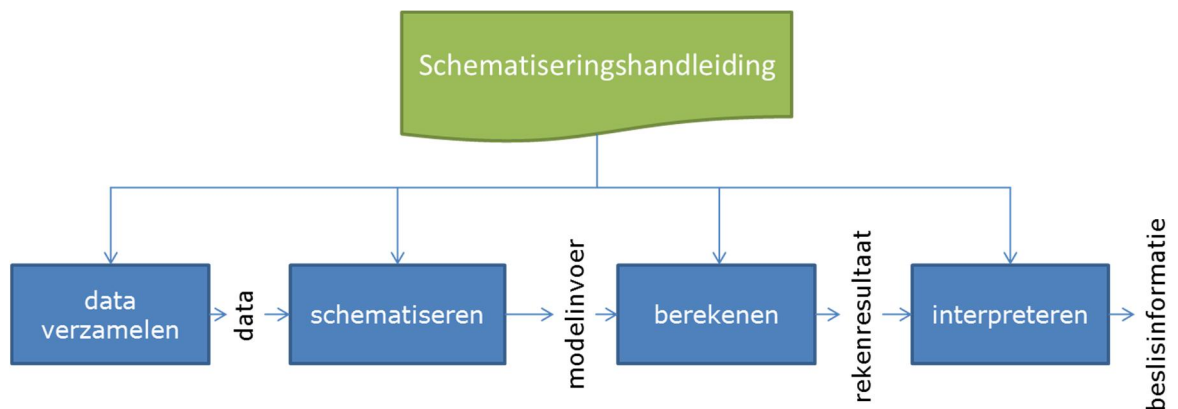
Het WBI bevat de voorschriften voor het uitvoeren van de beoordeling. In deze voorschriften wordt verwezen naar een aantal documenten en applicaties die de beheerder moet gebruiken bij het uitvoeren van de beoordeling, waaronder de schematiseringshandleidingen en de WBI software. Een overzicht van de structuur van het WBI en de daaraan gerelateerde documenten staat in Figuur 1.



Figuur 1 Het WBI 2017 en daaraan gerelateerde documenten

### Doel

Het uitvoeren van een toets (eenvoudige toets, gedetailleerde toets per vak of toets op maat) voor het beoordelen van primaire waterkeringen bestaat op hoofdlijnen uit vier activiteiten, zie Figuur 2. In een schematiseringshandleiding wordt, gegeven een rekenmethode of model, de samenhang aangegeven tussen deze vier activiteiten: welke data benodigd is, hoe moet worden geschematiseerd, welke software hiervoor beschikbaar is en in sommige gevallen hoe de resultaten kunnen worden geïnterpreteerd.



Figuur 2 Activiteiten verbonden met een toets (zie bijlage D voor het schema werkwijze beoordeling hoogte kunstwerk)

De activiteit schematiseren wordt hier gedefinieerd als het vertalen van de gegevens over de waterkering naar invoer voor de methode (meestal een rekenmodel al dan niet in software) waarmee de toets wordt uitgevoerd. De gegevens kunnen meetgegevens zijn uit het veld of het laboratorium, ontwerp- of revisietekeningen zijn, maar kunnen ook kennis en ervaring betreffen. Bij het schematiseren speelt de beschikbare hoeveelheid gegevens en de kwaliteit ervan een grote rol. Bij weinig gegevens is de schematisering grof of globaal en met een grote onzekerheid. Naarmate er meer en betere gegevens beschikbaar zijn, wordt de schematisering fijner en preciezer.

Het doorlopen van de vier activiteiten is in veel gevallen een iteratief proces. Zeker als ervoor wordt gekozen om te starten met een grove schematisering. In de vierde activiteit wordt bekeken of door het inwinnen van extra gegevens en/of het verfijnen van de schematisering, het resultaat van de derde activiteiten kan worden aangescherpt. Het is uiteraard ook mogelijk om meteen te kiezen voor een gedetailleerde schematisering.

De schematiseringshandleiding geeft aanwijzingen voor het type en de benodigde hoeveelheid aan onderzoek om tot een goede schematisering te kunnen komen. Verder ondersteunt de schematiseringshandleiding gebruikers in het omzetten van (veld)gegevens naar de juiste rekenparameters en goede schematiseringen die in de toets kan worden toegepast. De wijze waarop gegevens ingewonnen moeten worden (bijvoorbeeld hoe veldonderzoek of laboratoriumonderzoek uitgevoerd wordt) wordt slechts summier behandeld.

*Deze handleiding is specifiek opgesteld voor het beoordelen van primaire waterkeringen en kan daarom niet zomaar worden toegepast voor andere doeleinden (regionale keringen, ontwerp, et cetera). Onderdelen van de schematiseringshandleiding zijn mogelijk wel toepasbaar voor andere doeleinden, maar op punten zal deze handleiding niet van toepassing of onvolledig zijn.*

### **Uitgangspunten**

Voor alle schematiseringshandleidingen gelden de volgende uitgangspunten:

- Voor de gegevens die in het rekenmodel voor het toetsspoor worden ingevoerd wordt een format voorgeschreven. Het format sluit aan bij de Aquo standaard. Verdere informatie hierover is te vinden in de Handleiding datamanagement WBI [9].
- Deze schematiseringshandleiding ondersteunt gebruikers in het omzetten van (veld)gegevens naar de juiste rekenparameters en goede schematiseringen die in de beoordelingsmethoden kunnen worden toegepast.



- Deze schematiseringshandleiding geeft tevens aanwijzingen voor default waarden die voor parameters aangehouden kunnen worden als meetgegevens niet aanwezig zijn.

**Doelgroep**

De schematiseringshandleiding is geschreven voor een deskundig gebruiker die bekend is met de voorschriften en de (deel)faalmechanismes en modellen die van toepassing zijn voor deze schematiseringshandleiding.



# 1 Inleiding Schematiseringshandleiding hoogte kunstwerk

## 1.1 Uitgangspunten voor het toetsspoor hoogte kunstwerk

Specifiek voor het toetsspoor *hoogte kunstwerk*, oftewel het faalmechanisme *overslag en/of overloop* bij een kunstwerk, gelden de volgende uitgangspunten:

- Voor het toetsspoor *hoogte kunstwerk* zijn drie toetsen voorzien in het WBI 2017. Naast de *eenvoudige toets* en de *toets op maat* is dit de probabilistische *gedetailleerde toets* per dijkvak.
- In dit document wordt onder ander gesproken over de sterkte van bodembeschermingen. Onder deze term vallen ook aansluit- en overgangsconstructies van bodembeschermingen. Alhoewel hiervoor geen specifieke sterktemodellen beschikbaar zijn, dienen deze constructies kwalitatief te worden meegenomen in de beschouwingen voor zover dit mogelijk is. Dit betekent dat bij indicaties van slechte aansluitingen (bijvoorbeeld uit inspecties) de sterkte van de bodembescherming gereduceerd moet worden.

## 1.2 Opbouw

De opbouw van deze handleiding is als volgt:

Onderwerp	Locatie
Stappenschema	Hoofdstuk 2
Belastinggevallen	Hoofdstuk 3
Inventarisatie gegevens	Hoofdstuk 4
Vakindeling	Hoofdstuk 5
Schematisering per kunstwerk	Hoofdstuk 6
Parameters	Hoofdstuk 7

Het *stappenschema* in *hoofdstuk 2* vormt de basis van de schematiseringshandleiding. Dit stappenschema geeft een overzicht van de te volgen stappen voor het schematiseren. Per stap wordt een verwijzing gegeven naar een paragraaf of hoofdstuk van deze schematiseringshandleiding waarin dit verder wordt uitgewerkt. Het hoofdstuk 2 kan dus als leeswijzer of leidraad voor het toepassen van dit rapport worden gebruikt.

Hoofdstuk 5 is voor waterkerende kunstwerken niet van toepassing; ieder kunstwerk wordt (binnen Ringtoets) als apart vak gedefinieerd.

Voorbeelden zijn niet in een apart hoofdstuk opgenomen, maar worden gegeven bij de behandeling van de verschillende parameters (hoofdstuk 7).

Voor een omschrijving van begrippen wordt verwezen naar de begrippenlijst die is opgenomen als Appendix B van *WBI 2017 Bijlage I Procedure*.

## 1.3 Opmerkingen bij versie 1.0 van de Schematiseringshandleiding hoogte kunstwerk

- In de Waterwet is de overstromingskans gedefinieerd als de kans op verlies van waterkerend vermogen van een dijktraject waardoor het door het dijktraject beschermde gebied zodanig overstroomt dat dit leidt tot dodelijke slachtoffers of substantiële economische schade. In de wetstekst is het aantal dodelijke slachtoffers en de schade die als 'substantieel' wordt beschouwd echter niet nader uitgewerkt. Dit is voor het toetsspoor hoogte kunstwerk echter wel van belang, met name voor het deelfaalmechanisme onvoldoende bergend vermogen. Binnen het WBI is dit daarom nader uitgewerkt volgens bijlage C, in

het besef dat de beleidsmatige discussie hierover momenteel wordt gevoerd en bijlage C dus mogelijk nog wijzigt.

- Deze schematiseringshandleiding verwijst voor een toelichting naar het Toetsspoorrapport hoogte kunstwerk [17]. Daarin wordt bijvoorbeeld ingegaan op de te hanteren rekenmodellen. In dat Toetsspoorrapport staan echter ook de (concepten) van de eenvoudige en gedetailleerde toets beschreven en een fenomenologische beschrijving van het faalmechanisme. De toetsen zoals beschreven in het WBI 2017 Bijlage III Sterkte en veiligheid zijn uiteraard leidend en de meest recente versie van de fenomenologische beschrijving van het faalmechanisme is te vinden in Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI [6].

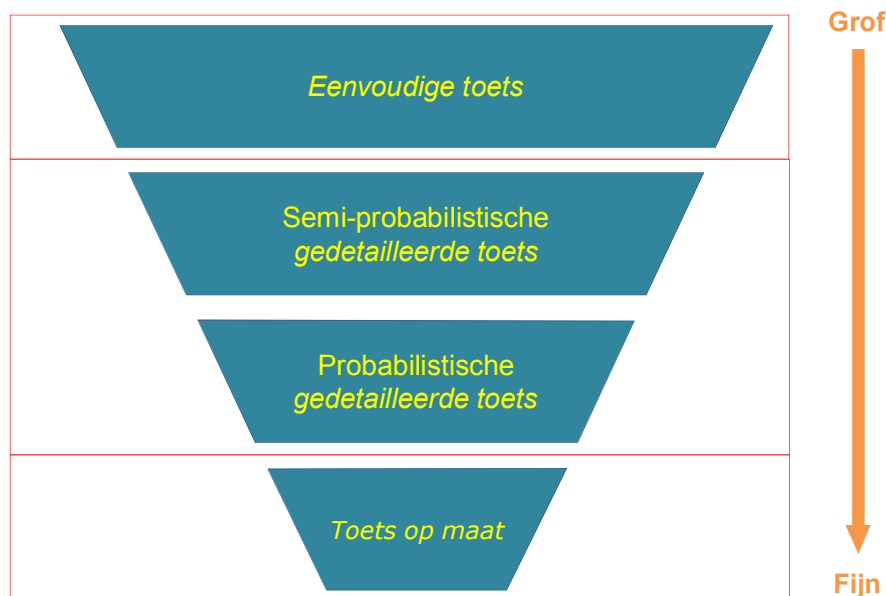
## Stappenschema

Dit hoofdstuk geeft een stappenplan/proces/stroomschema dat moet worden doorlopen om tot een schematisering te komen. Per stap is een verwijzing opgenomen naar de bijbehorende paragraaf waar uiteen gezet wordt hoe dit geschematiseerd moet worden.

Uitgangspunt voor het toetsproces is dat van grof naar fijn wordt gewerkt. Onzekerheden worden steeds nauwkeuriger meegenomen waardoor een steeds scherper beeld van het overstromingsrisico wordt verkregen.

De toetsprocedure zoals voorgeschreven in *WBI 2017 Bijlage I Procedure* voorziet bij het verschijnen van het WBI 2017 in drie toetsen:

1. *Eenvoudige toets*.
2. *Gedetailleerde toets* (semi-probabilistisch of probabilistisch).
3. *Toets op maat*.



Figuur 2-1 De diverse toetsen in de toetsprocedure

Globaal genomen vergt elke volgende toets een grotere inspanning, maar dit is niet altijd het geval. Gegevens voor de ene toets kunnen ook input zijn voor de volgende toets, alleen worden ze dan bijvoorbeeld voor een ander model gebruikt.

De *gedetailleerde toets* kent twee vormen, een semi-probabilistische toets per dijkvak (of kunstwerk) en een probabilistische toets per dijkvak. Het toetsspoor hoogte kunstwerk kent een probabilistische toets.

De toetsschema's voor de *eenvoudige* en *gedetailleerde toets* voor dit toetsspoor zijn gegeven in hoofdstuk 17 van *WBI 2017 Bijlage III Sterkte en veiligheid*.

In de volgende paragrafen zijn de *eenvoudige toets*, de *gedetailleerde toets* en de *toets op maat* globaal beschreven. Het feitelijk schematiseren komt aan de orde bij de *gedetailleerde toets*.

## 2.1

### Eenvoudige toets

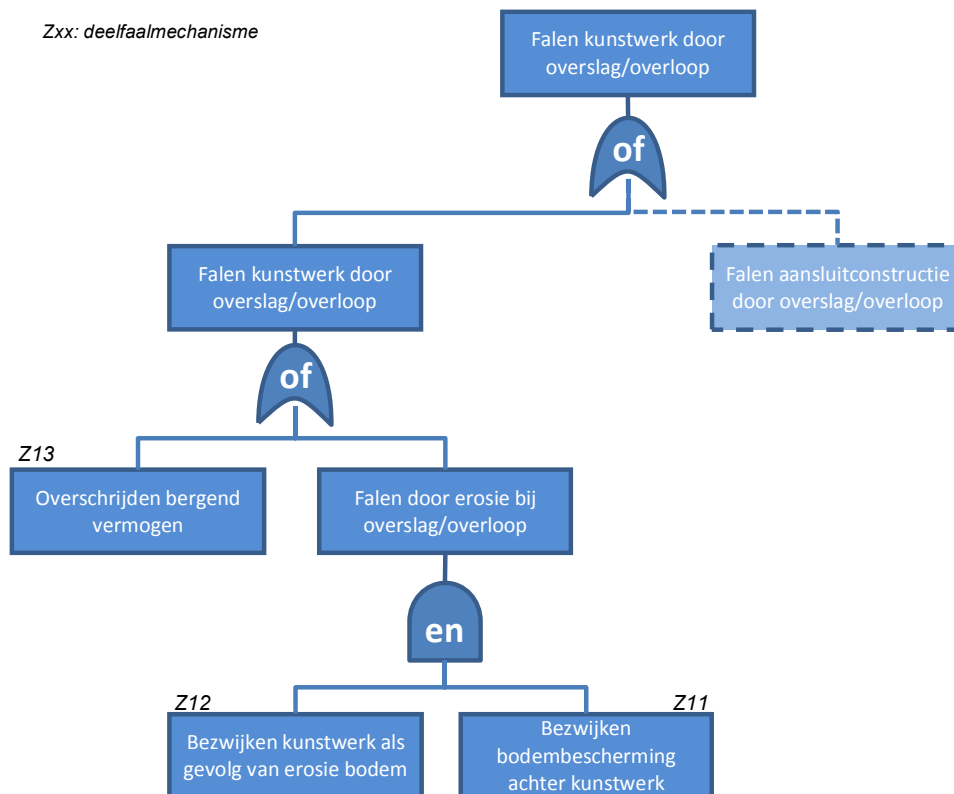
In de *eenvoudige toets* wordt met eenvoudige beslisregels gecontroleerd of de kans op falen voor het faalmechanisme *overslag en/of overloop* bij kunstwerken voldoende klein is. Indien dit het geval is, dan is de beoordeling van het vak of kunstwerk gereed en kan de score 'voldoet' worden toegekend. Indien dit niet het geval is, wordt het toetsproces vervolgd als beschreven in *WBI 2017 Bijlage I Procedure*.

De toetsregels voor de *eenvoudige toets* zijn beschreven in paragraaf 17.1 van *WBI 2017 Bijlage III Sterkte en veiligheid*. Een daadwerkelijke schematisering van het kunstwerk hoeft in deze toets niet uitgevoerd te worden.

## 2.2

### Gedetailleerde toets

De *gedetailleerde toets* van Hoogte Kunstwerken bestaat uit een probabilistische toets, die met Ringtoets uitgevoerd wordt<sup>1</sup>. Basis voor deze toets is onderstaande modellering van het faalmechanisme in Ringtoets.

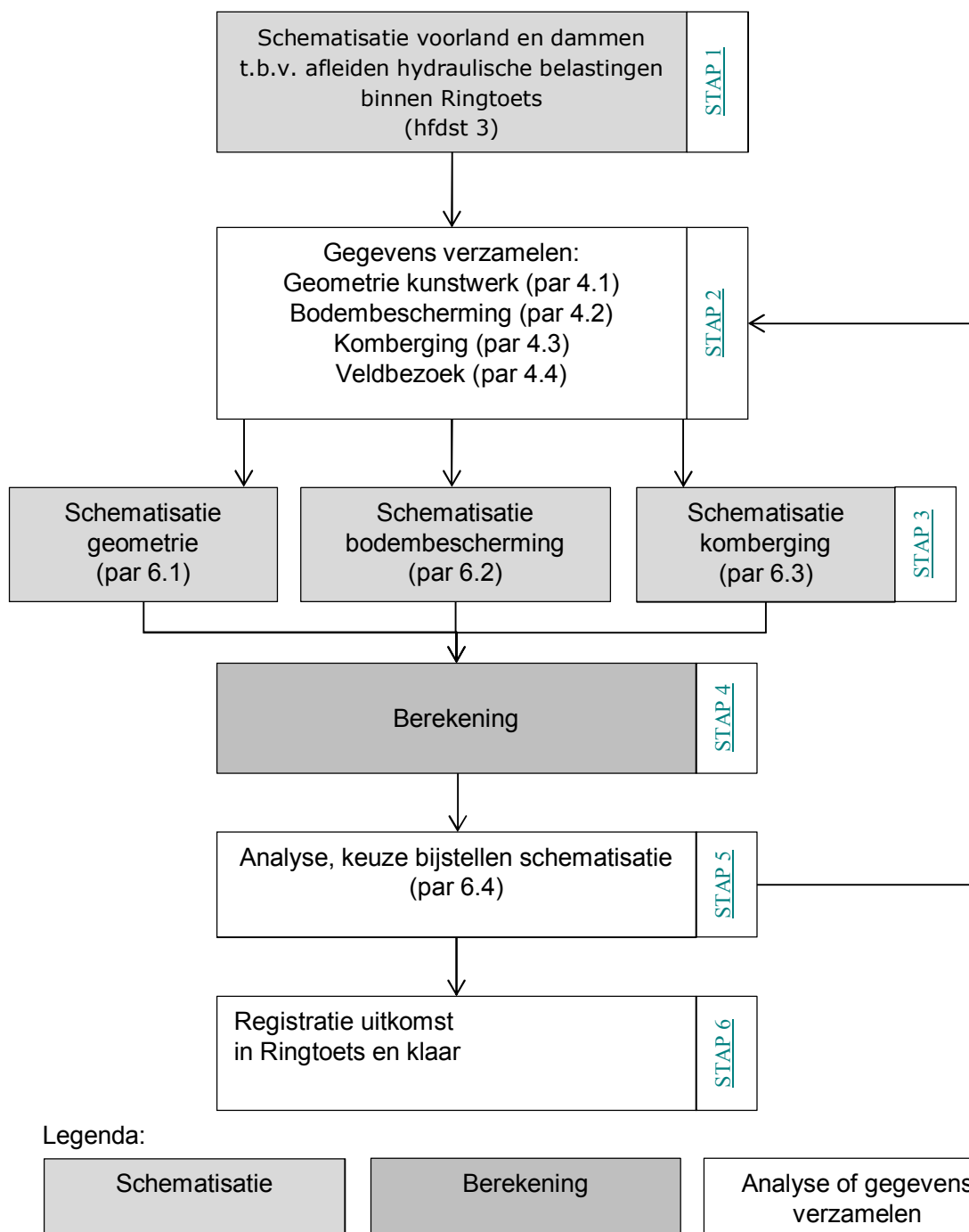


Figuur 2-2 Modellering faalmechanisme overslag en/of overloop in de gedetailleerde toets

De bovenstaande modellering is verwerkt in onderstaand schema. Hierin is een stappenschema weergegeven voor het uitvoeren van de *gedetailleerde toets*. Per aspect is een verwijzing opgenomen naar het hoofdstuk in deze handleiding waar verdere informatie over dit aspect te vinden is.

Er kan van grof naar fijn gewerkt worden:

- A. Er is een wisselwerking tussen de inventarisatie en het uitvoeren van onderzoek / het verzamelen van aanvullende gegevens.
- B. Na de analyse van de resultaten kan blijken dat het zinvol is om aanvullend onderzoek te doen om aanvullende gegevens te verzamelen. Daarna kunnen de daarop volgende stappen opnieuw worden doorlopen.



Figuur 2-3 Stappenschema gedetailleerde toets voor hoogte bij kunstwerken

In het schema van Figuur 2-3 is weergegeven met welke stappen er gekomen kan worden van data naar toetsoordeel. De diverse onderdelen van dit schema worden in komende hoofdstukken behandeld. Onderstaand zijn de verschillende stappen kort beschreven.

Schematisatie voorland en dammen<sup>2</sup> ten behoeve van de berekening van de optredende belastingen (hoofdstuk 3).

Hoe deze geschematiseerd kunnen worden is beschreven schematiseringshandleiding hydraulische condities dijkteen in lit [16, 17, 18] ten behoeve van de probabilistische berekening inclusief hydraulische belastingen. Voor meer detail over de hydraulische belastingen zie hoofdstuk 3.

Stap 1. Gegevens verzamelen (hoofdstuk 4).

Om tot een goede schematisering van *overslag en/of overloop* te komen, moeten gegevens omtrent de bodembescherming, de komberging en de geometrie van het kunstwerk en zijn keermiddelen worden verzameld. Middels een veldbezoek/inspectie wordt een beeld gekregen van de daadwerkelijke situatie. Het kan dan gaan om zaken als aanwezigheid voorland, exacte locatie van de keermiddelen en een beeld bij het achterland.

Stap 2. Schematisering geometrie (paragraaf 6.1)

Dit betreft de schematisatie van de kerende hoogte van het kunstwerk in samenhang met de breedte van de kruin van het kunstwerk.

Schematisering bodembescherming (paragraaf 6.2)

Indien ongewenste instroming van water optreedt als gevolg van overslaand of overlopend water dan moet worden gekeken naar de sterkte van de bodembescherming. Indien deze in staat is om de stroomsnelheden als gevolg van het overslag-/overloopdebiet te weerstaan dan ontstaan er geen erosiekuilen en treedt daarmee ook geen instabiliteit op als gevolg van *overslag en/of overloop*.

Schematisering komberging (paragraaf 6.3)

Door een te groot instromend volume als gevolg van overslaand of overlopend water kan de beschikbare komberging achter het kunstwerk worden overschreden. De randvoorwaarden met betrekking tot de komberging dienen zodanig te worden gekozen dat op het moment van overschrijding van de gedefinieerde komberging significante gevolgen in het achterland te verwachten zijn.

Hoewel het deelfaalmecanisme *overschrijden kombergend vermogen* op hetzelfde niveau speelt als het bezwijken van de bodembescherming, is ervoor gekozen om toch eerst de bodembescherming te schematiseren. Het is namelijk de verwachting dat komberging minder vaak maatgevend zal zijn. Als dit uit de eerste basisgegevens al inzichtelijk gemaakt kan worden, kan voor komberging worden volstaan met eenvoudige, niet nader te onderbouwen conservatieve waarden. Uiteraard dient dan wel te worden onderbouwd waarom komberging niet maatgevend is.

Stap 3. Berekening

De berekening die nodig is voor de *gedetailleerde toets* wordt voor het toetsspoor *hoogte kunstwerk* uitgevoerd met behulp van Ringtoets. In Ringtoets worden de



diverse parameters ingevoerd, waarna een faalkans wordt berekend.

**Stap 4. Analyse (paragraaf 6.4)**

Hier worden de berekeningsresultaten geanalyseerd. Indien de uitkomst niet voldoet aan de faalkanseis, moet worden nagegaan of er door het inwinnen van meer gegevens en het aanscherpen van de schematisering mogelijk wel aan de faalkanseis kan worden voldaan.

Als aanvullende gegevens met een aangescherpte schematisering mogelijk tot een positievere beoordeling leidt, dienen deze aanvullende gegevens te worden ingewonnen, waarna een nieuwe cyclus van schematiseren, berekenen en analyseren kan worden doorlopen.

**Stap 5. Registratie beoordelingsresultaat**

Het uiteindelijke berekeningsresultaat wordt vastgelegd in Ringtoets.

*Uitschakelen deelfaalmechanismen in Ringtoets*

Met betrekking tot de deelfaalmechanismen *bezwijken bodembescherming* en *onvoldoende kombergend vermogen* geldt, dat het voor kan komen dat één van deze deelfaalmechanismen er niet toe doet. In Ringtoets 2017 is echter geen mogelijkheid aanwezig een deelfaalmechanisme op voorhand uit te schakelen. Om dit te omzeilen dienen daarom dusdanige waarden voor de betrokken parameters te worden ingevuld, dat het betreffende deelfaalmechanisme niet meer maatgevend is. Dit wordt in hoofdstuk 5 nader uitgewerkt.

*Ontbreken vakindeling in toetsproces*

Voor kunstwerken is er, in tegenstelling tot alle toetssporen betreffende dijken en duinen, geen aandacht in deze schematiseringshandleiding voor de vakindeling. Die is niet van toepassing bij het schematiseren van kunstwerken; ieder kunstwerk wordt (binnen Ringtoets) als apart vak gedefinieerd. Samengestelde kunstwerkcomplexen (bijvoorbeeld sluizencomplexen) worden hierbij ontleed, waarbij ieder kunstwerk waar mogelijk apart beoordeeld wordt. De samenhang tussen de onderdelen (bijvoorbeeld een gedeeld kwelscherm) dient hierbij niet uit het oog te worden verloren.

## 2.3

### **Toets op maat**

In de *toets op maat* kan de faalkans voor *overslag en/of overloop* verder worden aangescherpt. Voor eenvoudige aanscherpingen geldt dat deze binnen de *gedetailleerde toets* vallen. Echter zodra de aanscherpingen andere aspecten betreffen dan in deze handleiding besproken wordt bij de gedetailleerde toets, valt dit in de *toets op maat*. Het maken van dergelijke aanscherpingen dient altijd een bewuste keuze van de beheerder te zijn. Soms kan het bijvoorbeeld minder inspanning vergen om een verbetermaatregel te treffen dan om een *toets op maat* uit te voeren om het onderdeel alsnog met goed te kunnen beoordelen.

Aanscherpingen die in de *toets op maat* toegepast kunnen worden zijn:

- Nadere bepaling kombergend vermogen.  
Indien uit de analyse in stap 7 naar voren komt dat het kombergend vermogen maatgevend is voor de faalkans voor *overslag en/of overloop*, kan een nadere analyse van dit kombergend vermogen worden uitgevoerd. Deze nadere analyse kan betrekking hebben op het totale oppervlak dat voor komberging beschikbaar is en op de toelaatbare peilstijging op het kombergend oppervlak (zie [16]).

Ten aanzien van het kombergend oppervlak kan een nadere analyse de nodige tijd vergen, wanneer deze oppervlakte bestaat uit meerdere watergangen/waterpartijen. Met name wanneer de natte doorsnede van dergelijke watergangen/waterpartijen substantieel varieert met het stijgen van de binnenwaterstand.

Met betrekking tot de toelaatbare peilstijging geldt dat hiervoor in de *gedetailleerde toets* in principe wordt uitgegaan van het normpeil. Indien de achterliggende kades niet zijn genormeerd (of om andere redenen geen normpeil beschikbaar is) dan wordt de toelaatbare peilstijging ingeschat, hetgeen zoveel mogelijk onderbouwd wordt met feiten. Indien echter een duidelijk veiligheidsbeeld van de keringen langs de kom ontbreekt dan kan het nodig zijn deze keringen nader te onderzoeken. Een dergelijke inspanning kan zeer omvangrijk zijn. Dit is een voorbeeld van een situatie waarin mogelijk beter een verbetermaatregel kan worden getroffen.

Indien het watersysteem van de komberging is omringd door kades die praktisch niet door kunnen breken bij het gegeven keerpeil voor het systeem of als achter de kering geen regionaal watersysteem aanwezig is, dan is pas sprake van falen bij dusdanig veel overslag/overloop over het kunstwerk dat dit leidt tot een schade van minimaal 10 miljoen euro en/of tenminste één slachtoffer. In de *gedetailleerde toets* wordt hiervoor een praktisch criterium van 0,3 m water op straat/maaiveld gehanteerd. In de *toets op maat* kan hier door de beheerder van worden afgeweken, als de beheerder op basis van de specifieke kenmerken van zijn gebied inschat dat bij een hogere of lagere waterdiepte achter een kunstwerk minimaal 10 miljoen euro schade optreedt en/of tenminste één slachtoffer valt.

Bij een klein achterliggend watersysteem dat wordt omringd door 'zachte' kades is in de *gedetailleerde toets* uitgegaan van de bijbehorende kleine komberging. Als overschrijding van dit kleine kombergend vermogen naar verwachting niet leidt tot significante gevolgen dan is in de *toets op maat* wellicht een aanscherping van de analyse mogelijk. Dit is het geval als falen van de 'zachte' kade niet leidt tot het initiëren van andere deelfaalmechanismen. In dat geval kan het kombergend volume zodanig verruimd worden dat dit leidt tot significante gevolgen (praktische uitwerking: dat in het achter de kom gelegen gebied 0,30 m water op straat/maaiveld komt te staan). Als falen van de 'zachte' kade wél leidt tot het initiëren van andere deelfaalmechanismen dan kan het kombergend volume niet worden vergroot en is aanscherping dus niet mogelijk. In bijlage C is dit nader uitgewerkt.

- Falen door erosie bodembescherming.  
Indien de faalkans voor *overslag en/of overloop* gedomineerd wordt door het bezwijken van de bodembescherming en het vervolgens bezwijken van het kunstwerk als gevolg van het ontstaan van ontgrondingskuilen kan een nadere analyse worden uitgevoerd. De laatste stap, de kans op het bezwijken van het kunstwerk als gevolg van het ontstaan van ontgrondingskuilen, kent nauwelijks handvatten om deze goed te onderbouwen en wordt dan ook in het WBI 2017 als reststerkte gezien. De omvang van ontgrondingskuilen kan globaal berekend worden, maar de gevolgen van deze ontgrondingskuilen zijn lastiger in te schatten. Middels kwantitatieve (bepaling ontgrondingskuilen) en kwalitatieve analyses kan worden getracht een onderbouwing te vinden voor het meenemen van deze reststerkte.
- Nadere bepaling overslag-/overloopdebiet.  
Indien er slechts een beperkt hoogtetekort is berekend in de gedetailleerde toets dan kan

met behulp van de EurOtop-manual [5] (aan een update wordt momenteel gewerkt) een nauwkeurigere inschatting van het optredende overslag-/overloopdebiet worden bepaald. Specifiek bij constructies met voorlanden en samengestelde constructies kan met de EurOtop-manual een kleiner overslag-/overloopdebiet worden berekend.

- Nadere inschatting van het kritieke debiet.  
Vooral als in de *gedetailleerde toets* gebruik is gemaakt van richtwaarden voor het kritieke debiet kan het kritieke debiet in de *toets op maat* worden aangescherpt. Dit geldt specifiek voor bodembeschermingsconstructies die rechtstreeks worden belast door een overstortende straal. Dit vergt maatwerk waarvoor specialistische kennis omtrent bodembeschermingen vereist is.



### 3 Belastinggevallen en hydraulische belasting

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de hydraulische belastingen en de belastinggevallen die bij het faalmechanisme *overslag en/of overloop* van belang kunnen zijn. Naast hydraulische belastingen spelen andere belastingen geen rol bij dit faalmechanisme.

#### 3.1 Maatgevende belasting

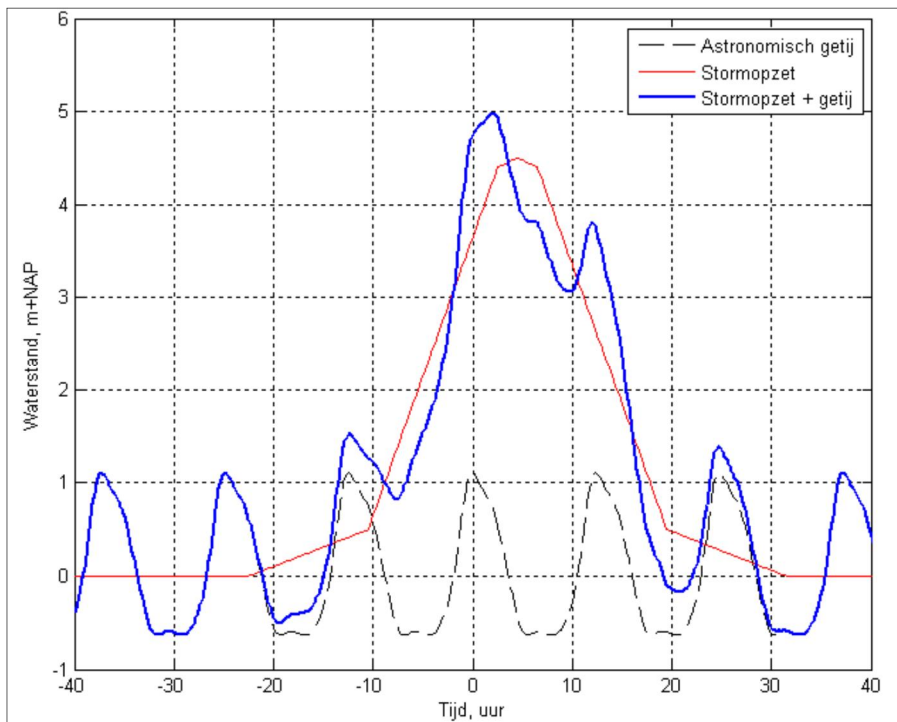
De maatgevende hydraulische belasting is die combinatie van buitenwaterstand en golven, waarbij in het geval van een hoogwaterkerend gesloten kunstwerk, er dusdanig veel water over de keermiddelen en/of de constructie stroomt dat óf het kombergend vermogen wordt overschreden óf de bodembescherming bezwijkt met als gevolg instabiliteit van het kunstwerk. Het gaat altijd om een combinatie van waterstand en golven. Zo kan een hoge waterstand met kleine golven een veel kleiner overslag-/overloopdebiet geven dan een lagere waterstand met hele hoge golven. Langsstroming speelt geen rol bij dit faalmechanisme.

#### 3.2 Hydraulische Belastingen

De Hydraulische belastingen (HB) zijn gerelateerd aan de wettelijke veiligheidsnorm met betrekking tot overstroming, zoals die is vastgelegd in de Waterwet. In deze wet is de veiligheidsnorm voor de primaire waterkeringen vastgelegd als de toelaatbare overstromingskans per jaar van een door een dijktraject beschermd gebied. Vanuit deze overstromingskansnorm zijn waarden af te leiden voor de buitenwaterstand en bijbehorende golfparameters die in de toets gebruikt worden. Daarnaast moet er een doorsnede-eis bepaald worden op basis van het faalkansbudget en lengte-effect voor dit toetsspoor, zie Bijlage III Sterkte & Veiligheid paragraaf 17.2. Aangezien de hydraulische belastingen reeds in de ter beschikking gestelde software Ringtoets zijn opgenomen, is een uitgebreide schematisering niet aan de orde.

De duur en het tijdsverloop van zowel de golfbelasting als de buitenwaterstand is bij het toetsspoor *hoogte kunstwerk* van belang, aangezien dit mede bepaalt hoeveel water er gedurende een hoogwatergolf over het gesloten kunstwerk naar binnen kan stromen. Dit volume van instromend water is van belang om te kunnen beoordelen of het kombergend vermogen wordt overschreden.

Het verloop van een hoogwater is afhankelijk van het watersysteem waarvan het kunstwerk deel uitmaakt. Zo is het verloop van een hoogwatergolf in het benedenrivierengebied anders dan dat van een hoogwatergolf langs de kust. In Figuur 3-1 is ter illustratie voor het benedenrivierengebied (kustgebied) een standaard verloop van een hoogwatergolf weergegeven, waarbij ook de invloed van het getij is meegenomen. Deze grafiek is afkomstig uit [18].



Figuur 3-1 Voorbeeld waterstandsverloop in de tijd voor een specifieke locatie langs de kust (bron: [18])

De invloed van het hoogwaterverloop op het instromende volume kan in de analyses alleen worden meegenomen door aanpassing van de parameter 'stormduur'. In paragraaf 7.5.5 worden hiervoor handvatten gegeven.

### 3.3

#### Belastinggevallen

Bij het faalmechanisme *overslag en/of overloop* is het optredende overslag-/overloopdebiet afhankelijk van een combinatie van buitenwaterstand en golven. Dit overslag-/overloopdebiet leidt tot een belasting van de achterliggende bodembescherming en het aanwezige kombergende vermogen. Indien het faalcriterium dat hoort bij één van deze twee deelfaalmechanismen wordt overschreden, is sprake van falen van het kunstwerk.

De belasting op de bodembescherming dan wel op de komberging wordt veroorzaakt door het overslag-/overloopdebiet over het kunstwerk én de geometrie van het kunstwerk. Zo leidt een groot overslag-/overloopdebiet bij een smal kunstwerk tot een beperkt instroomvolume en hiermee beperkte belasting van de komberging. Daarentegen kan een relatief klein overslag-/overloopdebiet toch tot bezwijken van de bodembescherming leiden als het natte oppervlak ter plaatse van de bodembescherming klein is.

## 4 Inventarisatie beschikbare gegevens

De inventarisatie van beschikbare gegevens bestaat in hoofdzaak uit het verzamelen van gegevens omtrent hydraulische belastingen (zie vorige paragraaf), geometrie, komberging, en bodembescherming. Hierop wordt in onderstaande paragrafen nader ingegaan.

### 4.1 Geometrie kunstwerk

Zowel voor de bepaling van het overslag-/overloopdebiet als voor de bepaling van het kritieke debiet is informatie nodig over:

- A. Hoogte en breedte van de hoogwater kerende keermiddelen.
  - B. (eventueel) Hoogte en breedte van aangrenzende constructiedelen.
  - C. Horizontaal en verticaal verloop van de doorstroomopeningen achter de hoogwater kerende keermiddelen.
- ad. A. De kerende hoogte van de hoogwater kerende keermiddelen en aangrenzende waterkerende constructiedelen bepaalt het overslag-/overloopdebiet dat per strekkende meter over het hoogwaterkerend gesloten kunstwerk naar binnen stroomt. De breedte van de hoogwater kerende delen van het kunstwerk bepaalt vervolgens het totale debiet dat over het hoogwaterkerend gesloten kunstwerk naar binnen stroomt. De kerende hoogte en breedte van de keermiddelen en aangrenzende constructiedelen kan bepaald worden vanaf tekening of door meting in het veld.
- ad. B. Aangrenzende constructiedelen waarvan het overslaand/overlopend water ook achter het kunstwerk terecht komt en hiermee de bodembescherming of de komberging belast dienen eveneens in de beschouwing betrokken te worden.
- ad. C. Het natte oppervlak ter plaatse van de bodembescherming bepaalt vervolgens de stroomsnelheid boven de bodembescherming. Hierbij moet ook de geometrie bekend zijn; abrupte verwijdingen of verdiepingen kunnen ervoor zorgen dat niet het hele natte oppervlak mag worden meegenomen bij de bepaling van de optredende stroomsnelheid boven de bodembescherming.

De meest aangewezen bron van informatie is de constructietekening. Dit kan een ontwerptekening, bestekstekening of (bij voorkeur) revisietekening zijn. Ook in bestekken en ontwerprapporten kan relevante informatie omtrent het kunstwerk worden teruggevonden.

#### *Omgang met gebrek aan gegevens*

Als geen tekeningen of ontwerpdocumenten beschikbaar zijn dan kunnen de afmetingen van de keermiddelen en de relevante constructiedelen meestal eenvoudig worden opgemeten.

### 4.2 Gegevens bodembescherming

Als gevolg van overslag en/of overloop kan water over het gesloten kunstwerk naar binnen stromen. Als gevolg hiervan wordt de bodembescherming aan de binnenzijde belast. Afhankelijk van het type en de opbouw van de bodembescherming is de kritieke stroomsnelheid verschillend. Door gegevens omtrent de bodembescherming in te winnen, kan een uitspraak worden gedaan over deze kritieke stroomsnelheid.

Gegevens omtrent de bodembescherming kunnen worden ingewonnen middels tekeningen en bestekken/ontwerprapporten, maar ook via het uitvoeren van inspecties. Met deze laatste stap wordt niet alleen een beeld verkregen over de opbouw van de bodembescherming, maar ook over de actuele staat van deze bodembescherming. Het kennen/onderbouwen van de actuele

conditie van de bodembescherming is voorwaarde om met de aanwezigheid van een bodembescherming rekening te mogen houden. Aandachtspunten bij een inspectie zijn vooral:

- Opbouw bodembescherming  
Type, lengte en breedte van de bodembescherming. Met name de sortering en dikte van de toplaag is van belang. Met deze gegevens omtrent de bodembescherming kan met behulp van modellen een kritieke stroomsnelheid worden bepaald. Bepaling van deze stroomsnelheid vindt buiten Ringtoets plaats.
- Conditie bodembescherming  
Ontbreken er stenen of zijn er kuilen in de bodembescherming waarneembaar?
- Aansluiting op het kunstwerk  
Is de aansluiting op de bodem van het kunstwerk nog intact?
- Beëindiging van de bodembescherming  
In hoeverre is de beëindiging van de bodembescherming nog intact. Is er sprake van een overgangsconstructie en zijn er sporen van erosie zichtbaar.

Voor de beoordeling is het van belang om een goed beeld te krijgen van de ontwikkeling in de tijd van de conditie van de bodembescherming (het tempo van eventuele veroudering/degradatie). Daarom verdient het aanbeveling de bodembescherming periodiek te inspecteren. Door de ontwikkeling in de tijd te monitoren ontstaat een beter beeld van de eventuele afname van de sterkte van de bodembescherming. Veelal ontbreken echter inspectierapporten van de bodembescherming en is alleen van tekening bekend welke bodembescherming destijds is aangelegd. Het is dan aan de beheerder om een inschatting te maken van de kans op substantiële schade aan de bodembescherming. Hierbij kan een relatie worden gelegd tussen de kritieke stroomsnelheid van de bodembescherming en de te verwachten maximale belasting als gevolg van het dagelijks gebruik vanuit de functie van het kunstwerk. Bij een kunstwerk waarbij de bodembescherming robuust is ontworpen en aangelegd en waarbij de belasting naar verwachting weinig fluctueert (bijvoorbeeld een uitwateringssluits die automatisch sluit bij een zeker peilverschil) mag ervan uit worden gegaan dat de bodembescherming nog nagenoeg intact zal zijn. Hier kan dus worden uitgegaan van de bodembescherming die op tekening is aangegeven. Bij een schutsluis daarentegen waarbij de motorvermogens van de passerende schepen in de loop der tijd fors zijn toegenomen is dit veel minder zeker. Hier is het raadzaam om gegevens in te winnen en anders het kritieke debiet waarmee in de toets wordt gerekend relatief klein aan te houden.

Indien er helemaal geen gegevens omtrent de bodembescherming voorhanden zijn, dient te worden uitgegaan van het afwezig zijn van een (intact zijnde) bodembescherming. Dit heeft tot gevolg dat de grondsoort achter het kunstwerk direct van belang wordt. De kritieke snelheid moet dan worden gerelateerd aan deze grondsoort. Hiervoor zijn richtgetallen beschikbaar (zie Tabel 7-).

Een scherper toetsoordeel kan wellicht worden verkregen door de sterkte van de grondslag onder de bodembescherming mee te nemen in de betrouwbaarheidsanalyse. Dit valt echter buiten de *gedetailleerde toets*. In de *toets op maat* kan eventueel naar dit aspect worden gekeken.

Van de onderhoudstoestand van de bodem(bescherming) achter het kunstwerk kan ook indirect een beeld worden gevormd door het uitvoeren van lodingen. Indien deze lodingen ontgrondingskuilen in de nabijheid van het kunstwerk laten zien, is het duidelijk dat sprake is van erosie van de bodem(bescherming). Het omgekeerde geldt natuurlijk evenzeer, indien de



lodingen geen ontgrondingskuilen in de nabijheid van het kunstwerk laten zien dan kan ervan worden uitgegaan dat de bodembescherming nog aanwezig is. Deze gegevens kunnen ook worden toegepast in de beschouwingen.

#### 4.3

##### **Gegevens komberging**

Als gevolg van overslag en/of overloop kan water over het gesloten kunstwerk naar binnen stromen. Als gevolg hiervan wordt de komberging achter het kunstwerk belast/aangesproken. Hoeveel water in de komberging achter het kunstwerk kan worden toegelaten dient te worden bepaald. Hiertoe is het vergaren van enkele gegevens benodigd. Als het op voorhand al duidelijk is dat komberging geen rol van betekenis speelt, kan het verzamelen van de benodigde gegevens in eerste instantie achterwege worden gelaten. In paragraaf 6.3 wordt aangegeven hoe bepaald kan worden of voor het kombergend vermogen gegevens ingezameld moeten worden.

Afhankelijk van de situatie dienen de volgende gegevens in meer of minder uitgebreide vorm te worden verzameld:

- Oppervlakte van de komberging.  
De kom kan bestaan uit een achter het kunstwerk liggende vaarweg, maar ook uit een stelsel van watergangen en waterbergingen. Het totale (water-)oppervlak dat voor komberging beschikbaar is, dient inzichtelijk te worden gemaakt. In eerste instantie kan worden volstaan met een veilige inschatting, met name in die situaties waarin de komberging bestaat uit een gevarieerde verzameling van watergangen en waterpartijen.
- Streefpeil en kritiek peil van het achterliggende (vaak regionale) watersysteem.  
Het verschil tussen deze peilen bepaalt de waterstijging die in het achterland mag plaatsvinden, voordat significante gevolgen<sup>3</sup> optreden. Met het oog hierop betreft het kritieke binnenpeil die waterstand die leidt tot significante gevolgen in het achterliggende watersysteem dan wel gebied. Dit wordt in bijlage C nader uitgewerkt. Opgemerkt wordt dat er in de praktijk niet altijd een uitgebreide veiligheidsanalyse beschikbaar is van de keringen langs de kom. In dat geval moet een onderbouwde schatting worden gemaakt van het peil dat deze keringen kunnen keren. Een belangrijk aandachtspunt is dat het kritieke peil gezien moet worden in het licht van de overstromingskansbenadering. Een kritiek binnenpeil dat gekoppeld is aan overlast (en niet aan 'significante gevolgen') is niet acceptabel als dit leidt tot de score 'voldoet niet' voor het toetsspoor hoogte kunstwerk. Als eerste conservatieve benadering kan hier uiteraard wel gebruik van worden gemaakt.
- Watertoevoer vanuit het achterland.  
Bij een gesloten kunstwerk kan het zijn dat vanuit het achterland water wordt aangevoerd dat op dat moment niet geloosd kan worden. Dit water reduceert de komberging die voor overslag en/of overloop beschikbaar is. Een inschatting van deze aanvoer van water dient door de beheerder te worden vastgesteld. Het gebruik van ervaringsgegevens uit eerdere hoogwaters is zinvol.
- Wateraanvoer en -afvoer door gemalen.  
Aanwezigheid en inzet van gemalen die gedurende een hoogwater water op de

---

<sup>3</sup> Voor instroming bij kunstwerken wordt binnen het WBI de volgende definitie van 'significante gevolgen' gehanteerd: *tenminste 10 miljoen euro schade en/of tenminste 1 slachtoffer. Als praktisch criterium wordt aangesloten bij de nieuwe Grondslagen: minimaal 0,20 m water in tenminste één postcodegebied*

kom lozen, dan wel water vanuit de kom op het buitenwater lozen. In sommige gevallen geldt een maalstop boven een bepaald peil.

- Verloop van de hoogwatergolf in de tijd.  
Dit gegeven is nodig om in het instrumentarium een schatting van de stormduur te kunnen invullen. Gegevens hiervoor kunnen worden gevonden in *WBI 2017 Bijlage II, Hydraulische belastingen*.

#### 4.4 Gegevens veldbezoek / inspectie

##### 4.4.1 Veldbezoek

Voorafgaand aan de beoordeling van een kunstwerk dient een veldbezoek plaats te vinden. Ook in het kader van *overslag en/of overloop* is dit van belang. Het veldbezoek kan worden gebruikt voor de volgende punten:

- Verificatie/vaststellen van locatie en dimensies (hoogte en breedte) van de hoogwater kerende keermiddelen en waterkerende constructiedelen in relatie tot informatie uit tekeningen en berekeningen.
- Eventuele eenvoudig uit te voeren metingen (afmetingen doorstroomopeningen etc.).
- Omgeving van het kunstwerk en situatie van het achterland. Hiermee kan een indruk worden verkregen in de eerste gevolgen bij falen van het kunstwerk.
- Visuele waarneming van eventuele bodembeschermingen voor zover mogelijk. Vooral op de taluds kan soms de aanwezige bodembescherming worden waargenomen.

Aanbevolen wordt een verslag van het veldbezoek toe te voegen aan de rapportage van de beoordeling van het kunstwerk.

##### 4.4.2 Inspectie, beheer en onderhoud

Uitgangspunt voor de toets is dat de beheerder middels inspectieresultaten inzicht heeft in de actuele conditie van (onderdelen) van het kunstwerk. Indien deze inspectiegegevens niet voorhanden zijn dient de actuele staat aan de hand van een eenvoudige visuele inspectie tijdens het veldbezoek te worden vastgesteld. Bij de beoordeling dient daar waar twijfels zijn over de staat van het kunstwerk te worden uitgegaan van conservatieve waarden.

Het kan nodig zijn om het kunstwerk aanvullend te inspecteren indien dit recentelijk niet is uitgevoerd. Met behulp van deze inspectiegegevens kunnen aanvullende gegevens worden verzameld en een onderbouwde uitspraak worden gedaan over de conditie van de diverse onderdelen van het kunstwerk. Bij het toetsspoor *hoogte kunstwerk* zijn overwegend gegevens omtrent de keermiddelen en de bodembescherming van belang. Als er geen onderbouwd inzicht is in de actuele staat van met name de bodembescherming dan kan de beoordeling in eerste instantie met conservatieve waarden worden uitgevoerd. Bij het vervolgens 'niet voldoen' van het kunstwerk met betrekking tot *overslag en/of overloop* dienen dan in de *gedetailleerde toets* alsnog inspecties te worden uitgevoerd waarmee een aanscherping van het oordeel mogelijk wordt.

## 5 Vakindeling

Voor kunstwerken is er, in tegenstelling tot alle toetssporen betreffende dijken en duinen, geen vakindeling. Die is niet van toepassing bij het schematiseren van kunstwerken; ieder kunstwerk wordt (binnen Ringtoets) als apart vak gedefinieerd. Samengestelde kunstwerkcomplexen (bijvoorbeeld sluizencomplexen) worden hierbij ontleed, waarbij ieder kunstwerk waar mogelijk apart getoetst wordt. De samenhang tussen de onderdelen (bijvoorbeeld een gedeeld kwelscherm) dient hierbij niet uit het oog te worden verloren.

Grote samengestelde kunstwerkcomplexen vallen onder een toets op maat.

1. De aanname onafhankelijk falen van vakken/deelkunstwerken kan veel te optimistisch zijn, aanname afhankelijk falen veel te pessimistisch. Een goede onderbouwing en verdiscontering van de mate van afhankelijk falen is daarom nodig.
2. Bij kombergingsfalen kunnen afzonderlijke vakken/deelkunstwerken weliswaar afzonderlijk voldoen aan het kombergingscriterium, maar bij voldoende afhankelijk falen het gecombineerd falen niet omdat dan de schadedrempel wél wordt overschreden.



## 6 Schematisering

De schematisering van het faalmechanisme *overslag en/of overloop* in het toetsspoor *hoogte kunstwerk* kent een aantal stappen die in stap 1 tot en met 6 in Figuur 2-3 zijn weergegeven. In dit hoofdstuk wordt het proces van schematisering nader beschreven. De benodigde gegevens zijn inmiddels verzameld (zie hoofdstuk 4).

Een uitgebreide handleiding met betrekking tot schematisering van de parameters is in het hierna volgende hoofdstuk opgenomen.

Algemeen geldt nog dat bij het schematiseren onderstaand principe van toepassing is:

*Bij het schematiseren wordt over het algemeen aanbevolen om in stappen van grof naar fijn te werken. Daarbij geldt dat als bij een stap voldaan wordt aan de faalkanseis die aan het beschouwde faalmechanisme wordt gesteld, een volgende verfijnende stap niet nodig is. In de eerste stappen is er sprake van grote onzekerheden welke leiden tot relatief grote faalkansen. In vervolgstappen worden onzekerheden gereduceerd waardoor een scherper beeld van de overstromingskans wordt verkregen. Deze werkwijze leidt ertoe dat in de meeste gevallen de eerste analyses een pessimistischer (conservatiever) beeld geven dan vervolganalyses.*

### 6.1 Schematisering geometrie voor bepaling optredend overslag-/overloopdebiet

Als gevolg van overslag en/of overloop kan water over het gesloten kunstwerk naar binnen stromen. In hoeverre het overslag-/overloopdebiet leidt tot overstromingsgevolgen is afhankelijk van de sterkte van de bodembescherming direct achter het kunstwerk en het kombergend vermogen van het achterliggende watersysteem.

De bepaling van het optredende overslag-/overloopdebiet vindt in Ringtoets plaats aan de hand van de formules uit de Leidraad Kunstwerken [12] voor een verticale wand. In [3] is de achtergrondinformatie omtrent dit model opgenomen. De benodigde hydraulische belastingen worden door het programma zelf gegenereerd. Dat betekent dat ter bepaling van het optredende overslag-/overloopdebiet alleen de hoogte van het hoogwater kerende keermiddel en/of de constructie ingevoerd hoeft te worden.

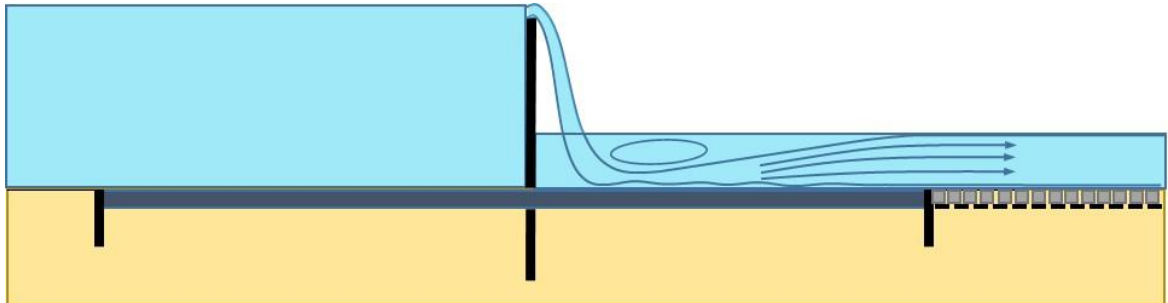
Het optredende overslag-/overloopdebiet dat wordt berekend betreft het debiet per strekkende meter. Door vermenigvuldiging met de breedte van de keermiddelen wordt het totale debiet berekend dat door overslag en/of overloop over het kunstwerk stroomt. De breedte van de keermiddelen en/of de constructie moet daarom ook worden ingevoerd in Ringtoets.

### 6.2 Schematisering bodembescherming voor bepaling kritiek debiet

Het overslag-/overloopdebiet leidt tot een (al dan niet pulserende) straal over de keermiddelen en/of de constructie van het kunstwerk. Deze straal kan tot twee verschillende belastingssituaties leiden voor de bodembescherming:

1. De bodembescherming wordt belast door een overtrekkende stroming.  
Dit komt het meeste voor en betreft de situatie dat de overstortende straal in een waterlaag achter de keermiddelen terecht komt. Vaak vindt dit plaats binnen de contouren van het betonwerk van de constructie, waarna de overstortende straal zich spreidt over het natte oppervlak van het kunstwerk. Ter plaatse van de bodembescherming wordt de bodembescherming dan alsnog belast door een

overtrekkende stroming met een overwegend 2-dimensionaal stromingsbeeld (zie Figuur 6-1).



Figuur 6-1 Overstortende straal binnen contouren betonwerk

2. De overstortende straal belast rechtstreeks de bodembescherming.  
Dit is het geval als de bodembescherming zich direct achter de keermiddelen bevindt.

Om de sterkte van de bodembescherming in Ringtoets te kunnen invoeren dient er enige pre-processing plaats te vinden buiten Ringtoets om. Ten eerste moet de kritieke stroomsnelheid van de bodembescherming bepaald worden. De belastingsituatie bepaalt welke modellen gebruikt kunnen worden om de kritieke stroomsnelheid te bepalen. Voor meer achtergrondinformatie hieromtrent wordt verwezen naar het *Achtergrondrapport bepaling kritiek overslag-/overloop-/instroomdebiet bij kunstwerken* [4].

#### *Belastingsituatie 1: overtrekkende stroming*

Voor de eerste belastingsituatie, belasting door overtrekkende stroming, geldt het volgende. Vanuit de kritieke stroomsnelheid van de bodembescherming kan met behulp van de waterdiepte aan de binnenzijde een kritiek debiet per strekkende meter worden bepaald. Om vanuit dit kritieke debiet per strekkende meter een kritiek overslag-/overloopdebiet te kunnen bepalen moet een stroomvoerende breedte worden meegegeven aan het model. De volgende stappen worden genomen om Ringtoets te voeden met de diverse parameters.

- I. Bepaal de locaties waar de bodembescherming verandert of waar significante overgangen van het doorstroomprofiel optreden.  
De bodembescherming strekt zich uit over meerdere meters achter een kunstwerk. Aangezien het doorstroomprofiel achter een kunstwerk kan variëren door de aanwezigheid van vleugelwanden en het profiel van de achterliggende watergang, kan op verschillende locaties van de bodembescherming een analyse worden uitgevoerd. Voorbeelden van belangrijke locaties zijn:
  - De aansluiting direct tussen bodembescherming en constructie van het kunstwerk.
  - De aansluiting van bodembescherming op grond in de achterliggende watergang.
  - Overgangen tussen verschillende typen bodembeschermingen.

Elke locatie kan een andere kritieke stroomsnelheid bezitten (als de bodembescherming ten minste varieert over de lengte ervan) en/of een andere stroomvoerende breedte.

- II. Bepaal per locatie de kritieke stroomsnelheid  $u_c$  [m/s].  
De sterkte van de bodembescherming wordt in eerste instantie bepaald door de kritieke stroomsnelheid. Dat is de stroomsnelheid waarbij er doorgaande erosie van de

bodembescherming optreedt. Deze kritieke stroomsnelheid dient buiten Ringtoets te worden bepaald. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de diverse modellen (Izbash, Shields, Pilarczyk) die buiten Ringtoets in de literatuur beschikbaar zijn om de sterkte van bodembeschermingen te bepalen. Voor meer informatie wordt verwezen naar het *Achtergrondrapport bepaling kritiek overslag-/overloop-/instroomdebiet bij kunstwerken* [4].

- III. Bepaal per locatie het kritieke debiet per strekkende meter ( $q_c$  [ $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ ]). Door vermenigvuldiging van de kritieke stroomsnelheid met de waterhoogte aan de binnenzijde wordt het kritieke debiet voor de bodembescherming gevonden. Ook deze stap dient buiten Ringtoets plaats te vinden. Zie paragraaf 7.3.1.
- IV. Bepaal per locatie de stroomvoerende breedte van de bodembescherming ( $B_{sv}$  [ $\text{m}$ ]). Per locatie van de bodembescherming kan de stroomvoerende breedte anders zijn. Deze dient dus per locatie te worden bepaald, waarbij rekening wordt gehouden met het verloop van de achterliggende watergang, het stromingsbeeld van het overslag-/overloopdebiet achter de keermiddelen en eventuele vleugelwanden. Zie paragraaf 7.3.2.
- V. Bepaal per locatie het totale kritieke debiet ( $Q_c$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]). Deze stap kan worden overgeslagen indien slechts op één locatie de bodembescherming wordt beschouwd. Door vermenigvuldiging van het kritieke debiet per strekkende meter met de stroomvoerende breedte wordt het totale kritieke debiet per locatie bepaald. Deze stap dient buiten Ringtoets te worden uitgevoerd. Uiteindelijk dient de kleinste waarde van het totale kritieke debiet te worden ingevoerd in Ringtoets.

#### *Belastingsituatie 2: overstortende straal*

In geval van een overstortende straal volgt het kritieke debiet per strekkende meter direct uit hetzij richtgetallen dan wel uit een eenvoudig model. Hiervoor wordt verwezen naar hoofdstuk 3 van het *Achtergrondrapport bepaling kritiek overslag-/overloop-/instroomdebiet bij kunstwerken* [4]. Dit debiet wordt dan vermenigvuldigd met de stroomvoerende breedte van de bodembescherming; deze zal veelal hetzelfde zijn als de breedte van de keermiddelen.

#### *Reststerkte*

Nadat de bodembescherming is geërodeerd is er nog sprake van reststerkte omdat eerst nog ontgrondingskuilen moeten ontstaan en vervolgens het kunstwerk nog instabiel moet worden. Deze reststerkte kan in Ringtoets worden ingebracht middels een parameter 'kans bezwijken kunstwerk als gevolg van erosie bodem' (zie paragraaf 7.4). Handvatten voor toepassing van deze parameter worden in paragraaf 7.4.1 gegeven. Uitgangspunt is dat in de *gedetailleerde toets* altijd een waarde van '1' voor deze parameter wordt ingegeven. Aanscherpingen vinden in principe alleen in de *toets op maat* plaats.

## 6.3

### **Schematisering komberging**

Het kombergend volume wordt in Ringtoets gemodelleerd door waarden op te geven voor het kombergend oppervlak ( $A_{kom}$  [ $\text{m}^2$ ]), de kritieke peilstijging in het kombergingsgebied ( $\Delta h_{kom}$  [ $\text{m}$ ]) en de duur van de hoge waterstanden door rivierafvoer, meerpeil en/of storm ( $t_s$  [ $\text{uur}$ ]). Geadviseerd wordt de schematisering in eerste instantie globaal uit te voeren, waarbij het wel duidelijk is dat het een conservatieve benadering is.

Het kombergend oppervlak en de kritieke peilstijging kunnen direct worden verkregen uit de gegevensinzameling (zie paragraaf 4.3). Met betrekking tot schematisering van de situatie wordt verwezen naar de specifieke parameterbeschrijving in paragraaf 7.5.

Overigens kan voor het toetsspoor *hoogte kunstwerk* de komberging vaak op voorhand als zijnde niet maatgevend bestempeld worden. Dit is bijvoorbeeld het geval als achter het kunstwerk een watergang aanwezig is waarvan de boorden op of beneden het omringende maaiveld liggen met daarachter een groot, vlak gebied. In dat geval treedt bij het overschrijden van de boorden in eerste instantie wateroverlast op, maar zijn significante (overstromings)gevolgen pas te verwachten bij een zeer aanzienlijk instromend watervolume. De kans op overschrijding van het kombergend vermogen (een dusdanige instroming dat significante gevolgen optreden) is in dat geval relatief klein.

Als het kombergend vermogen niet maatgevend is dan kan dit gemodelleerd worden door voor het kombergend vermogen hele grote waarden in te voeren die niet direct kwantitatief hoeven te worden onderbouwd<sup>4</sup>. Voor de bodembescherming dient gewerkt te worden met sterkteparameters die de sterkte van de bodembescherming realistisch beschrijven. Middels de uitkomsten van de analyse met Ringtoets dient achteraf geverifieerd te worden of de komberging inderdaad niet maatgevend is ten opzichte van de bodembescherming. Indien dit niet het geval is, moeten de waarden voor de komberging zodanig worden aangepast, totdat komberging inderdaad niet het maatgevende deelfaalmechanisme is.

#### 6.4

##### Analyse van de uitkomsten

Nadat Ringtoets is gevoed met de juiste parameters kan een faalkans worden uitgerekend. In het schema in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is aangegeven welke stappen genomen kunnen worden nadat een berekening met Ringtoets is uitgevoerd. Hieronder volgt een toelichting.

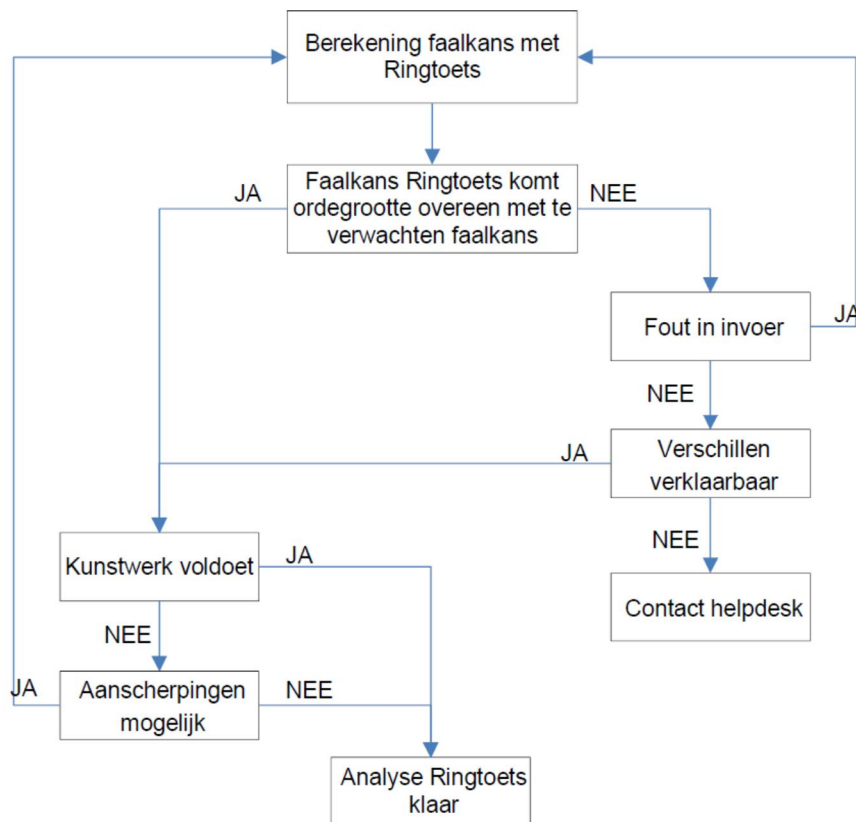
Bij het faalmechanisme *overslag en/of overloop* wordt aanbevolen altijd een eenvoudige handmatige berekening te maken om de verwachte faalkans te berekenen. Tevens kan Hydra-NL gebruikt worden om een controleberekening te maken. Een groot verschil tussen de faalkans uit Ringtoets en de verwachte faalkans kan duiden op de aanwezigheid van fouten. De verwachte faalkans is die faalkans die de toetser op basis van de invoer verwacht. Bij onverwachte uitkomsten kunnen onder andere de volgende vragen worden gesteld:

- Is de juiste invoer in Ringtoets opgegeven? Dit kan betrekking hebben op bijvoorbeeld een typefout.
- Zijn de waarden van stochastische variabelen in het ontwerppunt van de faalkansberekening conform verwachting (zie paragraaf 6.1)? Als dit niet zo is, kan dit duiden op bijvoorbeeld non-convergentie van de probabilistische berekening.

---

<sup>4</sup> Aanbevolen wordt in dit geval voor de kritieke peilverhoging 10 m aan te houden en voor het kombergend oppervlak  $10^{10} \text{ m}^2$ . Zodoende kan direct in de invoerdata bases worden gezien waar komberging als niet maatgevend is aangenomen.





Figuur 6-2 Analyse uitkomsten berekening Ringtoets

Als fouten zijn geconstateerd, moeten deze worden hersteld en moet opnieuw een berekening met Ringtoets worden uitgevoerd.

Indien het verschil verklaarbaar is na nadere analyse van de faalkans en de waarden in het berekende ontwerppunt, dan kan het normale proces weer worden gevolgd. Als het verschil niet kan worden verklaard, kan contact worden opgenomen met de Helpdesk Water.

Indien de berekende faalkans correct is berekend en voldoende klein is, voldoet het kunstwerk en is een verdere analyse met Ringtoets niet meer nodig. Als de berekende faalkans aangeeft dat niet aan de eisen wordt voldaan, kan in toetslaag 2 middels aanscherpingen getracht worden om de faalkans nader te bepalen. Wanneer aanscherpen in toetslaag 2 niet meer mogelijk is, is het resultaat van deze toetslaag dat het kunstwerk niet voldoet ten aanzien van overslag en/of overloop.



## 7 Overzicht parameters per deelfaalmechanisme

Dit hoofdstuk geeft aanwijzingen voor de waardebepaling van de relevante parameters. Per parameter wordt aangegeven wat de parameter precies inhoudt; hoe de waarde kan worden bepaald, wat aandachtspunten zijn et cetera. Daarnaast wordt een voorbeeld gegeven.

### 7.1

#### Overzichtstabel modelparameters

Per parameter worden in Tabel 6-3 een aantal standaardgegevens gepresenteerd. Er is aangegeven welke gegevens door de gebruiker kunnen worden aangepast. Een lijn onder een gegeven betekent dat dit gegeven door de gebruiker kan worden aangepast. In Tabel 6-4 zijn de statistische parameters die gebruikt zijn in Tabel 6-3 nader toegelicht.

**Tabel 7-1 Toelichting gegevens vermeld bij parameters**

symbol	eenheid	type	$\mu$	$V_r$ of $\sigma$	$\Delta_x$	$\rho_x$	$\Delta_t$	$\rho_t$	paragraaf
$q_c$	[m <sup>3</sup> /s/m]	logn	<u>Invoer</u>	<u><math>V_r=0,15</math></u>	KW	0	-	1	7.3.1
$B_{sv}$	[m]	logn	<u>Invoer</u>	<u><math>\sigma=0,05</math></u>	KW	0	-	1	7.3.2
$m_{os}$	[-]	logn	0,09	$\sigma=0,06$	KW	0	-	1	7.3.4
$h_{kr}$	[m+NAP]	nor	<u>invoer</u>	<u><math>\sigma=0,05</math></u>	KW	0	-	1	7.3.5
$\gamma_n$	[-]	det	<u>invoer</u>	-	KW	0	-	1	7.3.6
$\psi_{kw}$	[°]	det	<u>invoer</u>	-	KW	0	-	1	7.3.7
$m_{ol}$	[-]	nor	<u>1,1</u>	$\sigma=0,03$	KW	0	-	1	0
$B$	[m]	nor	<u>invoer</u>	<u><math>\sigma=0,05</math></u>	KW	0	-	1	7.3.9
$P_{f,kw erosie\ bodem}$	[-]	det	<u>1,0</u>	-	KW	1	-	1	7.4.1
$m_{kom}$	[-]	logn	1,0	$\sigma=0,20$	KW	0	-	1	7.5.1
$A_{kom}$	[m <sup>2</sup> ]	logn	<u>Invoer</u>	<u><math>V_r=0,10</math></u>	KW	0	-	1	7.5.2
$\Delta h_{kom}$	[m]	logn	<u>Invoer</u>	<u><math>\sigma=0,10</math></u>	KW	0	-	1	7.5.3
$m_{in}$	[-]	det	1,0	-	-	-	-	1	7.5.4
$t_s$	[uur]	logn	<u>6</u>	$V_r=0,25$	KW	1	-	0	7.5.5

**Tabel 7-1 Toelichting statistische gegevens vermeld bij parameters in Tabel 6-3**

Gegeven	Toelichting
type	Geeft aan of de parameter een stochast is of een determinist. Indien het een stochast is wordt het type kansverdeling aangegeven. De volgende aanduidingen kunnen voorkomen: det determinist nor normale verdeling logn lognormale verdeling
$\mu$	Gemiddelde waarde van de parameter. Indien de parameter een determinist is, is dit de deterministische waarde. Indien deze parameter geen standaardwaarde kent, wordt dit aangegeven middels het woordje 'invoer', anders wordt de standaardwaarde vermeld. <b>Opletten: Bij een lognormale verdeling heeft de gemiddelde waarde betrekking op de lognormale verdeling zelf en niet op de onderliggende normale verdeling zoals dat bijvoorbeeld in Excel het geval is.</b>
$V_r$	Variatiecoëfficiënt van de parameter. Alleen van toepassing bij een stochast. Er zijn standaardwaarden gegeven. Deze mogen alleen worden aangepast indien dit wordt onderbouwd. <b>Opletten: Bij een lognormale verdeling heeft de spreiding betrekking op de lognormale verdeling zelf en niet op de onderliggende normale verdeling zoals dat bijvoorbeeld in Excel het geval is.</b>
$\sigma$	Standaardafwijking van de parameter. Alleen van toepassing bij een stochast. Er zijn standaardwaarden gegeven. Deze mogen alleen worden aangepast indien dit wordt onderbouwd. <b>Opletten: Bij een lognormale verdeling heeft de spreiding betrekking op de lognormale verdeling zelf en niet op de onderliggende normale verdeling zoals dat bijvoorbeeld in Excel het geval is.</b>
$\Delta_x$	Correlatielengte voor de ruimtelijke spreiding. Omdat kunstwerken worden gemodelleerd als puntobjecten, is hier voor stochastische variabelen die betrekking hebben op het beschouwde kunstwerk geen waarde ingevuld. Dit kan niet door gebruiker worden aangepast.
$\rho_x$	Ondergrens van de correlatiecoëfficiënt met betrekking tot ruimtelijke spreiding. De waarde kan niet door gebruiker worden aangepast.
$\Delta_t$	Correlatietijdsduur voor variaties in de tijd. De waarde kan niet door de gebruiker worden aangepast
$\rho_t$	Ondergrens van de correlatiecoëfficiënt met betrekking tot variaties in de tijd. De waarde kan niet door gebruiker worden aangepast

## 7.2

### Veiligheidseisen

De faalkanseis per doorsnede die aan een toetsspoor wordt gesteld luidt:

$$P_{eis,kw} = \frac{\omega P_{eis}}{N_{dsn}} \quad 7-1$$

Waarin:

$P_{eis,kw}$	Faalkanseis per kunstwerk [1/jaar].
$P_{eis}$	Norm van het dijktraject [1/jaar].
$\omega$	Faalkansruimte voor het betreffende toetsspoor [-].
$N_{dsn}$	Lengte-effectfactor voor een kunstwerk [-].

Voor de faalkansruimte ( $\omega$ ) geldt voor het toetsspoor hoogte kunstwerk 0,24. De waarde voor de lengte-effectfactor  $N_{dsn}$  voor puntconstructies is voor het toetsspoor hoogte kunstwerk gelijk aan de waarde voor het toetsspoor Grasbekleding erosie kruin en binnentalud en wordt gegeven in de Schematiseringshandleiding grasbekleding.

## 7.3

### Deelfaalmecanisme Z<sub>11</sub>: bezwijken bodembescherming

De bodembescherming achter de constructie faalt als de kritieke stroomsnelheid van de bodembescherming wordt overschreden. Deze kritieke stroomsnelheid hoort bij een bepaald kritiek debiet  $q_c$  dat berekend kan worden door de stroomsnelheid te vermenigvuldigen met de binnenwaterstand. Dit kritieke debiet per strekkende meter [ $m^3/s/m$ ] wordt vermenigvuldigd met de stroomvoerende breedte  $B_{sv}$  ter plaatse van de bodembescherming om het totale kritieke debiet  $Q_c$  [ $m^3/s$ ] te berekenen. Dit is de 'sterktekant' van het deelfaalmecanisme Z<sub>11</sub> welke er in formulevorm uit ziet als:

$$Q_c = q_c \cdot B_{sv} \quad 7-2$$

De parameters  $q_c$  en  $B_{sv}$  zijn aan elkaar gekoppeld via de exacte locatie die wordt bekeken. Achter een kunstwerk is immers vaak sprake van een bodembescherming, die uiteindelijk overgaat in een aansluiting op de natuurlijke bodem. Het ontstaan van erosiekuilen kan plaatsvinden ter plaatse van de bodembescherming, maar ook ter plaatse van onbeschermd bodem aansluitende op de bodembescherming. Dit laatste is alleen van belang indien dit leidt tot instabiliteit van het kunstwerk. Wanneer de bodembescherming voldoende lang is, leiden erosiekuilen achter de bodembescherming niet meer tot instabiliteit van het kunstwerk. Wellicht leidt dit wel tot schade aan de bodembescherming, maar dit leidt dan niet tot instabiliteit van de constructie. Normaliter is de lengte van de bodembescherming hier ook op ontworpen. Welke lengte van de bodembescherming voldoende is, is afhankelijk van de specifieke situatie. Per geval dient hiervoor een afweging te worden gemaakt. Aanwijzingen hiervoor zijn onder andere te vinden in [13], [14] en [11]. Uiteindelijk bepaalt de combinatie van het kritieke debiet per strekkende meter en de waterdiepte wat het maatgevende totale kritieke debiet ( $Q_c$ ) is.

Het optredend overslag-/overloopdebiet is afhankelijk van de oriëntatie, hydraulische belastingen en de afmetingen (hoogte en breedte) van de keermiddelen en de vaste waterkerende constructiedelen van het kunstwerk. Het optredend overslag-/overloopdebiet  $q_{os/ol}$  onder bepaalde omstandigheden wordt bepaald met het formulepark beschreven in

paragraaf 7.3.3. Dit is een debiet per strekkende meter [ $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ ], dat wordt vermenigvuldigd met de breedte van de keermiddelen en/of de constructie  $B$  om het totale kritieke overslag-/overloopdebiet  $Q_{os/ol}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] te berekenen:

$$Q_{os/ol} = q_{os/ol} \cdot B \quad 7-3$$

De kans dat het overslag-/overloopdebiet groter is dan het kritieke debiet wordt bepaald door de volgende parameters:

- Kritiek debiet per strekkende meter ( $q_c$ )
- Stroomvoerende breedte ter plaatse van de bodembescherming ( $B_{sv}$ )
- Optredend overslag-/overloopdebiet ( $q_{os/ol}$ )
- Breedte van de kruin van het kunstwerk ( $B$ )

De eerste twee parameters betreffen de 'sterkte' van het systeem, de laatste twee de 'belasting'. De  $Z$ -functie voor het bezwijken van de bodembescherming als gevolg van overslag en/of overloop is:

$$Z = Q_c - Q_{os/ol} = q_c \cdot B_{sv} - q_{os/ol} \cdot B \quad 7-4$$

In het navolgende worden de parameters uit deze  $Z$ -functie nader toegelicht.

#### 7.3.1 Kritiek overslag-/overloopdebiet

##### Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	$\mu$	$V_r/\sigma$	$\Delta_x$	$\rho_x$	$\Delta_t$	$\rho_t$
$q_c$	[ $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ ]	logn	Invoer	$V_r=0,15$	-	0	-	1

Het kritiek (overslag-/overloop)debiet ( $q_c$  [ $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ ]) is het debiet per strekkende meter dat door overslag/overloop over het kunstwerk komt en tot dusdanige stroomsnelheden aan de bodem leidt dat de bodem(bescherming) bezwijkt. Onder bezwijken wordt hier verstaan het optreden van doorgaande erosie van de bodem(bescherming). Praktisch gezien is een eerste conservatieve benadering te maken door uit te gaan van het criterium dat bewegen van individuele stenen optreedt. Verondersteld wordt dat het kritiek debiet lognormaal is verdeeld. Om die verdeling te karakteriseren moet de verwachtingswaarde  $\mu$  worden opgegeven. Voor de variatiecoëfficiënt  $V_r$  is er een standaardwaarde 0,15 [-], maar die waarde kan worden aangepast.

##### Hoe te bepalen

Van groot belang bij het bepalen van het kritieke debiet is de beschikbare informatie omtrent de bodembescherming en de instroomsituatie die bij een gesloten kunstwerk ontstaat (zie paragraaf 6.2). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen twee belastingsituaties:

1. De bodembescherming wordt belast door horizontale stroming.
2. De bodembescherming wordt rechtstreeks belast door een overstortende straal.

Beide situaties worden hieronder behandeld.

1. De bodembescherming wordt belast door horizontale stroming

Het kritieke debiet wordt bepaald door de kritieke stroomsnelheid met betrekking tot de bodembescherming te vermenigvuldigen met de aan de binnenzijde aanwezige waterdiepte. Hierbij wordt de stroomsnelheid dus over de diepte constant verondersteld. In formulevorm betekent dit:

$$q_c = u_c \cdot (h_{bi} - h_{bb}) \quad 7-5$$

Waarin:

$u_c$	Dieptegemiddelde kritieke stroomsnelheid met betrekking tot de bodembescherming [m/s].
$h_{bi}$	Binnenwaterstand [m+NAP].
$h_{bb}$	Hoogte bovenkant bodembescherming [m+NAP].

De kritieke stroomsnelheid met betrekking tot de bodembescherming kan worden bepaald met de beschikbare formules van bijvoorbeeld Izbash, Shields en Pilarczyk. Handvatten voor het gebruik van deze formules worden gegeven in hoofdstuk 2 van het *Achtergrondrapport bepaling kritiek overslag-/overloop-/instroomdebiet bij kunstwerken* [4]. De waterdiepte boven de bodembescherming kan met de beschikbare gegevens van binnenwaterstand en ligging bodembescherming worden bepaald.

Als er geen bodembescherming aanwezig is (of deze is geërodeerd), dan is de kritieke stroomsnelheid afhankelijk van de grondsoort. Op basis van deels empirische bevindingen [15], [14] en [1] is in onderstaande tabel hiervan een overzicht samengesteld. Deze waarden kunnen worden gebruikt als eerste richtgetallen.

**Tabel 7-3 Kritieke stroomsnelheden onbeschermde bodem**

Grondsoort	$u_c$ [m/s]
fijn zand	0,10
matig fijn zand	0,15
matig grof zand	0,20
grof zand	0,30
veen	0,30-0,60
kleiig zand	0,40-0,50
slappe klei	0,60-0,80
redelijk vaste klei	0,80-1,00
vaste klei	1,00-1,20
grind	1,00

2. De bodembescherming wordt rechtstreeks belast door een overstortende straal

Bij coupures, keer- en schutsluizen is er sprake van een (al dan niet pulserende) overstortende straal bij het faalmechanisme *overslag en/of overloop*. Deze waterstraal komt aan de binnenzijde uit in de daar aanwezige waterdiepte (keer-, schutsluizen) of belast de bodembescherming rechtstreeks (coupures). Indien achter het keermiddel een betonnen vloer aanwezig is, zal de energie van de overstortende straal kunnen worden opgenomen door het betonwerk. De overstortende straal zorgt in dat geval niet voor de maatgevende belasting op die bodem(bescherming). Het kritieke debiet kan dan worden gekoppeld aan de bodembescherming die aansluit op de betonnen bodem.

In dat geval kan gebruik worden gemaakt van de benadering die hierboven is gepresenteerd (zie ook Figuur 6-1).

Indien de overstortende straal terecht komt boven een bodem die niet van beton is, maar beschermd wordt middels een bestorting of een andere soort van bodembescherming, moet een andere benadering gekozen worden. Voor deze specifieke situatie is weinig kennis over de stabiliteit van bodembeschermingen beschikbaar. Gebruik kan worden gemaakt van de richtwaarden gegeven in Tabel 6-2.

**Tabel 7-4 Richtwaarden voor het kritieke debiet voor bodembescherming die worden belast door een overstortende straal**

Type	Richtwaarde kritiek debiet	Randvoorwaarde
Coupure	0,05 m <sup>3</sup> /s/m bij elementbestrating 0,1 m <sup>3</sup> /s/m bij asfaltbestrating	Water kan direct wegllopen of worden afgevoerd
Sluizen	1,0 m <sup>3</sup> /s/m	Achter keermiddelen is waterlaag aanwezig van enige diepte en er is een bodembescherming aanwezig

Voorts is een iets gedetailleerder model van Vrijburcht beschikbaar. De betrouwbaarheid van dit model wordt echter ingeschat als niet zo groot, en dus moet de methode terughoudend en met kennis van zaken worden ingezet. Voor meer informatie omtrent dit model wordt verwezen naar het *Achtergrondrapport bepaling kritiek overslag-/overloop-/instroomdebiet bij kunstwerken* [4].

Algemeen kan worden gesteld dat een debiet groter dan 1,0 m<sup>3</sup>/s/m over een sluisdeur niet toelaatbaar geacht moet worden. Dergelijke debieten horen bij waterstanden die circa 60 cm hoger zijn dan de kruin van de deuren. Bij dergelijke debieten kan niet worden uitgesloten dat andere fenomenen gaan optreden zoals het trillen van de deuren door bijvoorbeeld insluiting van lucht onder de overstortende straal.

#### Aandachtspunten

Met betrekking tot de kritieke stroomsnelheid voor de bodembescherming en daarmee het kritieke debiet kunnen de volgende aandachtspunten worden vermeld:

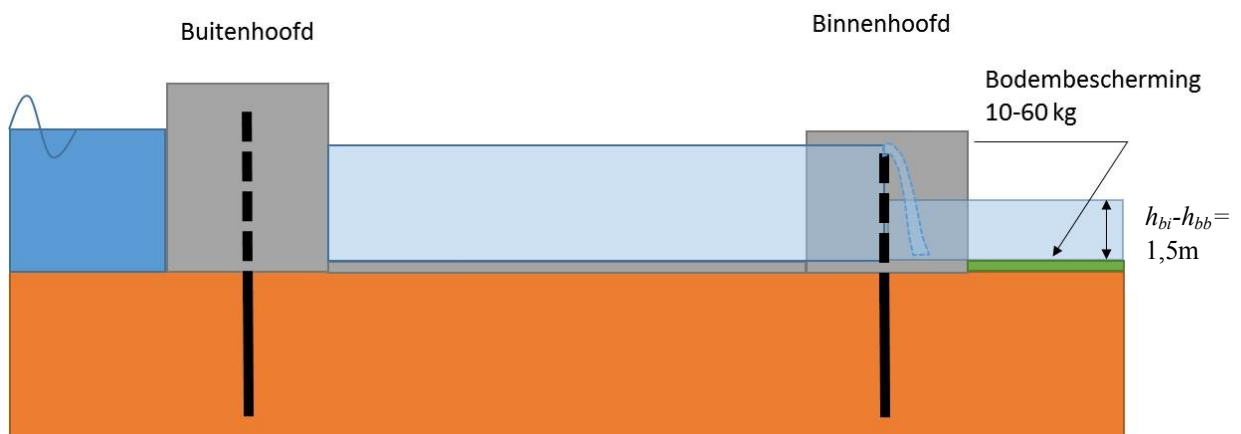
- Naast de aanwezigheid van bodembescherming is het ook van belang dat bekend is wat de conditie van deze bodembescherming is. Vaak is dit gegeven niet direct voorhanden, omdat hiervoor een inspectie moet plaatsvinden. Lodingen van de bodem kunnen een indicatie geven omtrent de aanwezigheid en volledigheid van de bodembescherming. Bij het detecteren van kuilen in de bodem kan vaak worden gesteld dat de bodembescherming niet meer intact is. Indien de conditie van de bodembescherming niet bekend is en de bodembescherming is niet recent aangelegd of hersteld (periode < 5 jaar), dienen conservatieve aannamen te worden gedaan met betrekking tot de conditie van de bodembescherming bij de bepaling van de kritieke stroomsnelheid.
- Bodembeschermingen bij kunstwerken worden vaak aangelegd vanuit een andere functie dan waterkeren. Het kan gaan om schroefstraalbelastingen of stroomsnelheden die optreden bij lozing van water. Dit in gedachten nemende kan vanuit de functie van het kunstwerk ook een inschatting van toelaatbare stroomsnelheden worden gedaan (of wellicht worden teruggevonden in de ontwerpdocumenten).
- Een nadere analyse van de kritieke stroomsnelheid kan worden gemaakt door de stroming nauwkeuriger te modelleren. Dit kan door bijvoorbeeld rekening te houden met het theoretische verloop van de stroomsnelheid over de waterdiepte. Een dergelijke exercitie is

alleen nuttig indien gedetailleerde gegevens van de bodembescherming bekend zijn (opbouw, actuele conditie en hoogteligging van deze bodembescherming).

- Welke lengte van de bodembescherming voldoende is, is afhankelijk van de specifieke situatie. Per geval dient hiervoor een afweging te worden gemaakt. Aanwijzingen hiervoor zijn onder andere te vinden in [13], [14] en [11].
- Van belang is dat het kritieke debiet per strekkende meter ( $q_c$ ) altijd wordt gezien in combinatie met de stroomvoerende breedte  $B_{sv}$  (zie §7.3.2).
- Met betrekking tot schutsluizen geldt dat de bodembescherming vaak is uitgelegd op schroefstraalbelastingen. De toelaatbare stroomsnelheden kunnen dan behoorlijk oplopen. In hoofdstuk 16 van 'Ontwerp van schutsluizen' [13] wordt het ontwerp van bodembeschermingen bij schutsluizen behandeld en zijn ook voorbeelden aanwezig.

#### Voorbeeld 1

Beschouw de volgende situatie: achter een recreatiesluis is een bodembescherming aanwezig bestaande uit stortsteen met sortering 10-60 kg. Beide deuren zijn gesloten. Door het optredende overslag-/overloopdebiet is de kolk volgelopen tot aan het niveau van de binnendeuren. Hierover treedt als gevolg van het overslag-/overloopdebiet een overstortende straal op die de bodembescherming belast.



Figuur 7-1 Sluis met bodembescherming belast door overtrekkende stroming

De overstortende straal komt terecht binnen de contouren van het betonwerk. Voor het voorbeeld wordt aangenomen dat de straal zich over de volledige waterdiepte spreidt voordat de bodembescherming wordt bereikt.

Van de bodembescherming is uit een recente inspectie bekend dat deze zich in goede staat bevindt. De kritieke stroomsnelheid kan nu als volgt berekend worden (zie *Achtergrondrapport bepaling kritiek overslag-/overloop-/instroomdebiet bij kunstwerken* [4] voor achtergrondinformatie bij het gebruik van de diverse formules).

Als vertrekpunt wordt de formule van Pilarczyk genomen:

$$D = \frac{\phi_{sc}}{\Delta} \frac{0,035}{\psi_{cr}} \frac{k_h k_t^2}{k_{sl}} \frac{u_c^2}{2g}$$

7-6

welke is te herschrijven als:



$$u_c = \sqrt{\frac{2g\Delta D\psi_{cr}k_{sl}}{\phi_{sc}0,035k_hk_t^2}}$$

7-7

Nb. van deze formule is ook een recentere versie gepubliceerd waarbij  $k_t^2$  is vervangen door  $k_t$  (paragraaf 4.2.1.4 [7]). Hier is echter uitgegaan van de meest bekende versie.

Hierin worden de volgende waarden ingevuld:

$D$	Karakteristieke elementafmeting [m], voor granulaire materialen geldt: $D = D_{n50}$ . Bij sortering 10-60 kg hoort een $D_{n50}$ van 0,24 m (zie bijvoorbeeld Bijlage I van CUR 197 Breuksteen in de praktijk).
$\psi_{cr}$	Als startwaarde voor de schuifspanningsparameter wordt uitgegaan van $\psi_{cr} = 0,035$ [-] voor granulaire materialen. Indien nodig kan dit zonder problemen worden aangescherpt naar $\psi_{cr} = 0,05$ .
$\phi_{sc}$	Ervan uitgaande dat de bodembescherming niet boven de drempel van het binnenhoofd uitsteekt kan worden uitgegaan van een waarde van de stabiliteitsparameter $\phi_{sc}$ van 0,75 [-], horende bij breuksteen in een doorgaande laag (minimale twee lagen stenen).
$\Delta$	Relatieve dichtheid [-]: $\Delta = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w = (2650 \text{ kg/m}^3 - 1000 \text{ kg/m}^3) / 1000 \text{ m}^3 = 1,65$ .
$k_h$	$k_h = (1 + (h_{bi} - h_{bb})/D)^{-0,2}$ voor niet-volledig ontwikkeld snelheidsprofiel zoals hier. Invullen levert $k_h = (1 + 1,5/0,24)^{-0,2} = 0,67$ [-].
$k_{sl}$	Taludfactor [-]. Niet van toepassing, de bodembescherming ligt horizontaal.
$k_t$	Vanwege de korte afstand tussen betonwerk en begin van de bodembescherming wordt een hoge waarde voor de turbulentiefactor aangehouden van $k_t^2 = 2,0$ [-].
$u_c$	Dieptegemiddelde kritieke stroomsnelheid [m/s].
$g$	Zwaartekrachtversnelling (=9,81) [m/s <sup>2</sup> ].

Invullen van formule 6-6 levert een kritieke stroomsnelheid op van 2,8 m/s. Vermenigvuldiging met de waterdiepte van 1,5 m levert een waarde voor het in te vullen kritiek debiet  $q_c$  op van 4,2 m<sup>3</sup>/s/m.

### Voorbeeld 2

Van een gemaal is bekend dat deze onder normale omstandigheden maximaal 1,0 m<sup>3</sup>/s kan (en moet kunnen) verpompen. Aan de binnenzijde van de waterkering is een betonnen instroomwerk aanwezig, wat aansluit op een bodembescherming. De opbouw van de bodembescherming is onbekend. Uit lodingen blijkt dat de bodem geen erosiekuilen vertoont. In dit geval heeft men direct een eerste conservatieve indicatie van het kritieke debiet. Verwacht mag worden dat de bodembescherming met enige robuustheid is uitgelegd en dat deze een debiet van 1,0 m<sup>3</sup>/s ruimschoots aan kan. Dit wordt ingegeven door het feit dat bij het ontwerp van een bodembescherming de uitgerekende bodembescherming (sortering van stenen) naar boven wordt afgerond.

Met behulp van de stroomvoerende breedte kan nu voor de waarde van kritiek debiet per strekkende meter een waarde worden ingevoerd. Stel dat de stroomvoerende breedte 2,0 m bedraagt, dan is een inschatting van de waarde van  $q_c$  gelijk aan  $1,0 / 2,0 = 0,5 \text{ m}^3/\text{s/m}$ .

### Voorbeeld 3

Beschouw een coupure in stedelijk gebied. Achter de coupure is een bestrating aanwezig bestaande uit klinkers. In dat geval kan eenvoudigweg een kritiek debiet van 0,05 m<sup>3</sup>/s/m (50 l/s/m) gehanteerd worden.

### 7.3.2 Stroomvoerende breedte bodembescherming

#### Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	$\mu$	$V_r/\sigma$	$\Delta_x$	$\rho_x$	$\Delta_t$	$\rho_t$
$B_{sv}$	[m]	logn	Invoer	$\sigma=0,05$	-	0	-	1

De *stroomvoerende breedte bodembescherming* ( $B_{sv}$  [m]) is de stroomvoerende breedte ter plaatse van de maatgevende bodembescherming in verband met het optreden van erosiekuilen achter (aan de binnenzijde van de waterkering) het kunstwerk. Verondersteld wordt dat deze breedte lognormaal is verdeeld. Om die verdeling te karakteriseren moet de verwachtingswaarde  $\mu$  worden opgegeven. Voor de standaardafwijking  $\sigma$  is de standaardwaarde 0,05 m, maar die waarde kan worden aangepast.

#### Hoe te bepalen

De stroomvoerende breedte dient te worden betrokken op de bodem(bescherming) waarvoor het kritieke debiet (zie paragraaf 7.3.1) is bepaald. Samen met de kritieke stroomsnelheid behorende bij de bodem(bescherming) levert de stroomvoerende breedte het totale kritieke debiet op.

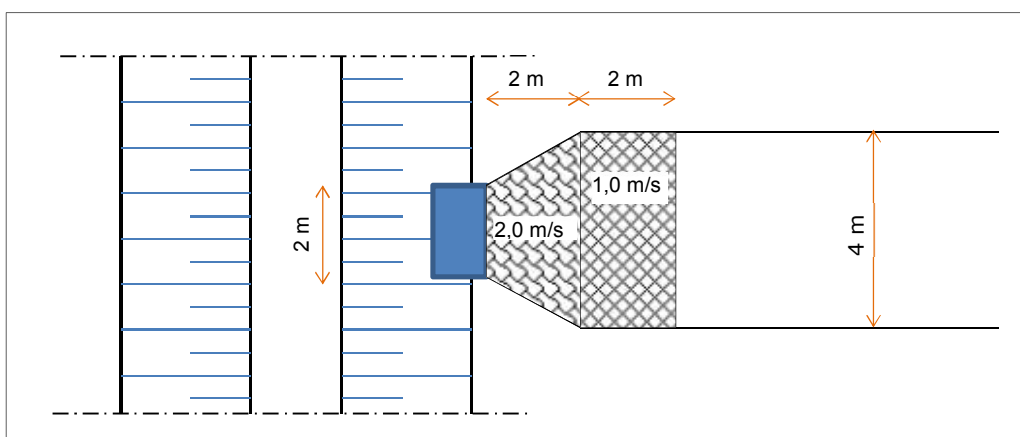
Het vaststellen van de stroomvoerende breedte kan met behulp van tekeningen of metingen in het veld. Een globale schatting is ook nog mogelijk met GIS-applicaties. Indien dit laatste wordt gehanteerd verdient het de aanbeveling om de spreiding van de parameter wat op te voeren naar 0,25. Bij de bepaling van de stroomvoerende breedte dient rekening te worden gehouden met eventuele neren (zie ook paragraaf 8.3.3 van [16]).

#### Aandachtspunten

Van belang is dat de stroomvoerende breedte  $u_c$  altijd wordt gezien in combinatie met het kritieke debiet per strekkende meter ( $q_c$ ) zie paragraaf 7.3.1).

#### Voorbeeld

Een gemaal met een maximale capaciteit van 1,0 m<sup>3</sup>/s komt binnendijks uit in een instroomwerk met een breedte van 2,0 m. De waterdiepte aan de binnenzijde bedraagt 1,0 m. Na het instroomwerk verbreedt de watergang zich geleidelijk middels vleugelwanden tot een breedte van 4,0 m. In onderstaande figuur is een en ander weergegeven in bovenaanzicht.



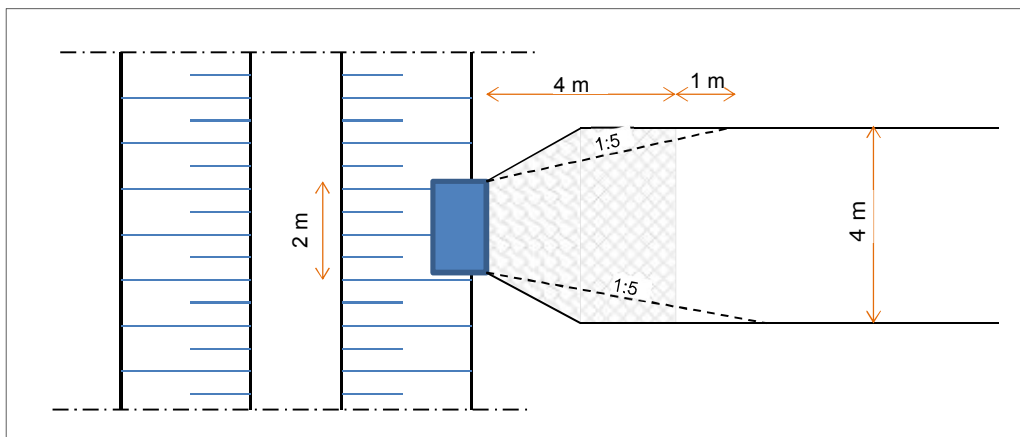
Figuur 7-2 Gemaal met bodembescherming belast door overtrekkende stroming

Voor de bodembescherming over de eerste twee meter geldt een kritieke stroomsnelheid van 2,0 m/s, voor de volgende twee meter een kritieke stroomsnelheid van 1 m/s en voor de bodem achter de bodembescherming geldt dat deze bestaat uit redelijke vaste klei.

Stel dat is bepaald dat de spreiding van het debiet in deze specifieke situatie in horizontale richting plaats vindt onder een helling van 1:5.

Ter plaatse van de aansluiting van het uitstroomwerk met de bodembescherming geldt een kritiek debiet van:

$$Q_c = u_c \cdot (h_{bi} - h_{bb}) \cdot B_{sv} = 2,0 \cdot (1,0) \cdot 2,0 = 4,0 \text{ m}^3/\text{s}$$



Figuur 7-3 Gemaal met bodembescherming belast door overtrekkende stroming

Ter plaatse van de overgang van de ene bodembescherming naar de andere geldt een kritiek debiet van:

$$Q_c = u_c \cdot (h_{bi} - h_{bb}) \cdot B_{sv} = 1,0 \cdot (1,0) \cdot (2,0 + 2 \cdot 2 \cdot 0,20) = 1,0 \cdot (1,0) \cdot (2,8) = 2,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bij een dergelijk korte bodembescherming moet ook de overgang worden beschouwd naar de onbeschermd bodem. omdat wordt ingeschat dat de ontgrondingskuil ook het kunstwerk kan bereiken. Met betrekking tot de aansluiting tussen bodembescherming en onbeschermd bodem geldt een maximaal toelaatbaar debiet van (voor redelijk vaste klei is een kritieke stroomsnelheid van 1,0 m/s aangehouden, zie Tabel 7-):

$$Q_c = u_c \cdot (h_{bi} - h_{bb}) \cdot B_{sv} = 1,0 \cdot (1,0) \cdot (2,0 + 2 \cdot 4 \cdot 0,20) = 1,0 \cdot (1,0) \cdot (3,6) = 3,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Uit het bovenstaande blijkt dat het kritieke debiet bepaald wordt door het tweede deel van de bodembescherming. Er moet een kritieke stroomsnelheid van 1,0 m/s en een stroomvoerende breedte van 2,80 m worden ingevuld in het model.

### 7.3.3 Optredend overslag-/overloopdebiet

#### Wat is het

Het optredend overslag-/overloopdebiet ( $q_{os}$ ,  $q_{os+ol}$  of  $q_{ol}$  [ $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^1$ ]) is het debiet dat via overslaand en/of overlopend water over de keermiddelen van het hoogwaterkerend gesloten kunstwerk naar binnen stroomt. Voor het berekenen van het overslaande / overlopende debiet

over het kunstwerk zijn drie modellen beschikbaar, alle afkomstig uit de Leidraad Kunstwerken [12]:

- 1) alleen overslag.
- 2) zowel overslag als overloop.
- 3) alleen overloop (bij geen of afluiddige golven).

Voor achtergrondinformatie over de modellen wordt verwezen naar het *Achtergrondrapport bij toetsspoor hoogte I: Modelleren optredend overslag-/overloopdebiet* [3].

#### Ad 1) Alleen overslag

Als sprake is van invallende golven bij een waterstand die lager dan of gelijk is aan het niveau van het keermiddel (geen overloop) dan wordt het golfoverslagdebiet  $q_{os}$  bepaald met de volgende formule:

$$q_{os} = m_{os} \cdot \sqrt{g \cdot (H_s)^3} \cdot e^{\left(-3.0 \cdot \frac{h_{kr} - h}{H_s} \cdot \frac{1}{\gamma_\beta \cdot \gamma_n}\right)} \quad 7-8$$

Het effect van de hoek van golfval wordt verdisconteerd middels de reductiefactor  $\gamma_\beta$ :

$$\begin{aligned} 0 \leq \beta \leq 20 & \Rightarrow \gamma_\beta = 1.0 \\ 20 < \beta \leq 180 & \Rightarrow \gamma_\beta = \max\{\cos(\beta - 20); 0.7\} \end{aligned} \quad 7-9$$

De hoek van golfval  $\beta$  is als volgt gedefinieerd:

$$\begin{aligned} |\theta - \Psi_{kw}| \leq 180 & \Rightarrow \beta = |\theta - \Psi_{kw}| \\ |\theta - \Psi_{kw}| > 180 & \Rightarrow \beta = \left| (|\theta - \Psi_{kw}|) - 360 \right| \end{aligned} \quad 7-10$$

Waarin:

$q_{os}$	Gemiddeld overslagdebiet over een verticale wand [ $m^3/s/m^1$ ].
$m_{os}$	<b>Modelfactor voor overslagdebiet</b> [-].
$g$	Zwaartekrachtversnelling (=9,81) [ $m/s^2$ ].
$H_{m0}$	Significante golfhoogte [m].
$h$	Lokale buitenwaterstand [m+NAP].
$h_{kr}$	<b>Kerende hoogte kunstwerk</b> [m+NAP].
$\beta$	Hoek van golfaanval [ $^\circ$ ].
$\gamma_n$	Invloedsfactor neusconstructie [-].
$\gamma_\beta$	Invloedsfactor scheve golfaanval [-].
$\theta$	Golfrichting [ $^\circ N$ ].
$\psi_{kw}$	<b>Oriëntatie normaal van kunstwerk</b> [ $^\circ N$ ].

Een aantal parameters hoeft niet in Ringtoets ingevoerd te worden. Dit betreft een deterministische variabele met een standaardwaarde ( $g$ ), hydraulische belastingen die door het toetsinstrumentarium zelf worden gegenereerd ( $H_{m0}$ ,  $h$ ,  $\theta$ ) of parameters die het resultaat weergeven van een berekening ( $\beta$ ,  $\gamma_\beta$ ,  $q_{os}$ ) (omschrijving *cursief* weergegeven). De overige **vetgedrukte** parameters betreffen invoerparameters voor Ringtoets. Deze worden stuk voor

stuk besproken in de navolgende subparagrafen. De invloedsfactor neusconstructie is geen invoerparameter, maar kan via een omweg wel verdisconteerd worden. Deze parameter wordt daarom eveneens in de navolgende subparagrafen besproken.

#### Ad 2) Zowel overslag als overloop

Als sprake is van invallende golven bij een waterstand die hoger is dan het niveau van het keermiddel (gecombineerde overslag / overloop) dan wordt het overslag-/overloopdebiet  $q_{os+ol}$  bepaald met de volgende formule:

$$q_{os+ol} = m_{ol} \cdot 0,55 \cdot \sqrt{-g \cdot (h_{kr} - h)^3} + m_{os} \cdot \sqrt{g \cdot (H_s)^3} \quad 7-11$$

Waarin:

$q_{os+ol}$	Gemiddeld gecombineerde overloop- en overslagdebiet over een verticale wand [m <sup>3</sup> /s/m <sup>1</sup> ].
$m_{ol}$	<b>Modelfactor voor overloopdebiet</b> [-].
$m_{os}$	<b>Modelfactor voor overslagdebiet</b> [-].
$g$	Zwaartekrachtversnelling (=9,81) [m/s <sup>2</sup> ].
$h$	Lokale buitenwaterstand [m+NAP].
$h_{kr}$	<b>Kerende hoogte kunstwerk</b> [m+NAP].
$H_{m0}$	Significante golfhoogte [m].

Ook hier geldt dat alleen de **vetgedrukte** parameters invoerparameters voor Ringtoets betreffen. De overige parameters zijn een deterministische variabele met een standaardwaarde ( $g$ ), hydraulische belastingen die door het toetsinstrumentarium zelf worden gegenereerd ( $H_{m0}$ ,  $h$ ) of een parameter die het resultaat weergeeft van een berekening ( $q_{os/ol}$ ) (omschrijving *cursief* weergegeven).

#### Ad 3) Alleen overloop

Als sprake is van de afwezigheid van golven bij een waterstand die hoger is dan het niveau van het keermiddel (alleen overloop) dan wordt het overloopdebiet  $q_{ol}$  bepaald met de volgende formule:

$$q_{ol} = m_{ol} \cdot 0,55 \cdot \sqrt{-g \cdot (h_{kr} - h)^3} \quad 7-12$$

Waarin:

$q_{ol}$	Overloopdebiet over een verticale wand [m <sup>3</sup> /s/m <sup>1</sup> ].
$m_{ol}$	<b>Modelfactor voor overloopdebiet</b> [-].
$g$	Zwaartekrachtversnelling (=9,81) [m/s <sup>2</sup> ].
$h$	Lokale buitenwaterstand [m+NAP].
$h_{kr}$	<b>Kerende hoogte kunstwerk</b> [m+NAP].

Ook hier geldt dat alleen de **vetgedrukte** parameters invoerparameters voor Ringtoets betreffen. De overige parameters zijn een deterministische variabele met een standaardwaarde ( $g$ ), hydraulische belastingen die door het toetsinstrumentarium zelf worden gegenereerd ( $H_{m0}$ ,  $h$ ) en een parameterwaarde die het resultaat weergeeft van een berekening ( $q_{ol}$ ) (omschrijving *cursief* weergegeven).

Bovenstaande kan worden samengevat in de volgende formule:

$$q_{os/ol} = ALS(h \leq h_{kr}; q_{os}; ALS(H_s = 0; q_{ol}; q_{os+ol}))$$

7-13

Alle **vetgedrukte** parameters betreffen dus de invoerparameters voor Ringtoets. Deze worden stuk voor stuk besproken in de navolgende subparagrafen.

#### 7.3.4 Modelfactor voor overslagdebiet

##### Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	$\mu$	$V_r/\sigma$	$\Delta_x$	$\rho_x$	$\Delta_t$	$\rho_t$
$m_{os}$	[-]	logn	0,09	$\sigma=0,06$	-	0	-	1

De parameter  $m_{os}$  is de modelfactor voor het overslagdebiet. Verondersteld wordt dat de modelfactor lognormaal is verdeeld. Die verdeling wordt gekarakteriseerd door een verwachtingswaarde  $\mu = 0,09$  en een standaardafwijking  $\sigma = 0,06$ . Deze standaardwaarden kunnen niet worden aangepast.

##### Hoe te bepalen

De vaste standaardwaarden voor deze parameter zijn gebaseerd op literatuurstudie.

##### Aandachtspunten

Opgemerkt wordt dat de gegeven waarden voor  $\mu$  en  $\sigma$  anders zijn dan in de Leidraad Kunstwerken [12] staan aangegeven. De waarden die in paragraaf B.2.4.1 van de Leidraad Kunstwerken staan weergegeven ( $\mu=0,34$  en  $\sigma=0,09$ ) zijn niet correct.

##### Voorbeeld

n.v.t.

#### 7.3.5 Kerende hoogte kunstwerk

##### Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	$\mu$	$V_r/\sigma$	$\Delta_x$	$\rho_x$	$\Delta_t$	$\rho_t$
$h_{kr}$	[+mNAP]	nor	invoer	$\sigma=0,05$	-	0	-	1

De *kerende hoogte kunstwerk* ( $h_{kr}$  [+mNAP]) is de fysiek aanwezige kerende hoogte van het kunstwerk als de hoogwaterkerende keermiddelen gesloten zijn. Verondersteld wordt dat de *kerende hoogte kunstwerk* normaal is verdeeld. Om die verdeling te karakteriseren moet de verwachtingswaarde  $\mu$  worden opgegeven. Voor de standaardafwijking  $\sigma$  is de standaardwaarde 0,05 m, maar die waarde kan worden aangepast.

##### Hoe te bepalen

De parameter kan worden bepaald uit inmeetgegevens of tekeningen van het object. Het betreft de kerende hoogte die aanwezig is op het moment dat de hoogwater kerende keermiddelen gesloten zijn.

##### Aandachtspunten

Tekeningen zijn een veel gebruikte bron van informatie. Idealiter wordt gebruik gemaakt van actueel ingemeten hoogtegegevens. Bij het gebruik van informatie van tekening kan het nodig

zijn om de standaardafwijking wat te vergroten. Indien het zeer recent ingemeten waarden betreft, kan de standaardafwijking eventueel worden verlaagd.

#### Voorbeeld

Beschouw een schutsluis die is uitgerust met in elk hoofd een stel schutdeuren. De deuren in het buitenhoofd fungeren naast schutdeur ook als stormvloeddeur en hebben een kerende hoogte die conform ontwerp-tekening gelijk is aan NAP +4,0 m. In het binnenhoofd zijn schutdeuren aanwezig met een kerende hoogte NAP +2,50 m. Inmetingen en revisietekeningen zijn niet beschikbaar. Voorts is bekend is dat het sluishoofd op palen is gefundeerd. Zettingen van het kunstwerk worden derhalve niet verwacht en met autonome bodemdaling hoeft geen rekening te worden gehouden omdat de paalfundering tot in de pleistocene zandlaag is doorgezet. Voor de kerende hoogte wordt dan een hoogte ingevoerd van NAP+4,0 m. Voor de standaardafwijking volstaat in dit geval de waarde van 0,05 m om de onzekerheid in de werkelijk aanwezige hoogte (vanwege het ontbreken van een 'as built' tekening) af te dekken.

### 7.3.6 *Invloedsfactor neusconstructie*

#### Wat is het

De invloedsfactor neusconstructie ( $\gamma_n$  [-]) is een reductiefactor bij het overslagdebiet om de invloed van een neusconstructie op de golfoverslag bij een verticale wand in rekening te brengen. Een neusconstructie is een veelal zeewaarts gekromde bovenste rand van een waterkerende wand, een constructiedetail ter beperking van de golfoverslag.

#### Hoe te bepalen

Indien een neusconstructie aanwezig is, kan de invloedsfactor neusconstructie worden bepaald aan de hand van paragraaf B2.4.1 van de Leidraad kunstwerken [12].

#### Aandachtspunt

Binnen het toetsinstrumentarium is de parameter invloedsfactor neusconstructie niet opgenomen. Middels een omweg kan de invloed van een neusconstructie in Ringtoets toch meegenomen worden. In onderstaand voorbeeld wordt dit nader uitgewerkt.

#### Voorbeeld

Stel een kunstwerk heeft een kerende hoogte  $h_{kr}$  van NAP+4,0 m. In het ontwerp-punt van de overslagberekening is te zien dat de waterstand  $h$  NAP+3,7 m bedraagt en de significante golfhoogte  $H_{m0} = 1,5$  m is bij een loodrechte golfval ( $\gamma_\beta = 1$ ). Tevens is een neusconstructie aanwezig, waarvan de invloedsfactor 0,85 zou bedragen als deze zou kunnen worden meegenomen. De berekende faalkans zonder het meenemen van de neusconstructie voldoet niet aan de norm, zodat het wenselijk is de invloedsfactor neusconstructie wel te verdisconteren.

Dit kan in rekening worden gebracht door de kerende hoogte kunstmatig te vergroten. De extra kerende hoogte die in rekening gebracht mag worden als gevolg van de neusconstructie kan als volgt worden berekend. Het optredend overslagdebiet wordt berekend met onderstaande formule:

$$q_{os} = m_{os} \cdot \sqrt{g \cdot (H_s)^3} \cdot e^{\left( -3,0 \cdot \frac{h_{kr} - h}{H_s} \cdot \frac{1}{\gamma_\beta \cdot \gamma_n} \right)} \quad 7-14$$

Met de huidige invoer is het getal tussen haakjes van de e-macht gelijk aan -0,6. Als de invloedsfactor neusconstructie zou kunnen worden meegenomen, dan zou dit getal gelijk zijn

aan -0,7. Als de kerende hoogte  $h_{kr}$  wordt verhoogd van NAP+4,0 m naar NAP+4,05 m, dan is het getal tussen haakjes van de e-macht eveneens gelijk aan -0,7. Hiermee kan de invloedsfactor neusconstructie via een omweg dus toch in rekening gebracht worden. Overigens zal de 'winst' in faalkans zeer beperkt zijn; de ontwerpwaterstand zal ook ongeveer 0,05 m hoger komen te liggen. Dit is ook te zien aan het overslagdebiet, wat zonder neusconstructie 0,284 m<sup>3</sup>/s/m bedraagt en met neusconstructie 0,257 m<sup>3</sup>/s/m (bij  $m_{os}=0,09$ ). Aanbevolen wordt om te controleren of de nieuwe waarde van  $q_{os}$  in het ontwerppunt in lijn ligt met de berekende waarde op grond van vergelijking 6-11.

### 7.3.7

#### *Oriëntatie normaal van het kunstwerk*

De hoek van golfval is de hoek tussen de golfrichting ( $\theta$  [°N]) en de normaal van het kunstwerk ( $\psi_{kw}$  [°N]). De golfrichting wordt binnen het toetsinstrumentarium bepaald als onderdeel van de hydraulische belastingen en hoeft niet ingevoerd te worden. Wel moet de oriëntatie van de normaal van het kunstwerk worden ingevoerd in Ringtoets zodat de hoek van golfval kan worden bepaald.

#### Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	$\mu$	$V_r/\sigma$	$\Delta_x$	$\rho_x$	$\Delta_t$	$\rho_t$
$\psi_{kw}$	[°]	det	invoer	—	-	-	-	-

De *oriëntatie normaal van het kunstwerk* ( $\psi_{kw}$  [°N]) is de oriëntatie van de normaal (de as) van het kunstwerk ten opzichte van het noorden. De *oriëntatie normaal van het kunstwerk* is voor de hoogtetoets een determinist: gerekend moet worden met de verwachtingswaarde  $\mu$ .

#### Hoe te bepalen

De in te voeren waarde voor deze parameter kan worden afgelezen/opgemeten uit tekeningen of met behulp van kaarten. De normaal van het kunstwerk is hierbij gedefinieerd als de lijn die loodrecht op de keermiddelen van het kunstwerk staat en buitenwaarts gericht is. De in te voeren hoek is gelijk aan de hoek tussen het noorden en de normaal van het kunstwerk, waarbij met de wijzers van de klok mee gemeten wordt.

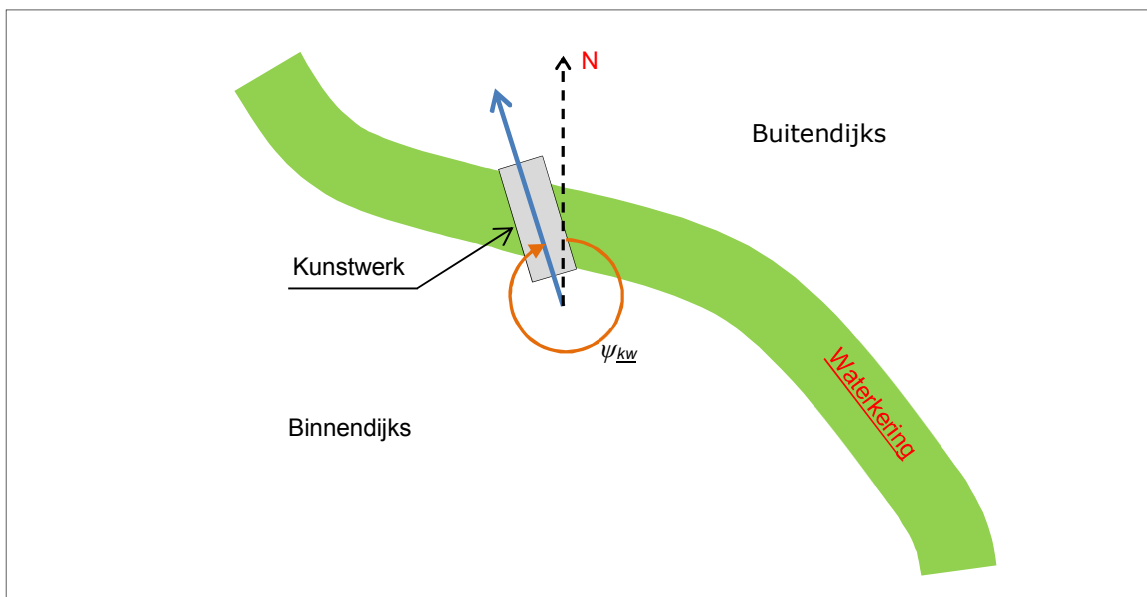
#### Aandachtspunt

Aandachtspunt is dat de hoek wordt gemeten van de noordrichting met de wijzers van de klok mee.

#### Voorbeeld

In onderstaande figuur is voor een denkbeeldige situatie de oriëntatie van een kunstwerk weergegeven. Deze bedraagt in dit geval circa 340°.





Figuur 7-4 Wijze van bepaling hoek kunstwerknormaal ten opzichte van Noord

### 7.3.8 Modelfactor overloopdebiet volkomen overlaat

#### Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	$\mu$	$V_r/\sigma$	$\Delta_x$	$\rho_x$	$\Delta_t$	$\rho_t$
$m_{OL}$	[-]	nor	1,1	$\sigma=0,03$	-	0	-	1

De *modelfactor overloopdebiet volkomen overlaat* ( $m_{ol}$  [-]) is de modelfactor die de onzekerheid in rekening brengt die hoort bij de berekening van het overloopdebiet met de formule voor een volkomen overlaat. Verondersteld wordt dat de modelfactor normaal is verdeeld. Die verdeling wordt gekarakteriseerd door een verwachtingswaarde  $\mu = 1,1$  [-] en een standaardafwijking  $\sigma = 0,03$  [-]. De verwachtingswaarde kan wel, maar de standaardafwijking kan niet door de softwaregebruiker worden aangepast.

#### Hoe te bepalen

De parameter betreft een modelparameter die behoort bij situatie waarin sprake is van volkomen stroming. Dit betekent dat het instromend debiet niet beïnvloed wordt door het binnenwater. In de formules 7-11 en 7-12 wordt  $m_{ol}$  vermenigvuldigd met een waarde van 0,55. Deze waarde volgt uit de theoretische afleiding van de formule voor de volkomen overlaat.

De standaardwaarde voor het gemiddelde van  $m_{ol}$  is een conservatieve waarde. Aanpassing van deze waarde wordt echter niet aanbevolen, tenzij er een goede onderbouwing voor is.

De standaardafwijking kan niet worden aangepast door de gebruiker.

#### Aandachtspunten

Met betrekking tot deze parameter zijn er geen verdere aandachtspunten.

#### Voorbeeld

Voor voorbeelden voor aanpassing van de parameter wordt verwezen naar de diverse vakliteratuur zoals [15].

### 7.3.9 Breedte van de kruin van het kunstwerk

#### Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	$\mu$	$V_r/\sigma$	$\Delta_x$	$\rho_x$	$\Delta_t$	$\rho_t$
B	[m]	nor	invoer	$\sigma=0,05$	-	0	-	1

De *breedte van de kruin van het kunstwerk* ( $B$  [m]) is de breedte van de kruin van het kunstwerk waarover overslag en/of overloop plaatsvindt. Verondersteld wordt dat de *breedte van de kruin van het kunstwerk* normaal is verdeeld. Die verdeling wordt gekarakteriseerd door een verwachtingswaarde en een standaardafwijking ( $\sigma = 0,05$  [m]). De verwachtingswaarde moet worden opgegeven, de standaardafwijking kan eventueel door de softwaregebruiker worden aangepast.

#### Hoe te bepalen

De breedte van de kruin van het kunstwerk waarover overslag en/of overloop plaatsvindt, kan vanaf tekening worden bepaald, of middels een inmeting worden vastgesteld.

Het wordt aanbevolen om de standaardwaarde van de spreiding niet aan te passen, tenzij er geen meting of tekeningen zijn van de breedte en men globaal de breedte heeft bepaald. Een grotere spreiding kan dan worden toegepast.

#### Aandachtspunten

Doorgaans is de aan te houden breedte gelijk aan de breedte van de keermiddelen. Indien de hoofden naast de keermiddelen min of meer dezelfde hoogte hebben als de keermiddelen, en de afwatering van overslaand en/of overlopend water vindt via het kunstwerk plaats, dan moet hiermee in de beschouwing rekening gehouden worden. In onderstaand voorbeeld wordt hier nader op ingegaan.

#### Voorbeeld

Stel een sluis heeft keermiddelen met een kerende hoogte  $h_{kr}$  van NAP+4,0 m en een breedte van 12 meter (bron: ontwerp-tekening). Het sluishoofd is aan weerszijden 7,5 meter breed en heeft een kerende hoogte van NAP+4,5 m. Het sluishoofd heeft een verticaal front en het overslag-/overloopdebiat van het sluishoofd komt uiteindelijk ook in de sluiskolk terecht. In dat geval wordt eerst een berekening gemaakt waarin alleen de breedte van de keermiddelen wordt meegenomen. Stel nu dat in het ontwerppunt van de overslagberekening te zien dat de waterstand  $h$  NAP+3,7 m bedraagt en de significante golfhoogte  $H_{m0}$  1,5 m is bij een loodrechte golfval ( $\gamma_B=1$ ). Het totale overslagdebiat bedraagt dan  $0,284 \text{ m}^3/\text{s/m}$  (zie paragraaf 7.3.6)  $\times 12 = 3,41 \text{ m}^3/\text{s}$ . Handmatig kan dan met behulp van formule 6-7 berekend worden dat het overslagdebiat over het sluishoofd  $0,10 \text{ m}^3/\text{s/m}$  bedraagt en het totale overslagdebiat over dit sluishoofd dus  $2 \times 7,5 \times 0,1 = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . De breedte van de keermiddelen moet dan dus worden gecorrigeerd met een factor  $(3,41+1,5)/3,41 = 1,44$  naar 17,3 m. Aanbevolen wordt om te controleren of de waterstand en golfhoogte in het nieuw berekende ontwerppunt ongeveer overeenkomen met de waarden in het oude ontwerppunt. Indien dit niet het geval is, moet een nieuwe iteratieslag uitgevoerd worden.

#### 7.4

##### **Deelfaalmechanisme Z12: kans bezwijken kunstwerk als gevolg van erosie bodem**

De kans op bezwijken van het kunstwerk als gevolg van het eroderen van de bodem wordt in het WBI 2017 geschematiseerd middels de parameter Faalkans kunstwerk gegeven bezwijken bodembescherming en optreden van erosie bodem ( $P_{f,kw|erosie\ bodem}$ )

De faalfunctie voor het bezwijken van het kunstwerk als gevolg van erosie van de bodem is:

$$Z = -\Phi^{-1}\left(P_{f,kw|erosie\ bodem}\right) - u \quad 7-15$$

Waarin:

$\Phi^{-1}$  Inverse van de standaardnormale verdeling.

De parameter  $u$  in de bovenstaande faalfunctie is een stochastische hulpparameter, die niet door de toetsers ingevuld hoeft te worden. Middels deze hulpparameter wordt de kans  $P_{f,kw|erosie\ bodem}$  op de juiste wijze meegenomen in een probabilistische berekening.

#### 7.4.1

*Faalkans kunstwerk gegeven bezwijken bodembescherming en optreden van erosie bodem*

Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	$\mu$	$V_r/\sigma$	$\Delta_x$	$\rho_x$	$\Delta_t$	$\rho_t$
$P_{f,kw erosie\ bodem}$	[-]	det	1,0	-	KW	1	-	1

De *faalkans kunstwerk gegeven bezwijken bodembescherming en optreden van erosie bodem* ( $P_{f,kw|erosie\ bodem}$  [-]) is de kans op het bezwijken van het kunstwerk als gevolg van het eroderen van de bodem. Deze *faalkans* is voor het toetsspoor *hoogte kunstwerk* een determinist: gerekend moet worden met de verwachtingswaarde  $\mu$ .

Hoe te bepalen

De standaardwaarde voor de parameter is 1,0. Dit impliceert dat bij doorgaand eroderen van de bodembescherming er ook zeker sprake zal zijn van dusdanige erosie van de bodem dat dit uiteindelijk tot het falen van het kunstwerk leidt.

Aanbevolen wordt om in eerste instantie de standaardwaarde van 1,0 te hanteren (de *gedetailleerde toets*). Dit past binnen de filosofie van het WBI 2017 om van grof naar fijn te werken. Een waarde van 1,0 is een conservatieve waarde die impliceert dat er geen reststerkte is.

Indien aanscherping van de waarde gewenst is, bijvoorbeeld omdat het toetsspoor *hoogte kunstwerk* substantieel bijdraagt aan de faalkans van het kunstwerk en dit veroorzaakt wordt door het aspect van erosie van de bodem(bescherming), worden hieronder enkele aandachtspunten gegeven. Deze zijn meestal alleen relevant voor de *toets op maat*. Middels deze aandachtspunten is het wellicht mogelijk om buiten het instrumentarium om (preprocessing) een andere waarde van de parameter te onderbouwen. Opgemerkt wordt dat niet voor elk deelproces behorende bij het bezwijken van het kunstwerk als gevolg van erosie van de bodem, ook modellen beschikbaar zijn voor een probabilistische berekening. Het kan dus ook nodig zijn om de waarde van  $P_{f,kw|erosie\ bodem}$  kwalitatief te onderbouwen. De hieronder gegeven aandachtspunten zijn niet uitputtend.

- Indien de fundatie van het kunstwerk aan de binnenzijde van de waterkering geheel met damwanden is omgeven (bijvoorbeeld als gevolg van bouwen in een gesloten bouwkuip op een onderwaterbetonvloer) is het instabiel worden van het kunstwerk als gevolg van ontgrondingskuilen niet direct te verwachten. Een waarde van 0,05 voor  $P_{f,kw|erosie\ bodem}$  lijkt dan verdedigbaar en mag ook in de gedetailleerde toets al worden toegepast<sup>5</sup>.
- Bepalen van locatie en afmetingen (breedte en diepte) van de ontgrondingskuilen. Deze stap vereist dat bekend is welke grondsoort er aanwezig is. Indien dit niet bekend is, kan een conservatieve schatting worden gemaakt. De afmetingen van ontgrondingskuilen kunnen bijvoorbeeld aan de hand van de modellen in het handboek 'Ontwerp van schutsluizen' [13] bepaald worden. Indien de afmetingen zeer beperkt zijn, is de invloed op de stabiliteit van het kunstwerk vermoedelijk ook klein. Een waarde tussen 1,0 en 0,01 voor  $P_{f,kw|erosie\ bodem}$  lijkt dan verdedigbaar. De keuze hangt af van de diepte van de berekende ontgrondingskuil, de afstand uit het kunstwerk en de opbouw van (met name) de fundatie van het kunstwerk.
- Bepalen van de opbouw van de constructie. Het gaat hierbij vooral om de fundatiewijze van het kunstwerk en de aanwezigheid van damwandschermen ter plaatse van de overgang van betonwerk naar bodembescherming. Bij de aanwezigheid van een relatief lang damwandscherm in relatie tot de diepte van een mogelijke ontgrondingskuil welke niet als draagkrachtig fundatie-element fungeert, kan de invloed van eventuele ontgrondingskuilen zeer beperkt zijn. De horizontale stabiliteit is in de meeste gevallen niet direct afhankelijk van het grondlichaam dat aan de uiteinden van de bodem van het kunstwerk hier tegenaan drukt, maar meer van bodem- en wandwrijvingen en specifieke funderingselementen. Een damwandscherm kan voorkomen dat erosie onder de vloerconstructie van het kunstwerk ontstaat, wat in eerste instantie de verticale draagkracht kan beïnvloeden. Bij de aanwezigheid van lange schermen, relatief ten opzichte van de afmetingen van optredende ontgrondingskuilen, is een waarde voor  $P_{f,kw|erosie\ bodem}$  van 1,0 tot 0,01 aannemelijk. Deze waarde kan moeilijk kwantitatief worden onderbouwd. De onderbouwing zal dus overwegend moeten plaatsvinden op basis van een 'educated guess' aan de hand van een beschrijving van het bezwijkproces.
- Indien het kunstwerk uit meerdere delen bestaat (bijvoorbeeld instroomwerk, leiding, uitstroomwerk) kan worden bekeken of het bezwijken van bijvoorbeeld het binnendijs gelegen in- of uitstroomwerk, leidt tot het bezwijken van het gehele kunstwerk dan wel de waterkering en daarmee tot het ontstaan van een bres. Indien bijvoorbeeld alleen het instroomwerk bezwijkt (onderuit gaat), maar verdere aantasting van het kunstwerk dan wel de waterkering kan worden uitgesloten of niet tot bresvorming leidt, is een waarde voor  $P_{f,kw|erosie\ bodem}$  kleiner dan 1,0 verdedigbaar. Ook hier zal onderbouwing dus overwegend moeten plaatsvinden op basis van een 'educated guess' aan de hand van een beschrijving van het bezwijkproces.

#### Aandachtspunten

Bij het bepalen/schatten van de kans op bezwijken kunstwerk als gevolg van erosie van de bodem zijn de volgende aandachtspunten van belang:

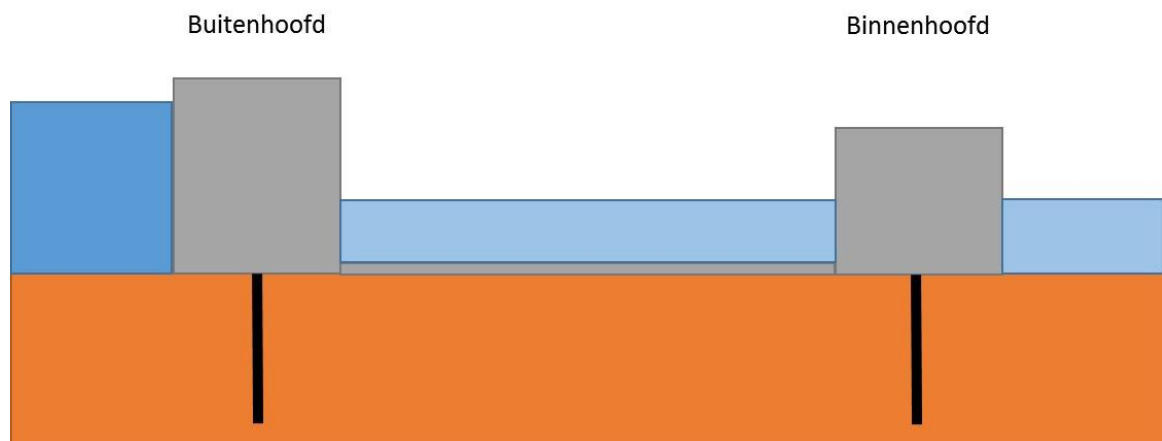
---

<sup>5</sup> Deze waarde is niet meer dan een educated guess; nadere onderbouwing ontbreekt

- Het optreden van ontgrondingskuilen kan niet alleen direct van invloed zijn op de stabiliteit van een (onderdeel van een) kunstwerk, maar ook de kans op onderloopsheid vergroten. Immers, een kuil kan invloed hebben op de aanwezige kwelweglengte. Met de combinatie van erosie door overslaand/overlopend water en onderloopsheid hoeft in de beoordeling geen rekening te worden gehouden. Na het optreden van een groot overslag-/overloopdebiet bij een kunstwerk dient de beheerder wel een onderzoek naar de schade in te stellen, zodat eventuele aanvullende risico's ten aanzien van onder andere onderloopsheid kunnen worden verholpen.
- Het ontstaan van erosiekuilen is afhankelijk van de optredende stroomsnelheid. Gedurende een hoogwatergolf kan de stroomsnelheid in de tijd variëren, omdat door een stijgende buitenwaterstand het overslag-/overloopdebiet toeneemt. Met deze tijdsafhankelijkheid kan in de berekeningen van de ontgrondingskuilen rekening worden gehouden, maar als eerste grove benadering kan aan de buitenzijde worden uitgegaan van de condities waaronder de bodembescherming bezwijkt (ontwerppunt). Als aanscherping kan het werkelijke verloop van de hoogwatergolf op het overslag-/overloopdebiet in rekening gebracht worden. Hierbij wordt de hoogwatergolf opgedeeld in tijdsperioden en kan de groei van de ontgrondingskuil bij de diverse tijdsperioden bepaald worden.
- Niet alle aspecten van de onderbouwing van een waarde voor  $P_{f,kw|erosie\ bodem}$  kunnen kwantitatief worden onderbouwd. Kwalitatieve onderbouwing speelt ook een rol. Hierbij is inzicht in constructies en (faal)mechanismen vereist.

#### Voorbeeld

Bij een schutsluis bestaande uit een buitenhoofd, schutkolk en binnenhoofd treedt een zeer groot overslag-/overloopdebiet op. Als gevolg hiervan stroomt er een grote hoeveelheid water de polder in.



Figuur 7-5 Globale schets situatie niet gesloten kunstwerk

Onder zowel het buitenhoofd als het binnenhoofd is een damwandscherm aanwezig. De lengte hiervan bedraagt in beide gevallen 3 m.

De volgende gegevens zijn nog voorhanden:

- Bij de condities waaronder de bodembescherming bezwijkt (ontwerppunt) treedt een stroomsnelheid ter plaatse van de bodem aan de binnenzijde op van 2,0 m/s.
- De bodem bestaat uit zand met een kritieke stroomsnelheid van 0,5 m/s.
- De waterdiepte boven de bodem aan de binnenzijde is 2 m ( $h_{bin} = h_{bi} - h_{bb}$ ).

- De relatieve dichtheid van het zand ( $\Delta_z$ ) =  $(\rho_{zand} - \rho_w) / \rho_w = (2650 - 1000) / 1000 = 1,65$ .
- Coëfficiënt voor invloed turbulentie ( $\alpha$ ) = 2.
- Uit een constructieve analyse is gebleken dat de kans dat het scherm onderuit gaat of grote krachten op het instroomwerk gaat uitoefenen groot is bij een ontgronding van 1,5 meter. Dit leidt tot een grote kans op ernstige ondermijning van het instroomwerk, wat vervolgens weer kan leiden tot bresvorming.

Met behulp van de formule 16.31a en 16.31b uit [13]<sup>6</sup> kan worden benaderd wanneer de ontgrondingskuil een diepte heeft van 1,5 m:

$$y_{\max} = h_{bin} \cdot (t / t_1)^{0,38}$$

$$t_1 = 330 \cdot \Delta_z^{1,7} \cdot h_{bin}^2 \cdot (\alpha \cdot u - u_{kr})^{-4,3}$$

Hierin is:

$y_{\max}$	Maximum kuildiepte na tijd $t$ [m].
$h_{bin}$	Waterdiepte boven initiële bodemligging [m].
$t_1$	Tijd waarop de maximum kuildiepte gelijk is aan de initiële waterdiepte ( $y_{\max} = h_{bin}$ ) [uur].
$u$	Dieptegemiddelde stroomsnelheid [m/s].
$\alpha$	Coëfficiënt voor invloed turbulentie (= $1,5 + 5 r$ ) [-].
$r$	Relatieve turbulentie-intensiteit [-].
$\Delta_z$	Relatieve dichtheid = $(\rho_{zand} - \rho_w) / \rho_w = (2650 \text{ kg/m}^3 - 1000 \text{ kg/m}^3) / 1000 \text{ kg/m}^3 = 1,65$ [-].
$u_{kr}$	Kritieke stroomsnelheid bodemmateriaal [m/s].

Invullen levert:

$$t_1 = 330 \cdot \Delta_z^{1,7} \cdot h_{bin}^2 \cdot (\alpha \cdot u - u_{kr})^{-4,3} = 330 \times 1,65^{1,7} \times 2^2 \times (2 \times 2,0 - 0,5)^{-4,3} = 14,1 \text{ uur}$$

$$y_{\max} = h_{bin} \cdot (t / t_1)^{0,38} \Rightarrow t = t_1 \cdot (y_{\max} / h_{bin})^{2,63} = 14,1 \times (1,5 / 2)^{2,63} = 6,6 \text{ uur}$$

Bovenstaande impliceert dat in 6,6 uur tijd er een ontgrondingskuil met een diepte van 1,5 m kan ontstaan. Voor delen van het bovenrivierengebied kunnen pieken van hoogwatergolven langer dan 6,6 uur aanhouden. Indien dit kunstwerk daar gelegen is, kan op basis van bovenstaande beschouwing de standaardwaarde van  $P_{f,kw|erosie \text{ bodem}}$  niet aangepast worden. In getijdegebieden is het discutabel of de kans op bezwijken bij deze gegevens naar beneden bijgesteld kan worden. Maar stel nu dat het scherm 5 m lang is en het kunstwerk in het benedenrivierengebied gelegen is, dan is de kans op bezwijken van het uitstroomwerk wel aanzienlijk kleiner. Een waarde van bijvoorbeeld 0,1 voor  $P_{f,kw|erosie \text{ bodem}}$  is dan verdedigbaar.

## 7.5

### Deelfaalmecanisme Z<sub>13</sub>: overschrijden bergend vermogen

De kans dat het aanwezige bergend vermogen niet toereikend is om het totale overslaande/overlopende volume tijdens een hoogwatergolf te bergen in het achterliggende

<sup>6</sup> Bij het toepassen van formules omtrent ontgrondingskuilen is het van belang dat aandacht geschonken wordt aan het geldigheidsgebied van deze formules. Dit om onrealistische waarden te voorkomen.

systeem, zonder dat dit tot significante gevolgen leidt, wordt bepaald door de volgende parameters. Deze parameters worden vervolgens besproken.

- Modelfactor kombergend vermogen ( $m_{kom}$ ).
- Kombergend oppervlak ( $A_{kom}$ ).
- Kritieke peilverhoging komberging ( $\Delta h_{kom}$ ).
- Modelfactor instromend volume ( $m_{in}$ ).
- Stormduur ( $t_s$ ).
- Optredend overslag-/overloopdebiet per m<sup>1</sup> ( $q_{os/ol}$ ).
- Breedte van keermiddelen en/of constructie ( $B$ ).

De eerste 3 parameters betreffen de 'sterkte' van het systeem. Ze bepalen het maximaal aanwezige volume aan kombergend vermogen in het achterland, waarbij nog net geen significante gevolgen optreden ( $V_c$ ). Het maximaal aanwezige kombergend volume  $V_c$  is gedefinieerd als:

$$V_c = m_{kom} \cdot A_{kom} \cdot \Delta h_{kom} \quad 7-16$$

De laatste 4 parameters betreffen de 'belasting' van het systeem. Zij bepalen het inkomend volume als gevolg van overslag/overloop over het gesloten kunstwerk gedurende een hoogwaterperiode ( $V_{os/ol}$ ). Het maximaal inkomend volume  $V_{os/ol}$  is gedefinieerd als:

$$V_{os/ol} = m_{in} \cdot t_s \cdot q_{os/ol} \cdot B \quad 7-17$$

De Z-functie voor het bezwijken als gevolg van overslag en/of overloop en vervolgens een tekort aan kombergend vermogen is nu:

$$Z = V_c - V_{os/ol} = m_{kom} \cdot A_{kom} \cdot \Delta h_{kom} - m_{in} \cdot t_s \cdot q_{os/ol} \cdot B \quad 7-18$$

In het achtergrondrapport [16] wordt dieper op de achtergronden van komberging ingegaan.

#### 7.5.1 Modelfactor kombergend vermogen

##### Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	$\mu$	$V_r/\sigma$	$\Delta_x$	$\rho_x$	$\Delta_t$	$\rho_t$
$m_{kom}$	[-]	logn	1,0	$\sigma=0,20$	-	0	-	1

De *modelfactor kombergend vermogen* ( $m_{kom}$  [-]) is de modelfactor die de onzekerheden in het model voor de beschikbare komberging in rekening brengt. Verondersteld wordt dat de *modelfactor kombergend vermogen* lognormaal is verdeeld. Die verdeling wordt gekarakteriseerd door de verwachtingswaarde  $\mu = 1,0$  [-] en een standaardvariatie  $\sigma=0,20$  [-].

##### Hoe te bepalen

In het instrumentarium is een standaardwaarde opgenomen. Zowel het gemiddelde als de standaardafwijking kan niet worden aangepast.

##### Aandachtspunten

n.v.t.

### Voorbeeld

n.v.t.

## 7.5.2 Kombergend oppervlak

### Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	$\mu$	$V_r/\sigma$	$\Delta_x$	$\rho_x$	$\Delta_t$	$\rho_t$
$A_{kom}$	[m <sup>2</sup> ]	logn	Invoer	$V_r=0,10$	-	0	-	1

Het *kombergend oppervlak* ( $A_{kom}$  [m<sup>2</sup>]) is het oppervlak dat beschikbaar is voor komberging. Meestal is dit het oppervlak van het achter het kunstwerk liggende watersysteem, maar het kan ook een oppervlak van een gebied zijn. Verondersteld wordt dat het *kombergend oppervlak* lognormaal is verdeeld. Die verdeling wordt gekarakteriseerd door een verwachtingswaarde  $\mu$  en een variatiecoëfficiënt  $V_r = 0,10$  [-]. De verwachtingswaarde moet worden opgegeven en de variatiecoëfficiënt kan worden aangepast.

### Hoe te bepalen

Afhankelijk van de vormgeving van de beschikbare komberging kan de bepaling zeer eenvoudig zijn, maar ook zeer complex. Het kombergend oppervlak onderhoudt een sterke relatie met de voor komberging beschikbare peilverhoging op het binnenwater  $\Delta h_{kom}$  (zie paragraaf 7.5.3).

Indien het voor komberging beschikbare oppervlak afhankelijk is van de binnenwaterstand, kan een gemiddelde waarde over de beschikbare peilverhoging worden gebruikt. Dit leidt niet tot een theoretisch perfecte waarde, maar gelet op de grofheid van het model is dit vaak acceptabel.

Met betrekking tot de variatiecoëfficiënt wordt aanbevolen deze alleen aan te passen als dit met behulp van een kwantitatieve berekening kan worden onderbouwd.

### Aandachtspunten

Met betrekking tot de in te voeren waarde moet rekening worden gehouden met het volgende:

- 1 Toestroming van water vanuit het achterland kan niet specifiek gemodelleerd worden. Deze toestroming kan plaatsvinden onder normaal verval, maar ook via poldergemalen die hun water lozen op de boezem.
- 2 Een kombergend volume kan worden benut door meerdere kunstwerken in een dijktraject. Indien de correlatie met betrekking tot *overslag en/of overloop* groot is tussen deze kunstwerken<sup>7</sup>, kan het nodig zijn om het totaal beschikbare volume te verdelen over deze kunstwerken. Indien de correlatie beperkt is, dan mag de kans dat de kunstwerken gelijktijdig worden belast door overslag en/of overloop verwaarloosbaar klein worden geacht.
- 3 Een kombergend volume kan worden benut door meerdere kunstwerken die behoren tot verschillende dijktrajecten. Hier gelden dezelfde overwegingen als bij het vorige punt.
- 4 Tijdens hoogwater kan het voorkomen dat gemalen worden ingezet om hoogwater te lozen op het buitenwater. Hierdoor komt feitelijk meer kombergend vermogen beschikbaar. Om dit in rekening te brengen dient rekening te worden gehouden met de duur van de hoogwatergolf en de capaciteit van de afvoerende gemalen.

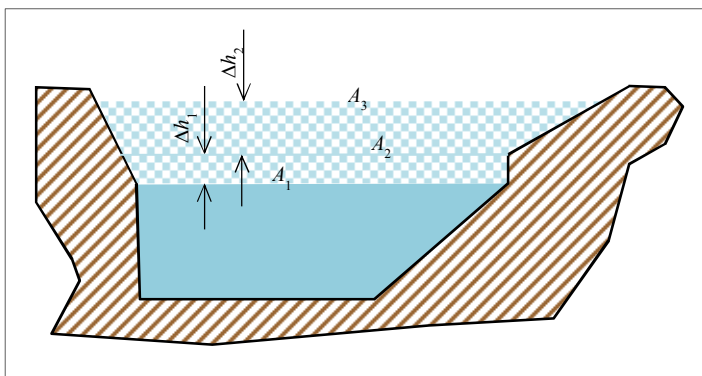
<sup>7</sup> Bijvoorbeeld kunstwerken die (nagenoeg) identiek zijn met betrekking tot hoogwaterbelastingen en kerende hoogte.



Met bovenstaande punten dient rekening te worden gehouden bij bepaling van het voor een specifiek kunstwerk beschikbare kombergend volume. De standaard werkwijze is dat dit specifiek maken van het kombergend volume uiteindelijk plaatsvindt via het kombergend oppervlak.

### Voorbeeld

Achter een keersluis is een watergang aanwezig met de onderstaande dwarsdoorsnede. De kritieke peilverhoging  $\Delta h_{\text{kom}}$  is gelijk aan  $\Delta h_1 + \Delta h_2$ . Er zijn drie oppervlakten in de dwarsdoorsnede bepaald, te weten  $A_1$ ,  $A_2$  en  $A_3$ .



Figuur 7-6 Schematisering kombergend oppervlak afhankelijk van de waterstand

In het dijktraject bevinden zich nog drie kunstwerken die uitkomen op dezelfde watergang. Dit betreft een gemaal dat gedurende hoogwater water uitmaalt ( $Q_{\text{pomp}}$  m<sup>3</sup>/s), een schutsluis en een keersluis. De schutsluis beschikt over een stormvloeddeur met een kerende hoogte die significant hoger is dan de beide keersluizen. De tweede keersluis betreft een zelfde soort constructie als het beschouwde kunstwerk, alleen is de breedte van dit kunstwerk tweemaal zo klein. Het beschikbare kombergend volume wordt gedurende een hoogwater ook benut door toestromend water vanuit het achterland met een gemiddelde toevoer van  $Q_{\text{achterland}}$  m<sup>3</sup>/s. De duur van de hoogwatergolf is in totaal  $t_{\text{hoogwater}}$ .

Het voor het kunstwerk beschikbare volume aan komberging kan met de volgende formule benaderd worden:

$$V_{c, kw} = A_{\text{gem}} \cdot \Delta h_{\text{kom}} - \sum_{i=1}^{i=n} V_{kw, i} + V_{\text{pompen}} - V_{\text{achterland}}$$

Waarin:

- $V_{c, kw}$  Kombergend vermogen (volume) beschikbaar voor het beschouwde kunstwerk [m<sup>3</sup>].
- $A_{\text{gem}}$  Het voor komberging gemiddeld beschikbare oppervlak [m<sup>2</sup>].
- $\Delta h_{\text{kom}}$  Kritieke peilverhoging komberging [m] (zie §7.5.3).
- $V_{kw, i}$  Instromend volume door kunstwerk  $i$  dat aansluit op hetzelfde kombergende vermogen [m<sup>3</sup>].
- $n$  Aantal kunstwerken buiten het beschouwde kunstwerk dat op dezelfde komberging uitkomt [-].
- $V_{\text{achterland}}$  Instromend volume als gevolg van aanvoer vanuit het achterland [m<sup>3</sup>].

$V_{pompen}$  Volume dat gedurende een hoogwater kan worden weggepompt door inzet van bijvoorbeeld aanwezige gemalen of mobiele pompen [m<sup>3</sup>].

Rekening houdend met het ter plaatse van toepassing zijnde verloop van de hoogwatergolf (en daarmee de duur van de top van de hoogwatergolf  $t_s$ ) kan de formule worden omgeschreven naar:

$$V_{c,kw} = A_{gem} \cdot \Delta h_{kom} - \sum_{i=1}^{i=n} V_{kw,i} + (Q_{pompen} - Q_{achterland}) \cdot t_s$$

De diverse parameters kunnen nu worden uitgewerkt:

$A_{gem}$  Het gemiddelde beschikbare kombergend oppervlak ( $A_{gem}$ ) is in dit geval gelijk aan:

$$A_{gem} = \frac{\frac{1}{2} \cdot (A_1 + A_2) \cdot \Delta h_1 + \frac{1}{2} \cdot (A_2 + A_3) \cdot \Delta h_2}{\Delta h_1 + \Delta h_2} = \frac{A_1 \cdot \Delta h_1 + A_3 \cdot \Delta h_2}{2 \cdot \Delta h_{kom}} + \frac{A_2}{2}$$

$\Delta h_{kom}$  Dit is de waarde van de kritieke peilverhoging.

$n$  In dit geval gelijk aan 1. Er is namelijk nog één andere keersluis die een vergelijkbare kerende hoogte bezit. De aanspraak van de schutsluis op het kombergend vermogen wordt in dit voorbeeld verwaarloosbaar geacht.

$V_{kw,i}$  Het volume dat over de andere keersluis stroomt, zal in het voorbeeld verhoudingsgewijs 2 keer zo klein zijn als het volume over het beschouwde kunstwerk. De breedte is namelijk 2 keer zo klein.  $V_{kw,i}$  is hier daarom gelijk aan  $\frac{1}{2} \cdot V_{c,kw}$ .

De voor het kunstwerk beschikbare komberging is nu gelijk aan:

$$V_{c,kw} = A_{gem} \cdot \Delta h_{kom} - \frac{1}{2} \cdot V_{c,kw} + (Q_{pompen} - Q_{achterland}) \cdot t_s$$

$$V_{c,kw} = \frac{2}{3} \cdot \left( A_{gem} \cdot \Delta h_{kom} + (Q_{pompen} - Q_{achterland}) \cdot t_s \right)$$

Het in te voeren kombergend oppervlak wordt nu:

$$A_{kom} = \frac{V_{c,kw}}{\Delta h_{kom}} = \frac{2}{3} \cdot \left( A_{gem} + \frac{(Q_{pompen} - Q_{achterland}) \cdot t_s}{\Delta h_{kom}} \right)$$

### 7.5.3 Kritieke peilverhoging komberging

Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	$\mu$	$V_r/\sigma$	$\Delta_x$	$\rho_x$	$\Delta_t$	$\rho_t$
$\Delta h_{kom}$	[m]	logn	Invoer	$\sigma=0,10$	-	0	-	1

De *kritieke peilverhoging komberging* ( $\Delta h_{kom}$  [m]) is de peilverhoging op het kombergend oppervlak die nog net niet leidt tot significante overstromingsgevolgen in het achterland. Verondersteld wordt dat de *kritieke peilverhoging komberging* lognormaal is verdeeld. Die verdeling wordt gekarakteriseerd door een verwachtingswaarde  $\mu$  en een standaardafwijking  $\sigma$

= 0,10 [-]. De verwachtingswaarde moet worden opgegeven en de variatiecoëfficiënt kan worden aangepast.

### Hoe te bepalen

De kritieke peilverhoging kan bepaald worden middels onderstaande formule:

$$\Delta h_{kom} = h_{bi,kr} - h_{bi,hoogwater}$$

Waarin:

$\Delta h_{kom}$	Kritieke peilverhoging komberging [m].
$h_{bi,kr}$	Peil in het achterland waarbij nog net geen significante gevolgen optreden [m+NAP].
$h_{bi,hoogwater}$	Peil dat onder hoogwateromstandigheden op het binnenwater wordt gehandhaafd [m+NAP].

Het kritieke peil op het binnenwater wordt in eerste instantie bepaald door de criteria die verbonden zijn aan de definitie van het kombergend vermogen. Dat betekent dat er sprake moet zijn van significante gevolgen<sup>8</sup>, hetgeen binnen de *gedetailleerde toets* als volgt vorm is gegeven:

- Het normpeil van het regionale watersysteem wordt overschreden (indien het watersysteem van de komberging is omringd door 'zachte' kades).
- 0,3 m water op straat/maaienveld staat (indien het watersysteem van de komberging is omringd door kades die niet door kunnen breken of als achter de kering geen regionaal watersysteem aanwezig is).

In een *toets op maat* kan nog worden beschouwd of dit nog verder kan worden aangescherpt.

Voor het kritieke binnenpeil wordt dus in principe die waterstand aangehouden die past bij de normering van de achterliggende kades. Dit kan alleen worden toegepast als de achterliggende kades hier ook daadwerkelijk op zijn beoordeeld. Indien dit niet het geval is, kan het gebeuren dat er geen correct beeld van de veiligheid ontstaat. De kades kunnen immers wel genormeerd zijn met een bijbehorende waterstand, maar als ze hierop niet beoordeeld zijn, zegt deze normering niets over de daadwerkelijk aanwezige sterkte van deze kades en daarmee over de daadwerkelijke veiligheid van de primaire kering.

Het binnenpeil is het peil dat onder hoogwateromstandigheden gehandhaafd wordt op het open binnenwater. Dit kan een ander peil zijn dan het streefpeil van het betreffende binnenwater. Het binnenpeil is afhankelijk van het gevoerde waterbeheer vlak vóór en tijdens hoogwater en optredende kwel. Indien het binnenpeil tijdens hoogwater niet bekend is, of niet gecontroleerd wordt, kan als vertrekpunt worden uitgegaan van het winterpeil. Wel moet geverifieerd worden of deze als gevolg van met name kwel<sup>9</sup> niet alsnog hoger kan zijn. Het meenemen van ervaringen van recente hoogwaterperiodes is gewenst bij het bepalen van het aan te houden binnenpeil.

---

<sup>8</sup> Voor instroming bij kunstwerken wordt binnen het WBI de volgende definitie van 'significante gevolgen' gehanteerd: tenminste 10 miljoen euro schade en/of tenminste 1 slachtoffer.

<sup>9</sup> Afwatering van andere kunstwerken op het betreffende binnenwater is onder de parameter *Akom* reeds beschouwd

Aanbevolen wordt om de standaardwaarde van de standaardafwijking niet aan te passen. Indien dit toch gewenst is, dient dit te worden onderbouwd.

#### Aandachtspunten

De parameter heeft een sterke relatie met het kombergend oppervlak. In de schematisering is ervoor gekozen om middels de parameter van het kombergend oppervlak ( $A_{kom}$ , zie §7.5.2) overige invloeden op het kombergend vermogen te verrekenen.

Een specifieke aanpassing van het streefpeil is mogelijk, indien bewust voorafgaand aan een hoogwater afgemaald wordt naar een lager peil, zodat er een groter kombergend vermogen aanwezig is.

#### Voorbeeld

Achter een kunstwerk is een kombergend oppervlak aanwezig. Het streefpeil onder dagelijkse omstandigheden bedraagt in de winterperiode NAP +2,0 m. Voorafgaand aan een hoogwater wordt het peil afgemaald tot NAP +1,6 m. Hiertoe wordt een gemaal ingezet. De achterliggende kering is niet genormeerd, maar bij een waterstand van NAP +2,8 m wordt verwacht dat de achterliggende kering bezwijkt als gevolg van piping in een kadevak.

Dit alles betekent dat de toelaatbare peilverhoging gelijk is aan  $\Delta h_{kom} = \text{NAP} + 2,80 \text{ m} - \text{NAP} + 1,60 \text{ m} = 1,20 \text{ m}$ .

### 7.5.4 *Modelfactor instromend volume*

#### Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	$\mu$	$V_r/\sigma$	$\Delta_x$	$\rho_x$	$\Delta_t$	$\rho_t$
$m_{in}$	[-]	det	1,0	—	-	-	-	-

De *modelfactor instromend volume* ( $m_{in}$  [-]) is de modelfactor die de onzekerheden in het model voor het instromende volume in rekening brengt. Deze modelonzekerheid is uiteindelijk buiten beschouwing gelaten omdat de onzekerheid omtrent het instromend volume al bij de andere parameters van de Z-functie in rekening wordt gebracht. De *modelfactor instromend volume* is voor het toetsspoor *hoogte kunstwerk* een determinist: gerekend moet worden met de verwachtingswaarde  $\mu = 1,0$ .

#### Hoe te bepalen

Deze is als een deterministische variabele met een vaste standaardwaarde van 1 in het instrumentarium voor de *gedetailleerde toets* opgenomen. Feitelijk speelt deze parameter in de modellering dus geen rol.

#### Aandachtspunten

n.v.t.

#### Voorbeeld

n.v.t.

### 7.5.5 *Stormduur*

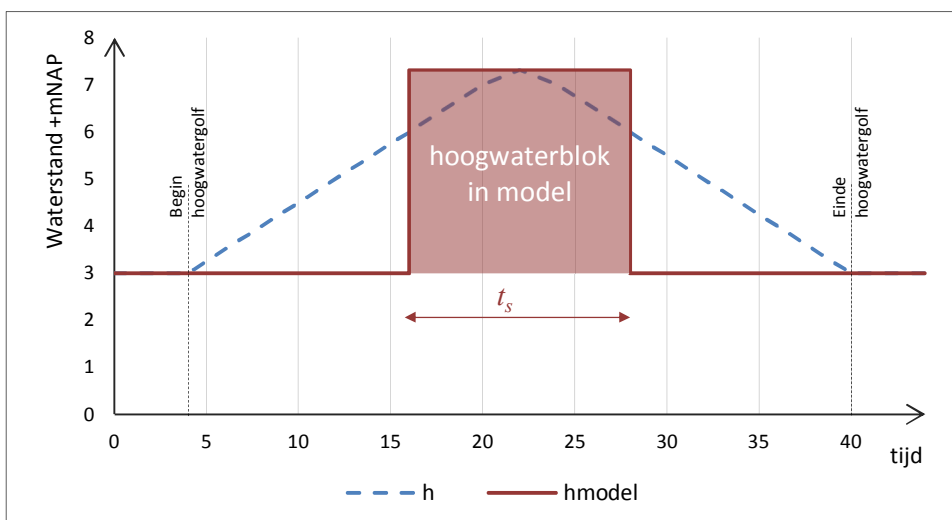
### Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	$\mu$	$V_r/\sigma$	$\Delta_x$	$\rho_x$	$\Delta_t$	$\rho_t$
$t_s$	[uur]	logn	7,5	$V_r=0,25$	-	1	-	0

De *stormduur* ( $t_s$  [uur]) is de duur van de piek van de storm waarmee het inkomende volume van buitenwater kan worden bepaald. Verondersteld wordt dat het kritiek debiet lognormaal is verdeeld. Om die verdeling te karakteriseren moet de verwachtingswaarde  $\mu$  worden opgegeven. Voor de variatiecoëfficiënt  $V_r$  is er een standaardwaarde 0,25 [-] die niet kan worden aangepast.

### Hoe te bepalen

Middels deze parameter kan een zeer globale schematisering van de afvoergolf worden bewerkstelligd. Het model voor komberging in Ringtoets is alleen in staat om de afvoergolf als een blok te schematiseren, waarbij de piek van de buitenwaterstand gedurende de tijdsperiode  $t_s$  als constant wordt verondersteld. In onderstaande Figuur 7-7 is een voorbeeld opgenomen.



Figuur 7-7 Schematisering verloop hoogwatergolf in Ringtoets

In Ringtoets wordt de verwachtingswaarde voor de stormduur door de gebruiker opgegeven. Aanbevolen wordt om in eerste instantie te rekenen met een verwachtingswaarde van 6 uur. Omdat het model in Ringtoets grof is, is het mogelijk om de verwachtingswaarde van de tijdsduur aan te passen. Hiermee is het model voor komberging per kunstwerk specifiek te maken. Vanwege de vele onzekerheden omtrent de werkelijke stormduur is de relatief grote variatiecoëfficiënt niet aanpasbaar.

Ten behoeve van de schematisering wordt aanbevolen voor alle kunstwerken de standaardwaarde van 6 uur te hanteren, behalve bij brede kunstwerken die relatief laag gelegen zijn. Maak in dat geval een nadere analyse van de hoogwaterperiode ter plaatse en de instroom die daarbij optreedt. Voor een kunstwerk aan de kust kan een tijdsduur van 6 uur dan wellicht nog steeds volstaan. In het rivierengebied kan het zijn dat de stormduur wat groter moet worden gekozen.

### Aandachtspunten

n.v.t.

Voorbeeld

n.v.t.

7.5.6 *Optredend overslag-/overloopdebiet*

Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 7.3.3.

7.5.7 *Breedte van de kruin van het kunstwerk*

Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 7.3.9.

## 8 Voorbeeld

In hoofdstuk 7 zijn voor de verschillende aspecten die bij de schematisering van *overslag en/of overloop* een rol spelen diverse voorbeelden opgenomen.

## Verantwoording

Deze *Schematiseringshandleiding hoogte kunstwerk* is in opdracht van Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving opgesteld door Deltares. Dit document is als onderdeel van het WBI 2017 besproken met keringbeheerders in de WBI-coördinatiegroep en beoordeeld door de ENW Voorbereidingsgroep WBI 2017.

Schrijver:	B. van Bree (Bob van Bree - Waterbouwkundig advies en projectmanagement).
Regie:	A. Casteleijn (RWS). J. van der Hammen (RWS). K.S. Lam (Deltares). M.M. de Visser (Arcadis).
Review:	R.C.M. Delhez (Greenrivers B.V.). R. Jongejan (Jongejan RMC). D. Pereboom (Deltares). M.M. de Visser (Arcadis). E.O.F. Calle (Deltares)
Eindredactie:	R. 't Hart (Deltares). A. Bizzarri (RWS). M. Hazelhoff (RWS).
Eindcontrole:	R.M. Slomp (RWS). J.G. Knoeff (Deltares). M. Bottema (RWS).



## A Literatuur

- [1] *Aanbeveling "Overloop van coupures en sluisdeuren"*. A. Vrijburcht, RWS, Concept 3A. 2004.
- [2] *Achtergronden Hydraulische Belastingen Dijken IJsselmeergebied, deelrapport 9, Modellerings dammen, voorlanden en golfoploop*. J. P. de Waal, RIZA, rapport 99.046, ISBN-90-369-5270-0. Lelystad, 25 maart 1999.
- [3] *Achtergrondrapport toetsspoor hoogte kunstwerk I - Modellerings optredend overslag-/overloopdebiet (WTI 2017)*. Deltares, kenmerk 1220087-001-GEO-0004. Delft, december 2015.
- [4] *Achtergrondrapport toetsspoor hoogte kunstwerk II - Bepaling kritiek overslag-/overloopdebiet (WTI 2017)*. Deltares, kenmerk 1220087-001-GEO-0011. Delft, december 2015.
- [5] *EurOtop wave overtopping of sea defences and related structures: assessment manual*. Environment Agency/Expertise Netwerk Waterkeren/Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, augustus 2007.
- [6] *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI*. Rijkswaterstaat - Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- [7] *Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering*. K.W. Pilarczyk. Rijkswaterstaat, Delft, ISBN 90 5809 302 6. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 2000.
- [8] *Golfbelastingen in havens en afgeschermd gebieden*, redactie Gerbrand van Vledder. Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, 31 augustus 2014.
- [9] *Handleiding Datamanagement WBI 2017*. Rijkswaterstaat - Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- [10] *Handreiking schematisatie dijkprofielen, voorlanden en dammen. Golfoverloop en golfoverslag, RWSSOMeren*. P. van Steeg, A. S. Smale, Deltares. 12008217-000-HYE-0004, versie 1 definitief, Delft, september 2013.
- [11] *Introduction to bed, bank and shore protection*. G.J. Schiereck en H.J. Verhagen. VSSD, Delft, 2012.
- [12] *Leidraad Kunstwerken*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. ISBN 90-369-5544-0. Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, mei 2003.
- [13] *Ontwerp van schutsluizen*. Rijkswaterstaat, Bouwdienst, deel 1: ISBN 90-369-3305-6, deel 2: ISBN 90-369-3306-4. Utrecht, juni 2000.
- [14] *Scour Manual*. G.J.C.M. Hoffmans en H.J. Verheij, ISBN 90-5411-0673-5. January 1997.

- [15] *Toegepaste vloeistofmechanica, hydraulica voor waterbouwkundigen*. Nortier, ISBN 90-401-0318-6, 1996.
- [16] *Toetsspoorrapport betrouwbaarheid sluiting (WTI 2017)*. Deltares, kenmerk 1220087-002-GEO-0009. Delft, december 2015.
- [17] *Toetsspoorrapport hoogte kunstwerk (WTI 2017)*. Deltares, kenmerk 1220087-001-GEO-0010-jvm. Delft, december 2015.
- [18] *Waterstandsverlopen zoete en zoute wateren*. HKV, PR2803, april 2014.
- [19] *Grondslagen voor hoogwaterbescherming*. ENW rapport, december 2016

## B Begrippen, afkortingen en symbolenlijst

Voor de verklaring van afkortingen en de definities van de begrippen wordt verwezen naar Appendix B van *WBI 2017 Bijlage I Procedure*.

Symbol	Omschrijving	Eenheid
$A_{kom}$	kombergend oppervlak	[m <sup>2</sup> ]
$A_i$	kombergend oppervlak bij waterstand $i$	[m <sup>2</sup> ]
$B$	breedte van keermiddelen en/of constructie	[m]
$B_{sv}$	stroomvoerende breedte	[m]
$g$	zwaartekrachtversnelling (=9,81)	[m/s]
$H_{m0}$	significante golfhoogte	[m]
$h$	lokale buitenwaterstand	[m+NAP]
$h_{bb}$	hoogte bovenkant bodembescherming	[m+NAP]
$h_{bi}$	binnenwaterstand	[m+NAP]
$h_{bi,hoogwater}$	peil dat onder hoogwateromstandigheden op het binnenwater wordt gehandhaafd	[m+NAP]
$h_{bi,kr}$	peil in het achterland waarbij nog net geen significante gevolgen optreden	[m+NAP]
$h_{bin}$	waterdiepte boven boden aan de binnenzijde	[m]
$h_{kr}$	kerende hoogte kunstwerk	[m+NAP]
$k_h$	diepteparameter	[-]
$k_{sl}$	taludfactor	[-]
$k_t$	turbulentiefactor	[-]
$m_{in}$	modelfactor instromend volume	[-]
$m_{kom}$	modelfactor kombergend vermogen	[-]
$m_{os}$	modelfactor voor overslagdebiet	[-]
$N_{dsn}$	lengte-effectfactor voor een kunstwerk	[-]
$n$	aantal	[-]
$P_{eis}$	norm van het dijktraject	[1/jaar]
$P_{eis,kw}$	faalkanseis per kunstwerk	[1/jaar]
$Q_{achterland}$	debiet dat tijdens hoogwater toestroomt vanuit het achterland	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_c$	kritieke debiet i.v.m. bodembescherming	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_{pomp}$	debiet dat tijdens hoogwater wordt uitgemaald	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_{os/ol}$	optredend overslag-/overloopdebiet	[m <sup>3</sup> /s]
$q_c$	kritiek debiet per m <sup>1</sup> , sterkte bodembescherming	[m <sup>3</sup> /s/m]
$q_{os/ol}$	optredend overslag-/overloopdebiet per m <sup>1</sup>	[m <sup>3</sup> /s/m]
$r$	relatieve turbulentie-intensiteit	[-]
$t_s$	stormduur	[uur]
$t_1$	tijd waarop de maximum kuildiepte gelijk is aan de initiële waterdiepte	[uur]
$u_c$	dieptegemiddelde kritieke stroomsnelheid met betrekking tot de bodembescherming	[m/s]
$u_{kr}$	kritieke stroomsnelheid bodemmateriaal	[m/s]
$V_{achterland}$	watervolume dat tijdens hoogwater toestroomt vanuit het achterland	[m <sup>3</sup> ]
$V_c$	maximaal aanwezig kombergend volume	[m <sup>3</sup> ]
$V_{c,kw}$	maximaal beschikbaar kombergend volume voor het beschouwde kunstwerk	[m <sup>3</sup> ]
$V_{os/ol}$	maximaal inkomend volume	[m <sup>3</sup> ]
$V_{pompen}$	watervolume dat tijdens hoogwater wordt weggepompt	[m <sup>3</sup> ]
$V_r$	variatiecoëfficiënt	[-]
$y_{max}$	maximum kuildiepte na tijd $t$	[m]
$Z$	faalfunctie	[m <sup>3</sup> /s]
$\alpha$	coëfficiënt voor invloed turbulentie	[-]
$\beta$	hoek van golfaanval	[°]
$\gamma_n$	invloedsfactor neusconstructie	[-]
$\gamma_\beta$	invloedsfactor scheve golfval	[-]

$\Delta$	relatieve dichtheid steen	[-]
$\Delta h_{kom}$	kritieke peilverhoging komberging	[m]
$\Delta_t$	correlatietijdsduur voor variaties in de tijd	[uur]
$\Delta_x$	correlatielengte voor de ruimtelijke spreiding	[m]
$\Delta_z$	relatieve dichtheid zand	[-]
$\phi_{sc}$	stabiliteitsparameter steenbestorting	[-]
$\theta$	golfrichting	[°N]
$\mu$	verwachtingswaarde	divers
$\rho_s$	soortelijke massa steen	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_t$	ondergrens van correlatiecoëfficiënt m.b.t. variaties in de tijd	[-]
$\rho_w$	soortelijke massa water	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_t$	ondergrens van correlatiecoëfficiënt m.b.t. ruimtelijke spreiding	[-]
$\rho_{zand}$	soortelijke massa zand	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\sigma$	standaardafwijking	divers
$\psi_{cr}$	schuifspanningsparameter	[-]
$\psi_{kw}$	oriëntatie normaal van kunstwerk	[°N]
$\omega$	faalkansruimte voor het betreffende toetsspoor	[-]

## C Definitie falen komberging

Binnen het WBI 2017 wordt het volgende faalcriterium met betrekking tot komberging gehanteerd:

*Het kombergend vermogen wordt overschreden als het instromende water leidt tot significante gevolgen in het achterliggende watersysteem dan wel gebied.*

In de *gedetailleerde toets* wordt ervan uitgegaan dat significante gevolgen optreden als:

- het normpeil van het regionale watersysteem wordt overschreden (indien het watersysteem van de komberging is omringd door 'zachte' kades).
- bij 0,2 m water op straat/maaiveld (indien het watersysteem van de komberging is omringd door kades die niet door kunnen breken of als achter de kering geen regionaal watersysteem aanwezig is).

Toelichting:

Komberging is in feite een beschikbaar volume dat gevuld kan worden met water zonder dat dit tot significante gevolgen leidt. Er is dan wel behoefte aan een heldere definitie van de term 'significante gevolgen'.

Gevolgen kunnen worden uitgedrukt in schade en slachtoffers. Aangesloten zou kunnen worden bij de schade en slachtofferaantallen die aan de vaststelling van de norm ten grondslag hebben gelegen. Daar is immers ook de norm op gebaseerd waaraan het kunstwerk dient te voldoen. Het is echter bestuurlijk niet uit te leggen dat het kunstwerk niet als gefaald wordt beschouwd, terwijl het kombergend vermogen zodanig wordt overschreden dat substantiële schades en slachtofferaantallen worden bereikt. Daarom is het noodzakelijk een milder faalcriterium te kiezen, hetgeen een subjectieve en daarmee politiek/bestuurlijke keuze is.

Binnen het WBI wordt de term 'significante gevolgen' daarom gedefinieerd als een schade van minimaal 10 miljoen euro en/of tenminste één slachtoffer. Hoewel dit een eenduidig en helder gedefinieerd criterium is, is het in de praktijk bewerkelijk om hieraan te toetsen. Dit komt doordat schade en slachtofferfuncties gebiedsafhankelijk zijn. Het zou per kunstwerk een achterlandstudie inclusief overstromingssimulatie vergen om vast te stellen of het faalcriterium wordt overschreden. Daarom wordt een pragmatische werkwijze voorgesteld waarin wordt gewerkt met een bepaalde toelaatbare waterdiepte. Ten behoeve van de *gedetailleerde toets* wordt aangesloten bij de definitie uit de Grondslagen voor zowel bebouwd als landelijk gebied:

*als de gemiddelde waterdiepte in minimaal één gebied of buurt met gelijke viercijferige postcode (op basis van de wijk- en buurtkaart van het CBS) kleiner is dan 0,2 meter, is geen sprake van een overstroming.*

Uiteraard kan hier door de beheerder van worden afgeweken, als de beheerder op basis van de specifieke kenmerken van zijn gebied inschat dat bij een hogere of lagere waterdiepte achter een kunstwerk minimaal 10 miljoen euro schade optreedt en/of tenminste 1 slachtoffer valt. Dit kan in de *toets op maat* gebeuren.

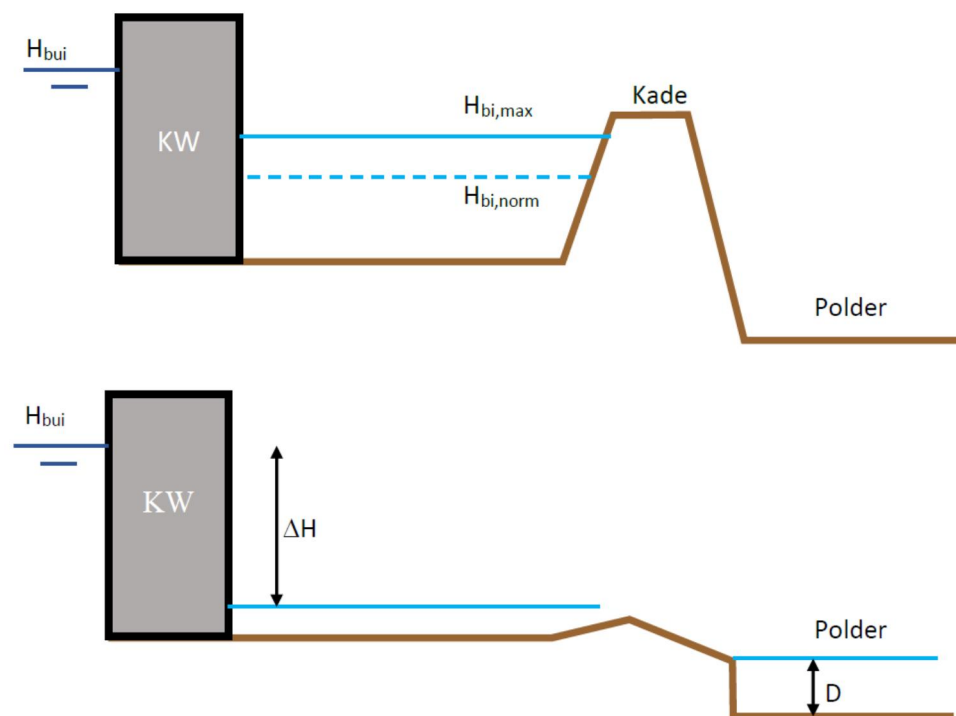
Het kombergend vermogen kan op drie wijzen worden overschreden zodanig dat significante gevolgen optreden:

1. Het achterliggend watersysteem wordt omringd met zachte kades (grondlichamen). Hier is sprake van significante gevolgen als de kades bezwijken of overlopen, waarna (een deel van) het watersysteem leeg loopt in het achterliggende gebied. Hierbij moet het in principe gaan om een zodanig watervolume dat dit leidt tot een schade van minimaal 10 miljoen euro en/of tenminste 1 slachtoffer. Ook hierbij kan de praktische maat van 0,20 m water op straat of in landelijk gebied gehanteerd worden. De *gedetailleerde toets* beperkt zich tot het bezwijken van de kades, de gevolgen die daarna optreden worden nog niet beschouwd. Dat vindt eventueel plaats in een *toets op maat*. Voor de waterstand waarbij bezwijken van de kades optreedt wordt in de *gedetailleerde toets* in principe uitgegaan van het normpeil behorend bij de kadeklasse van de betreffende kades. Indien de achterliggende kades niet zijn genormeerd (of om andere redenen geen normpeil beschikbaar is) dan wordt de toelaatbare peilstijging ingeschat, waarbij in de praktijk vaak wordt uitgegaan van een waterstand waarbij een initiërend faalmechanisme bij de achterliggende kades optreedt.
2. Het achterliggend watersysteem wordt omringd door kades die praktisch niet kunnen doorbreken. Bijvoorbeeld doordat sprake is van harde kades bij een haven of doordat de boorden van de watergang op of beneden het maaiveld gelegen zijn. In dat geval is pas sprake van falen als de kades dusdanig overlopen dat dit leidt tot een schade van minimaal 10 miljoen euro en/of tenminste 1 slachtoffer. In de *gedetailleerde toets* wordt een pragmatische werkwijze gehanteerd waarin wordt gesteld dat bij een waterdiepte van 0,20 m dit schade-/slachtoffercriterium wordt overschreden. Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen landelijk en stedelijk gebied.
3. Achter het kunstwerk is geen watergang aanwezig. Dit komt bij coupures veel voor. Er vindt dan direct inundatie van het achterliggende gebied plaats. Ook in deze situatie moet het gaan om een dusdanig volume als gevolg van overslag/overloop dat dit leidt tot een schade van minimaal 10 miljoen euro en/of tenminste 1 slachtoffer. Ook hier kan in de *gedetailleerde toets* de praktische maat van 0,20 m water op straat of in landelijk gebied gehanteerd worden.

Indien een achterliggend watersysteem wordt omringd door 'zachte' kades is in sommige gevallen aanscherping mogelijk in de *toets op maat*. Aanscherping van het oordeel is mogelijk als sprake is van kleine watersystemen waarbij falen op zich niet leidt tot significante gevolgen (doordat het volume dat dan het achterliggende gebied in stroomt klein is). In deze situatie moet beschouwd worden of falen van de 'zachte' kade ook andere (deel)faalmechanismen kan initiëren.

Andere (deel)faalmechanismen kunnen in gang gezet worden als ná falen van de kades de binnenwaterstand zover daalt dat het verval over het kunstwerk sterk toeneemt. Hierbij kunnen drie gevolgsituaties worden onderscheiden:

1. Het kunstwerk staat hoogwaterkerend gesloten. Als gevolg van het overslag-/overloopdebiet neemt de binnenwaterstand eerst zodanig toe dat de kades achter de primaire kering falen. De binnenwaterstand daalt hierdoor tot onder de normale binnenwaterstand. Hierdoor neemt de stroomsnelheid ter plaatse van de bodembescherming achter het kunstwerk zodanig toe, dat het faalcriterium met betrekking tot erosie bodembescherming wordt overschreden.
2. Idem als bij 1, waarbij het toegenomen verval over het kunstwerk leidt tot bezwijken van waterkerende constructie-onderdelen of overall-instabiliteit van het kunstwerk.
3. De sluiting van het kunstwerk is gefaald. Als gevolg van het instromende debiet neemt de binnenwaterstand eerst zodanig toe dat de kades achter de primaire kering falen. De binnenwaterstand daalt hierdoor en het verval over het kunstwerk neemt toe. Hierdoor neemt het instromende debiet zodanig toe dat het faalcriterium met betrekking tot erosie bodembescherming wordt overschreden.



Figuur 8-1 Voorbeeld van situatie waarin verval over het kunstwerk sterk toeneemt na bezwijken van de kades rond de komberging (boven: situatie vóór bezwijken kades, onder: situatie ná bezwijken kades komberging)

Bij een klein achterliggend watersysteem dat wordt omringd door 'zachte' kades is aanscherping mogelijk in de *toets op maat* als falen van de 'zachte' kade niet leidt tot het initiëren van andere (deel)faalmechanismen van het kunstwerk in de primaire waterkering. In dat geval kan het kombergend volume zodanig verruimd

worden dat dit leidt tot significante gevolgen (praktische uitwerking: dat in het achter de kom gelegen gebied 0,2 m water op straat/maaiveld komt te staan). Als falen van de 'zachte' kade wél leidt tot het initiëren van andere (deel)faalmechanismen dan kan het kombergend volume niet worden vergroot en is aanscherping dus niet mogelijk.

Samengevat wordt in de *gedetailleerde toets* aangehouden dat significante gevolgen optreden als:

- het normpeil van het regionale watersysteem wordt overschreden (indien het watersysteem van de komberging is omringd door 'zachte' kades).
- 0,2 m water op straat/maaiveld staat (indien het watersysteem van de komberging is omringd door kades die niet door kunnen breken of als achter de kering geen regionaal watersysteem aanwezig is).

Aanscherping kan plaats vinden in de *toets op maat*, als falen van de zachte kade niet leidt tot het initiëren van andere (deel)faalmechanismen van het kunstwerk in de primaire waterkering. In dat geval kan het kombergend volume zodanig verruimd worden dat in het achter de kom gelegen gebied 0,2 m water op straat/maaiveld komt te staan.







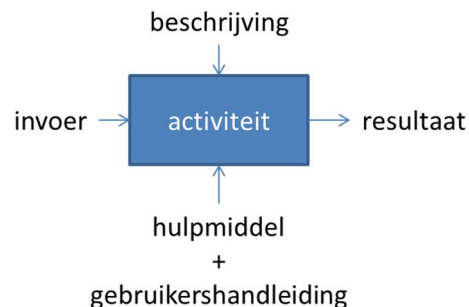
## D Schema werkwijze beoordeling hoogte kunstwerk

Hieronder is schematisch de werkwijze van de beoordeling van het toetsspoor Hoogte kunstwerk (HTKW) weergegeven (Figuur 2).

### D.1

#### **Toelichting op het schema werkwijze beoordeling**

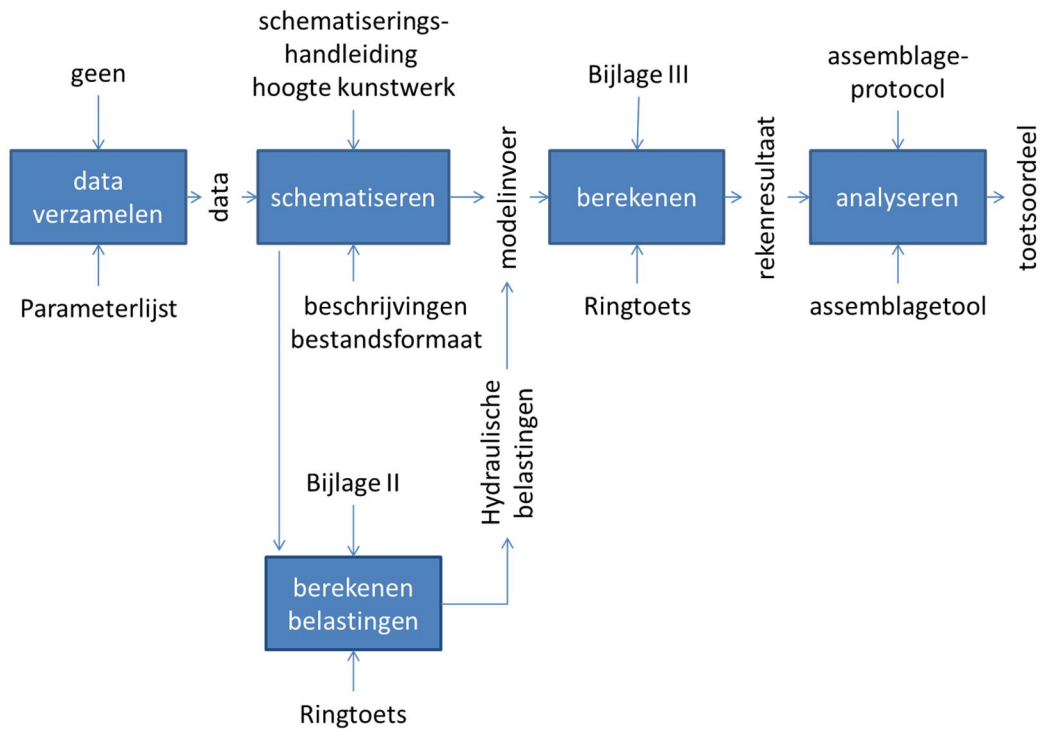
De werkwijze bestaat uit opvolgende activiteiten waarbij het resultaat van de voorgaande activiteit de invoer is van de volgende activiteit. Deze activiteiten moeten doorlopen worden om te komen tot een oordeel. Per activiteit kan worden beschreven hoe men van de invoer komt tot de benodigde uitvoer. Daarnaast wordt aangegeven of een activiteit door hulpmiddelen wordt ondersteund. Het schema van een activiteit ziet er in het algemeen uit zoals Figuur 1.



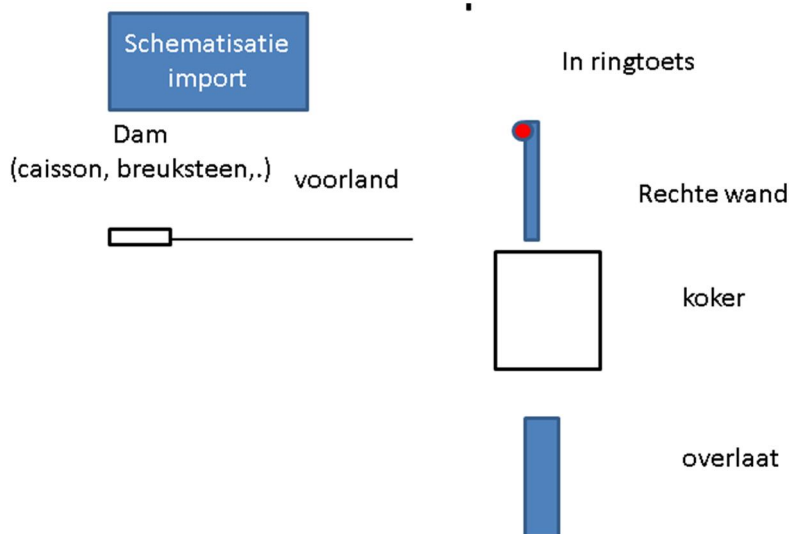
Figuur D.1 Het algemene schema van een activiteit. Een aaneenschakeling van benodigde activiteiten bij een beoordeling geeft de schematische werkwijze van de beoordeling weer.

Het beoordelingsinstrumentarium bestaat uit verschillende documenten en tools/software om te komen tot een oordeel. In het schema is aangegeven welke (hoofd) documenten en tools/software betrekking hebben op een activiteit. Bij de activiteit wordt in de referenties na het schema gerefereerd naar de alle beschikbare documenten en/of tools/software behorende bij de activiteit. Op deze manier kan de beoordelaar bij elke activiteit achterhalen welke documenten en/of tools/software van het beoordelingsinstrumentarium relevant zijn om die activiteit uit te kunnen voeren. Er wordt in het schema niet uitsluitend verwezen naar documenten en/of tools/software van het beoordelingsinstrumentarium.

Benadrukt wordt dat dit schema niet het beoordelingsproces beschrijft. Het beoordelingsproces wordt beschreven in Bijlage I 'Procedure' van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017. Het beoordelingsproces is iteratief waarbij één of meerdere activiteiten uit het schema meerdere malen kan worden doorlopen. Afhankelijk van waar men zich bevindt in het beoordelingsproces, kan de invulling van de activiteit anders zijn. Bijvoorbeeld bij de activiteit 'berekenen' kan dit door middel van een eenvoudige toets, gedetailleerde toets per vak of een toets op maat. Verder wordt benadrukt dat de beschrijvingen en hulpmiddelen niet uitputtend zijn. Niet alle invullingen van een activiteit zijn beschreven of worden ondersteund (denk hierbij aan toets op maat).

**Schema werkwijze beoordeling Hoogte kunstwerk (HTKW)****Toetsspoor Hoogte kunstwerk**

Figuur D.2 Schema werkwijze beoordeling Hoogte kunstwerk (HTKW). In het schema zijn alleen de belangrijkste documenten en/of tools/software genoemd. De lijst met alle beschikbare documenten en tools/software die betrekking hebben op een activiteit wordt hieronder beschreven. Let bij dit toetsspoor op dat voor het berekenen van de belastingen mogelijk een schematisatie nodig is.



figuur D.3 Parameters voor Ringtoets voor de hoogte toets.

Voorlanden en dammen komen uit het prfl bestand. De hoogte van de rechte wand en de neus constructie worden in Ringtoets ingevuld. De keuze voor de neusconstructie is pas vanaf mei 2017 beschikbaar.

### D.3 **Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Hoogte kunstwerk (HTKW)**

#### D.3.1 *Activiteit 'data verzamelen'*

Referenties beschrijving activiteit

- Voor de beschrijving van deze activiteit wordt verwezen naar de algemeen geaccepteerde en van toepassing zijnde protocollen, voorschriften en normen in de grond-, water- en wegenbouw die te vinden zijn bij CROW en NEN.

Referenties hulpmiddel activiteit

- *WBI-Parameterlijst (bijlage A uit Handleiding Datamanagement WBI 2017)*. K.S. Lam, Deltares-rapport 209432-002-GEO-0002, Delft, september 2016.

#### D.3.2 *Activiteit 'schematiseren'*

Referenties beschrijving activiteit

- *Schematiseringshandleiding Hoogte kunstwerk, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- *Schematiseringshandleiding Hoogte, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- *Schematiseringshandleiding Hydraulische condities bij de dijkteen, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

Referenties hulpmiddel activiteit

- geen

#### D.3.3 *Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen'*

Referenties beschrijving activiteit

- *Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belastingen primaire waterkeringen*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

Referenties hulpmiddel activiteit

- *Ringtoets, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Tool Waterstandsverloop*
- *Gebruikershandleiding Waterstandsverloop, Versie 2.0*. J. Ansink, R. Kamp, C.P.M. Geerse. HKV, Rapport PR2803.10. Lelystad, mei 2014.

#### D.3.4 *Activiteit 'berekenen toetsoordeel'*

Referenties beschrijving activiteit

- *Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

Referenties hulpmiddel activiteit

- *Ringtoets, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.

- *Ringtoets, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017.* Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017.* Deltares, Delft, september 2016.
- *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI.* Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

#### D.3.5 Activiteit 'analyseren'

Referenties beschrijving activiteit

- *Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen.* Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- *Assemblageprotocol WBI2017, Nadere uitwerking van het beoogde assemblageprotocol voor het wettelijke beoordelingsinstrumentarium.* F. Diermans, K.S. Lam, H. Knoeff, Deltares rapport 1230086-010-GEO-0001, Delft, juni 2016.

Referenties hulpmiddel activiteit

- *Assemblagetool WBI2017.* Nog in ontwikkeling.

#### D.3.6 Toelichting bij de referenties

Het softwareprogramma Ringtoets kan verschillende (sub)activiteiten ondersteunen bij het berekenen van de hydraulische belastingen en bij het berekenen van het rekenresultaat. Daarom wordt Ringtoets meerdere malen genoemd bij de referenties.

De bestandsformaten behorende tot een software of tool zijn beschreven in de handleiding van de betreffende software of tool.