



RWS INFORMATIE

Schematiseringshandleiding hoogte kunstwerk

WBI 2017

Datum	28 mei 2021
Status	Definitief

Colofon

Uitgegeven door	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Informatie	Helpdesk Water, www.helpdeskwater.nl
Contact	helpdeskwater@rws.nl
Uitgevoerd door	Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving
Datum	28 mei 2021
Status	Definitief
Versienummer	3.0

***BELANGRIJK:** De website van het Informatiepunt Leefomgeving (IPLO) is gelanceerd. Het IPLO is dé website voor experts met vragen over bodem, bouwen, water, milieu en de Omgevingswet. Het IPLO bundelt informatie over de uitvoering van de Omgevingswet met de kennis van Bodem+, Kenniscentrum InfoMil, Helpdesk Bouwregelgeving én Helpdesk Water. Alle relevante informatie van deze sites wordt overgebracht naar de IPLO-website en verder uitgebreid. Ook de vraagafhandeling van deze helpdesk gaat in de loop van 2021 via het IPLO verlopen. Dit betekent dat u steeds vaker wordt doorverwezen naar het IPLO. Kijk voor meer informatie op: www.iplo.nl*

In de algemene en specifieke release notes van de release van 28 mei 2021 voor Riskeer 2021.1 op de helpdeskwater staan welke wijzigingen opgenomen zijn.

Indirecte mechanismen zijn toegevoegd als scenario voor alle kunstwerken mechanismen en Gras Erosie Kruin en Binnentalud (GEKB) maar zijn nog niet beschreven in deze schematiseringshandleiding. Dit betekent dat je het effect van het falen van een voorland en voorliggende dam in beeld kan brengen.

Inhoud

Wijzigingen versies schematiseringshandleiding 7

1	Inleiding Schematiseringshandleidingen en WBI	9
1.1	Schematiseringshandleidingen en WBI generiek	9
1.2	Uitgangspunten voor het toetsspoor hoogte kunstwerk	12
1.3	Opbouw	12
2	Stappenschema	14
2.1	Eenvoudige toets	15
2.2	Gedetailleerde toets	15
2.3	Toets op maat	18
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	28
6.1	Schematisering geometrie voor bepaling optredend overslag-/overloopdebiet	28
6.2	Schematisering bodembescherming voor bepaling kritiek debiet	28
6.3	Schematisering komberging	30
6.4	Analyse van de uitkomsten	31
7	Overzicht parameters per deelfaalmechanisme	33
7.1	Overzichtstabel parameters	33
7.2	Deelfaalmechanisme Z_{11} : bezwijken bodembescherming	34
7.2.1	Kritiek overslag-/overloopdebiet	35
7.2.2	Stroomvoerende breedte bodembescherming	41
7.2.3	Optredend overslag-/overloopdebiet	42
7.2.4	Modelfactor overslagdebiet	45
7.2.5	Kerende hoogte kunstwerk	46
7.2.6	Invloedsfactor neusconstructie	47
7.2.7	Oriëntatie normaal van het kunstwerk	47
7.2.8	Modelfactor overloopdebiet volkomen overlaat	49
7.2.9	Breedte van de kruin van het kunstwerk	49
7.3	Deelfaalmechanisme Z_{12} : kans bezwijken kunstwerk als gevolg van erosie bodem	50
7.3.1	Faalkans gegeven erosie bodem	51
7.4	Deelfaalmechanisme Z_{13} : overschrijden bergend vermogen	54
7.4.1	Modelfactor kombergend vermogen	55
7.4.2	Kombergend oppervlak	55
7.4.3	Toegestane peilverhoging komberging	58

7.4.4	Modelfactor instromend volume	60
7.4.5	Stormduur	60
7.4.6	Optredend overslag-/overloopdebiet	61
7.4.7	Breedte van de kruin van het kunstwerk	61
8	Voorbeeld	62
A	Literatuur	64
B	Begrippen, afkortingen en symbolenlijst	66
C	Definitie falen komberging	67
D	Parameterlijst uitgebreid	71
E	Schema werkwijze beoordeling hoogte kunstwerk	73
E.1	Toelichting op het schema werkwijze beoordeling	73
E.2	Schema werkwijze beoordeling Hoogte kunstwerk (HTKW)	74
E.3	Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Hoogte kunstwerk (HTKW)	75
E.3.1	Activiteit 'data verzamelen'	75
E.3.2	Activiteit 'schematiseren'	75
E.3.3	Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen'	75
E.3.4	Activiteit 'berekenen toetsoordeel'	75
E.3.5	Activiteit 'analyseren'	76
E.3.6	Toelichting bij de referenties	76

Wijzigingen versies schematiseringshandleiding

In voorliggende schematiseringshandleiding zijn in de afgelopen jaren enkele wijzigingen doorgevoerd. In dit hoofdstuk worden de wijzigingen per versie weergegeven. De wijzigingen komen voort uit:

- Vragen door gebruikers gesteld aan de helpdesk, welke hebben gezorgd voor verduidelijkingen en aanvullende toelichtingen in de schematiseringshandleiding.
- Voortschrijdend inzicht als gevolg van ervaringen welke zijn opgedaan met de beoordeling van *hoogte kunstwerken*.

De eerste versie (1.0) van de schematiseringshandleiding geldt als basis voor opvolgende versies. Deze eerste versie dateert van 2 januari 2017 en is in de basis gestoeld op het *Toetsspoorrapport Hoogte kunstwerk [1]* en de daaronder liggende achtergrondrapporten. Zowel het Toetsspoorrapport als de achtergrondrapporten hebben na 2017 geen update gehad en zijn op aanvraag beschikbaar. Dat betekent dat deze rapporten mogelijk niet één op één meer passen op de voorliggende schematiseringshandleiding. De basisprincipes zijn echter niet gewijzigd. De genoemde documenten geven dus nog steeds veel inzicht in de werkwijze met betrekking tot *hoogte kunstwerk*. In geval van tegenstrijdigheden prevaleert deze schematiseringshandleiding.

Wijzigingen van versie 2.0 (2019) naar versie 3.0 (2021)

Er zijn in versie 3.0 twee wijzigingen aangebracht ten opzichte van versie 2.0:

Nr.	Wijziging	Waar
3.a	In de formules voor de bepaling van het instromende debiet is expliciet inzichtelijk gemaakt dat in het rekenhart van Riskeer een invloedsfactor wordt gehanteerd om convergentieproblemen te voorkomen bij zeer scheef invallende golven.	§ 7.2.3
3.b	Omdat het programma Ringtoets niet verder ontwikkeld wordt en er in de toekomst alleen gebruik gemaakt wordt van het programma Riskeer (voor zowel beoordelen als ontwerpen) is de term Ringtoets, indien van toepassing, vervangen door de term Riskeer	Gehele document

Wijzigingen van versie 1.0 (2017) naar versie 2.0 (2019)

Versie 2.0 welke dateert van 28 november 2019 bevat meerdere aanpassingen ten opzichte van versie 1.0. Hieronder is een overzicht gegeven van de wijzigingen. Hierbij worden naast inhoudelijke aanpassingen alleen algemene tekstuele aanpassingen vermeld.

Nr.	Wijziging	Waar
2.a	Voor het deelmechanisme komberging is aangesloten op de pragmatische benadering van significante gevolgen uit de Grondslagen.	Bijlage C
2.b	In de vernieuwde versie van de schematiseringshandleiding is daarnaast aandacht besteed is aan: <ul style="list-style-type: none"> • Tekstuele verduidelijkingen van verschillende termen, zoals het correcte gebruik van de termen 'toetsen' en 'beoordelen' • Het zoveel mogelijk vervangen of duiden van de termen 'voldoet'/'voldoet niet'. • Er is een link gelegd tussen symbolen in de schematiseringshandleiding, omschrijving in Riskeer en de ID in het .csv bestand van de kunstwerken zoals gebruikt in Riskeer. 	Gehele document Bijlage D

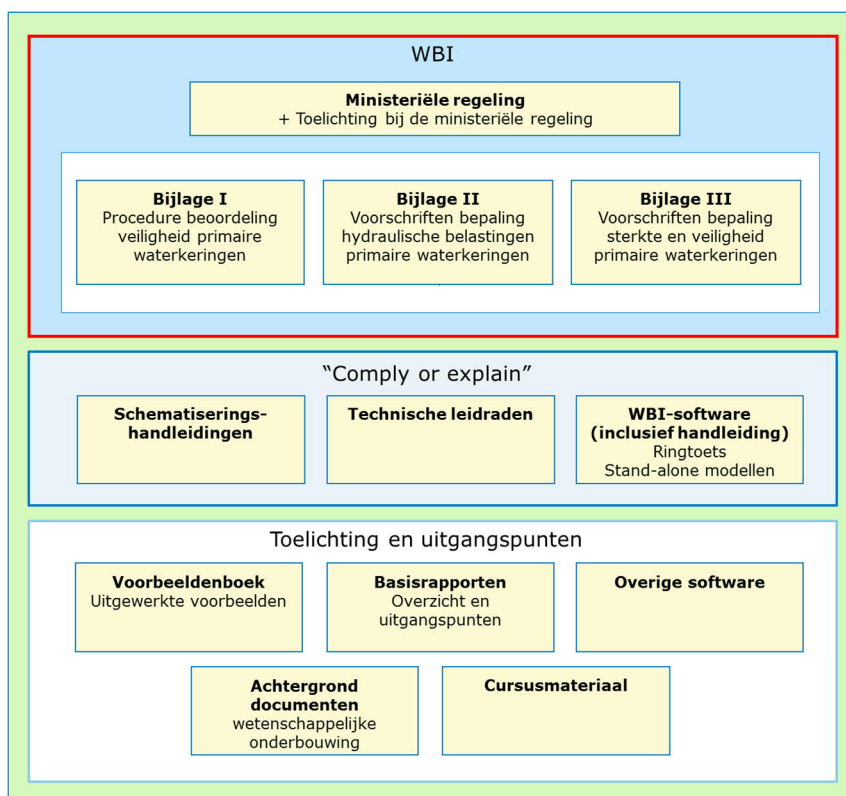
1 Inleiding Schematiseringshandleidingen en WBI

1.1 Schematiseringshandleidingen en WBI generiek

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 ondersteunen 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 1-1. Binnen het rode kader de formele WBI documenten, daarbuiten de ondersteunende documenten en applicaties.



Figuur 1-1 Het WBI 2017 en daaraan gerelateerde documenten

WBI software

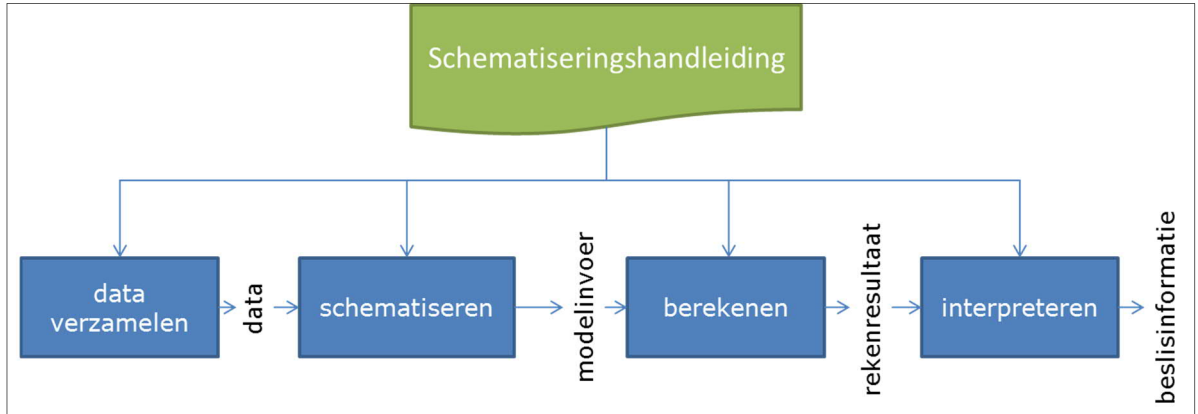
Er zijn meerdere 'WBI applicaties'. Riskeer is feitelijk het 'beoordelings-platform' en staat daarom ook wel bekend als dé WBI software. De andere applicaties, waaronder de diverse Basismodules (zoals BM Gras Buitentalud, BM Asfalt en Steentoets) en D-Soilmodel maken echter ook nadrukkelijk deel uit van de WBI software-familie.

Ringtoets of Riskeer?

Ringtoets en Riskeer zijn beide applicaties waarbinnen voor een aantal toetssporen de berekeningen en analyses kunnen worden uitgevoerd en de resultaten geassembleerd tot op het niveau van een oordeel per traject. Ringtoets versie 18.1.1 blijft de versie die primair bedoeld is voor de eenvoudige en de gedetailleerde toetsingen. Vanaf november 2019 is ook Riskeer beschikbaar, een doorontwikkelde versie van Ringtoets. Er is bewust gekozen voor de naamswijziging om het verschil tussen de applicatie t.b.v. de beoordeling (eenvoudig, gedetailleerd conform de regeling) te scheiden van de applicatie die ook kan worden ingezet voor enkele specifieke Toetsen op Maat en verificatie van overstromingskansen bij het ontwerp. In Riskeer 19.1.1 zijn namelijk nieuwe functionaliteiten beschikbaar en is ook nieuwe kennis toegepast. Wanneer overigens in Riskeer 19.1.1 met dezelfde instellingen wordt gerekend als in Ringtoets 18.1.1 leidt dat tot hetzelfde resultaat. Daar waar in deze schematiseringshandleiding over 'Riskeer' wordt gesproken, kan over het algemeen ook 'Ringtoets' worden gelezen.

Doel van de schematiseringshandleiding

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 1-2. 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 1-2 Activiteiten verbonden met een toets

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, wat zal leiden tot een betere inschatting van de overstromingskans. Vanzelfsprekend zit hier een optimum in, dat van geval tot geval verschilt. Meer gegevens is dus niet per definitie beter.

Faalmechanismen zijn vertaald in modellen. De meer complexe modellen zijn vervolgens weer in software gevat, omdat de berekeningen nu eenmaal niet meer op de achterkant van de sigarendoos kunnen worden gemaakt. Bij softwareontwikkeling worden keuzes gemaakt voor

de (vrijheid van) invoer. Soms zijn modelparameters hard geprogrammeerd, in andere gevallen is het invoer gebruiker. De beschikbare software bepaalt dus in belangrijke mate de benodigde invoer. In algemene zin kunnen we wel stellen dat een schematisering bij een model óf applicatie hoort en niet bij een faalmechanisme. De faalmechanismen zijn beschreven in de [fenomenologische beschrijving WBI](#)¹. De beschikbare modellen en (bijbehorende) applicaties beschrijven soms maar een deel van het hierin beschreven faalspoor. In een aantal gevallen zijn er meerdere modellen beschikbaar en is het aan de gebruiker een keuze te maken.

Het doorlopen van de vier activiteiten uit Figuur 1-2 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.

De schematiseringshandleiding is geen wet. Het is een handleiding die de gebruiker er niet van ontslaat zelf na te denken. Als de lokale situatie aanleiding geeft om af te wijken van wat in de Schematiseringshandleiding staat beschreven, is dat zelfs aan te raden.

Veel van wat in deze schematiseringshandleiding staat beschreven is ook toepasbaar bij het ontwerp van (primaire) waterkeringen, of bijvoorbeeld bij het toetsen van regionale keringen. Op een aantal plekken zijn ook specifiek ten aanzien van ontwerpen handvatten gegeven. De lezer moet zich echter nadrukkelijk realiseren dat deze schematiseringshandleiding is geschreven voor de beoordeling van primaire waterkeringen.

Generieke uitgangspunten voor alle schematiseringshandleidingen

Voor alle schematiseringshandleidingen gelden de volgende uitgangspunten:

- Voor de gegevens die in het rekenmodel voor het toetsspoor worden ingevoerd wordt een format voorgeschreven. Een rekenmodel kent immers toepassingsgrenzen. Het format sluit aan bij de Aquo standaard. Verdere informatie hierover is te vinden in de Handleiding datamanagement² WBI [7].
- 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 de waarden die voor parameters aangehouden kunnen worden. In de Handleiding Datamanagement WBI [7] (paragraaf 4.1) zijn vier typen waarden benoemd, die ook in deze schematiseringshandleiding worden gehanteerd:

¹ <https://www.helpdeskwater.nl/algemene-onderdelen/structuur-pagina/zoeken-site/@192499/fenomenologische/>

² <https://www.helpdeskwater.nl/algemene-onderdelen/structuur-pagina/zoeken-site/@205764/handleiding/>

Tabel 1-1 Indeling bij duiding van de parameterwaarden

Groep	Benaming	Toelichting
1	Vaste waarde	Parameterwaarden mogen door de gebruiker niet worden gewijzigd (voor de beoordeling)
2	Defaultwaarde of aanbevolen waarde	Parameterwaarden mogen door de gebruiker wel worden gewijzigd.
3	Startwaarde	Parameterwaarden worden bij voorkeur door lokale waarden vervangen
4	Vrije waarde	Geen gegeven parameterwaarden. De gebruiker moet de regionale of lokale waarden bepalen of op ervaring inschatten.

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.

1.2

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:

- 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 rekenwaarde van de sterkte van de bodembescherming gereduceerd moet worden.
- 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, specifiek voor het deelfaalmechanisme *onvoldoende bergend vermogen*. Binnen het WBI is dit daarom nader uitgewerkt volgens Bijlage C.

1.3

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 Riskeer) 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*.

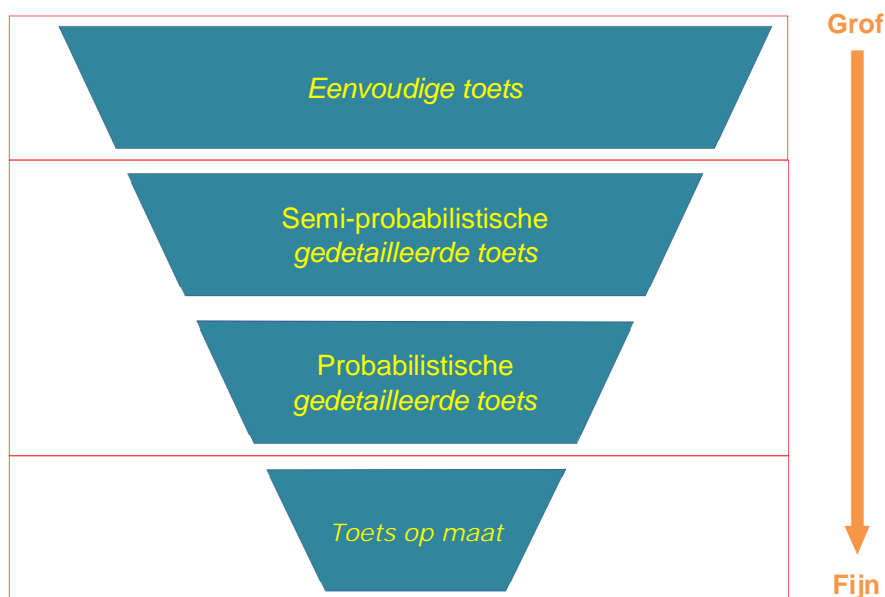
2 Stappenschema

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 beoordelingsproces is dat van grof naar fijn wordt gewerkt. Onzekerheden worden steeds nauwkeuriger meegenomen waardoor een steeds scherper beeld van de overstromingskans wordt verkregen.

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

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



Figuur 2-1 De diverse toetsen in de beoordelingsprocedure

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. Ze worden dan bijvoorbeeld alleen 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 (of kunstwerk). Het toetsspoor hoogte kunstwerk kent een probabilistische toets.

De schema'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*.

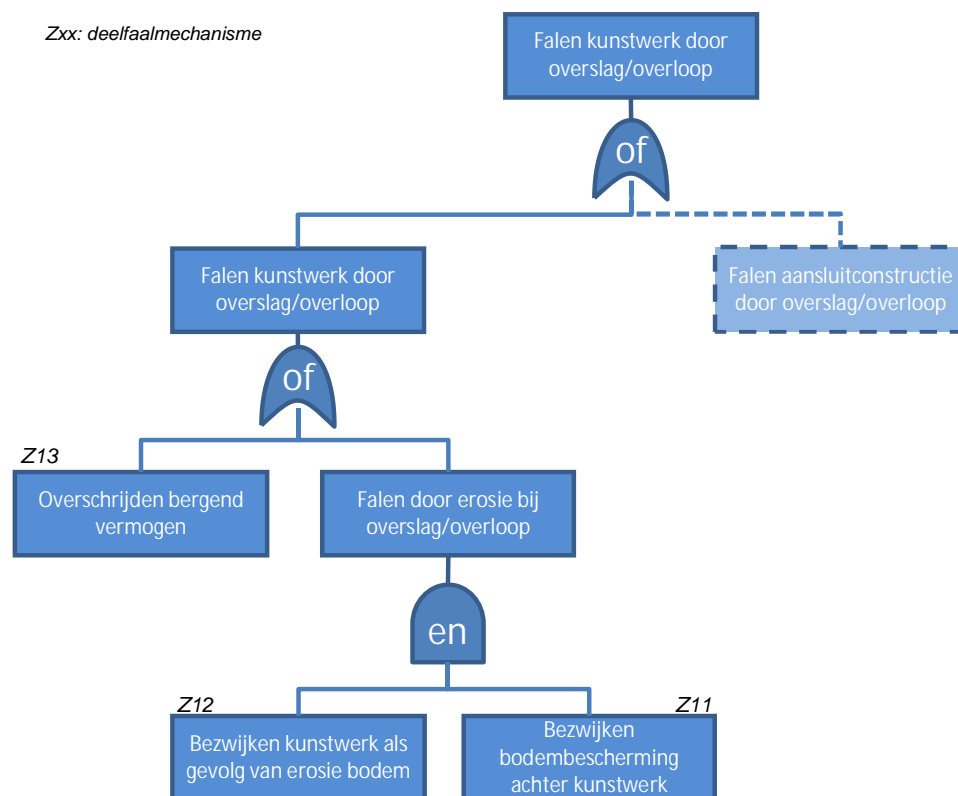
2.1 Eenvoudige toets

In de *eenvoudige toets* wordt alleen nagegaan of het faalmechanisme *overslag en/of overloop* voor het betreffende kunstwerk relevant is. Indien dit niet het geval is, dan is de beoordeling van het vak of kunstwerk gereed en kan de score 'NVT/FV³' worden toegekend. Indien dit wel het geval is, wordt het beoordelingsproces vervolgd met de gedetailleerde toets.

Het toetschema voor de *eenvoudige toets* is gegeven 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 Kunstwerk bestaat uit een probabilistische toets, die met Riskeer uitgevoerd wordt. Hierbij wordt voor een kunstwerk een faalkans berekend, welke wordt vergeleken met de faalkanseis voor dit toetsspoor. Basis voor deze faalkansberekening is onderstaande modellering van het faalmechanisme in Riskeer.



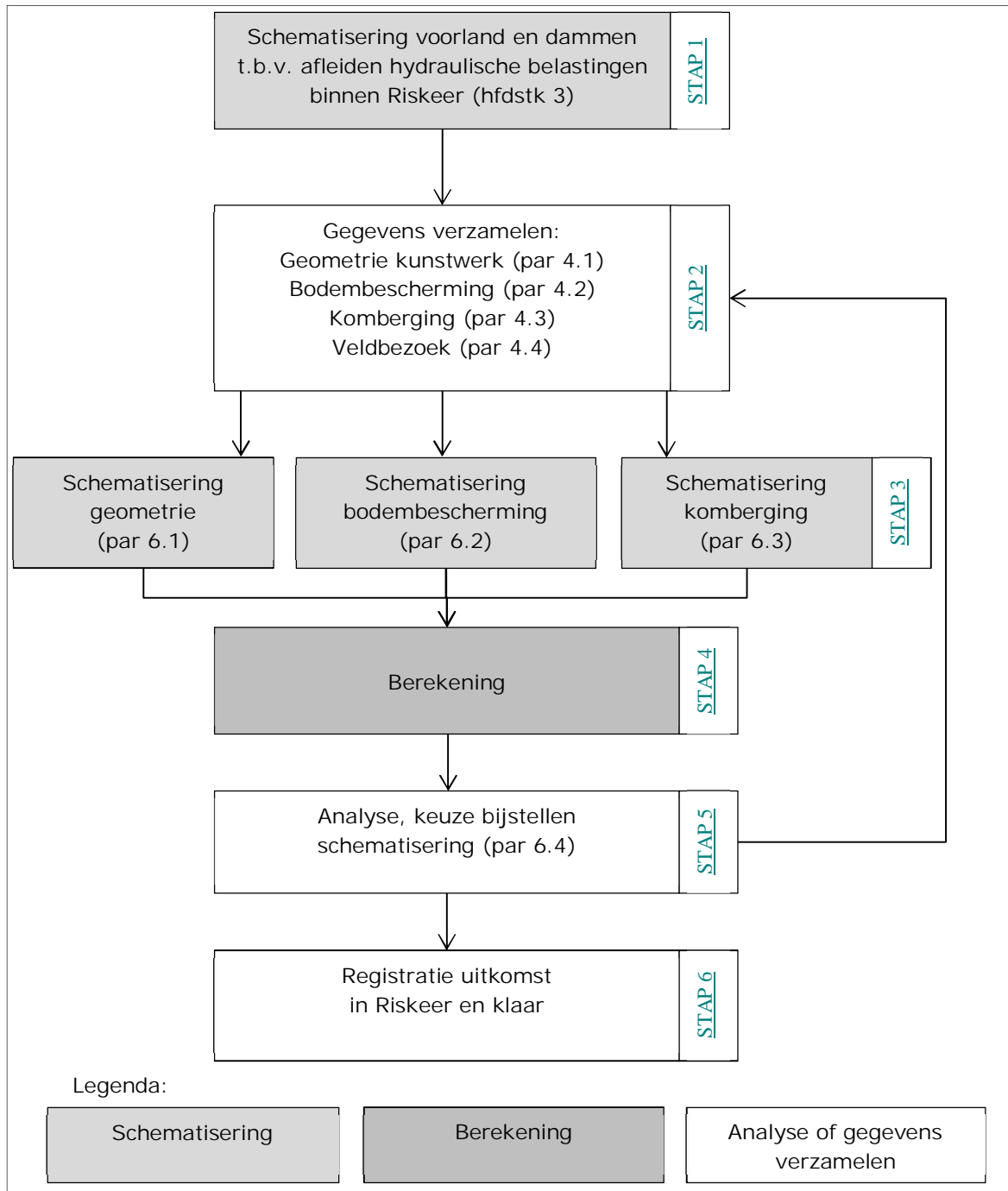
Figuur 2-2 Modellering faalmechanisme overslag en/of overloop in de gedetailleerde toets

De bovenstaande modellering is verwerkt in onderstaand schema. Hierin is een stappenplan 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.

³ Dit staat voor 'Niet van toepassing/Faalkans verwaarloosbaar'

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 daaropvolgende 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.

- Stap 1. Schematisering voorland en dammen ten behoeve van de berekening van de optredende belastingen (hoofdstuk 3).
Hoe deze geschematiseerd kunnen worden is beschreven in de *Handleiding voor het gebruik van de dam- en voorlandmodule ter bepaling van de hydraulische condities bij de dijkteen* [14] ten behoeve van de probabilistische berekening inclusief hydraulische belastingen (eerder Schematiseringshandleiding). Voor meer detail over de hydraulische belastingen zie hoofdstuk 3.
- Stap 2. 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 3. Schematisering geometrie, bodembescherming en komberging.
- Schematisering geometrie (paragraaf 6.1)*
Dit betreft de schematisering 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 deelfaalmechanisme *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 4. Berekening
De berekening die nodig is voor de *gedetailleerde toets* wordt voor het toetsspoor *hoogte kunstwerk* uitgevoerd met behulp van Riskeer. In Riskeer worden de diverse

parameters ingevoerd, waarna een faalkans wordt berekend.

Stap 5. Analyse (paragraaf 6.4)

Hier worden de berekeningsresultaten geanalyseerd. Indien de uitkomst niet leidt tot tenminste een oordeel 'III_v voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde' of beter dan moet worden nagegaan of er door het inwinnen van meer gegevens en het aanscherpen van de schematisering mogelijk wel tot een ander oordeel kan worden gekomen. Indien het oordeel III_v is wordt dit eveneens aanbevolen.

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

Stap 6. Registratie beoordelingsresultaat

Het uiteindelijke berekeningsresultaat wordt vastgelegd in Riskeer.

Uitschakelen deelfaalmechanismen in Riskeer

Voor de deelfaalmechanismen *bezwijken bodembescherming* en *onvoldoende kombergend vermogen* geldt dat het voor kan komen dat één van deze deelfaalmechanismen er niet toe doet. In Riskeer is echter geen mogelijkheid aanwezig een deelfaalmechanisme op voorhand uit te schakelen. Om bij de berekening toch te zorgen dat het betreffende deelfaalmechanisme een verwaarloosbare faalkansbijdrage heeft, dienen bepaalde waarden te worden ingevuld. Dit wordt in hoofdstuk 6 nader uitgewerkt.

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 alsnog tot tenminste oordeel 'III_v voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde' te kunnen komen.

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 [13]).

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 substantiële economische schade en/of tenminste één slachtoffer. In de *gedetailleerde toets* wordt hiervoor een praktisch criterium van 0,2 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 substantiële economische 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 0,20 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. Daarom wordt die laatste fase in het WBI 2017 als reststerkte gezien en valt daarmee buiten de *gedetailleerde toets*. 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. Dergelijke analyses kunnen worden ondergebracht in de *toets op maat*.
- Nadere bepaling overslag-/overloopdebiet.
Indien er slechts een beperkt hoogtetekort is berekend in de *gedetailleerde toets* dan kan met behulp van de EurOtop-manual [4] 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. Handvatten hiervoor worden gegeven in

paragraaf 5.5 van de Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken [18].

- 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

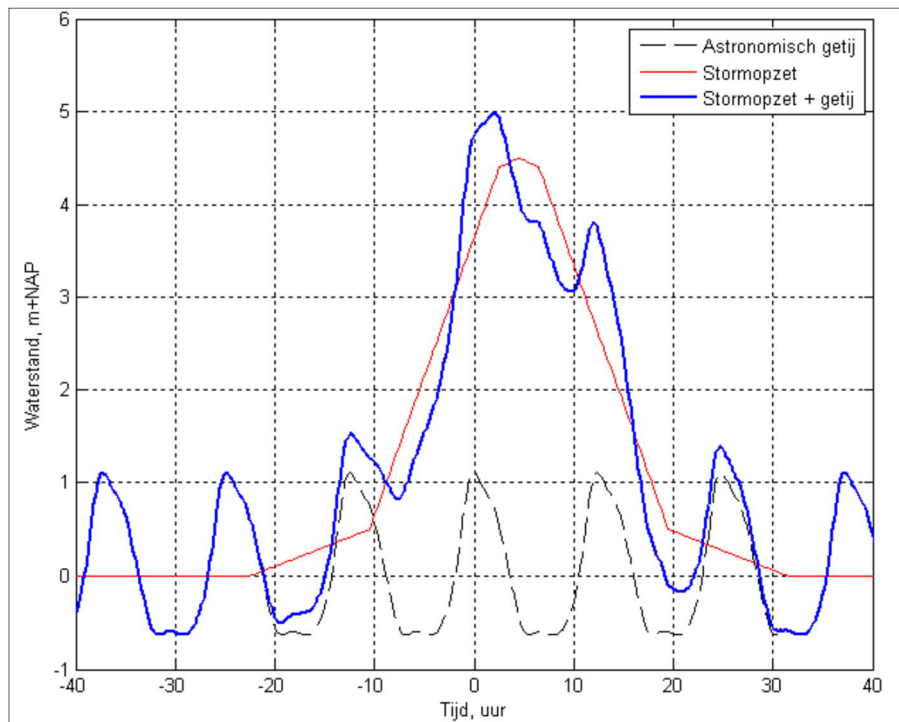
De maatgevende hydraulische belasting is die combinatie van buitenwaterstand en golven, waarbij in het geval van een hoogwaterkerend gesloten kunstwerk, er dusdanig veel water over de keermiddelen en/of de constructie stroomt dat óf het kombergend vermogen wordt overschreden óf de bodembescherming bezwijkt 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 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 Riskeer zijn opgenomen, is een uitgebreide schematisering niet aan de orde. Wel kan het nodig zijn een vertaalslag te maken van de hydraulische belastingen op de uitvoerlocatie naar de hydraulische belastingen ter plaatse van het kunstwerk, bijvoorbeeld door een voorland of damconstructie in de schematisering mee te nemen.

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 een locatie in het benedenrivierengebied (Maasmond) een standaard verloop van een hoogwatergolf weergegeven, waarbij ook de invloed van het getij zichtbaar is. Deze grafiek is afkomstig uit [15].



Figuur 3-1 Voorbeeld waterstandsverloop in de tijd voor een specifieke locatie langs de benedenrivieren (bron: [15])

De invloed van het hoogwaterverloop op het instromende volume kan in de analyses alleen worden meegenomen door aanpassing van de parameter 'stormduur'. In paragraaf 7.4.5 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 op de achterliggende bodembescherming en het aanwezige kombergend vermogen. Indien het faal criterium 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 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 Riskeer 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 uitwateringssluis 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 beoordeling wordt gerekend relatief klein aan te houden.

Indien er helemaal geen gegevens omtrent de bodembescherming voorhanden zijn, wordt in een eerste analyse 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 7-3).

Een scherper oordeel 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. Hierdoor 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, of eenvoudig op een andere wijze kan worden meegenomen (bijvoorbeeld bij een kleine komberging, waarbij het binnenwater het buitenwater zonder erosie van de bodembescherming kan volgen), 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 optreden (zie bijlage C). Met het oog hierop betreft het kritieke binnenpeil de laagste 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 bezien 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 een oordeel 'III_v voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde' of slechter voor het toetsspoor hoogte kunstwerk.
- 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 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.

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 hoogwaterkerende 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 beoordeling 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 Riskeer) als apart vak gedefinieerd. Samengestelde kunstwerkcomplexen (bijvoorbeeld sluizencomplexen) worden hierbij ontleed, waarbij ieder kunstwerk waar mogelijk apart beoordeeld wordt.

Bij de beoordeling van grote samengestelde kunstwerkcomplexen spelen onder andere de volgende zaken een rol:

1. De aanname "onafhankelijk falen" van vakken/deelkunstwerken kan veel te optimistisch zijn, maar ook de aanname "afhankelijk falen" kan veel te pessimistisch zijn. Een goede onderbouwing en verdiscontering van de mate van afhankelijk falen is daarom nodig.
2. Bij falen als gevolg van een tekort aan komberging kan het zijn dat de afzonderlijke kunstwerken wel voldoen aan het kombergingscriterium, maar dat bij gecombineerd falen van kunstwerken er wel sprake is van overschrijding van dit criterium.

Grote samengestelde kunstwerkcomplexen vallen daarom vaak onder een toets op maat.

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 faalkansen 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.

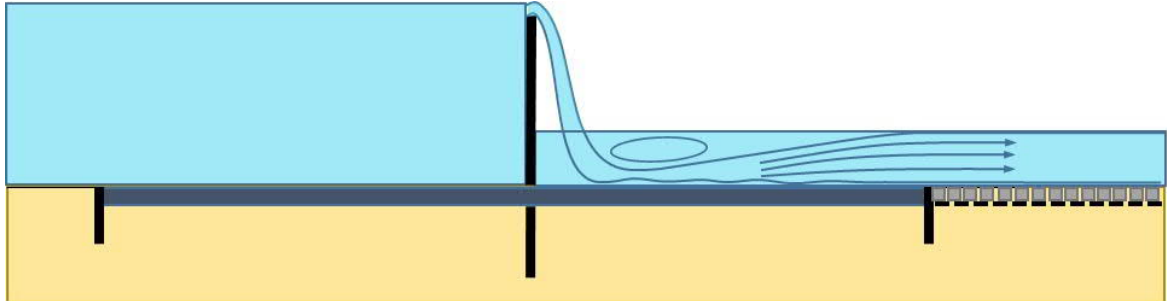
De bepaling van het optredende overslag-/overloopdebiet vindt in Riskeer plaats aan de hand van de formules uit de *Leidraad Kunstwerken* [9] voor een verticale wand. In het *Achtergrondrapport Modellerings optredend overslag-/overloopdebiet* [2] is de achtergrondinformatie omtrent dit model opgenomen. 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 Riskeer.

- 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 Riskeer te kunnen invoeren dient er enige pre-processing plaats te vinden buiten Riskeer 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* [3].

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 Riskeer 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 Riskeer te worden bepaald. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de diverse modellen (Izbash, Shields, Pilarczyk) die buiten Riskeer 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* [3].

- 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 Riskeer plaats te vinden. Zie paragraaf 7.2.1.
- IV. Bepaal per locatie de stroomvoerende breedte van de bodembescherming (B_{sv} [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 7.2.2.
- V. Bepaal per locatie het totale kritieke debiet (Q_c [m^3/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 Riskeer te worden uitgevoerd. Uiteindelijk dient de q_c die hoort bij de kleinste waarde van het totale kritieke debiet te worden ingevoerd in Riskeer.

Belasting situatie 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* [3]. 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 Riskeer worden ingebracht middels een parameter 'kans bezwijken kunstwerk als gevolg van erosie bodem' (zie paragraaf 7.3). Handvatten voor toepassing van deze parameter worden in paragraaf 7.3.1 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 Riskeer gemodelleerd door waarden op te geven voor het kombergend oppervlak (A_{kom} [m^2]), de kritieke peilstijging in het kombergingsgebied (Δh_{kom} [m]) en de duur van de hoge waterstanden door rivierafvoer, meerpeil en/of storm (t_s [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 7.4.

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, bezwijken van de bodembescherming is dan doorgaans maatgevend.

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 onderbouwd⁴. Voor de bodembescherming dient gewerkt te worden met sterkteparameters die de sterkte van de bodembescherming realistisch beschrijven. Middels de uitkomsten van de analyse met Riskeer dient achteraf geverifieerd te worden of de komberging inderdaad niet maatgevend is ten opzichte van de bodembescherming.

6.4

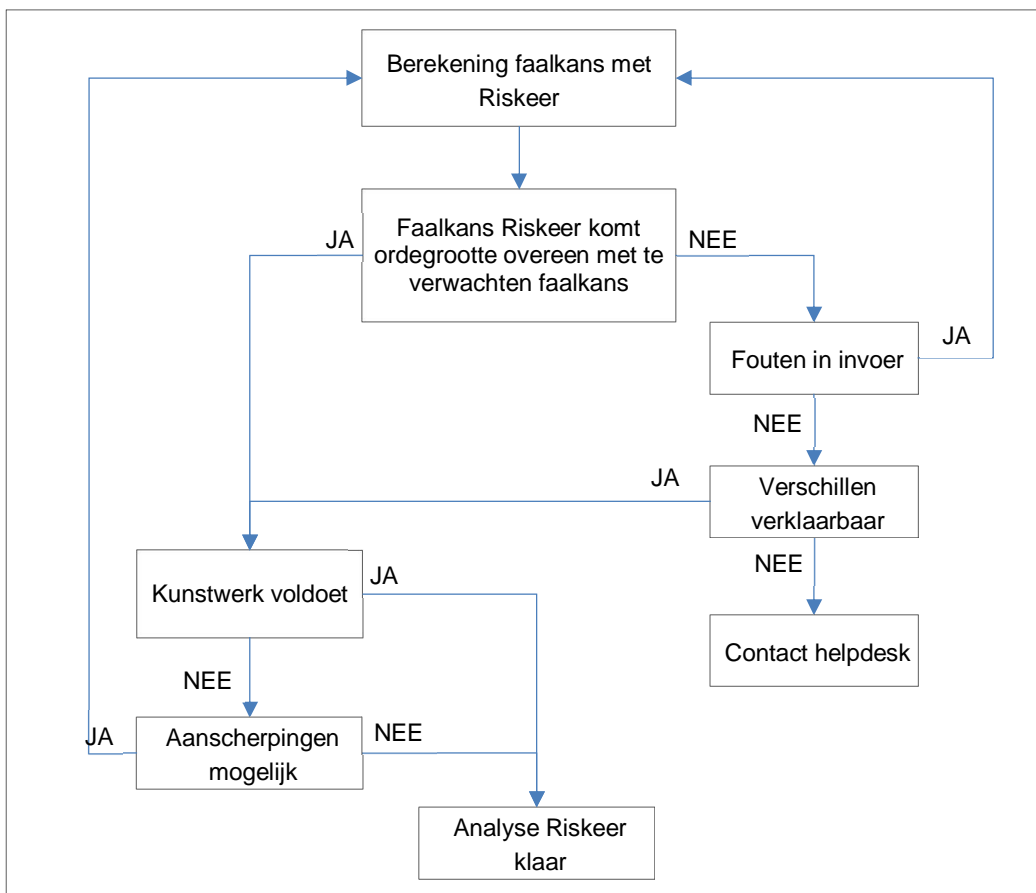
Analyse van de uitkomsten

Nadat Riskeer is gevoed met de juiste parameters kan een faalkans worden uitgerekend. In het schema in Figuur 6-2 is aangegeven welke stappen genomen kunnen worden nadat een berekening met Riskeer 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 Riskeer en de verwachte faalkans kan duiden op de aanwezigheid van fouten. De verwachte faalkans is die faalkans die de beoordelaar op basis van de invoer verwacht. Bij onverwachte uitkomsten kunnen onder andere de volgende vragen worden gesteld:

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

⁴ Aanbevolen wordt in dit geval voor de kritieke peilverhoging 10 m aan te houden en voor het kombergend oppervlak 10^{10} m^2 . Zodoende kan direct in de invoerdatafiles worden gezien waar komberging als niet maatgevend is aangenomen.



Figuur 6-2 Analyse uitkomsten berekening Riskeer

Als fouten zijn geconstateerd, moeten deze worden hersteld en moet opnieuw een berekening met Riskeer 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 de berekende faalkans leidt niet tot het oordeel 'voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde' (categorie III_v) of beter dan kan in de gedetailleerde toets middels aanscherpingen getracht worden om de faalkans nader te bepalen. Wanneer aanscherpen in de gedetailleerde toets niet meer mogelijk is, is het resultaat van deze gedetailleerde toets dat het kunstwerk niet voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde (categorie IV_v of lager) ten aanzien van overslag en/of overloop. De beoordeling dient dan vervolgd te worden met een toets op maat. Indien het oordeel III_v is wordt eveneens aanbevolen om te verkennen of aanscherping mogelijk is, hetzij via de gedetailleerde toets dan wel via een toets op maat.

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 parameters

Per parameter worden in Tabel 7-1 een aantal standaardgegevens gepresenteerd. Voor de duiding van de gegeven parameterwaarden voor het gemiddelde μ en de standaardafwijking σ / variatiecoëfficiënt V_r is de indeling gebruikt die in paragraaf 4.1 van de Handleiding Datamanagement [7] en de parameterlijst is beschreven (zie ook Tabel 1-1):

Tabel 7-1 Waarden behorende bij de statistische gegevens voor de relevante parameters

Symbol	Eenheid	Type	μ	V_r of σ	Groep	Δ_x	ρ_x	Δ_t	ρ_t	Paragraaf
q_c	[m ³ /s/m]	logn	Invoer	$V_r=0,15$	4(μ) en 2(V_r)	-	0	-	1	7.2.1
B_{sv}	[m]	logn	Invoer	$\sigma=0,05$	4(μ) en 2(σ)	-	0	-	1	7.2.2
m_{os}	[-]	logn	0,09	$\sigma=0,06$	1(μ) en 1(σ)	-	0	-	1	7.2.4
h_{kr}	[m+NAP]	nor	Invoer	$\sigma=0,05$	4(μ) en 2(σ)	-	0	-	1	7.2.5
γ_n	[-]	det	Invoer	-	4(μ)	-	0	-	1	7.2.6
ψ_{kw}	[°]	det	Invoer	-	4(μ)	-	0	-	1	7.2.7
m_{ol}	[-]	nor	1,1	$\sigma=0,05$	2(μ) en 1(σ)	-	0	-	1	7.2.8
B	[m]	nor	Invoer	$\sigma=0,05$	4(μ) en 2(σ)	-	0	-	1	7.2.9
$P_{ksw/erosie\ bodem}$	[-]	det	1,0	-	2(μ)	-	1	-	1	7.3.1
m_{kom}	[-]	logn	1,0	$\sigma=0,20$	1(μ) en 1(σ)	-	0	-	1	7.4.1
A_{kom}	[m ²]	logn	Invoer	$V_r=0,10$	4(μ) en 2(V_r)	-	0	-	1	7.4.2
Δh_{kom}	[m]	logn	Invoer	$\sigma=0,10$	4(μ) en 2(σ)	-	0	-	1	7.4.3
m_{in}	[-]	det	1,0	-	1(μ)	-	-	-	1	7.4.4
t_s	[uur]	logn	6	$V_r=0,25$	2(μ) en 1(V_r)	-	1	-	0	7.4.5

In Tabel 7-2 zijn de statistische parameters die gebruikt zijn in Tabel 7-1 nader toegelicht. In Bijlage D is bovenstaande tabel nog uitgebreid met naamgeving en verwijzing naar benamingen van invoer in Riskeer.

Tabel 7-2 Toelichting statistische gegevens vermeld bij parameters in Tabel 6-3

Gegeven	Toelichting
Type	Geeft aan of de parameter een stochastische variabele is of een deterministische variabele. Indien het een stochastische variabele is wordt het type kansverdeling aangegeven. De volgende aanduidingen kunnen voorkomen: det deterministische variabele nor normale verdeling logn lognormale verdeling
μ	Gemiddelde waarde van de parameter. Indien de parameter een deterministische variabele is, is dit de deterministische waarde. Indien deze parameter geen standaardwaarde kent (groep 4), wordt dit aangegeven middels het woordje 'Invoer', anders wordt de standaardwaarde vermeld. 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.
V_r of σ	Variatiecoëfficiënt of standaardafwijking van de parameter. Alleen van toepassing bij een stochastische variabele. Er zijn standaardwaarden gegeven. Deze mogen alleen worden aangepast indien dit wordt onderbouwd. 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.

Gegeven	Toelichting
Δ_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 de gebruiker worden aangepast.
ρ_x	Ondergrens van de correlatiecoëfficiënt met betrekking tot ruimtelijke spreiding. De waarde kan niet door de gebruiker worden aangepast.
Δ_t	Correlatietijdsduur voor variaties in de tijd. De waarde kan niet door de gebruiker worden aangepast.
ρ_t	Ondergrens van de correlatiecoëfficiënt met betrekking tot variaties in de tijd. De waarde kan niet door de gebruiker worden aangepast.

7.2 Deelfaalmecanisme Z_{11} : 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 [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$] 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_{11} welke er in formulevorm uit ziet als:

$$Q_c = q_c \cdot B_{sv} \quad 7-1$$

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 [8], [10] 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 $q_{os/ol}$ wordt bepaald met het formulepark beschreven in paragraaf 7.2.3. 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 $Q_{os/ol}$ [m^3/s] te berekenen:

$$Q_{os/ol} = q_{os/ol} \cdot B \quad 7-2$$

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:

$$Z = Q_c - Q_{os/ol} = q_c \cdot B_{sv} - q_{os/ol} \cdot B \quad 7-3$$

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

7.2.1 *Kritiek overslag-/overloopdebiet*

Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	μ	V_r/σ	Δ_x	ρ_x	Δ_t	ρ_t
q_c	[m ³ /s/m]	logn	Invoer ⁴	$V_r=0,15$ ²	-	0	-	1

¹ Vaste waarde

² Defaultwaarde of aanbevolen waarde

³ Startwaarde

⁴ Vrije waarde

(zie Tabel 1-1)

Het kritiek (overslag-/overloop)debiet (q_c [m³/s/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 μ worden opgegeven. Voor de variatiecoëfficiënt V_r is er een aanbevolen waarde van 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:

$$q_c = u_c \cdot (h_{bi} - h_{bb}) \quad 7-4$$

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* [3]. De waterdiepte boven de bodembescherming ($h_{bi} - h_{bb}$) kan met de beschikbare gegevens van binnenwaterstand en ligging bodembescherming worden bepaald. Voor de binnenwaterstand moet een waarde aangehouden worden die past bij een situatie met hoge overslag (bijvoorbeeld als hoge buitenwaterstanden en lage boezemwaterstanden sterk gecorreleerd zijn dan moet hier rekening mee worden gehouden bij de inschatting van de binnenwaterstand).

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 [12], [11] en [17] is in onderstaande tabel hiervan een overzicht samengesteld. Deze waarden kunnen worden gebruikt als eerste richtgetallen.

Tabel 7-3 Kritieke stroomsnelheden onbeschermd 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
kleilig 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).

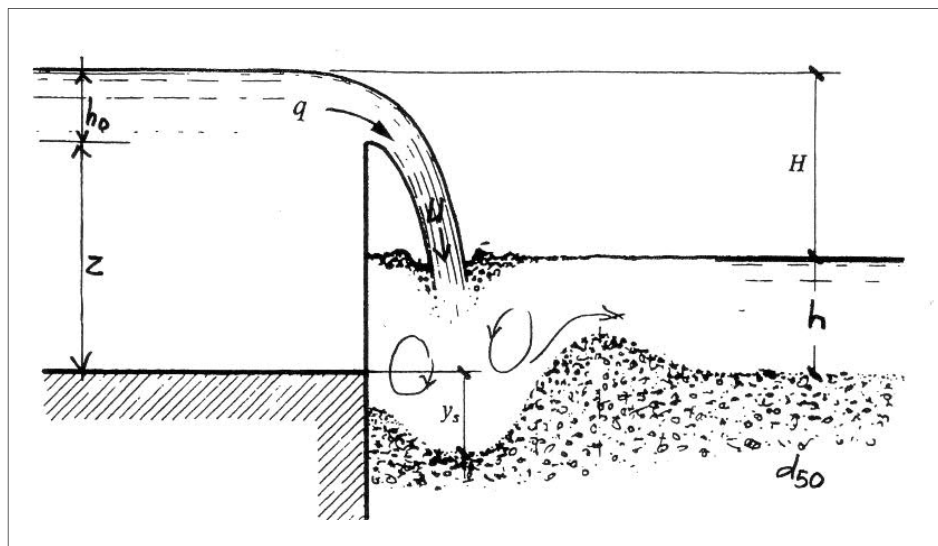
Indien de overstortende straal terecht komt boven een bodem die niet van beton is, maar beschermd wordt middels een bestorting of een andere soort van

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 7-4.

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 ³ /s/m bij elementbestrating 0,1 m ³ /s/m bij asfaltbestrating	Water kan direct wegglopen of worden afgevoerd
Sluizen	1,0 m ³ /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 [17]. 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. De schematisering kan plaatsvinden met behulp van Figuur 7-1.



Figuur 7-1 Overstortende straal met ontgrondingskuil achter de constructie [17]

Het debiet over de kruin wordt benaderd met de volgende formule:

$$q_c = 1,705 \cdot \sqrt{h_0^3} \quad 7-5$$

Waarin:

q_c kritiek debiet per meter breedte [m³/s/m].
 h_0 overstorthoogte boven de kruin [m].

De erosiediepte als gevolg van het overstortende debiet kan worden bepaald met behulp van de volgende formule:

$$y_s = 0,4 \cdot q_c^{0,6} \cdot H^{0,4} \cdot d_{50}^{-0,3} - 0,5 \cdot h \quad 7-6$$

Waarin:

y_s	erosiediepte als evenwichtswaarde ≥ 0 [m].
q_c	kritiek debiet per meter breedte [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$].
H	hoogteverschil boven- benedenstroomse waterstand [m] = $z+h_0-h$.
z	hoogte sluisdeur boven <u>benedenstroomse</u> bodem [m].
h	waterdiepte benedenstroomse zijde [m].
h_0	overstorthoogte boven de kruin [m].
d_{50}	diameter korrels of stenen [m].

Bij een bepaalde erosiediepte van een laag kan worden gesteld dat deze laag bezweken is. In het document [17] wordt voorgesteld om hier een waarde van 0,50 tot 0,60 van de oorspronkelijke laagdikte voor aan te houden.

Voor de beoordeling is het van belang om vast te stellen welk debiet leidt tot ontgrondingskuilen met dusdanige diepte dat de stabiliteit van het kunstwerk in gevaar komt. Dit betekent dat aan de hand van de hoogte van de verticale wand, de diepte van de benedenstroomse watergang en de maximaal toelaatbare diepte van de erosiekuil via een iteratief proces een bijbehorend kritiek debiet kan worden afgeleid. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van meerdere lagen van de bodem.

Algemeen kan worden gesteld dat een debiet groter dan $1,0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ 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:

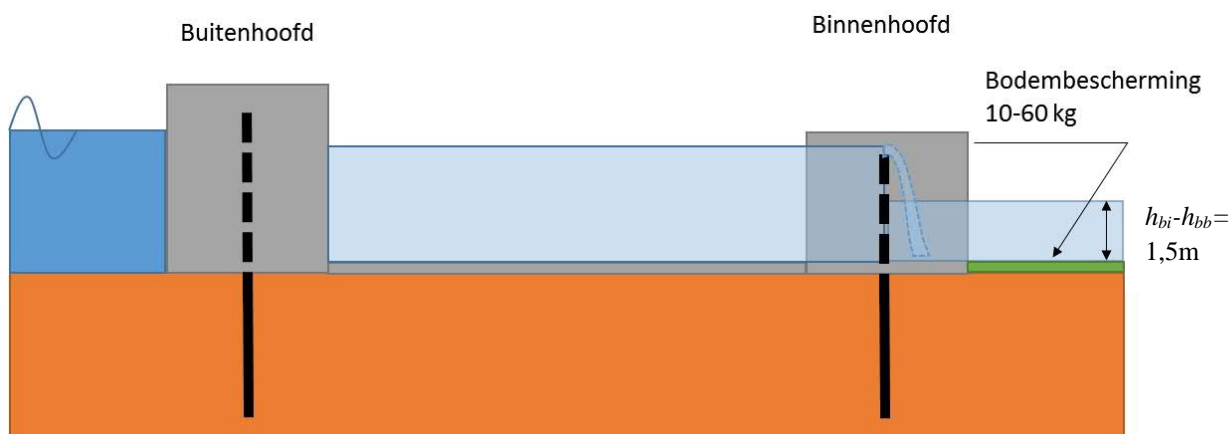
- Naast de aanwezigheid van bodembescherming is het ook van belang dat bekend is wat de conditie van deze bodembescherming is. Vaak is dit gegeven niet direct voorhanden, omdat hiervoor een inspectie moet plaatsvinden. Lodingen van de bodem kunnen een indicatie geven omtrent de aanwezigheid en volledigheid 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 [10], [11] en [8].
- Van belang is dat het kritieke debiet per strekkende meter (q_c) altijd wordt gezien in combinatie met de stroomvoerende breedte B_{sv} (zie §7.2.2).
- 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' [10] 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 7-2 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* [3] voor achtergrondinformatie bij het gebruik van de diverse formules).

Als vertrekpunt wordt de formule van Pilarczyk genomen:

$$D = \frac{\phi_{sc}}{\Delta} \frac{0,035}{\psi_{cr}} \frac{k_h k_t^2}{k_{sl}} \frac{u_c^2}{2g} \quad 7-7$$

welke is te herschrijven als:

$$u_c = \sqrt{\frac{2g\Delta D\psi_{cr}k_{sl}}{\phi_{sc}0,035k_hk_t^2}} \quad 7-8$$

Nb: van deze formule is ook een recentere versie gepubliceerd waarbij k_t^2 is vervangen door k_t (paragraaf 4.2.1.4 van [6]). 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).
ψ_{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 $\psi_{cr} = 0,05$.
ϕ_{sc}	Ervan uitgaande dat de bodembescherming niet boven de drempel van het binnenhoofd uitsteekt kan worden uitgegaan van een waarde van de stabiliteitsparameter ϕ_{sc} van 0,75 [-], horende bij breuksteen in een doorgaande laag (minimaal twee lagen stenen).
Δ	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 ²].

Invullen van formule 7-8 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 m³/s/m.

Voorbeeld 2

Van een gemaal is bekend dat deze onder normale omstandigheden maximaal 1,0 m³/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 m³/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 $1,0 / 2,0 = 0,5$ m³/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 m³/s/m (50 l/s/m) gehanteerd worden.

7.2.2 Stroomvoerende breedte bodembescherming

Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	μ	V_r/σ	Δ_x	p_x	Δ_t	p_t
B_{sv}	[m]	logn	Invoer ⁴	$\sigma=0,05$ ²	-	0	-	1

¹ Vaste waarde ² Defaultwaarde of aanbevolen waarde ³ Startwaarde ⁴ Vrije waarde (zie Tabel 1-1)

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 μ worden opgegeven. Voor de standaardafwijking σ is de aanbevolen waarde 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 7.2.1) is bepaald. Samen met de kritieke stroomsnelheid behorende bij de bodem(bescherming) levert de stroomvoerende breedte het totale kritieke debiet op.

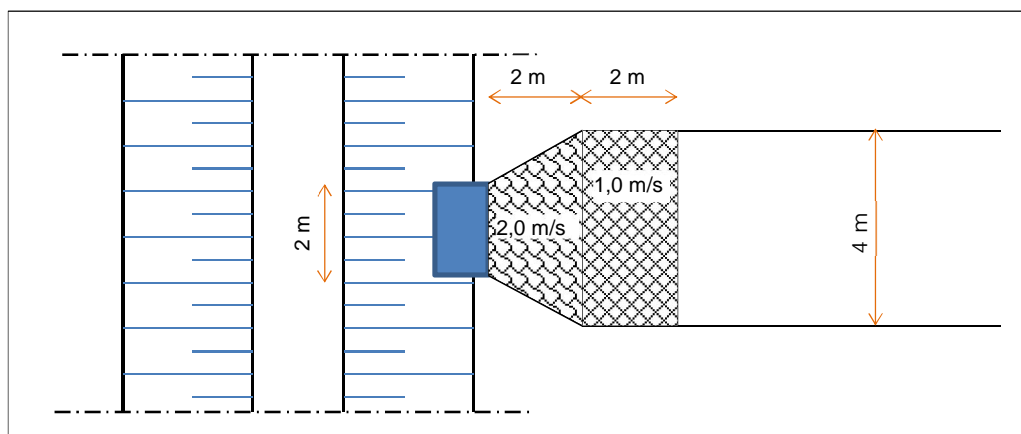
Het vaststellen van de stroomvoerende breedte kan met behulp van tekeningen of metingen in het veld. Een globale schatting is ook nog mogelijk met GIS-applicaties. Indien dit laatste wordt gehanteerd verdient het de aanbeveling om de standaardafwijking σ wat op te voeren naar 0,25. Bij de bepaling van de stroomvoerende breedte dient rekening te worden gehouden met eventuele neren (zie ook paragraaf 8.3.3 van [13]).

Aandachtspunten

Van belang is dat de stroomvoerende breedte B_{sv} altijd wordt gezien in combinatie met het kritieke debiet per strekkende meter (q_c) zie paragraaf 7.2.1).

Voorbeeld

Een gemaal met een maximale capaciteit van 1,0 m³/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.



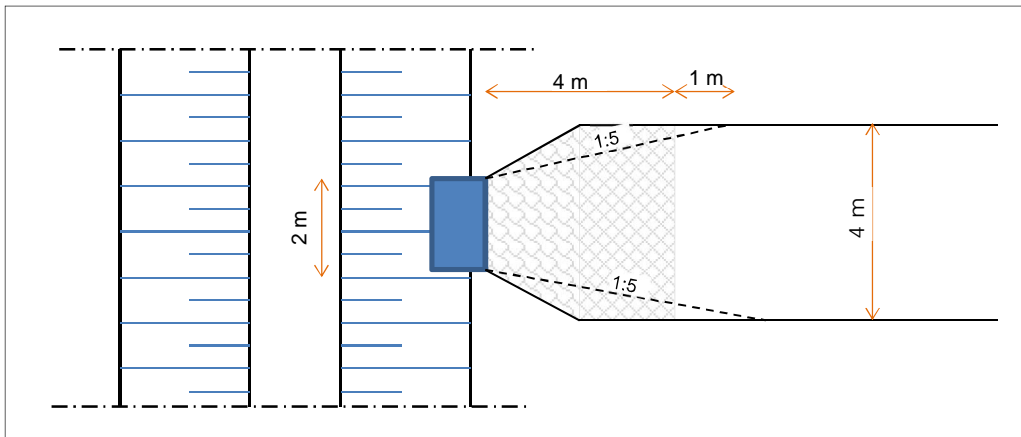
Figuur 7-3 Gemaal met bodembescherming belast door overtrekkende stroming

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 hoek van 1:5 (zie Figuur 7-4).

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 7-4 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 7-3):

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

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.

7.2.3 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 [9]:

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

Voor achtergrondinformatie over de modellen wordt verwezen naar het *Achtergrondrapport bij toetsspoor hoogte I: Modelleren optredend overslag-/overloopdebiet* [2].

Golfhoogte in modellen 1 en 2

De waarde van de golfhoogte H_{m0} die in de modellen voor de bepaling van het overslag-/overloopdebiet wordt gehanteerd is – voor zeer scheef invallende golven – een gereduceerde waarde van de golfhoogte $H_{m0,HR}$ die vanuit de hydraulische randvoorwaarden als input wordt gegenereerd:

$$H_{m0} = \gamma_s \cdot H_{m0,HR} \quad 7-9$$

De invloedsfactor γ_s is geïntroduceerd om een geleidelijke overgang van aanlandige naar afluende golfrichtingen mogelijk te maken om convergentieproblemen rondom deze overgang te voorkomen:

$$\begin{aligned} 0 < \beta \leq 80 & \Rightarrow \gamma_s = 1 \\ 80 < \beta \leq 110 & \Rightarrow \gamma_s = (110 - \beta) / 30 \\ 110 < \beta \leq 180 & \Rightarrow \gamma_s = 0 \end{aligned} \quad 7-10$$

Hierin is de hoek van golfval β als volgt gedefinieerd:

$$\begin{aligned} |\theta - \Psi_{KW}| \leq 180 & \Rightarrow \beta = |\theta - \Psi_{KW}| \\ |\theta - \Psi_{KW}| > 180 & \Rightarrow \beta = (|\theta - \Psi_{KW}|) - 360 \end{aligned} \quad 7-11$$

Waarin:

γ_s	Invloedsfactor om geleidelijke overgang van aanlandige naar afluende golfrichtingen mogelijk te maken i.v.m. voorkomen convergentieproblemen [-].
H_{m0}	Significante golfhoogte als input voor modellen 1 en 2 [m].
$H_{m0,HR}$	Significante golfhoogte die vanuit de hydraulische randvoorwaarden als input wordt gegenereerd [m].
β	Hoek van golfaanval [°].
θ	Golfrichting [°N].
Ψ_{KW}	Oriëntatie normaal van kunstwerk [°N].

Alleen de vetgedrukte parameter Ψ_{KW} is een invoerparameters voor Riskeer. Deze wordt besproken in paragraaf 7.2.7. De overige parameters hoeven niet in Riskeer ingevoerd te worden. Het betreft hydraulische belastingen die door het beoordelingsinstrumentarium zelf worden gegenereerd (H_{m0} , $H_{m0,HR}$, θ) of parameters die het resultaat weergeven van een berekening (β).

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:

$$q_{os} = m_{os} \cdot \sqrt{g \cdot (H_{mo})^3} \cdot e^{\left(-3.0 \cdot \frac{h_{kr} - h}{H_{mo}} \cdot \frac{1}{\gamma_{\beta} \cdot \gamma_n}\right)} \quad 7-12$$

Het effect van de hoek van golfinval (voor definitie zie formule 7-11) wordt verdisconteerd middels de reductiefactor γ_{β} :

$$\begin{aligned} 0 \leq \beta \leq 20 &\Rightarrow \gamma_{\beta} = 1.0 \\ 20 < \beta \leq 180 &\Rightarrow \gamma_{\beta} = \max\{\cos(\beta - 20); 0.7\} \end{aligned} \quad 7-13$$

Waarin:

q_{os}	Gemiddeld overslagdebiet over een verticale wand [$m^3/s/m^1$].
m_{os}	Modelfactor voor overslagdebiet [-].
g	Zwaartekrachtversnelling (=9,81) [m/s^2].
H_{mo}	Significante golfhoogte [m].
h	Lokale buitenwaterstand [m+NAP].
h_{kr}	Kerende hoogte kunstwerk [m+NAP].
β	Hoek van golfaanval [$^{\circ}$].
γ_n	Invloedsfactor neusconstructie [-].
γ_{β}	Invloedsfactor scheve golfaanval [-].

Een aantal parameters hoeft niet in Riskeer ingevoerd te worden. Dit betreft een deterministische variabele met een standaardwaarde (g), hydraulische belastingen die door het beoordelingsinstrumentarium zelf worden gegenereerd (H_{mo} , h) of parameters die het resultaat weergeven van een berekening (β , γ_{β} , q_{os}). De overige vetgedrukte parameters betreffen invoerparameters voor Riskeer. 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:

$$q_{ol+os} = m_{ol} \cdot 0.55 \cdot \sqrt{-g \cdot (h_{kr} - h)^3} + m_{os} \cdot \sqrt{g \cdot (H_{mo})^3} \quad 7-14$$

Waarin:

q_{os+ol}	Gemiddeld gecombineerde overloop- en overslagdebiet over een verticale wand [$m^3/s/m^1$].
m_{ol}	Modelfactor voor overloopdebiet [-].

- m_{os} Modelfactor voor overslagdebiet [-].
- g Zwaartekrachtversnelling (=9,81) [m/s²].
- h Lokale buitenwaterstand [m+NAP].
- h_{kr} Kerende hoogte kunstwerk [m+NAP].
- H_{m0} Significante golfhoogte [m].

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

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:

$$q_{ol} = m_{ol} \cdot 0.55 \cdot \sqrt{-g \cdot (h_{kr} - h)^3} \tag{7-15}$$

Waarin:

- q_{ol} Overloopdebiet over een verticale wand [m³/s/m¹].
- m_{ol} Modelfactor voor overloopdebiet [-].
- g Zwaartekrachtversnelling (=9,81) [m/s²].
- h Lokale buitenwaterstand [m+NAP].
- h_{kr} Kerende hoogte kunstwerk [m+NAP].

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

Bovenstaande kan worden samengevat in de volgende formule:

$$q_{ol/os} = ALS(h \leq h_{kr}; q_{os}; ALS(H_{m0} = 0; q_{ol}; q_{ol+os})) \tag{7-16}$$

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

7.2.4 *Modelfactor overslagdebiet*

Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	μ	V_r/σ	Δ_x	p_x	Δ_t	p_t
m_{os}	[-]	logn	0,09 ¹	$\sigma=0,06$ ¹	-	0	-	1

¹ Vaste waarde ² Defaultwaarde of aanbevolen waarde ³ Startwaarde ⁴ Vrije waarde (zie Tabel 1-1)

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 vaste waarden kunnen niet worden aangepast.

Hoe te bepalen

De vaste waarden voor deze parameter zijn gebaseerd op literatuurstudie.

Aandachtspunten

Opgemerkt wordt dat de gegeven waarden voor μ en σ anders zijn dan in de Leidraad Kunstwerken [9] 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.

7.2.5 Kerende hoogte kunstwerk

Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	μ	V_r/σ	Δ_x	ρ_x	Δ_t	ρ_t
h_{kr}	[+mNAP]	nor	invoer ⁴	$\sigma=0,05$ ²	-	0	-	1

¹ Vaste waarde

² Defaultwaarde of aanbevolen waarde

³ Startwaarde

⁴ Vrije waarde

(zie Tabel 1-1)

De *kerende hoogte kunstwerk* (h_{kr} [m+NAP]) 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 μ worden opgegeven. Voor de standaardafwijking σ is de aanbevolen waarde 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 ontwerptekening 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.

7.2.6 *Invloedsfactor neusconstructie*

Wat is het

De *invloedsfactor neusconstructie* (γ_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* [9].

Aandachtspunt

Binnen het beoordelingsinstrumentarium is de parameter invloedsfactor neusconstructie niet opgenomen. Middels een omweg kan de invloed van een neusconstructie in Riskeer 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 ontwerppunt 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 golfinval ($\gamma_\beta = 1$). 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 leidt niet tot een oordeel 'III_v voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde' of beter, 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 (zie formule 7-12):

$$q_{os} = m_{os} \cdot \sqrt{g \cdot (H_{m0})^3} \cdot e^{\left(-3,0 \frac{h_{kr} - h}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_\beta \cdot \gamma_n}\right)}$$

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 m³/s/m bedraagt en met neusconstructie 0,257 m³/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 7-12.

7.2.7 *Oriëntatie normaal van het kunstwerk*

De hoek van golfinval is de hoek tussen de golfrichting (θ [°N]) en de normaal van het kunstwerk (ψ_{kw} [°N]). De golfrichting wordt binnen het beoordelingsinstrumentarium 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 Riskeer zodat de hoek van golfinval kan worden bepaald.

Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	μ	V_r/σ	Δ_x	ρ_x	Δ_t	ρ_t
ψ_{kw}	[°]	det	invoer ⁴	-	-	-	-	-

¹ Vaste waarde² Defaultwaarde of aanbevolen waarde³ Startwaarde⁴ Vrije waarde

(zie Tabel 1-1)

De *oriëntatie normaal van het kunstwerk* (ψ_{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 beoordeling op hoogte een deterministische variabele: gerekend moet worden met de verwachtingswaarde μ die door de gebruiker moet worden ingevoerd.

Hoe te bepalen

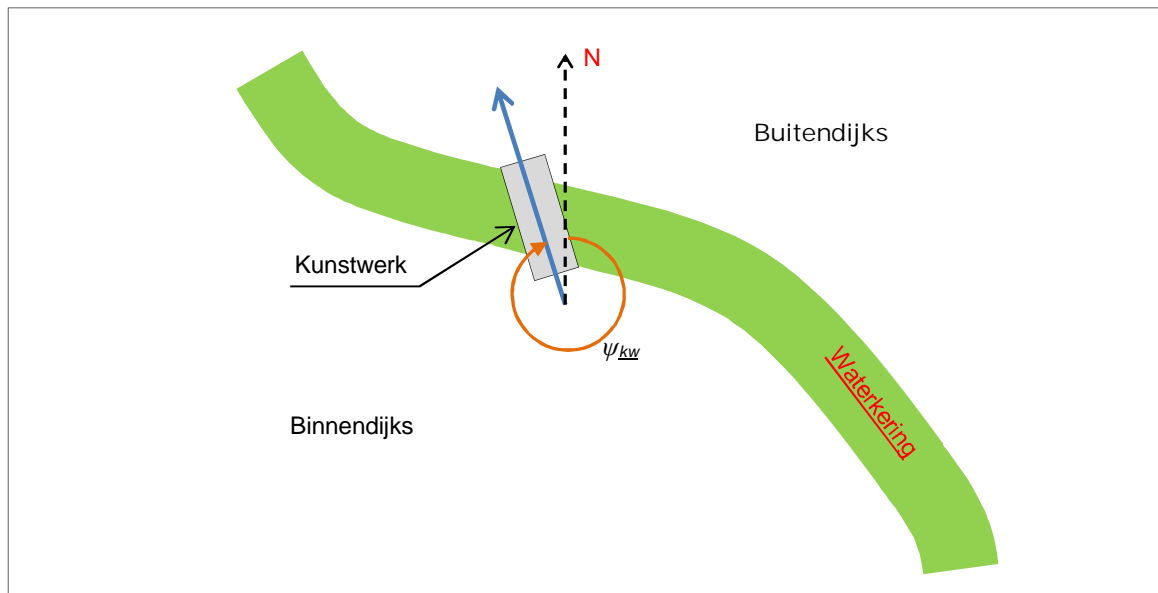
De in te voeren waarde voor deze parameter kan worden afgelezen/opgemeten uit tekeningen of met behulp van kaarten. De normaal van het kunstwerk is hierbij gedefinieerd als de lijn die loodrecht op de keermiddelen van het kunstwerk staat en buitenwaarts gericht is. De in te voeren hoek is gelijk aan 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°N.



Figuur 7-5 Wijze van bepaling hoek kunstwerknormaal ten opzichte van Noord

7.2.8 Modelfactor overloopdebiet volkomen overlaat

Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	μ	V_r/σ	Δ_x	p_x	Δ_t	p_t
m_{OL}	[-]	nor	1,1 ²	$\sigma=0,05$ ¹	-	0	-	1

¹ Vaste waarde ² Defaultwaarde of aanbevolen waarde ³ Startwaarde ⁴ Vrije waarde (zie Tabel 1-1)

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 $\sigma = 0,05$ [-]. De verwachtingswaarde kan wel door de gebruiker worden aangepast, de standaardafwijking betreft een vaste waarde.

Hoe te bepalen

De parameter betreft een modelparameter die behoort bij een situatie waarin sprake is van volkomen stroming. Dit betekent dat het instromend debiet niet beïnvloed wordt door het binnenwater. In de formules 7-14 en 7-15 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 [12].

7.2.9 Breedte van de kruin van het kunstwerk

Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	μ	V_r/σ	Δ_x	p_x	Δ_t	p_t
B	[m]	nor	invoer ⁴	$\sigma=0,05$ ²	-	0	-	1

¹ Vaste waarde ² Defaultwaarde of aanbevolen waarde ³ Startwaarde ⁴ Vrije waarde (zie Tabel 1-1)

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.

In Riskeer wordt deze parameter *Breedte van doorstroomopening* genoemd.

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-/overloopdebiet 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 de waterstand h NAP+3,7 m bedraagt en de significante golfhoogte H_{m0} 1,5 m is bij een loodrechte golfval ($\gamma_{\beta}=1$). Het totale overslagdebiet bedraagt dan $0,284 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ (zie paragraaf 7.2.6) $\times 12 \text{ m} = 3,41 \text{ m}^3/\text{s}$. Handmatig kan dan met behulp van formule 7-12 berekend worden dat het overslagdebiet over het sluishoofd $0,10 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ bedraagt en het totale overslagdebiet over dit sluishoofd dus $2 \times 7,5 \times 0,1 = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$. De rekenwaarde van 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.

7.3

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 gegeven erosie bodem* ($P_{f,kw|erosie\ bodem}$).

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

$$Z = -\Phi^{-1}\left(P_{f,kw|erosie\ bodem}\right) - u \quad 7-17$$

Waarin:

Φ^{-1} Inverse van de standaardnormale verdeling.

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

7.3.1 Faalkans gegeven erosie bodem

Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	μ	V_r/σ	Δ_x	ρ_x	Δ_t	ρ_t
$P_{f,kw erosie\ bodem}$	[-]	det	1,0 ²	-	KW	1	-	1

¹ Vaste waarde ² Defaultwaarde of aanbevolen waarde ³ Startwaarde ⁴ Vrije waarde (zie Tabel 1-1)

De *faalkans gegeven erosie bodem* ($P_{f,kw|erosie\ bodem}$ [-]) is de kans op het bezwijken van het kunstwerk als gevolg van het eroderen van de bodem nadat de bodembescherming bezweken is. Deze faalkans is voor het toetspoot *hoogte kunstwerk* een deterministische variabele: gerekend moet worden met de verwachtingswaarde μ .

Hoe te bepalen

De startwaarde 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 het kunstwerk uiteindelijk zal falen.

Aanbevolen wordt om in de *gedetailleerde toets* in eerste instantie de startwaarde van 1,0 te hanteren. 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 de erosie van de bodem(bescherming) substantieel bijdraagt aan de faalkans, worden hieronder enkele aandachtspunten gegeven. Ze zijn meestal alleen relevant voor de *toets op maat*. Middels deze aandachtspunten is het wellicht mogelijk om buiten het instrumentarium om (preprocessing) een nadere bepaling van de 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 die een kwantitatieve waarde opleveren. Er kan dus ook sprake zijn van een kwalitatieve benadering. 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 0,01 voor $P_{f,kw|erosie\ bodem}$ lijkt dan verdedigbaar en kan ook in de gedetailleerde toets al worden toegepast⁵.
- 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' [10] 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

⁵ Deze waarde is niet meer dan een educated guess; nadere onderbouwing ontbreekt

overgang van betonwerk naar bodembescherming. Bij de aanwezigheid van een 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 relatief lange schermen 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 binnendijks 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.

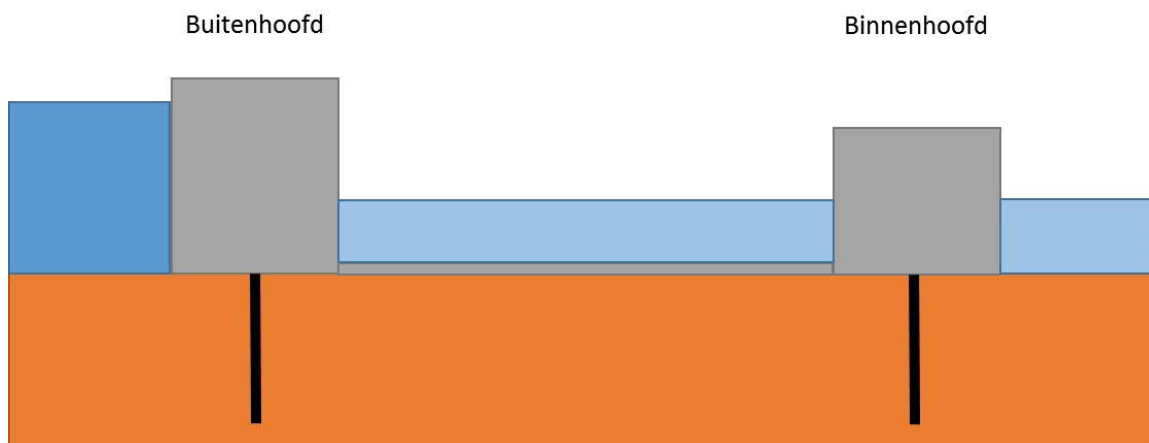
Aandachtspunten

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

- 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 7-6 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 (α) = 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 ontgraving 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 [10]⁶ 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 kuil diepte na tijd t [m].

⁶ 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.

h_{bin}	Waterdiepte boven initiële bodemligging [m].
t_1	Tijd waarop de maximum kuil diepte gelijk is aan de initiële waterdiepte ($y_{max} = h_{bin}$) [uur].
u	Dieptegemiddelde stroomsnelheid [m/s].
a	Coëfficiënt voor invloed turbulentie (= $1,5 + 5 r$) [-].
r	Relatieve turbulentie-intensiteit [-].
Δ_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 $P_{r,kw|erosie \text{ bodem}}$ niet aangepast worden. In getijdgebieden 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 $P_{r,kw|erosie \text{ bodem}}$ is dan verdedigbaar.

7.4

Deelfaalmecanisme Z₁₃: 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 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 (Δh_{kom}).
- Modelfactor instromend volume (m_{in}).
- Stormduur (t_s).
- Optredend overslag-/overloopdebiet per m¹ ($q_{os/ol}$).
- 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:

$$V_c = m_{kom} \cdot A_{kom} \cdot \Delta h_{kom}$$

7-18

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:

$$V_{os/ol} = m_{in} \cdot t_s \cdot q_{os/ol} \cdot B \quad 7-19$$

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

$$Z = V_c - V_{os/ol} = m_{kom} \cdot A_{kom} \cdot \Delta h_{kom} - m_{in} \cdot t_s \cdot q_{os/ol} \cdot B \quad 7-20$$

Het kombergingsmodel in Riskeer werkt met name bij kleinere kombergingen niet altijd optimaal. Indien men tegen een situatie aanloopt, waarbij het kombergingsmodel in Riskeer zorgt voor een onverklaarbare uitkomst (faalkans), wordt aanbevolen contact opnemen met de Helpdesk Waterkeren.

In het achtergrondrapport [13] wordt dieper op de achtergronden van komberging ingegaan.

7.4.1 Modelfactor kombergend vermogen

Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	μ	V_r/σ	Δ_x	ρ_x	Δ_t	ρ_t
m_{kom}	[-]	logn	1,0 ¹	$\sigma=0,20$ ¹	-	0	-	1

¹ Vaste waarde ² Defaultwaarde of aanbevolen waarde ³ Startwaarde ⁴ Vrije waarde (zie Tabel 1-1)

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 standaardafwijking $\sigma=0,20$ [-]. Zowel de verwachtingswaarde als de standaardafwijking betreffen vaste waarden en kunnen niet door de gebruiker worden aangepast.

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.

7.4.2 Kombergend oppervlak

Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	μ	V_r/σ	Δ_x	ρ_x	Δ_t	ρ_t
A_{kom}	[m ²]	logn	Invoer ⁴	$V_r=0,10$ ²	-	0	-	1

¹ Vaste waarde ² Defaultwaarde of aanbevolen waarde ³ Startwaarde ⁴ Vrije waarde (zie Tabel 1-1)

Het *kombergend oppervlak* (A_{kom} [m²]) 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 μ en een variatiecoëfficiënt $V_r = 0,10$ [-]. De verwachtingswaarde moet worden opgegeven en de variatiecoëfficiënt is een aanbevolen waarde die 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 Δh_{kom} (zie paragraaf 7.4.3).

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 niet aan te passen.

Aandachtspunten

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

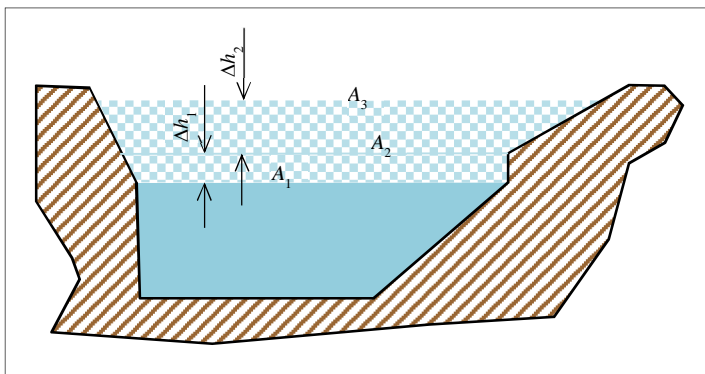
- 1 Toestroming van water vanuit het achterland kan niet specifiek gemodelleerd worden. Deze toestroming kan plaatsvinden onder normaal verval, maar ook via poldergemalen die hun water lozen op de boezem.
- 2 Een kombergend volume kan worden benut door meerdere kunstwerken in een dijktraject. Indien de correlatie met betrekking tot *overslag en/of overloop* groot is tussen deze kunstwerken⁷, 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.

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 een dwarsdoorsnede zoals weergegeven in Figuur 7-7. De kritieke peilverhoging Δh_{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 .

⁷ *Bijvoorbeeld kunstwerken die (nagenoeg) identiek zijn met betrekking tot hoogwaterbelastingen en kerende hoogte.*



Figuur 7-7 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_{pomp} m³/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 $Q_{achterland}$ m³/s. De duur van de hoogwatergolf is in totaal $t_{hoogwater}$.

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

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

Waarin:

- $V_{c, kw}$ Kombergend vermogen (volume) beschikbaar voor het beschouwde kunstwerk [m³].
- A_{gem} Het voor komberging gemiddeld beschikbare oppervlak [m²].
- Δh_{kom} Kritieke peilverhoging komberging [m] (zie paragraaf 7.4.3).
- $V_{kw, i}$ Instromend volume door kunstwerk i dat aansluit op dezelfde komberging [m³].
- n Aantal kunstwerken buiten het beschouwde kunstwerk dat op dezelfde komberging uitkomt [-].
- $V_{achterland}$ Instromend volume als gevolg van aanvoer vanuit het achterland [m³].
- V_{pompen} Volume dat gedurende een hoogwater kan worden weggepompt door inzet van bijvoorbeeld aanwezige gemalen of mobiele pompen [m³].

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:

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

Δh_{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:

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

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

Het in te voeren kombergend oppervlak wordt nu:

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

7.4.3 Toegestane peilverhoging komberging

Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	μ	V_r/σ	Δ_x	p_x	Δ_t	p_t
Δh_{kom}	[m]	logn	Invoer ⁴	$\sigma=0,10$ ²	-	0	-	1

¹ Vaste waarde

² Defaultwaarde of aanbevolen waarde

³ Startwaarde

⁴ Vrije waarde

(zie Tabel 1-1)

De *toegestane peilverhoging komberging* (Δh_{kom} [m]) is de peilverhoging op het kombergend oppervlak die nog net niet leidt tot significante overstromingsgevolgen in het achterland. Verondersteld wordt dat de *toegestane peilverhoging komberging* lognormaal is verdeeld. Die verdeling wordt gekarakteriseerd door een verwachtingswaarde μ en een standaardafwijking $\sigma = 0,10$ [-]. De verwachtingswaarde moet worden opgegeven en de variatiecoëfficiënt betreft een aanbevolen waarde die door de gebruiker kan worden aangepast.

Hoe te bepalen

De toegestane peilverhoging kan bepaald worden middels onderstaande formule:

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

Waarin:

Δh_{kom} Toegestane 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, 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).
- 0,2 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).

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. Indien de achterliggende kades niet zijn genormeerd, dient een onderbouwde inschatting van de sterkte van deze kades plaats te vinden.

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 kwel⁸ niet alsnog hoger kan zijn. Het meenemen van ervaringen van recente hoogwaterperioden is gewenst bij het bepalen van het aan te houden binnenpeil.

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 deze schematiseringshandleiding is ervoor gekozen om middels de parameter van het kombergend oppervlak (A_{kom} , zie paragraaf 7.4.2) overige invloeden op het kombergend vermogen te verrekenen. Hier kan uiteraard van worden afgeweken.

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 afgemalen tot NAP +1,6 m. Hiertoe wordt een gemaal ingezet. Bij een

⁸ Afwatering van andere kunstwerken op het betreffende binnenwater is onder de parameter A_{kom} reeds beschouwd

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 $\Delta h_{kom} = \text{NAP} + 2,80 \text{ m} - \text{NAP} + 1,60 \text{ m} = 1,20 \text{ m}$.

7.4.4 Modelfactor instromend volume

Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	μ	V_r/σ	Δ_x	ρ_x	Δ_t	ρ_t
m_{in}	[-]	det	1,0 ¹	-	-	-	-	-

¹ Vaste waarde ² Defaultwaarde of aanbevolen waarde ³ Startwaarde ⁴ Vrije waarde (zie Tabel 1-1)

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 deterministische variabele: gerekend moet worden met de verwachtingswaarde $\mu = 1,0$. Deze vaste waarde kan niet worden aangepast.

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.

7.4.5 Stormduur

Wat is het

Aanduiding	eenheid	type	μ	V_r/σ	Δ_x	ρ_x	Δ_t	ρ_t
t_s	[uur]	logn	6,0 ²	$V_r=0,25$ ¹	-	1	-	0

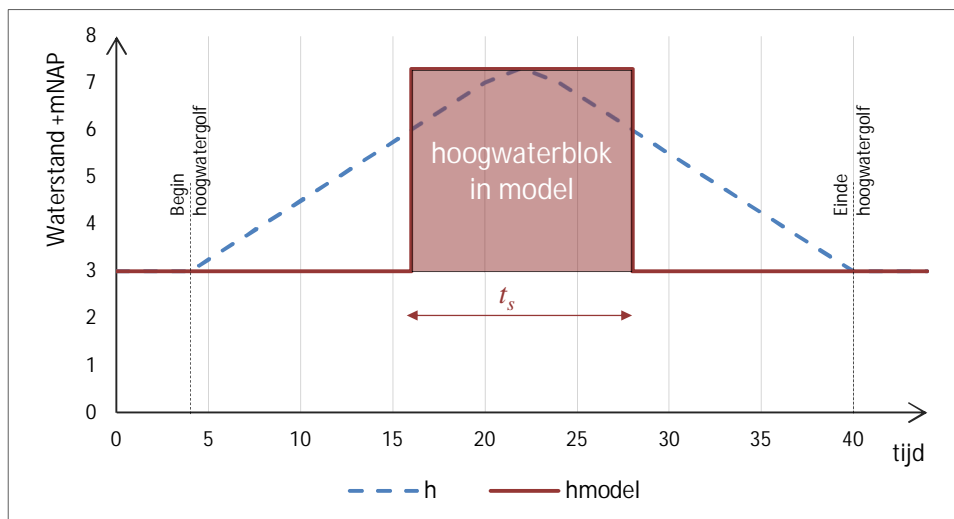
¹ Vaste waarde ² Defaultwaarde of aanbevolen waarde ³ Startwaarde ⁴ Vrije waarde (zie Tabel 1-1)

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 μ 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 Riskeer 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 7-8 is een voorbeeld opgenomen.



Figuur 7-8 Schematisering verloop hoogwatergolf in Riskeer

In Riskeer wordt de verwachtingswaarde voor de stormduur door de gebruiker opgegeven. Aanbevolen wordt om voor windgedomineerde belastingsystemen in eerste instantie te rekenen met een verwachtingswaarde van 6 uur. Bij afvoergedomineerde belastingsystemen wordt aanbevolen om gebruik te maken van de Waterstandsverlooptool om een adequate inschatting van het instromende volume te bepalen. In hoofdstukken 5 en 11 van de Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken [18] worden hiervoor aanwijzingen gegeven. Met name als sprake is van overloop in het illustratiepunt van de faalkansberekening kan het nodig zijn de stormduur (fors) te verhogen.

Vanwege de vele onzekerheden omtrent de werkelijke stormduur is de relatief grote variatiecoëfficiënt niet aanpasbaar.

Aandachtspunten

n.v.t.

Voorbeeld

n.v.t.

7.4.6 *Optredend overslag-/overloopdebiet*

Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 7.2.3.

7.4.7 *Breedte van de kruin van het kunstwerk*

Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 7.2.9.

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 als onderdeel van het WBI 2017.

Schrijver:	B. van Bree (Bob van Bree - Waterbouwkundig advies en projectmanagement).
Regie:	A. Casteleijn (RWS).
Review versie 3:	R.C.M. Delhez (Greenrivers B.V.).
Review versie 2:	R.C.M. Delhez (Greenrivers B.V.). H. de Waal (Deltares).
Review versie 1:	R.C.M. Delhez (Greenrivers B.V.). R. Jongejan (Jongejan RMC). D. Pereboom (Deltares). M.M. de Visser (Arcadis). E.O.F. Calle (Deltares).
Eindcontrole:	R.M. Slomp (RWS).

A Literatuur

- [1] *Toetsspoorrapport hoogte kunstwerk (WTI 2017)*. Deltares, kenmerk 1220087-001-GEO-0010-jvm. Delft, december 2015.
- [2] *Achtergrondrapport toetsspoor hoogte kunstwerk I - Modellerings optredend overslag-/overloopdebiet (WTI 2017)*. Deltares, kenmerk 1220087-001-GEO-0004. Delft, december 2015.
- [3] *Achtergrondrapport toetsspoor hoogte kunstwerk II - Bepaling kritiek overslag-/overloopdebiet (WTI 2017)*. Deltares, kenmerk 1220087-001-GEO-0011. Delft, december 2015.
- [4] *EurOtop Manual on wave overtopping of sea defences and related structures: Second edition*. Van der Meer et. al., oktober 2016.
- [5] *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI*. Rijkswaterstaat - Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, januari 2019.
- [6] *Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering*. K.W. Pilarczyk. Rijkswaterstaat, Delft, ISBN 90 5809 302 6. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 2000.
- [7] *Handleiding Datamanagement WBI 2017*. Rijkswaterstaat - Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- [8] *Introduction to bed, bank and shore protection*. G.J. Schiereck en H.J. Verhagen. VSSD, Delft, 2012.
- [9] *Leidraad Kunstwerken*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. ISBN 90-369-5544-0. Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, mei 2003.
- [10] *Ontwerp van schutsluizen*. Rijkswaterstaat, Bouwdienst, deel 1: ISBN 90-369-3305-6, deel 2: ISBN 90-369-3306-4. Utrecht, juni 2000.
- [11] *Scour Manual*. G.J.C.M. Hoffmans en H.J. Verheij, ISBN 90-5411-0673-5. January 1997.
- [12] *Toegepaste vloeistofmechanica, hydraulica voor waterbouwkundigen*. Nortier, ISBN 90-401-0318-6, 1996.
- [13] *Toetsspoorrapport betrouwbaarheid sluiting (WTI 2017)*. Deltares, kenmerk 1220087-002-GEO-0009. Delft, december 2015.
- [14] *Handleiding voor het gebruik van de dam- en voorlandmodule ter bepaling van de hydraulische condities bij de dijkteen*, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, november 2019.
- [15] *Waterstandsverlopen zoete en zoute wateren*. HKV, PR2803, april 2014.
- [16] *Grondslagen voor hoogwaterbescherming*. ENW rapport, november 2017

- [17] *Aanbeveling "Overloop van coupures en sluisdeuren"*. A. Vrijburcht, RWS, Concept 3A. 2004
- [18] *Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken*, RWS-WVL Waterkeringen, Groene versie, 1 november 2018
- [19] *Hoe om te gaan met waterbezwaar als gevolg van hoge overslagdebieten?*, KPR-factsheet d.d. 15-10-2018 versie 2

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*.

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. Dit vergt echter gedetailleerde, bewerkelijke overstromingsberekeningen.

Binnen het WBI wordt daarom ten behoeve van de gedetailleerde toets aangesloten op de pragmatische werkwijze uit de *Grondslagen voor hoogwaterbescherming* [16] waarbij wordt gewerkt met een bepaalde toelaatbare waterdiepte, welke voor zowel bebouwd als landelijk gebied dezelfde is:

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

In de Waterwet is deze waterdiepte overigens niet opgenomen en wordt alleen gesproken van substantiële schade en kans op slachtoffers. De vuistregel van 0,20 m uit de Grondslagen is vooral bedoeld om aan te geven wanneer er zeker géén sprake is van een overstroming, namelijk bij geringere waterdiepte dan 0,20 m.

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 soms ook lagere) waterdiepte achter een kunstwerk

substantiële economische schade optreedt en/of tenminste 1 slachtoffer valt. Dit kan in de *toets op maat* gebeuren. Het KPR-factsheet *Hoe om te gaan met waterbezwaar als gevolg van hoge overslaggebieten?* kan behulpzaam zijn om tot verdere aanscherping te komen.

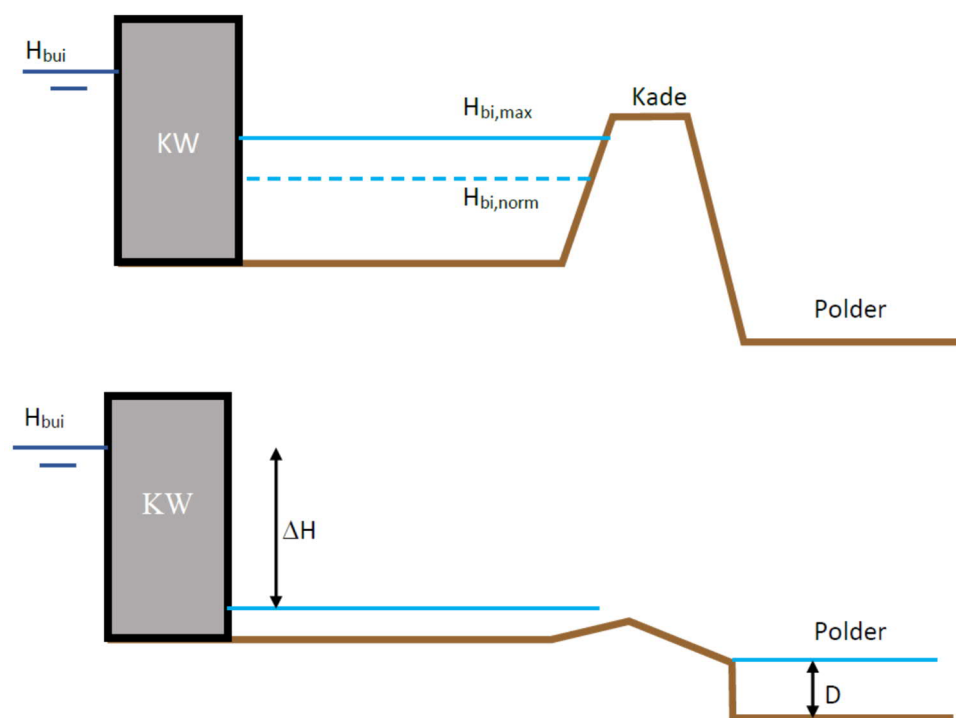
Het kombergend vermogen kan op drie wijzen worden overschreden zodanig dat significante gevolgen optreden:

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 substantiële economische schade 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 substantiële economische schade 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 substantiële economische schade 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 de rekenwaarde van 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 de rekenwaarde van 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 als eerste stap de rekenwaarde van het kombergend volume zodanig verruimd worden dat in het achter de kom gelegen gebied gemiddeld 0,2 m water op straat/maaiveld komt te staan.

D Parameterlijst uitgebreid

Hieronder is de parameterlijst met betrekking tot hoogte kunstwerk gegeven, waarbij ook de benaming van de parameters is toegevoegd en tevens de aanduiding van de parameters in het csv-bestand dat als invoer dient voor Riskeer.

symbol	benaming	eenheid	type	μ	V_r of σ	Groep *	Δ_x	ρ_x	Δ_t	ρ_t	Par.	CSV-bestand Riskeer
q_c	Kritiek instromend debiet	[m ³ /s/m]	logn	Invoer	$V_r=0,15$	4(μ) en 2(V_r)	-	0	-	1	7.2.1	KW_HOOGTE4
B_{sv}	Stroomvoerende breedte bodembescherming	[m]	logn	Invoer	$\sigma=0,05$	4(μ) en 2(σ)	-	0	-	1	7.2.2	KW_HOOGTE3
m_{os}	Modelfactor overslagdebiet	[-]	logn	0,09	$\sigma=0,06$	1(μ) en 1(σ)	-	0	-	1	7.2.4	-
h_{kr}	Kerende hoogte kunstwerk	[m+NAP]	nor	invoer	$\sigma=0,05$	4(μ) en 2(σ)	-	0	-	1	7.2.5	KW_HOOGTE2
γ_n	Invloedsfactor neusconstructie	[-]	det	invoer	-	4(μ)	-	0	-	1	7.2.6	-
ψ_{kw}	Oriëntatie normaal van het kunstwerk	[°N]	det	invoer	-	4(μ)	-	0	-	1	7.2.7	KW_HOOGTE1
m_{ol}	Modelfactor overloopdebiet volkomen overlaat	[-]	nor	1,1	$\sigma=0,05$	2(μ) en 1(σ)	-	0	-	1	7.2.8	-
B	Breedte van de kruin van het kunstwerk <i>In Riskeer: Breedte van doorstroomopening</i>	[m]	nor	invoer	$\sigma=0,05$	4(μ) en 2(σ)	-	0	-	1	7.2.9	KW_HOOGTE5
$P_{r,kw erosie\ bodem}$	Faalkans gegeven erosie bodem	[-]	det	1,0	-	2(μ)	-	1	-	1	7.3.1	KW_HOOGTE6
m_{kom}	Modelfactor kombergend vermogen	[-]	logn	1,0	$\sigma=0,20$	1(μ) en 1(σ)	-	0	-	1	7.4.1	-
A_{kom}	Kombergend oppervlak	[m ²]	logn	Invoer	$V_r=0,10$	4(μ) en 2(V_r)	-	0	-	1	7.4.2	KW_HOOGTE7
Δh_{kom}	Toegestane peilverhoging komberging	[m]	logn	Invoer	$\sigma=0,10$	4(μ) en 2(σ)	-	0	-	1	7.4.3	KW_HOOGTE8
m_{in}	Modelfactor instromend volume	[-]	det	1,0	-	1(μ)	-	-	-	1	7.4.4	-
t_s	Stormduur	[uur]	logn	6,0	$V_r=0,25$	2(μ) en 1(V_r)	-	1	-	0	7.4.5	-

* 1 Vaste waarde 2 Defaultwaarde of aanbevolen waarde 3 Startwaarde 4 Vrije waarde (zie Tabel 1-1)

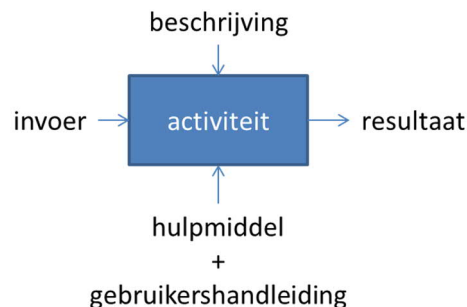
E Schema werkwijze beoordeling hoogte kunstwerk

Hieronder is schematisch de werkwijze van de beoordeling van het toetspoo Hoogte kunstwerk (HTKW) weergegeven (Figuur E.1).

E.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 E.1.

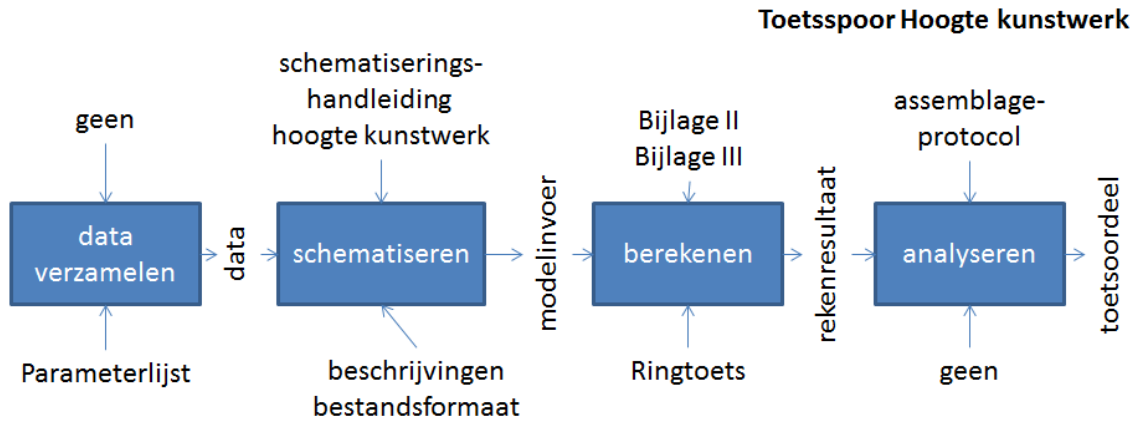


Figuur E.1 Het algemene schema van een activiteit. Een aaneenschakeling van benodigde activiteiten bij een beoordeling geeft de schematische werkwijze van de beoordeling weer.

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 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.

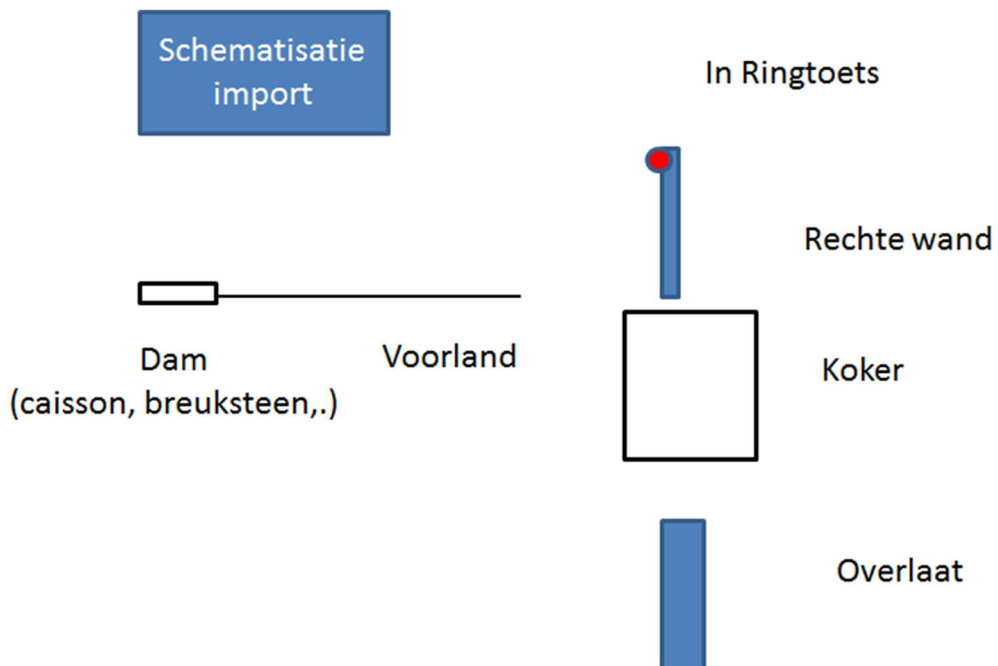
Benadrukt wordt dat dit schema niet het beoordelingsproces beschrijft. Het beoordelingsproces wordt beschreven in *Bijlage I Procedure* van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017. Het beoordelingsproces is iteratief waarbij één of meerdere activiteiten uit het schema meerdere 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).

E.2 Schema werkwijze beoordeling Hoogte kunstwerk (HTKW)



Figuur E.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. De berekening van de Hydraulische Belastingen vindt binnen Riskeer plaats.



Figuur E.3 Parameters voor Riskeer voor de hoogte toets.

Voorlanden en dammen komen uit het prfl bestand. De hoogte van de rechte wand en wordt in Riskeer ingevuld. Noot: In Riskeer kan geen neusconstructie op een rechte wand worden beoordeeld.

E.3 Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Hoogte kunstwerk (HTKW)

E.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.

E.3.2 Activiteit 'schematiseren'

Referenties beschrijving activiteit

- *Schematiseringshandleiding Hoogte kunstwerk, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, mei 2021.
- *Schematiseringshandleiding Hoogte, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, mei 2021.
- *Schematiseringshandleiding Hydraulische condities bij de dijkteen, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

Referenties hulpmiddel activiteit

- geen

E.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.

E.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.

E.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.

E.3.6 *Toelichting bij de referenties*

Het softwareprogramma Riskeer kan verschillende (sub)activiteiten ondersteunen bij het berekenen van de hydraulische belastingen en bij het berekenen van het rekenresultaat. Daarom wordt Riskeer 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.