



# DIJKEROSIE KRUIJN EN BINNENTALUD DIJKEN/DAMMEN DEEL 4

Handleiding Overstromingskansanalyse





Rijkswaterstaat  
*Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat*

**RWS INFORMATIE**

## **Handleiding Overstromingskansanalyse Dijken/dammen**

### **Deel 4 Dijkerosie - Kruin en Binnentalud**

## Colofon

Uitgegeven door  
Informatie  
Versie

Rijkswaterstaat  
[www.iplo.nl](http://www.iplo.nl)  
December 2023

## Voorwoord

Beste lezer,

Deze handleiding Overstromingskansanalyse Dijken/dammen deel 4 dijkerosie - kruin en binnentalud is onderdeel van het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI) voor primaire waterkeringen.

Een van de doelstellingen van het programma BOI is het denken vanuit het gedrag van de kering en het werken met overstromingskansen beter mogelijk te maken. De inzet van het instrumentarium is flexibeler geworden. De beheerder maakt zelf de afweging welk model het meest geschikt is voor zijn kering. Ook wordt het volledige faalpad dat leidt tot een overstroming beschouwd.

Het 'papieren' instrumentarium is daarom opnieuw ingericht en bestaat nu uit de handleidingen Overstromingskansanalyse voor de verschillende typen keringen en de verschillende faalmechanismen én de Technische leidraden. De nog relevante onderdelen uit het WBI2017 uit bijlage III, de schematiseringshandleidingen en de leidraden en technische rapporten zijn hierin opgenomen.

Het gedrag van de kering centraal zetten, klinkt logisch en past bij de ervaringen uit LBO-1. Deze stap lijkt dan ook eenvoudig: het basisinstrumentarium wijzigt inhoudelijk nauwelijks, de kering blijft hetzelfde en er zijn weinig nieuwe inzichten van de fysica. Toch hebben we bij de ontwikkeling van het instrumentarium en het opstellen van de handleidingen ervaren dat het in de praktijk lastig en soms theoretisch is. Het 'gedrag van de kering centraal' werkt namelijk door in het hele instrumentarium en vraagt dat er met een nieuwe blik naar wordt gekeken. Het kostte tijd om de nieuwe begrippen te doorgronden en op te schrijven. We zijn dan ook verschillende keren opnieuw begonnen.

Deze eerste groene versies zijn daarom nog niet perfect. De theoretische discussies zijn gevoerd, maar voor verdere aanvulling is het nodig dat praktijkervaring wordt opgedaan. Daarbij is het belangrijk dat we de nieuwe begrippen die steeds aan het eind van elke handleiding staan, consistent en eenduidig gebruiken.

We houden rekening met een continue doorontwikkeling van deze handleiding. Door praktijkervaringen toe te voegen gaan we ervan uit dat we de handleiding steeds completer en gebruiksvriendelijker kunnen maken. We willen u daarom vragen om zoveel mogelijk ervaringen, positief en negatief, met ons te delen. Dat kan via [het vragenformulier op de IPLO](#). Op het de Iplo, de pagina van het BOI-portaal, zal periodiek een samenvatting van opmerkingen, vragen en antwoorden worden gepubliceerd en waar nodig een lijst met errata. Op basis van de opmerkingen en ontwikkelingen van kennis en instrumenten wordt jaarlijks een afweging gemaakt of een nieuwe versie nodig is.

Deze eerste groene versie van de handleiding is gezamenlijk opgesteld door Rijkswaterstaat, Deltares en marktpartijen. De kwaliteit is geborgd door een interne inhoudelijke review en controle op de consistentie over alle handleidingen vanuit het programma BOI. In 2024 worden nieuwe versies verwacht aangevuld met de eerste ervaringen en ook opmerkingen en aanbevelingen van ENW.

Het BOI-team

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1	Het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI)	6
1.1.1	Procesinstrumentarium	6
1.1.2	Basisinstrumentarium	7
1.1.3	Werkatelier	8
1.2	Verhaal van de kering	8
1.3	Leeswijzer van deze handleiding	9
<b>2</b>	<b>Beschrijving faalmechanisme</b>	<b>10</b>
2.1	Fenomenologische beschrijving dijkerosie kruin en binnentalud	10
2.2	Faalpaden	11
2.2.1	Trigger: Verhoogde hydraulische belasting	12
2.2.2	Bezwijken toplaag kruin en/of binnentalud of bezwijken overgangen	12
2.2.3	Vervolgmechanismen	13
2.2.4	Overstroming	14
2.3	De rol van NWO's, voorlanden en (haven)dammen	14
2.3.1	De rol van NWO's	14
2.3.2	De rol van het voorland	14
2.3.3	De rol van (haven)dammen	15
<b>3</b>	<b>Bepalen relevantie met beslisregels</b>	<b>17</b>
3.1	Beslisregels	17
3.1.1	Keringtype	17
3.1.2	Geometrie	17
3.1.3	Erosiebestendige bekleding	17
3.1.4	Historische informatie	18
<b>4</b>	<b>Eerste inschatting overstromingskans</b>	<b>19</b>
4.1	Dijkvakindeling	20
4.2	Hydraulische belastingen	20
4.3	Schematisatie	21
4.4	Model en berekening	21
4.5	Lengte-effecten	22
<b>5</b>	<b>Mogelijkheden voor aanscherping overstromingskans</b>	<b>24</b>
5.1	Inleiding	24
5.2	Mogelijkheden	24
5.2.1	Optie 1: Schematiseringsproces herhalen aan de hand van meer informatie	24
5.2.2	Optie 2: Uitwerken vervolgmechanismen	25
5.2.3	Optie 3: Toepassen andere modellen en technieken	25
5.2.4	Optie 4: Benutten kennisontwikkeling	28
<b>Literatuur</b>		<b>29</b>
<b>Bijlage A</b>	<b>Begrippenlijst</b>	<b>30</b>
<b>Bijlage B</b>	<b>Lengte-effectfactoren voor initieel mechanisme erosie grasbekleding</b>	<b>32</b>



# 1 Inleiding

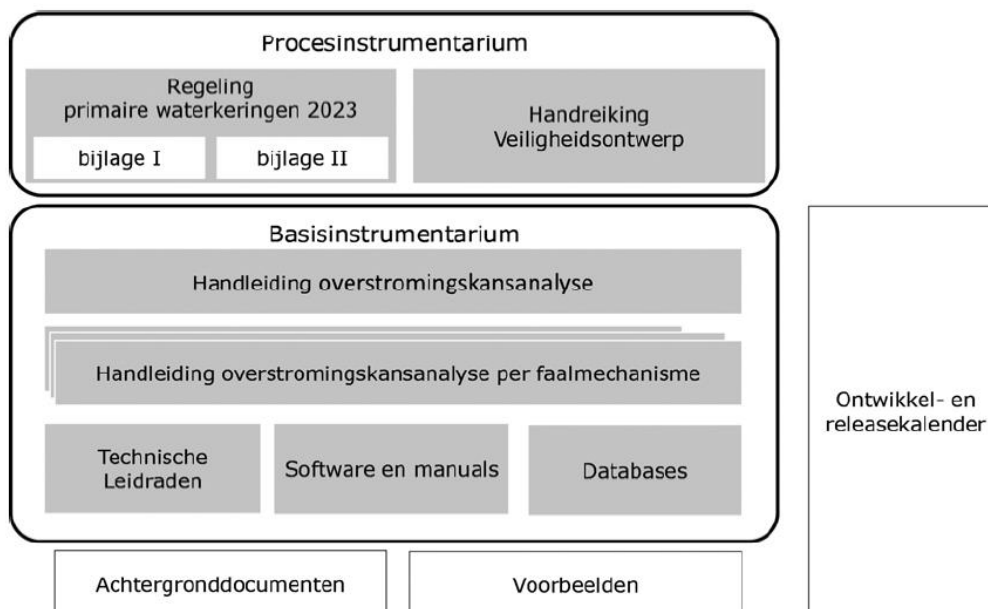
Deze handleiding beschrijft de aanpak voor een geloofwaardige, herleidbare en stabiele bepaling van de bijdrage aan de overstromingskans vanuit het mechanisme Dijkerosie krui en binnentalud. Het verhaal van de kering staat daarbij centraal. De handleiding is geschreven om handvatten te bieden om in de beoordeling, of bij het maken van een ontwerp voor een versterking, de overstromingskans te bepalen.

De begrippenlijst in deze handleiding is hetzelfde als bijlage I en II van de Regeling primaire waterkeringen 2023, zie Bijlage A.

## 1.1 Het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI)

Het Rijk stelt de regels voor het uitvoeren van de veiligheidsbeoordeling op en stelt leidraden, handleidingen en software beschikbaar voor het ontwerp en het beheer van primaire keringen. Onder het beheer van een waterkering vallen alle activiteiten die erop gericht zijn de bestaande kering zijn functies duurzaam te laten uitvoeren.

Als hulpmiddel bij de veiligheidsbeoordeling en het opstellen van een ontwerp voor een versterking, stelt het Rijk het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI) beschikbaar. Het BOI bestaat uit proces- en basisinstrumenten, zie Figuur 1.



Figuur 1: Overzicht BOI

### 1.1.1 Procesinstrumentarium

Voor het beoordelen bestaat het procesinstrumentarium uit de Regeling Veiligheid primaire waterkeringen 2023 en twee bijlagen:

- Bijlage I Procedure beoordeling primaire waterkeringen  
Deze bijlage beschrijft de te volgen procedure in de beoordeling van een dijktraject. Ook zijn de eisen aan de rapportage opgenomen.
- Bijlage II Randvoorwaarden beoordeling primaire waterkeringen

In deze bijlage worden de randvoorwaarden beschreven voor het bepalen van de overstromings- of faalkans van een dijktraject.

De handreiking Veiligheidsontwerp is het procesinstrumentarium dat vanuit BOI beschikbaar wordt gesteld. Deze handreiking geeft ondersteuning en licht de keuzes toe die voor waterveiligheid moeten worden gemaakt. Zowel in het ontwerpproces van het definiëren van de dijkversterkingsopgave in de trajectaanpak, als voor het realiseren van dijkversterkingsmaatregelen.

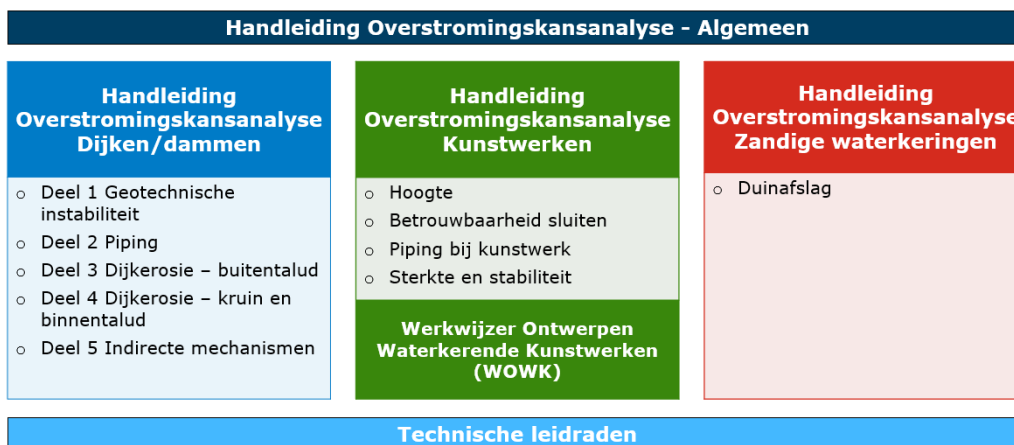
### 1.1.2 Basisinstrumentarium

Het basisinstrumentarium bestaat uit handleidingen, technische leidraden, software-applicaties en databases. Deze instrumenten kunnen worden gebruikt om de overstromingskans van een dijktraject te bepalen.

#### 1.1.2.1 Handleidingen

De handleidingen van het BOI ondersteunen bij het uitvoeren van de analyses om de overstromingskans van een dijktraject te bepalen, zowel voor het uitvoeren van een beoordeling als een ontwerpverificatie. In de handleidingen worden alle keuzes, overwegingen en activiteiten beschreven die op basis van het verwachte gedrag van de waterkering nodig zijn om de overstromingskans te bepalen.

Figuur 2 geeft een overzicht van de verschillende handleidingen.



Figuur 2: Overzicht van de verschillende handleidingen

De handleiding Overstromingskansanalyse - Algemeen (Rijkswaterstaat, 2023a) beschrijft de algemene aanpak van de bepaling van de overstromingskans van primaire waterkeringen. Daarnaast staan er handvatten in voor het opstellen van het verhaal van de kering (zie paragraaf 1.2), waarmee de waterkering in de context van de omgeving wordt bekeken. Hierbij is uitgegaan van drie leidende principes:

1. Een stabiel eindresultaat en transparant handelingsperspectief.
2. Een geloofwaardige overstromingskans.
3. Het systeem staat centraal.

De handleiding geeft handvatten voor de bepaling van de overstromingskans voor het faalmechanisme Dijkerosie Kruin en Binnentalud en is een concrete uitwerking van de aanpak zoals beschreven in de handleiding Overstromingskansanalyse.

#### 1.1.2.2 Technische leidraden



Naast handleidingen voor faalmechanismen maken ook technische leidraden onderdeel uit van het BOI. Technische leidraden bevatten informatie over onderdelen van de waterkering, mechanismen, sterkte en belastingen die samen bepalend zijn voor de overstromingskans. Ook gaan de technische leidraden in op rekenmodellen en rekentechnieken die kunnen worden gebruikt voor het berekenen van overstromingskansen. De technische leidraden zijn te vinden op <https://tl.iplo.nl/>.

#### 1.1.2.3 Software en databases

De modellen en applicaties die onderdeel uitmaken van het BOI, kunnen gebruikt worden om de kans van optreden van bepaalde mechanismen te berekenen. *Riskeer* is de user interface (UI) van de applicaties van het BOI. *Riskeer* voegt de resultaten van de verschillende faalpadanalyses samen om een inschatting te kunnen maken van de overstromingskans van het dijktraject.

De databases bevatten de hydraulische belastingen voor de verschillende watersystemen en de scenario's voor de schematisatie van de ondergrond (SOS).

#### 1.1.3 *Werkatelier*

Deze handleiding is vooral gericht op de bepaling van de overstromingskans en *niet* op het proces. Daarvoor wordt verwezen naar bijlage I en II van de Regeling en de afspraken die hierover zijn gemaakt in het draaiboek (Rijkswaterstaat, 2022). In het draaiboek is een werkatelier gedefinieerd waarin een groep specialisten en beheerders onder leiding van een voorzitter een doelmatig en uitvoerbaar advies opstellen voor de bepaling van de overstromingskans van het dijktraject van de beheerder. Het doel hiervan is een verklaarbaar, consistent en stabiel resultaat van de beoordeling. Ook kan dit aanbevelingen geven voor het BOI.

## 1.2 **Verhaal van de kering**

Het verhaal van de kering draagt bij aan het begrijpen en kunnen duiden van de functie van het dijktraject in het systeem. Het geeft per dijktraject ook inzicht in de gebeurtenissen die leiden tot een overstroming. Gebeurtenissen- en foutenbomen zijn methoden die daarbij kunnen helpen.

Het verhaal bestaat uit een beschrijving van de waterkering, de ondergrond en de belastingen. Het wordt opgesteld op basis van bestaande informatie en geeft een overzicht van de ordening en interpretatie van de gegevens in het data- en informatiesysteem van de waterkering waar het een onderdeel van is. Dit verhaal bepaalt de ordening en de aard van gegevens die nodig zijn voor een analyse van de overstromingskans. Een actueel en volledig data- en informatiesysteem, waarin continu de laatste inzichten worden verwerkt, is een voorwaarde voor een plausibele uitkomst van een overstromingskansanalyse. Het verhaal van de kering is nooit af. Door nieuwe inzichten en ervaringen kan het verhaal wijzigen of worden aangescherpt.

Het verhaal van de kering bevat een aantal basiselementen:

- **Beschrijving van de waterkering:** De beschrijving van de eigenschappen van de waterkering die van belang zijn voor een overstromings- of faalkansanalyse, waarbij ook de relatie wordt gelegd met de historische achtergrond van de waterkering. Het gaat onder andere om de geometrie en de opbouw van de waterkering. Zoals bijvoorbeeld type bekledingen, waterkerende constructies en kunstwerken en niet-waterkerende objecten die de overstromings- of faalkans kunnen beïnvloeden.

- **Geologische en geohydrologische analyse:** Het analyseren van geologische tijdvakken en de geohydrologische en geotechnische eigenschappen van het ondergrondsysteem kwalitatief beschrijven.
- **Hydrologische en hydraulische analyse:** Het beschrijven van de hydraulische belasting van het dijktraject vanuit het watersysteem, waar nodig in combinatie met hydrologische gebeurtenissen, zoals extreme neerslag.
- **Kennis en ervaring van de keringbeheerder:** Inspecties van de waterkering hebben inzicht gegeven in het optreden van schade en vervormingen van de waterkering. Daarnaast heeft de keringbeheerder de waterkering eerder beoordeeld en mogelijk versterkt.

### 1.3 Leeswijzer van deze handleiding

De handleidingen zijn geschreven om handvatten te bieden om in de beoordeling een geloofwaardige, herleidbare en stabiele overstromingskans te bepalen. De handleiding is geschreven voor de deskundige gebruiker die bekend is met de voorschriften, de (deel)faalmechanismen en de modellen die van toepassing zijn.

Deze handleiding is gericht op het faalmechanisme dijkerosie kruin en binnentalud. **Hoofdstuk 2** beschrijft het gedrag van de kering en het faalpad. In **hoofdstuk 3** staan generieke beslisregels die het mogelijk maken snel te filteren in welke situaties het faalmechanisme dijkerosie kruin en binnentalud niet relevant is.

**Hoofdstuk 4** beschrijft de uitwerking van een generieke analyse van de overstromingskans. Deze geeft, samen met de technische leidraad voor dit mechanisme, de handvatten voor het schematiseren en analyseren van dijktrajecten, dijkvakken en dwarsdoorsnedes. Deze eerste inschatting van de overstromingskans gebruikt generieke methodes met een zeker toepassingsgebied. Afhankelijk van de lokale situatie kan de overstromingskans met verdere analyses worden aangescherpt. Dit staat beschreven in **hoofdstuk 5**.

## 2 Beschrijving faalmechanisme

Dit hoofdstuk beschrijft de faalmechanismen voor *Dijkerosie Kruin en Binnentalud*. De eigenschappen van de belasting en de waterkering worden beschreven voor het faalmechanisme. Dit is onderdeel van het verhaal van de kering. Op basis van deze eigenschappen kunnen voor een specifieke locatie en context, de relevantie van het faalmechanisme (hoofdstuk 3), de toepasbaarheid van de generieke analyse (hoofdstuk 4) en de mogelijke vervolganalyses (hoofdstuk 5) worden bepaald.

### 2.1 Fenomenologische beschrijving dijkerosie kruin en binnentalud

Het dijklichaam wordt beschermd tegen erosie door een dijkbekleding. Voordat erosie van het dijklichaam kan optreden, zal eerst de dijkbekleding moeten bezwijken<sup>1</sup>. Bij de beschouwing van dijkerosie wordt meestal onderscheid gemaakt tussen faalpaden die bij de bekleding op het buitentalud horen en de bekleding op kruin en binnentalud. Deze handleiding gaat over de faalmechanismen van erosie van bekledingen en onderlagen van de kruin en het binnentalud.

Het initiële mechanisme van dit faalmechanisme beperkt zich tot *erosie* van een *gras* bekleding op de kruin en het binnentalud door water dat over de kruin loopt door golfoverslag of overloop.

Op situaties met andere bekledingstypen op kruin en binnentalud dan gras, wordt kort ingegaan in hoofdstuk 3 en 5.

Ook afschuiven, opdrukken of uitspoelen van het binnentalud kunnen een initieel mechanisme zijn. Die mechanismen worden beschreven in de handleiding Geotechnische instabiliteit (Rijkswaterstaat, 2023b).

Zelfs zonder het optreden van een initieel mechanisme kan het zo zijn dat de kruin zo laag is dat er door golfoverslag of overloop teveel water het achterland instroomt. Het kan de voorkeur hebben dit te evalueren. Dit valt buiten de scope van deze handleiding.

Uitgangspunt binnen de faalmechanismen voor dijkerosie kruin en binnentalud is dat het initiële mechanisme optreedt als gevolg van een verhoogde hydraulische belasting. Verhoogde hydraulische belastingen bestaan over het algemeen uit combinaties van hoge waterstanden en hoge golfbelastingen die niet onder dagelijkse condities vallen.

Bij golfoverslag slaan de hoogste golven over de kruin van de dijk. Deze overslaande golven geven steeds enkele seconden een hoge stroomsnelheid op de kruin en het binnentalud. Hierdoor wordt de grasbekleding blootgesteld aan een sterk wisselende waterdruk waardoor de deze kan eroderen.

Het optreden van het initiële mechanisme 'bezwijken bekleding kruin en binnentalud' impliceert veranderingen in het profiel en de doorsnede van een dijk. Het dijklichaam wordt dan kwetsbaarder voor vervolgerosie en/of geotechnisch bezwijken.

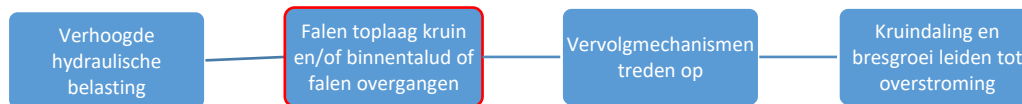
<sup>1</sup> In deze handleiding heeft 'falen' betrekking op de volledige kering en heeft 'bezwijken' betrekking op een onderdeel van de kering.

Als stappen in een faalproces leiden tot (significante) kruinverlaging, ontstaat er een bres en overstroomt het achterland. In dat geval spreken we van falen van de kering.

Voor een verdere fenomenologische beschrijving, verwijzen we naar de technische leidraden.

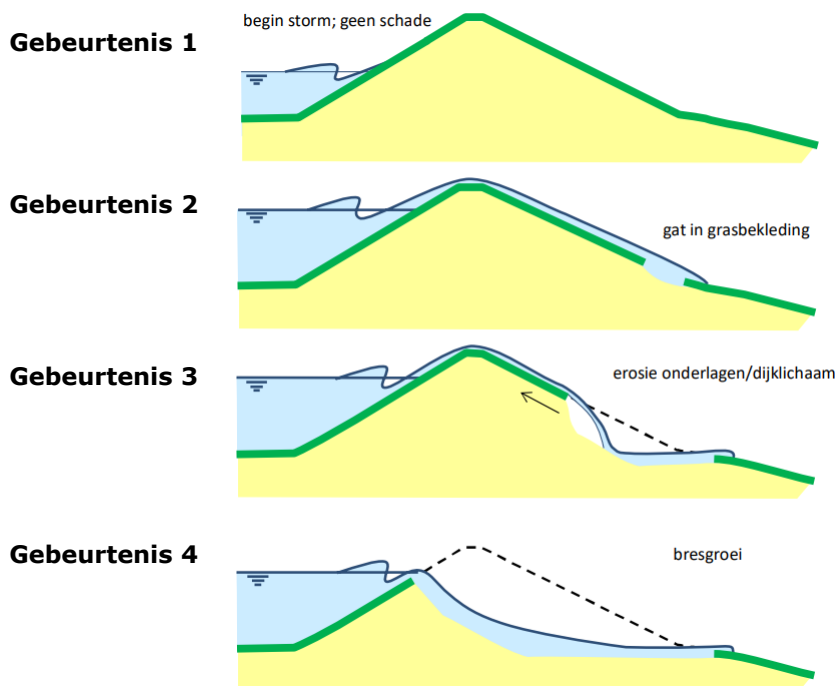
## 2.2 Faalpaden

Het schema in Figuur 3 beschrijft het generieke faalpad voor het faalmechanisme dijkerosie kruin en binnentalud.



Figuur 3: Generiek faalpad voor het faalmechanisme dijkerosie kruin en binnentalud

Afhankelijk van het verhaal van de kering (vorm dijklichaam, objecten op de dijk en de ligging van het dijktraject) kan het te beschouwen faalpad worden aangepast en/of specifieker worden ingevuld. Figuur 4 geeft een voorbeeld van de manier waarop het initiële mechanisme erosie binnentalud kan leiden tot falen van de dijk.



Figuur 4: Schetsmatig voorbeeld van het generieke faalpad

Aanvullend op het generieke faalpad, kan er ook sprake zijn van indirecte mechanismen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan veranderende golfbelasting door schade aan een voorliggende dam of een voorland. In zulke situaties is het van belang om het faalpad te splitsen en alle scenario's te beschouwen met bijbehorende kansen van optreden, zie ook (RWS WV, 2023a).

De volgende sub-paragrafen geven een toelichting op de verschillende gebeurtenissen in Figuur 3.

### 2.2.1 *Trigger: Verhoogde hydraulische belasting*

Tijdens extreme omstandigheden kan het binnentalud van een dijk belast worden door water dat over de dijk stroomt. Bij toenemende waterstand en golven richting de dijk neemt het golfoplooppniveau op het buitentalud toe. Als de kruinhoogte lager is dan het golfoplooppniveau van de hoogste golven vindt er golfoverslag over de kruin plaats. Als de waterstand hoger is dan de kruin treedt overloop op. Golfoverslag en overloop leiden tot een belasting op de kruin en het binnentalud.

De belasting bestaat uit een stroomsnelheid van het water dat over de dijk komt en door de in de tijd variërende krachten op de grasbekleding die daarmee samengaan. De stroomsnelheid op de kruin en het binnentalud wordt vooral bepaald door de hoogte en snelheid waarmee de golven tegen de dijk oplopen. Daarnaast speelt de versnelling van het water terwijl dit over het binnentalud omlaag loopt een belangrijke rol. Ook ruwheid en de laagdikte van het water spelen een rol. De golfoploophoogte is vervolgens afhankelijk van de geometrie (profiel en ruwheid) van het buitentalud, de waterstand en de golfhoogte, golfperiode en golfinvalshoek.

De meest relevante belasting voor dijkerosie kruin en binnentalud zijn windgolven (in deze context horen ook de deininggolven daar bij), vaak in combinatie met verhoogde waterstanden.

De golfbelasting kan ruimtelijk sterk variëren. Voor dijkerosie kruin en binnentalud worden de golfcondities ter hoogte van de buitenteen van de dijk als meest relevant beschouwd.

De grootte van de golfbelasting is primair afhankelijk van de wind (snelheid en richting), de strijklengte en de waterdiepte. Daarnaast kan er sprake zijn van lokale invloeden op de golfcondities door een (haven)dam of een ondiep voorland.

Het verloop in de tijd van de waterstand en de golfcondities (storm) bepaalt de belastingduur.

De positie van de eerste gebeurtenis '*verhoogde hydraulische belastingen*' in het generieke faalpad is een vereenvoudiging om de figuur overzichtelijk te houden. Het nadeel hiervan is dat dit de suggestie wekt dat deze gebeurtenis alleen voorafgaat aan het initiële mechanisme en verder geen rol meer speelt. In werkelijkheid is het verloop in de tijd van de hydraulische belastingen relevant tijdens het hele faalpad van de kering. Verhoogde hydraulische belastingen vormen niet alleen een trigger voor het optreden van het initiële mechanisme (falen toplaag), maar zijn ook bepalend voor de vervolgmecanismen.

### 2.2.2 *Bezwijken toplaag kruin en/of binnentalud of bezwijken overgangen*

Bij golfoverslag slaan de hoogste golven over de kruin van de dijk. Deze golven geven steeds enkele seconden een hoge stroomsnelheid op de kruin en het binnentalud. De overslaande golven stellen de grasbekleding bloot aan een sterk wisselende waterdruk waardoor deze kan eroderen.

De sterkte van de grasbekleding concentreert zich in de toplaag van circa 20 cm dikte. Deze toplaag bestaat uit de graszode van 5 à 10 cm dikte en de hieronder gelegen zone waar de wortels nog een grote invloed hebben op de erosiebestendigheid van de grond. Uit grootschalige golfoverslagproeven is gebleken dat een graszode met een dicht wortelnet zeer effectief is in het vasthouden van grond in deze stroming. Het geleidelijk wegspoelen van gronddeeltjes uit de zode gebeurt wel, maar blijkt niet maatgevend voor de sterkte van de bekleding.

Uit waarnemingen bij grootschalige golfoverslagproeven blijkt dat het proces van een eerste schade tot falen van de grasbekleding op verschillende manieren kan verlopen. Een eerste schade kan worden veroorzaakt doordat een grote overslaande golf een stukje van de zode meeneemt. Maar een eerste schade kan ook voorafgaand aan de storm al aanwezig zijn in de vorm van een kleine beschadiging zoals bijvoorbeeld een rijspoor. Het moment van optreden van deze eerste schade is zeer afhankelijk van toevallige variaties in de sterkte van de zode op kleine schaal en van lokale hoogteverschillen. Na een eerste schade stroopt in de meeste gevallen de zode als gevolg van golfoverslag van het talud af, vaak zonder dat er een snelle verdieping van de schade optreedt. Na verloop van tijd verdiept de schade en wordt de toplaag doorbroken. De tijd tussen de eerste schade en het doorbreken van de toplaag is zeer variabel.

De golfoverslag kan in eerste instantie worden gekarakteriseerd door het gemiddelde overslagdebiet per strekkende meter, in  $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$  of  $\text{l}/\text{s}/\text{m}$ . Het maakt een groot verschil of het golfoverslagdebiet een gevolg is van een relatief hoge waterstand en lage golven of van een relatief lage waterstand en hoge golven. In het eerste geval zullen relatief veel golven over de dijk slaan, maar in kleine volumes met een lage snelheid. In het tweede geval gaat het om weinig overslaande, maar zeer hoge golven met grote overslagvolumes en een hoge stroomsnelheid. Dit laatste geeft een veel grotere belasting op de grasbekleding.

Overgangen in een grasbekleding zijn vaak een zwakke plek. Kleine objecten, zoals paaltjes of kleine schades, leveren nog geen significante aantasting van de erosiebestendigheid<sup>2</sup>. Maar scherpe knikken in een talud, zeer lokale hoogteverschillen en overgangen tussen gras en bijvoorbeeld een weg, kunnen wel aanzienlijk zwakker zijn. De sterkte van de graszode kan rondom een overgang lager zijn, bijvoorbeeld omdat het gras niet vastgroeit aan een object. Bovendien kan de belasting hoger zijn omdat de stroomsnelheden en krachten op het talud groter zijn rondom een overgang en daar ook meer turbulentie kan ontstaan.

### 2.2.3 Vervolgmechanismen

Nadat de toplaag is doorbroken, zullen vervolgmechanismen moeten optreden om uiteindelijk tot kruindaling en bresgroei te komen. Deze vervolgmechanismen zijn te onderscheiden in:

- erosie van kernmateriaal
- uitspoelen van kernmateriaal
- afschuivingen

Modellen om deze vervolgmechanismen te kunnen bepalen zijn beperkt beschikbaar in de leidraden en handleidingen voor waterkeringen in Nederland. Dit is onder

<sup>2</sup> De beschouwing van overgangen in de vorm van aansluitingen tussen de grasbekleding en grotere objecten zoals bomen of bebouwing maakt deel uit van de beschouwing van niet-waterkerende objecten, zie ook paragraaf 2.3.1.

andere het gevolg van het ontbreken van kennis omdat het in de toets- en ontwerppraktijk tot 2017 niet gebruikelijk was om deze sterkte mee te nemen. Ook zijn deze vervolgmecanismen complex. Verschillende factoren spelen hierin een rol zoals de invloed van de duur van een bepaalde golfoverslag, een onzekere opbouw van het dijklichaam, hiaten in kennis over de erosiesterkte bij overslag en de verschillen tussen overloop en overslag.

Aangezien deze vervolgmecanismen een aanzienlijke invloed kunnen hebben op de kans op overstroming, is het belangrijk om deze invloed goed te kunnen bepalen.

#### 2.2.4 *Overstroming*

Er is sprake van een overstroming door dijkerosie kruin en binnentalud als door vervolgpocessen een dusdanige kruinverlaging met ongecontroleerde instroom van water in het achterland plaatsvindt dat de kering volgens de wet gefaald is.

## 2.3 De rol van NWO's, voorlanden en (haven)dammen

### 2.3.1 *De rol van NWO's*

In en op een waterkering zijn vaak objecten aanwezig die een andere functie hebben dan waterveiligheid. Deze niet waterkerende objecten (NWO's) worden onderverdeeld in bebouwing, begroeiing, kabels, leidingen en overige constructies. Door hun aanwezigheid en/of falen kunnen deze objecten de kans op overstroming zowel negatief of als positief beïnvloeden. Het is daarom van belang om bij een beoordeling in te schatten hoe groot deze invloed is. Als de invloed op voorhand als relevant wordt ingeschat, wordt aangeraden de rol van NWO's als gebeurtenis(sen) in de te beschouwen faalpaden mee te wegen.

Het is van belang om de rol van een NWO te beschouwen tijdens het optreden van het mechanisme. In een windgedreven hoogwatersysteem is de kans op samenloop van een omgewaaid boom en golfoverslag groter dan in een afvoergedreven hoogwatersysteem. Bij een bebouwing op het binnentalud kan een hogere belasting als gevolg van het effect van stromingscontractie optreden. Daarnaast kunnen op een voorland (zie volgende paragraaf) aanwezige NWO's leiden tot een reductie van de hydraulische belasting op de kruin en binnentalud door een afname van de golfbelasting op de dijk.

Verder is het belangrijk de staat van een NWO aan het begin van een mechanisme te beschouwen. Door de aanwezigheid en falen van het NWO kan de waterkering ook bij minder extreme condities al beschadigd raken. Ook als er nog tijd zit tussen het beschadigen en een extreem hoogwater, wordt aangeraden om bij het opstellen van scenario's rekening te houden met het falen van tijdig herstel van deze schade.

Voor een verdere beschrijving van de relevantie van NWO's en hoe ze meegenomen kunnen worden in de beoordeling of ontwerp, wordt verwezen naar de handleiding Indirecte mechanismen.

### 2.3.2 *De rol van het voorland*

Een voorland, het buitendijks gelegen land grenzend aan de buitenteen van de dijk, kan invloed hebben op de hydraulische belasting op de dijk. Bij een hooggelegen (breed) voorland wordt de waterdiepte beperkt en kan door breking van golven de golfbelasting gereduceerd worden. Dit verkleint de overslag over de dijk en daarmee de kans op falen van de dijkbekleding op het binnentalud. Dit is het meest

voorkomende effect van een voorland. Bij minder hoog gelegen voorlanden is het niet uitgesloten dat het voorland leidt tot juist iets zwaardere golfbelasting<sup>3</sup>.

Voor eenvoudige voorlanden kan het effect op de hydraulische belasting verdisconteerd worden met de voorlandmodule (als onderdeel van de 'DaF module') die in rekenmodellen van het Basisinstrumentarium is opgenomen. Deze voorlandmodule bevat sterke vereenvoudigingen, zoals een 1D-benadering, en is daarom bijvoorbeeld niet geschikt voor situaties waarin het profiel van een voorland varieert langs de dijk. Ook in situaties waarbij (zeer) schuin invallende golven belangrijk zijn, is grote voorzichtigheid geboden bij gebruik van deze voorlandmodule. Voor zulke complexe situaties wordt aanbevolen een meer geavanceerd golfmodel (zoals SWAN) te laten toepassen door specialisten. Dit kan onderdeel zijn van de optie 'andere modellen en technieken' zoals beschreven in paragraaf 5.2.3. Nadere achtergronden bij het omgaan met voorlanden zijn beschreven in het technisch leidraadartikel - Transformatie hydraulische belastingen met de DAF module.

Let op dat (al bij minder extreme condities) het voorland zelf door erosie en afslag, afschuiving of zettingsvloeiing verkleind kan worden. Waarschijnlijk zal hierdoor het positieve effect van het voorland afnemen en neemt de overstromingskans toe. Vegetatie op het voorland kan daarbij een stabiliserende werking hebben. Voor het bepalen van de standzekerheid van het voorland zijn beslisregels en uitgebreidere modellen beschikbaar (zie technische leidraden). Als de kans op verkleining van het voorland reëel is en het van belang is voor de bepalende faalpaden, wordt aangeraden dit te behandelen als een indirect mechanisme en hier in de scenario's rekening mee te houden. Zie (RWS WVL, 2023a).

### 2.3.3 De rol van (haven)dammen

Ook in het buitenwater aanwezige (haven)dammen kunnen leiden tot een reductie van de golfbelasting op de dijk en daarmee van de mate van overslag over de dijk. Daarbij spelen, afhankelijk van de situatie, processen als diffractie, transmissie en lokale golfgroei een rol.

Voor eenvoudige dammen kan het effect op de golfbelasting verdisconteerd worden met de dammodule (als onderdeel van de 'DaF module'), die in rekenmodellen van het Basisinstrumentarium is opgenomen. Deze dammodule bevat sterke vereenvoudigingen: alleen transmissie wordt beschouwd en er is sprake van een 1D-benadering. Deze module heeft alleen gevolgen voor de golfhoogte achter de dam. De golfperiode en richting blijven ongewijzigd. De dammodule is dus bijvoorbeeld niet geschikt voor situaties waarbij de kenmerken van een dam variëren langs de dijk of lokale golfgroei achter de dam significant is.

Voor dergelijke complexere situaties, zoals havenbekkens, kan gebruik worden gemaakt van de tool 'HB Havens'. Deze tool biedt zowel een eenvoudige als een geavanceerde aanpak. Vooral bij toepassing van de geavanceerde aanpak wordt inzet van specialisten aanbevolen. Dit kan onderdeel zijn van de optie 'Andere modellen en technieken' zoals beschreven in paragraaf 5.2.3. Nadere achtergronden bij het omgaan met dammen zijn beschreven in de technische leidraden.

Let op dat (al bij minder extreme condities) een (haven)dam niet meer standzeker kan zijn. Hierdoor zal het positieve effect van deze dam afnemen en neemt de overstromingskans toe. Bij een beoordeling moet daarom ingeschat worden wat het

<sup>3</sup> Dit kan het geval zijn als binnen de golfprocessen shoaling dominant is boven breking.



belang van de (haven)dam voor het veiligheidsbeeld is. Hiervoor zijn absolute en relatieve beslisregels en uitgebreidere modellen beschikbaar. Zie hiervoor de technische leidraden. Als de kans op een niet standzekere (haven)dam reëel is en deze dam van belang is voor de bepalende faalpaden, wordt aangeraden dit te behandelen als een indirect mechanisme en hier in de scenario's rekening mee te houden, zie (RWS WV, 2023a).

## 3 Bepalen relevantie met beslisregels

### 3.1 Beslisregels

Er zijn generieke beslisregels opgesteld om vast te stellen of de faalmechanismen voor Dijkerosie kruin en binnentalud een verwaarloosbare bijdrage leveren aan de overstromingskans van de kering.

De beslisregels zijn vooral relevant voor het inschatten of Een ontwerp kan op maat worden gemaakt zodat het mechanisme geen belangrijke rol meer heeft.

#### 3.1.1 *Keringtype*

Dijkerosie kruin en binnentalud is niet van toepassing als de kering een duin of kunstwerk is.

#### 3.1.2 *Geometrie*

Vanuit het verhaal van de kering kan er sprake van zijn dat sommige dijkvakken een verwaarloosbare bijdrage leveren aan de faalkans. Hierbij kan onder meer gedacht worden aan:

- Hoog en breed achterland, waardoor er bijvoorbeeld geen binnentalud (verholen kering) is;
- Een zeer brede kruin, waardoor het overslaand water wordt afgeremd en/of terugstroomt, waardoor er geen belasting is op het binnentalud.

Vanuit het verhaal van de kering kan worden onderbouwd of een mechanisme een verwaarloosbare bijdrage levert aan de totale faalkans van de kering.

#### 3.1.3 *Erosiebestendige bekleding*

Als de dijkbekleding en overgangen overslagbestendig zijn, is de bijdrage van Dijkerosie kruin en binnentalud aan de overstromingskans van de kering verwaarloosbaar.

Voorbeelden van mogelijk erosiebestendige bekledingen zijn bijvoorbeeld asfaltbekledingen en/of steenzettingen. De onderbouwing voor de daadwerkelijke overslagbestendigheid is aan de beheerder. Afhankelijk van het type bekleding kan voor de onderbouwing teruggegrepen worden op de beschikbare methodiek vanuit Dijkerosie buitentalud, zie ook paragraaf 5.2.3.

Een eerste belangrijk aandachtspunt is de erosiebestendigheid van de overgangen, met name bij knikken en bij overgangen van een meer erosiebestendige bekleding naar een grasbekleding bij de binnenteen. Om bezwijken van het binnentalud uit te kunnen sluiten, is een beschouwing van de erosiebestendigheid en belasting van de overgangen een vereiste.

Een tweede aandachtspunt is dat bij grote golfoverslag- en/of overloopdebieten moet worden nagegaan of de bijbehorende overslag- en overloopvolumes niet dusdanig groot zijn dat ze op zichzelf al leiden tot een overstroming volgens de definitie van de wet.

#### 3.1.4 *Historische informatie*

Overleefde waterstanden en/of golfcondities kunnen niet worden ingezet als beslisregel, onder meer vanwege veroudering en andere veranderingen aan de bekleding.

De effecten van overgangen worden in het BOI expliciet meegenomen. Dit betekent dat resultaten uit voorgaande beoordelingen niet direct kunnen worden overgenomen als deze effecten destijds niet zijn meegenomen. Benadrukt wordt dat in deze gevallen de schematisatie uit bijvoorbeeld voorgaande beoordelingen en dijkversterkingsprojecten wel gebruikt kan worden als invoer voor een nieuwe analyse van het initiële mechanisme.

## 4 Eerste inschatting overstromingskans

Uit het verhaal van de kering en de toepassing van beslisregels uit Hoofdstuk 3 blijkt voor welke delen van het dijktraject de bepaling van de overstromingskans voor het faalmechanismen voor Dijkerosie kruin en binnentalud relevant zijn. Daarbij is in feite al een eerste indeling in dijkvakken gemaakt en is het schematiseringsproces al begonnen. Voor ieder relevant dijkvak kan dan een eerste inschatting van de overstromingskans worden uitgevoerd: het bepalen van de kans van optreden van het initiële mechanisme met de beschikbaar gestelde rekenmodellen. Voor deze analyse kan aan de hand van kenmerken van de kering en belasting, de indeling in dijkvakken verfijnd worden.

Dit hoofdstuk beschrijft de uitwerking van de eerste analyse voor het bepalen van de kans van optreden van initiële mechanismen voor een grasbekleding gerelateerd aan het bezwijken van de toplaag van gras op de kruin en/of het binnentalud op doorsnede-niveau.

Bij bovengenoemde uitwerking worden schematisaties en modellen gebruikt om de kans op deze mechanismen te bepalen. In de handleiding Overstromingskansanalyse met faalpaden (Rijkswaterstaat, 2023a) wordt uitgelegd hoe de kans op doorsnedeniveau kan worden opgeschaald naar een faalkans op dijktrajectniveau, rekening houdend met lengte-effecten. Ook wordt daar beschreven hoe deze kansbijdrage kan worden gecombineerd met andere faalmechanismen voor het bepalen van een overstromingskans van het dijktraject.

De beschikbare gegevens en de context van de kering bepalen het detailniveau van de schematisering. Bij een eerste inschatting kunnen generieke uitgangspunten worden gehanteerd. Als dit nodig is, moeten de uitgangspunten specifiekere worden afgeleid voor de lokale situatie door aanvullend onderzoek uit te voeren, zie ook hoofdstuk 5.

Bij de uitwerking moet rekening gehouden worden met de invloed van indirecte mechanismen. Hiervoor worden scenario's gedefinieerd, zie hiervoor (RWS WVL, 2023a).

Voor een grasbekleding op de kruin en binnentalud, is het initiële mechanisme het eroderen van een grasbekleding met erosie van de kruin en/of het binnentalud tot gevolg. Erosie van de grasbekleding op de kruin en/of het binnentalud, kan door zowel golfoverslag als overloop plaatsvinden (zie ook paragraaf 2.2.2).

Bij de analyse van de belasting en sterkte voor Grasbekleding erosie kruin en binnentalud wordt ervan uitgegaan dat er vooraf geen schadebeelden aanwezig zijn. De invloed van eventuele schades kan met scenario's worden beschouwd. De huidige analyse is in de basis alleen toepasbaar als de graskwaliteit geclassificeerd is als 'open zode' of 'gesloten zode', zie de technische leidraden.

Nette overgangen (dat wil zeggen geometrische overgangen waarbij sprake is van een continue grasmat of sprake is van een directe aansluiting tussen de grasmat en de verharding) worden in de analyse expliciet meegenomen. Deze overgangen kunnen zowel een toename van de belasting als afname van de sterkte tot gevolg hebben. Kleine NWO's worden verondersteld een verwaarloosbare impact te hebben op de initiële faalkans. Bebouwing of andere grote NWO's, kunnen door concentratie

en afbuiging van de stroming een grote impact hebben op de belasting. De effecten van dit type NWO's moeten worden beschouwd bij het beoordelen van deze objecten.

#### 4.1 Dijkvakindeling

Voor het uitvoeren van de analyse, wordt het dijktraject eerst opgeknipt in dijkvakken. Binnen elk vak is sprake van – bij benadering – uniforme kenmerken, zodat de geschematiseerde sterkte en belasting zo goed als constant is.

Aspecten die een rol spelen bij de keuze van vakgrenzen zijn bijvoorbeeld:

- Aansluitingen op andere typen waterkeringen (zoals kunstwerken of duinen)
- Veranderingen in geometrie van de dijk met duidelijke wijzigingen aan de buitenzijde van de dijk:
  - o Oriëntatie
  - o Taludhellingen buitentalud
  - o Aanwezigheid van berm, de bermhoogte en -breedte
  - o De kruinhoogte
- Verandering in bekleding aan de buitenzijde (wijziging van ruwheid)
- Aan-/afwezigheid van bijzondere constructies
- Veranderingen in dijkopbouw (kleidijk, zanddijk al dan niet met afdeklaag;
- Veranderingen in dikte afdeklaag (van klei)
- Aan-/afwezigheid voorland en/of havendam(men) in verband met het effect op de hydraulische belasting
- Veranderingen in hydraulische belastingen, zoals bijvoorbeeld open water versus een meer beschutte ligging

Op plaatsen waar een verandering in één of meer van deze aspecten langs de dijk optreedt, kan een vakgrens worden gedefinieerd. Voor elk van deze vakken wordt vervolgens een profiel gedefinieerd (zie de technische leidraden). Er kan ook voor gekozen worden om een grof naar fijn-aanpak te hanteren. Hierbij worden grotere vakken gekozen, waarbij het ongunstigste profiel maatgevend wordt voor het vak. De vakindeling kan verfijnd worden als de faalkansberekening daar aanleiding toe geeft, vanwege grote faalkansen bijvoorbeeld.

De dijkvakindeling die wordt toegepast bij de beoordeling op erosie kruin en binnentalud, hoeft niet noodzakelijkerwijs doorgevoerd te worden bij de beoordeling op andere faalmechanismen. Aandachtspunten hierbij zijn:

- Golfoverslag en overloop kunnen de faalmechanismen afschuiven, opdrukken en uitspoelen beïnvloeden door infiltratie van overslaand water.
- Dijkerosie kruin en binnentalud en dijkerosie buitentalud (grasbekleding) kunnen in veel gevallen gezamenlijk worden beschouwd. In deze gevallen is de dijkvakindeling voor de betreffende mechanismen gelijk aan elkaar.

#### 4.2 Hydraulische belastingen

Wanneer voor de analyse van het initiële mechanisme Grasbekleding erosie kruin en binnentalud gebruik wordt gemaakt van de software 'Riskeer' (zie paragraaf 4.4), zijn geen aanvullende hydraulische belastingparameters nodig. Er moet wel aandacht zijn voor het omgaan met de invloed van een voorland of een (haven-)dam, zie hiervoor paragraaf 2.3.2 en 2.3.3.

### 4.3 Schematisatie

Voor de analyse van de belasting en sterkte van de grasbekleding, wordt de werkelijkheid benaderd met een schematisering. Dit is een technisch inhoudelijke onderbouwde vertaling van de verzamelde relevante informatie voor de analyse. In deze paragraaf worden aandachtspunten gegeven voor de schematisatie van het profiel en de voor de analyse te gebruiken parameters.

#### *Dijkprofiel*

Bij de bepaling van de kans van het initiële mechanisme moet het representatieve profiel (en de invloed van (een) eventueel aanwezig voorland en/of dam(men)) geschematiseerd worden conform de regels in de Leidraad-artikelen *Geometrie dijk, voorland en dammen en Schematisatie dijkprofiel grasbekleding*.

#### *Sterkteparameters*

Voor de analyse van Grasbekleding erosie kruin en binnentalud zijn verschillende parameters nodig om de sterktebeschouwing uit te kunnen voeren. In Tabel 1 zijn deze benoemd.

*Tabel 1: Relevante hydraulische parameters voor analyse initiële mechanisme erosie grasbekleding kruin en binnentalud*

<b>Parameter</b>	<b>Titel artikel</b>	<b>Opmerking</b>
Graskwaliteit	Graskwaliteit	Beschrijving van bepaling en eigenschappen van de verschillende zodekwaliteiten.
Gras parameters binnentalud	Gras parameters binnentalud	Vertaling van graskwaliteit, overgangen en golfhoogte in het ontwerppunt naar kansverdeling van het kritieke overslagdebiet.
Overgangen	Overgangen	Beschrijving van eventueel aanwezige overgangen en hoe de invloed ervan te kunnen parametriseren
Parameters kleilaag	Kleilaag	Dikte van de kleilaag is relevant voor initieel mechanisme.

#### *Wijzigingen na laatste meting/onderzoek*

In de schematisatie moet rekening gehouden worden met de te verwachten wijzigingen na de laatste meting of onderzoek. Hierbij kan onder andere gedacht worden aan:

- verandering van de geometrie door bodemdaling/zetting/klink;
- aanpassingen van het voorland;
- verandering van de graskwaliteit, waaronder verbetering door gewijzigd beheer of de effecten van droogte;
- verwachte schadebeelden, zoals graverij.

### 4.4 Model en berekening

Met het in Riskeer beschikbare model is het mogelijk om te bepalen wat de doorsnede faalkans is van het initiële mechanisme Grasbekleding erosie kruin en binnentalud.

Het model in Riskeer betreft de toepassing van de generieke probabilistische rekentechnieken van het rekenhart Hydra-Ring in combinatie met de grenstoestandfunctie voor graserosie kruin en binnentalud in Hydra-Ring. In deze

grenstoestandfunctie is sprake van falen in geval van een waterstand hoger dan de kruin (overloop) òf een optredend golfoverslagdebiet groter dan het kritieke overslagdebiet.

Het optredende golfoverslagdebiet wordt hierbij bepaald met de formules voor golfoploop en overslag volgens (TAW, 2002). Riskeer vraagt hiervoor aan de gebruiker informatie over de dijk in de vorm van de dijkoriëntatie en het profiel van het buitentalud (teenniveau, profieldelen en hun ruwheid, kruinniveau). Verder gebruikt Riskeer in deze berekening informatie over de hydraulische condities (waterstand, golfhoogte, golfperiode en golfrichting) voor de geselecteerde locatie vanuit de hydraulische belastingen database.

Het kritieke overslagdebiet vormt invoer voor Riskeer. De keuze voor het kritieke overslagdebiet is een iteratief proces, omdat de waarde mede afhangt van een inschatting van de golfcondities, met name de golfhoogte. Bruikbare waarden voor het kritieke overslagdebiet zijn afgeleid op basis van berekeningen, gemaakt met het model 'cumulatieve overbelastingmethode' (zie technische leidraden: model Grasbekleding erosie kruin en binnentalud). Voor de toepasbaarheid van deze waarden geldt:

- De waarden zijn alleen beschikbaar voor een grasbekleding met een 'gesloten' en 'open' zode op een substraat van klei, zie artikel 'Gras parameters binnentalud' in de technische leidraden.
- De waarden zijn niet toepasbaar voor binnentaluds steiler dan 1V:4H, tenzij er op het binnentalud een minimaal 0,4 m dikke afdeklaag van klei aanwezig is.
- De waarden zijn alleen geldig voor golfhoogtes in het ontwerppunt kleiner dan 3,0 m.

Hoofdstuk 5 geeft handvatten voor de situaties wanneer het model/software niet toepasbaar is of als dit leidt tot een onvoldoende resultaat.

Riskeer geeft de doorsnedekans als resultaat. Deze uitkomst kan gebruikt worden voor het opschalen naar een kans op trajectniveau.

#### 4.5 Lengte-effecten

Algemene overwegingen voor het meenemen van lengte-effecten staan in Hoofdstuk 8 van de handleiding Overstromingskansanalyse. Overwegingen voor het initiële mechanisme binnen dijkerosie kruin en binnentalud zijn:

- **Schematiseren**  
Lengte-effecten en schematiseren zijn sterk aan elkaar verbonden. Voor dijkerosie kruin en binnentalud geldt dat de sterkte-eigenschappen relatief homogeen zijn en meestal op basis van een representatieve doorsnede geschematiseerd worden. De belangrijkste variatie zit in de golfcondities, waarbij het van belang is de verschillende oriëntaties goed te modelleren.
- **Ontwerpen vs beoordelen**  
Bij ontwerpen is het gangbaar om op doorsnedekans te ontwerpen. Hierin wordt de trajecteis vertaald naar een doorsnede-eis op basis van lengte-effect en faalkansbegroting. Voor beoordelen wordt eerst de doorsnedekans geassembleerd naar een vakkans. Daarbij zijn verschillende mogelijkheden om het lengte-effect mee te nemen. Voor het lengte-effect binnen het vak is optie 3 (doorsnedekans is gelijk aan vakkans) uit de handleiding de meest voor de hand liggende. Voor het assembleren van de vakken tot een trajectkans zijn er meer opties waaruit de gebruiker kan kiezen. Optie 2

(aannee afhankelijkheid tussen vakken) is voor dijkerosie kruin en binnentalud de meest logische keuze.

Voor *vervolgmechanismen* zijn nog geen lengte-effectfactoren bepaald.

*Bepaling lengte-effecten voor dijkerosie kruin en binnentalud*

De uitgangswaarde voor de lengte-effectfactor is gegeven in Bijlage B en kan project-specifiek aangepast worden. Voor de uitgangswaarde voor de faalkansbegroting wordt verwezen naar de handleiding ontwerpen met de overstromingskans. Ook deze waarde kan projectspecifiek aangepast worden.

Voor het assembleren bij een beoordeling worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Lengte-effect binnen vak optie 3: vakkans is gelijk aan doorsnedekans
- Lengte-effect tussen vakken optie 2: beginnen met keuze volledige afhankelijkheid

Hierbij wordt opgemerkt dat de genoemde lengte-effectfactor voor de initiële mechanismen geldt. Als er met vervolprocessen wordt gerekend, is het nog niet duidelijk welke lengte-effecten hier voor gelden. Een ander aandachtspunt is dat als wordt gerekend met grotere toelaatbare overslagdebieten en bijbehorende grotere onzekerheid, dit ook zal leiden tot andere (en mogelijk grotere) lengte-effectfactoren. Dit vraagt verder onderzoek.



## 5 Mogelijkheden voor aanscherping overstromingskans

### 5.1 Inleiding

De eerste inschatting van de overstromingskans uit hoofdstuk 4 biedt handvatten voor een onderbouwing van het handelingsperspectief. Als dit nog niet heeft geleid tot een voldoende resultaat, is verdere analyse nodig. Dit hoofdstuk geeft handvatten voor de aanscherping van de overstromingskans.

Hiervoor zijn veel mogelijkheden die in meer of mindere mate effectief kunnen zijn om het doel te bereiken. Iedere aanscherping vraagt een investering en heeft een effect. Daarom moet in de praktijk worden afgewogen welke analyses het meest effectief zijn tegen acceptabele kosten.

Deze afweging is lastig 'generiek' te maken, maar het meest effectief zijn vaak analyses gericht op het beperken (of wegnemen) van de dominante onzekerheden. Dit is afhankelijk van de karakteristieken van het gebied en de waterkering, de beschikbare gegevens en de bandbreedtes voor het handelingsperspectief. Om een goede afweging te kunnen maken, is gebiedskennis, kennis van de uitgevoerde analyses c.q. modelinstrumentarium en begrip van onzekerheden nodig. Het werkatelier heeft hierin daarin een belangrijke rol om deze kennis en inzichten bijeen te brengen en een goede afweging te maken.

In de praktijk zullen meer berekeningen nodig zijn om een stabiel (continu) inzicht te krijgen. Aangeraden wordt hier in de programmering en planning rekening te houden.

### 5.2 Mogelijkheden

De volgende opties zijn mogelijk om een aanscherping van de overstromingskans uit te voeren (zie ook Rijkswaterstaat (2023a)):

1. Schematiseringsproces herhalen aan de hand van meer informatie
2. Uitwerken vervolgmecanismen
3. Toepassen andere modellen en technieken
4. Benutten kennisontwikkeling

In de praktijk zal vaak een combinatie van opties worden gekozen.

#### 5.2.1 *Optie 1: Schematiseringsproces herhalen aan de hand van meer informatie*

Op basis van een eerdere analyse kan duidelijk zijn geworden dat het verzamelen van meer informatie bijdraagt aan het verkleinen (of wegnemen) van de dominante onzekerheden. Met deze informatie kunnen alle voorgaande keuzes worden geëvalueerd en (eventueel) worden aangepast. Bijvoorbeeld keuzes voor vakgroottes, relevante mechanismen en schematisering.

Een voorbeeld van een onzekerheid binnen de mechanismen van dijkerosie kruin en binnentalud is de schematisatie van het voorland en/of dam(men) in relatie tot de standzekerheid.

Schematisatie van voorland en/of dam(men)

Het beleidsmatige uitgangspunt is dat de (doorgaans<sup>4</sup>) golfreducerende werking van voorlanden en dammen waar mogelijk en zinvol in rekening wordt gebracht. In sommige gevallen wordt er, vanwege gebrek aan informatie, onzekerheid over standzekerheid<sup>5</sup> of vanwege reductie van rekentijd, gekozen om de golfreducerende werking van een voorland en/of dam(men) niet bij voorbaat in rekening te brengen bij het bepalen van de hydraulische belasting. Het heeft uiteindelijk wel de voorkeur het mee te nemen in de berekeningen. Zeker als dit invloed heeft op de uiteindelijke faalkans van het dijktraject. Door informatie-inwinning van bijvoorbeeld historische lodingen/peilingen of door nieuwe lodingen uit te vragen, kan het oordeel aangescherpt worden. Vooraf is het zinvol om op basis van een *expert opinion* in te schatten of golfreductie ook echt optreedt in de meest waarschijnlijke belastingcombinaties.

### 5.2.2 *Optie 2: Uitwerken vervolgmecanismen*

Op basis van het verhaal van de kering en de eerdere analyse kan worden geconcludeerd dat het uitwerken van vervolgmecanismen leidt tot een betere inschatting van de overstromingskans. Een belangrijk onderdeel van deze analyse is het kwantificeren van de (voorwaardelijke) kansen op vervolgebeurtenissen. De werkwijze is beschreven in de handleiding Overstromingskansanalyse (Rijkswaterstaat, 2023a).

Bij de uitwerking van faalpaden moet rekening gehouden worden met mogelijke scenario's en afhankelijkheden (ruimte en tijd) tussen gebeurtenissen. Hiervoor wordt verwezen naar de bijlage indirecte mechanismen (RWS-WVL, 2023a), de bijlage scenario's (RWS-WVL, 2023b) en het raamwerk dat binnen Kennis voor keringen wordt ontwikkeld (RWS-WVL, 2023c).

Om de gebeurtenissen uit te werken, kan extra informatie nodig zijn. Naast informatie over de dijk, kan dit ook informatie zijn over vervolgebeurtenissen. Hierbij zal het gaan om een (conditioneel) belastingdeel en (conditioneel) sterktedeel.

Om een beeld te krijgen van de vervolgebeurtenissen, wordt verwezen naar de voorbeelden in paragraaf 2.2.3 en de andere handleidingen die hier meer informatie over geven.

Na optreden van het initiële mechanisme, is er nog geen sprake van falen van de waterkering. Eerst zullen onderlagen en/of de dijk kern moeten eroderen voordat falen optreedt. Maar het kan ook zo zijn dat uit de faalpaden-analyse blijkt dat andere vervolgmecanismen optreden. Voor het vervolgmecanisme '*erosie onderlagen*' zijn op moment nog geen gevalideerde modellen beschikbaar. Wel wordt onderzoek naar dit onderwerp uitgevoerd.

### 5.2.3 *Optie 3: Toepassen andere modellen en technieken*

---

<sup>4</sup> In relatief zeldzame gevallen kan een voorland leiden tot een lichte verhoging van de golfbelasting, zie ook hoofdstuk 2.

<sup>5</sup> Hierbij is van belang of de keringbeheerder voldoende zeggenschap en invloed heeft over de staat en het beheer het voorland of de dam om de integriteit daarvan in voldoende mate te kunnen garanderen.

De derde optie behandelt de toepassing van andere modellen en technieken bij het schatten van de (voorwaardelijke) kansen. De volgende mogelijkheden worden (in willekeurige volgorde) voorzien:

1. Kansen inschatten met expert judgement
2. Nieuwe kennis en rekentechnieken

Let op dat de kans op faalmechanismen bij Dijkerosie Kruin & Binnentalud vaak al probabilistisch wordt bepaald, zodat optimalisaties op dat vlak minder kansrijk kunnen lijken.

#### Kansen schatten met expert judgement

In Nederland worden (overstromings)kansen vaak door van schematisaties en rekenmodellen bepaald. Om deze modellen te kunnen toepassen, zijn schematisaties van het gebied nodig, die door experts worden gemaakt op basis van de aanwezige gegevens. Naast deze expertkennis wordt in de literatuur van de risico-analyse steeds vaker onderkend dat experts individueel maar vooral ook gezamenlijk tot een kansinschatting kunnen komen. Een methode die hierbij gebruikt kan worden is *structured expert judgement (SEJ)*. Bij SEJ wordt de inschatting van experts op gestructureerde wijze gekalibreerd, gewogen en omgezet tot een kans op een vooraf gedefinieerde gebeurtenis (Cooke, 1991). Deze expertmeningen kunnen met andere beschikbare gegevens worden gecombineerd. Deze methode is in Nederland op het gebied van waterveiligheid nog in ontwikkeling maar heeft bijvoorbeeld potentie voor het reduceren van onzekerheden bij extrapolatie naar extreme situaties of het schatten van kansen van deelprocessen (vervolggebeurtenissen). Dit hoeven niet altijd kleine kansen te zijn. Voor een voorbeeld van hydrologie wordt verwezen naar [Meuse, forthcoming].

Bij het gebruik van expert judgement is het overigens belangrijk om bias en doelredeneringen te vermijden (zie par. 7.1 van de handleiding Overstromingskansanalyse; Rijkswaterstaat, 2023a).

#### Nieuwe kennis en rekentechnieken

- *Aanscherping hydraulische belastingen*

In sommige gevallen kan het meerwaarde opleveren om de standaard beschikbaar gestelde databases met hydraulische belastingen met meer geavanceerde modellen te vertalen naar de buitenteen van de dijk. Dit geldt met name voor het omgaan met voorlanden (zie paragraaf 2.3.2) en met (haven)dammen (zie paragraaf 2.3.3).

- *Combineren van initiële mechanismen*

Met het combineren van initiële mechanismen kan op correcte wijze de correlatie tussen deze mechanismen beschreven worden. Hierdoor wordt een deel van de assemblage van doorsnedefaalkansen al in het rekenmodel opgenomen. Een toegepast voorbeeld is de combinatie van de initiële mechanismen Grasbekleding erosie buitentalud en Grasbekleding erosie kruin en binnentalud, zie (Deltares, 2022). Deze aanpak is vooral interessant langs trajecten waar sprake is van een grote correlatie de belasting op de Grasbekleding erosie buitentalud en Grasbekleding erosie kruin en binnentalud. Dit is vaak het geval bij de meren en langs de kust. Inmiddels is software ontwikkeld waarmee de gecombineerde doorsnedefaalkans van Grasbekleding erosie buitentalud en Grasbekleding erosie kruin en binnentalud bepaald kan worden.

- *Cumulatieve overbelastingmethode*

Het huidige model in Riskeer, met als invoer (een kansverdeling voor) het kritiek overslagdebiet, vormt een benadering voor de cumulatieve overbelastingmethode, zie ook paragraaf 4.4. In plaats van gebruik te maken van het kritiek overslagdebiet is inmiddels ook (prototype) software ontwikkeld waarmee de cumulatieve overbelastingmethode direct kan worden toegepast zonder benadering.

- *Toepasbaarheid erosiemodel grasbekleding*

Het gebruikte rekenmodel bij de eerste inschatting van de overstromingskans van Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (zoals beschreven in Hoofdstuk 4) is alleen toepasbaar voor grasbekledingen op een substraat van klei. Op basis van de binnen het HWBP-innovatieproject Gras op Zand uitgevoerde onderzoeken, is gebleken dat het model ook gebruikt zou kunnen worden voor gesloten/open grasbekledingen op een substraat van zand. Merk op dat de bij dit onderzoek gevonden kansverdelingen van het kritieke overslagdebiet en rekenwaarden/verwachtingswaarde van de kritische stroomsnelheid niet breed toepasbaar zijn.

- *Omgang fragmentarische zode*

Het gebruikte rekenmodel bij de eerste inschatting van de overstromingskans van Grasbekleding erosie kruin en binnentalud geldt voor grasbekledingen met open en gesloten graszode. Voor een fragmentarische zode is het model niet toepasbaar. Een conservatieve inschatting van bezwijken door Grasbekleding erosie kruin en binnentalud op doorsnedeniveau kan worden verkregen door het bepalen van de terugkeertijd van een (deterministisch) overslagdebiet van 0,1 l/s/m. Dit komt overeen met een verwaarloosbare belasting van de bekleding.

- *Omgang andersoortige bekleding*

Het gebruikte rekenmodel bij de eerste inschatting van de overstromingskans van Grasbekleding erosie kruin en binnentalud geldt voor grasbekledingen. Op sommige locaties is een overslagbestendige dijk gecreëerd door het toepassen van andere type bekledingen zoals asfalt en zetsteen. Zie ook paragraaf 3.1.3.

Voor asfalt kan een faalkans worden ingeschat met expert judgement (zie artikel 'Kansen schatten met expert judgement' in de technische leidraden). Asfalt kan over het algemeen zeer hoge stroomsnelheden weerstaan [TAW Asfalt voor Waterkeringen]. Aandachtspunten voor asfalt zijn mogelijk overdrukken vanuit de dijk kern. Dit is vergelijkbaar met het faalmechanisme Asfalt Wateroverdrukken (AWO), zie handleiding Dijkerosie buitentalud.

Voor steenzettingen op het binnentalud kan gebruik worden gemaakt van het model SteenToets waarbij de kering als dam wordt gemodelleerd.

- *Verdeling kritische stroomsnelheid*

Bij de eerste inschatting van de overstromingskans van Grasbekleding erosie kruin en binnentalud worden kansverdelingen van het kritieke overslagdebiet gebruikt. Als met deze kansverdelingen de sterkte van grasbekleding binnen een vak niet afdoende is, kan aanvullend onderzoek (kritische stroomsnelheid) worden uitgevoerd. Hierbij kan worden gedacht aan het uitvoeren van grastrekproeven. Voor een representatieve locatie binnen het betreffende vak kan, als er voldoende proeven worden uitgevoerd, (een verdeling van) de kritische stroomsnelheid geschat worden. Vervolgens kan worden nagegaan of aanscherpen van de voor de analyse gebruikte kansverdeling van het kritieke overslagdebiet kan lonen. Voor het vaststellen van nieuwe verdelingen van de kritische stroomsnelheid is grootschalig

onderzoek met simulatoren nodig. Voor de invulling van het aanvullend onderzoek (bijvoorbeeld hoe(veel) en waar de grastrekproeven uit te voeren) en de vertaling van de resultaten van dit onderzoek is specialistische kennis nodig.

- *Uitbreiden en aanscherpen kansverdelingen*

Bij de eerste inschatting van de overstromingskans van Grasbekleding erosie kruin en binnentalud worden kansverdelingen van het kritieke overslagdebiet gebruikt. Bij het bepalen hiervan zijn de nodige aannames gedaan (bijvoorbeeld bij de bepaling van de golfploophoogte en de daarvoor gehanteerde parameters). Als het direct toepassen van de cumulatieve overbelastingsmethodiek niet toereikend is, kunnen op basis van bijvoorbeeld golfmodelproeven de betreffende parameters worden aangescherpt.

Het uitvoeren van golfmodelproeven wordt alleen als doelmatig gezien als de overige aanscherpingen niet tot een voldoende beoordeling hebben geleid.

#### 5.2.4 *Optie 4: Benutten kennisontwikkeling*

De laatste optie is het inventariseren en verwerken van nieuwe relevante ontwikkelingen. In Nederland wordt kennis ontwikkeld in het waterbeheer vanuit verschillende programma's en invalshoeken. Dit kan meerwaarde hebben voor het bepalen van de overstromingskans van primaire waterkeringen.

Vanuit het BOI is een releasekalender gepubliceerd die periodiek wordt bijgewerkt. Dit geeft een indicatie van de te verwachten kennisontwikkeling. Een aandachtspunt is dat de kennis met voldoende zekerheid kan worden toegepast voor het beoogde doel. Aangeraden wordt dit punt te bespreken in het werkatelier. Nieuw(e) (ontwikkelde) kennis (maar ook innovaties) zijn ook te vinden op de wiki van De Innovatieversneller (DIV).

Tot slot is het van belang op te merken dat nieuwe kennis niet altijd hoeft te leiden tot een lagere berekende overstromingskans. Soms leidt nieuwe kennis juist tot een ongunstiger veiligheidsbeeld.

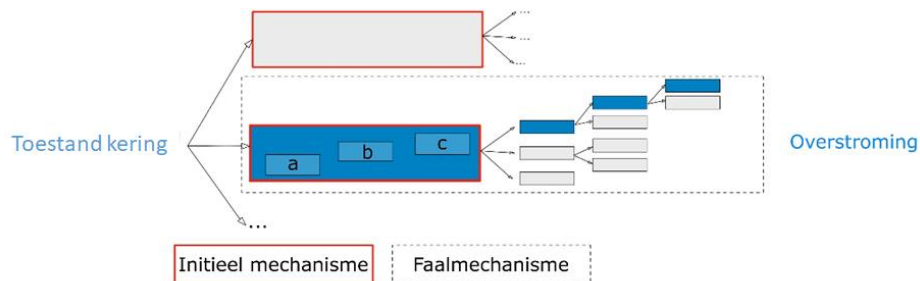
Zo zijn er bij het faalmechanisme Dijkerosie kruin en binnentalud aanwijzingen dat het in de toekomst verdisconteren van lange golven (infragravity waves) juist tot een hogere faalkans kan leiden.

## Literatuur

- Cooke, R.M. 1991. Experts in Uncertainty, Oxford University Press, oktober 1991.
- Deltares, 2022. Faalpaden combineren rekening houdend met afhankelijkheden. Case traject 8-4. Deltares rapport 11206817-005-GEO-0001, 6 juli 2022.
- Meuse, E.J., forthcoming. Estimating Discharge Extremes with experts, forthcoming.
- Rijkswaterstaat, 2022. Draaiboek primaire waterkeringen overstromingskansen, periode 2023 - 2036, versie 1.0.
- Rijkswaterstaat, 2023. Handleiding overstromingskansanalyse - Algemeen. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022.
- Rijkswaterstaat, 2023a. Handleiding overstromingskansanalyse Dijken/dammen. Deel 1: Geotechnische stabiliteit. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023.
- Rijkswaterstaat, 2023b. Handleiding overstromingskansanalyse Kunstwerken. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023.
- RWS WV, 2023a. Bijlage Indirecte Mechanismen, 2023 (nog op te stellen).
- RWS WV, 2023b. Bijlage Scenario's, 2023 (nog op te stellen).
- RWS WV, 2023c. Raamwerk Kennis voor keringen, 2023 (nog op te stellen).
- TAW, 2002. Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, mei 2002.

## Bijlage A Begrippenlijst

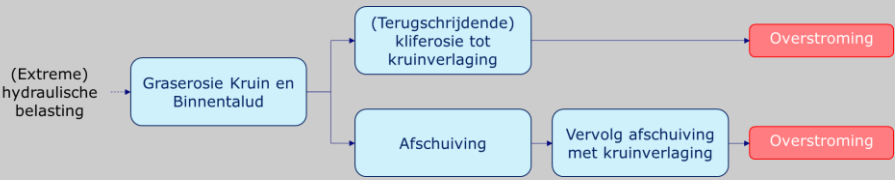
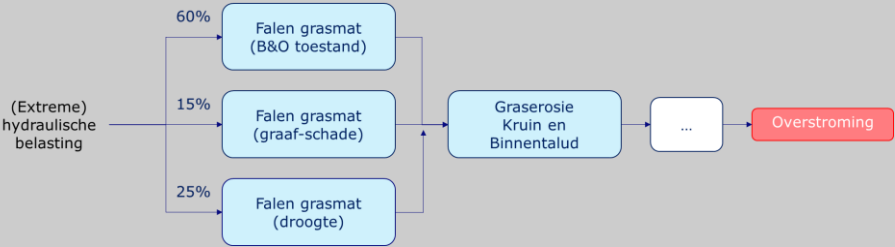
Deze begrippenlijst is hetzelfde als in bijlage I en II van de Regeling primaire waterkeringen 2023.



*Figuur 5: Schematische weergave van de relatie tussen faalmechanisme, faalpaden, gebeurtenissen en (initiële, vervolg) mechanismen*

*Tabel 2: Begrippenlijst. Voor deze termen is de definitie contextafhankelijk, geen absoluut begrip. Het betekent dat binnen het beoordelingsproces de term wordt gebruikt met de betreffende definitie. De definities van deze termen zijn uitgewerkt in bijlage II van de Regeling (Randvoorwaarden beoordeling)*

Naam	Omschrijving en voorbeelden
Faalmechanisme*	De verzameling faalpaden met een gemeenschappelijk initieel mechanisme. <i>Voorbeeld: gestippelde kader in Figuur 5</i>
Faalpad*	Een gehele keten van opeenvolgende gebeurtenissen of mechanismen die samen leiden tot een overstroming of falen van de waterkering. <i>Voorbeeld: in Figuur 5 in blauw aangegeven reeks van gebeurtenissen/ mechanismen</i>
Gebeurtenis*	Proces van verandering van een toestand naar een nieuwe, opvolgende toestand. Een gebeurtenis of knoop geeft de stap in het proces aan (zie ook mechanisme). <i>Voorbeeld: in Figuur 5 zijn a-b-c drie gebeurtenissen binnen het initiële mechanisme (met een rode rand aangegeven)</i>
Mechanisme	Proces van verandering van een toestand naar een nieuwe, opvolgende toestand. Mechanisme wordt gebruikt om de fysica te beschrijven en kan bestaan uit een gebeurtenis of uit een aaneenschakeling van meerdere gebeurtenissen (zie ook gebeurtenis). <i>Voorbeeld: in Figuur 5 zijn mechanismen in blauw aangegeven. Samen vormen ze een faalpad, Het initiële mechanisme in Figuur 5 bestaat uit drie gebeurtenissen.</i>
Initieel mechanisme*	Eerste mechanisme in een faalpad <i>Voorbeeld: in Figuur 5 aangegeven met een rode rand</i>
Vervolgmechanismen*	De mechanismen die de initiërende mechanisme opvolgen. Samen leiden ze tot overstroming of falen van de waterkering. <i>Voorbeeld: in Figuur 5 zijn voorbeelden van vervolgmechanismen in een faalpad in blauw aangegeven. De vervolg mechanismen volgen op het met een rode rand aangegeven initiële mechanisme.</i>

<p>Directe mechanismen</p>	<p>Directe mechanismen zijn mechanismen binnen een faalpad die kunnen leiden tot een overstroming en die worden veroorzaakt door een (extreme) hydraulische belasting.</p> <p><i>Voorbeelden van directe mechanismen zijn de initiële mechanismen in Tabel 5.1 van Bijlage II van de Regeling (Randvoorwaarden beoordeling) bij de Omgevingsregeling. Directe mechanismen kunnen ook een vervolgmecanisme zijn. Bijvoorbeeld het optreden van een afschuiving binnentalud na erosie van kruin en binnentalud.</i></p>
<p>Indirecte mechanismen</p>	<p>Indirecte mechanismen leiden niet direct tot falen maar eerder tot een gewijzigde staat van de waterkering. Ze hebben hierdoor invloed op het gedrag van de waterkering tijdens een extreme hydraulische belasting.</p> <p><i>Voorbeelden van indirecte mechanismen zijn gegeven Tabel 5.2 van Bijlage II van de Regeling (Randvoorwaarden beoordeling) bij de Omgevingsregeling</i></p>
<p>Generieke faalmechanismen</p>	<p>Bij overstromingskansanalyses wordt onderscheid gemaakt tussen generieke en specifieke faalmechanismen. De generieke faalmechanismen die worden beschouwd in de overstromingskansanalyse zijn gebundeld rondom de initiële mechanismen in Tabel 5.1 van Bijlage II van de Regeling (Randvoorwaarden beoordeling) bij de Omgevingsregeling.</p> <p><i>Voorbeeld van een generiek faalmechanisme gebundeld rond Grasbekleding erosie kruin en binnentalud als initieel mechanisme</i></p> 
<p>Specifieke faalmechanismen</p>	<p>Specifieke faalmechanismen zijn locatiespecifiek. Specifieke faalmechanismen kunnen het gevolg zijn van een optreden van een direct of indirect mechanisme.</p> <p><i>Voorbeeld van een specifiek faalmechanisme is het falen van innovaties.</i></p> <p><i>Voorbeeld van een specifiek faalmechanismen, die het gevolg is van het optreden van een direct mechanisme, is het falen van een waterkering als gevolg van het falen van een langsconstructie.</i></p> <p><i>Voorbeeld van een specifiek faalmechanisme die het gevolg is van een indirect mechanisme is het falen van een waterkering als gevolg aan de invloed van ernstige droogte op de kwaliteit van een grasbekleding.</i></p>
<p>Scenario</p>	<p>Een scenario beschrijft een mogelijke geometrie of staat van de waterkering die wordt gebruikt als uitgangspunt voor een overstromingskansanalyse. Verschillende scenario's kunnen een bijdrage leveren aan de overstromingskans van een waterkering. Een scenario kan onder anderen betrekking hebben op onzekerheden over de ondergrond of op een gewijzigde staat van de waterkering die kan ontstaan na het optreden van een indirect mechanisme.</p> <p><i>Voorbeeld van scenario's bij een overstromingskansanalyse: scenario's voor toestand grasbekleding</i></p> 



## Bijlage B Lengte-effectfactoren voor initieel mechanisme erosie grasbekleding

Onderstaande tabel geeft de uitgangswaarde voor de lengte-effectfactor ( $N_{dsn}$ -waarde) per dijktraject/kunstwerk voor het initieel mechanisme erosie grasbekleding, zowel binnen het faalmechanisme dijkerosie buitentalud als binnen het faalmechanisme dijkerosie erosie krui en binnentalud. De trajectlengtes in de tabel zijn alleen ter referentie en dienen altijd geverifieerd te worden bij gebruik van deze tabel.

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkkring	$N_{dsn}$ [-]
1-1	9,1	Schiermonnikoog (1)	3
1-2	3,9	Schiermonnikoog (1)	2
2-1	20,3	Ameland (2)	Duin
2-2	16,5	Ameland (2)	2
3-1	15,8	Terschelling (3)	Duin
3-2	13,9	Terschelling (3)	2
4-1	7,4	Vlieland (4)	Duin
4-2	1,0	Vlieland (4)	2
5-1	27,4	Texel (5)	Duin
5-2	27,0	Texel (5)	2
6-1	32,6	Friesland en Groningen (6)	3
6-2	29,5	Friesland en Groningen (6)	3
6-3	42,4	Friesland en Groningen (6)	3
6-4	29,0	Friesland en Groningen (6)	3
6-5	13,4	Friesland en Groningen (6)	3
6-6	46,1	Friesland en Groningen (6)	3
6-7	38,6	Friesland en Groningen (6)	3
7-1	11,5	Noordoostpolder (7)	3
7-2	44,3	Noordoostpolder (7)	3
8-1	25,5	Flevoland (8)	3
8-2	29,2	Flevoland (8)	3
8-3	22,8	Flevoland (8)	3
8-4	21,8	Flevoland (8)	3
8-5	15,9	Flevoland (8)	2
8-6	13,0	Flevoland (8)	2
8-7	15,3	Flevoland (8)	2
9-1	39,0	Vollenhove (9)	2
9-2	8,1	Vollenhove (9)	2
10-1	19,2	Mastenbroek (10)	2
10-2	14,2	Mastenbroek (10)	2

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkkring	N <sub>dsn</sub> [-]
10-3	14,8	Mastenbroek (10)	2
11-1	21,1	IJsseldelta (11)	2
11-2	24,8	IJsseldelta (11)	2
11-3	12,9	IJsseldelta (11)	2
12-1	11,7	Wieringen (12)	3
12-2	20,8	Wieringen (12)	2
13-1	31,7	Noord-Holland (13)	Duin
13-2	5,7	Noord-Holland (13)	3
13-3	19,7	Noord-Holland (13)	Duin
13-4	9,9	Noord-Holland (13)	3
13-5	10,3	Noord-Holland (13)	3
13-6	26,4	Noord-Holland (13)	2
13-7	29,6	Noord-Holland (13)	2
13-8	11,6	Noord-Holland (13)	2
13-9	28,8	Noord-Holland (13)	2
13a-1	12,3	IJburg (13-a)	2
13b-1	8,6	Marken (13-b)	2
14-1	20,5	Zuid-Holland (14)	2
14-2	19,8	Zuid-Holland (14)	2
14-3	16,5	Zuid-Holland (14)	2
14-4	4,4	Zuid-Holland (14)	2
14-5	17,6	Zuid-Holland (14)	Duin
14-6	5,1	Zuid-Holland (14)	3
14-7	11,7	Zuid-Holland (14)	Duin
14-8	2,2	Zuid-Holland (14)	3
14-9	5,6	Zuid-Holland (14)	Duin
14-10	30,4	Zuid-Holland (14)	3
15-1	23,0	Lopiker- en Krimpenerwaard (15)	1
15-2	24,4	Lopiker- en Krimpenerwaard (15)	2
15-3	19,2	Lopiker- en Krimpenerwaard (15)	2
16-1	15,1	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	1
16-2	31,0	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	2
16-3	19,9	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	1
16-4	19,6	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	1
16-5	24,8	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	1
17-1	26,8	IJsselmonde (17)	2
17-2	26,6	IJsselmonde (17)	2
17-3	9,4	IJsselmonde (17)	2
18-1	5,2	Pernis (18)	2
19-1	8,1	Rozenburg (19)	2

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkring	N <sub>dsn</sub> [-]
20-1	16,0	Voorne-Putten (20)	Duin
20-2	13,0	Voorne-Putten (20)	2
20-3	21,9	Voorne-Putten (20)	2
20-4	19,8	Voorne-Putten (20)	2
21-1	30,2	Hoekse Waard (21)	2
21-2	40,3	Hoekse Waard (21)	2
22-1	17,5	Eiland van Dordrecht (22)	2
22-2	20,6	Eiland van Dordrecht (22)	2
23-1	2,6	Biesbosch (23)	2
24-1	18,0	Land van Altena (24)	1
24-2	13,0	Land van Altena (24)	1
24-3	15,3	Land van Altena (24)	1
25-1	16,7	Goeree-Overflakkee (25)	Duin
25-2	26,9	Goeree-Overflakkee (25)	2
25-3	19,7	Goeree-Overflakkee (25)	2
25-4	32,5	Goeree-Overflakkee (25)	2
26-1	17,3	Schouwen Duiveland (26)	Duin
26-2	20,7	Schouwen Duiveland (26)	2
26-3	21,9	Schouwen Duiveland (26)	2
26-4	25,2	Schouwen Duiveland (26)	2
27-1	16,2	Tholen en St. Philipsland (27)	2
27-2	36,9	Tholen en St. Philipsland (27)	2
27-3	16,0	Tholen en St. Philipsland (27)	2
27-4	4,6	Tholen en St. Philipsland (27)	2
28-1	23,9	Noord-Beveland (28)	2
29-1	21,8	Walcheren (29)	Duin
29-2	17,1	Walcheren (29)	3
29-3	7,1	Walcheren (29)	3
29-4	12,5	Walcheren (29)	2
30-1	22,6	Zuid-Beveland west (30)	2
30-2	4,5	Zuid-Beveland west (30)	2
30-3	27,5	Zuid-Beveland west (30)	2
30-4	2,1	Zuid-Beveland west (30)	2
31-1	19,3	Zuid-Beveland oost (31)	2
31-2	28,6	Zuid-Beveland oost (31)	2
31-3	4,7	Zuid-Beveland oost (31)	2
32-1	20,8	Zeeuwsch Vlaanderen (32)	2
32-2	11,6	Zeeuwsch Vlaanderen (32)	2
32-3	15,3	Zeeuwsch Vlaanderen (32)	2
32-4	37,9	Zeeuwsch Vlaanderen (32)	2

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkkring	N <sub>dsn</sub> [-]
33-1	7,4	Kreekrakpolder (33)	2
34-1	24,4	West-Brabant (34)	2
34-2	23,0	West-Brabant (34)	2
34-3	4,6	West-Brabant (34)	2
34-4	10,3	West-Brabant (34)	2
34-5	31,2	West-Brabant (34)	2
34a-1	9,9	Geertruidenberg (34-a)	2
35-1	13,8	Donge (35)	2
35-2	14,7	Donge (35)	2
36-1	17,7	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36-2	21,0	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36-3	26,6	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36-4	20,0	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36-5	17,0	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36a-1	4,4	Keent (36-a)	1
37-1	5,0	Nederhemert (37)	1
38-1	29,6	Bommelerwaard (38)	1
38-2	20,2	Bommelerwaard (38)	1
39-1	4,7	Alem (39)	1
40-1	5,3	Heerewaarden (40)	1
40-2	6,4	Heerewaarden (40)	1
41-1	12,6	Land van Maas en Waal (41)	1
41-2	27,6	Land van Maas en Waal (41)	1
41-3	27,0	Land van Maas en Waal (41)	1
41-4	20,1	Land van Maas en Waal (41)	1
42-1	17,4	Ooij en Millingen (42)	1
43-1	15,9	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43-2	34,0	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43-3	25,4	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43-4	26,4	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43-5	22,5	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43-6	46,9	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
44-1	32,4	Kromme Rijn (44)	1
44-2	26,2	Kromme Rijn (44)	2
44-3	4,2	Kromme Rijn (44)	3
45-1	5,4	Gelderse Vallei (45)	1
45-2	28,4	Gelderse Vallei (45)	2
45-3	4,8	Gelderse Vallei (45)	2
46-1	7,2	Eempolder (46)	2
47-1	15,4	Arnhemse- en Velpsebroek (47)	1

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkring	N <sub>dsn</sub> [-]
48-1	27,0	Rijn en IJssel (48)	1
48-2	12,7	Rijn en IJssel (48)	1
48-3	13,2	Rijn en IJssel (48)	1
49-1	12,2	IJsselland (49)	1
49-2	20,8	IJsselland (49)	1
50-1	5,3	Zutphen (50)	1
50-2	7,7	Zutphen (50)	1
51-1	23,7	Gorssel (51)	1
52-1	19,9	Oost Veluwe (52)	1
52-2	24,4	Oost Veluwe (52)	1
52-3	9,3	Oost Veluwe (52)	1
52-4	4,5	Oost Veluwe (52)	1
52a-1	17,9	Veessen-Wapenveld	1
53-1	17,7	Salland (53)	1
53-2	28,9	Salland (53)	1
53-3	36,7	Salland (53)	1
54-1	12,2	Ottersum-Mook (54)	1
55-1	7,9	Gennep (55)	1
56-1	2,9	Afferden (56)	1
57-1	1,8	Nieuw Bergen (57)	1
58-1	1,7	Groeningen (58)	1
59-1	6,2	Bergen (59)	1
60-1	5,7	Well (60)	1
61-1&62-1	7,1	Wanssum (61+62)	1
63-1	5,5	Blitterswijck (63)	1
64-1	1,8	Broekhuizenvorst (64)	1
65-1	5,1	Arcen (65)	1
66-1	1,3	Lottum (66)	1
67-1	0,7	Grubbenvorst (67)	1
68-1	10,0	Venlo-Velden (68)	1
68-2	4,8	Venlo-Velden (68)	1
69-1	4,6	Blerick (69)	1
70-1	4,8	Baarlo (70)	1
71-1	1,0	Belfeld (71)	1
72-1	0,1	Kessel (72)	1
73-1	1,2	Beesel (73)	1
74-1	2,2	Neer (74)	1
75-1	1,3	Buggenum (75)	1
76-1	2,7	Roermond (76)	1
76-2	1,5	Roermond (76)	1

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkkring	N <sub>dsn</sub> [-]
76a-1	1,7	Roermond (76)	1
77-1	8,4	Roermond (77)	1
78-1	7,6	Heel (78)	1
78a-1	0,4	Heel (78)	1
79-1	7,9	Thorn-Wessem (79)	1
80-1	1,4	Maasbracht (80)	1
81-1	13,9	Stevensweert (81)	1
82-1	0,8	Aasterberg (82)	1
83-1&84-1	15,9	Grevenbicht_Visserweert (83+84)	1
85-1	0,3	Urmond (85)	1
86-1	1,6	Meers_Maasband (86+87)	1
87-1	5,5	Meers_Maasband (86+87)	1
88-1	2,7	Aan de Maas (88)	1
89-1	0,7	Voulwames (89)	1
90-1	6,6	Maastricht (90)	1
91-1	3,5	Itteren (91)	1
92-1	3,4	Borgharen (92)	1
93-1	2,6	Boscherveld (93)	1
94-1	0,9	Maastricht west (94)	1
95-1	1,1	Eijsden (95)	1
201	31,2	Afsluitdijk	3
202	0,1	Kadoelerkeersluis	1
204a	27,0	Houtribdijk IJsselmeerzijde	2
204b	27,0	Houtribdijk Markermeerzijde	2
205	0,8	Nijkerkersluis	1
206	0,1	Keersluis Zwolle	1
208	7,3	Maeslandtkering	2
209	6,7	Hartelkering	1
210	0,3	Stormvloedkering Hollandse IJssel	2
211	3,6	Haringvlietdam	3
212	0,1	Steurgat Biesboschsluis, te toetsen zijde Boven Merwede	1
213	0,7	Wilhelminasluis (Afgedamde Maas)	1
214	6,6	Brouwersdam	3
215	6,4	Volkerrakdam	2
216	6,1	Grevelingendam	2
217	7,8	Philipsdam	2
218	8,5	Oosterscheldekering	3
219	11,5	Oesterdam	2
221	0,9	Zandkreekdam	2

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkring	$N_{dsn}$ [-]
222	0,1	Sluizen Hansweert	2
223	4,2	Bathse Spuisluis	2
224	1,6	Sluis Sint Andries	1
225	10,0	Ramspolkering	2
226	0,3	Roggebotsluis	1
227	0,8	Reevedam	1



Foto voorzijde: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat - Ruimte voor de Rivier / Ruimte voor de Rivier  
Foto achterzijde: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Jan van den Broeke



Rijkswaterstaat  
*Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat*

**Deltares**