

**Voorschrift Toetsen op  
Veiligheid, Technisch Deel**

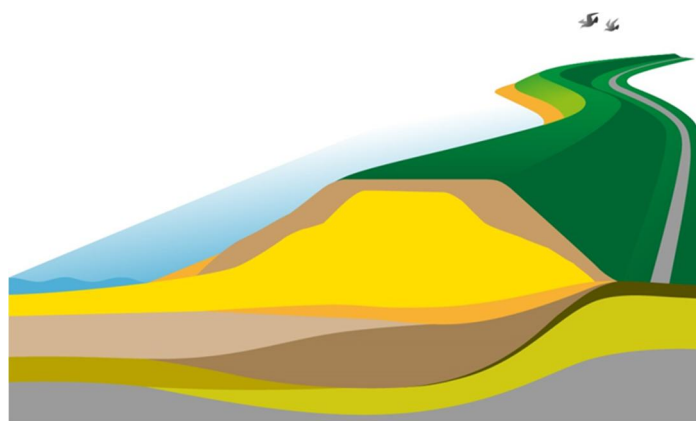
VTV-Technisch Deel (WTI 2017)



# Voorschrift Toetsen op Veiligheid, Technisch Deel

VTV-Technisch Deel (WTI 2017)

Huib De Bruijn  
Goaitske de Vries  
Robert 't Hart



# WTI-2017

1220078-000

**Titel**

Voorschrift Toetsen op Veiligheid, Technisch Deel

**Opdrachtgever**

Rijkswaterstaat Water,  
Verkeer en Leefomgeving

**Project**

1220078-000

**Kenmerk**

1220078-000-GEO-0009-  
jvm

**Pagina's**

220

**Trefwoorden**

Voorschrift Toetsen op Veiligheid, Technisch deel, toetssporen, WTI 2017

**Samenvatting**



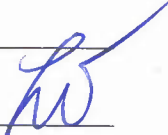
Het Voorschrift Toetsen op Veiligheid, Technisch deel (VTV Technisch deel) is een onderdeel van het Wettelijk Toetsinstrumentarium (WTI2017). Dit document geeft de inhoudelijke uitwerking van alle voorkomende toetssporen. Hiermee dient elke waterkering te worden beoordeeld volgens voor de waterkering relevant toetssporen.

Deze versie van het VTV is als volgt tot stand gekomen:

- De toetsschema's per faalmechanisme zijn opgesteld door inhoudelijke experts van Deltares en gereviseerd door RWS-WVL.
- Deze schema's zijn redactioneel samengevoegd door Huub de Bruijn en Robert 't Hart. Bij onduidelijkheden zijn verbeteringen opgenomen na consultatie met deskundigen.
- De conceptversies zijn besproken in ENW VBG en Coördinatiegroep.
- Een conceptversie is voorgelegd aan ILT en DGRW
- Een externe review op concept en definitieve versie is uitgevoerd door Royal HaskoningDHV.

**Summary**

This Technical report is a part of the "Statutory Assessment instrumentation" and is called "The Prescribe Safety assessment for levee's, Technical report". This report prescribes the technical safety assessment method for the major failure mechanisms of water defences. Each primary flood defence in Holland must be judged along the methods en rules prescribed in this document.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
01	juni 2015	Huub De Bruijn Goaitske de Vries		Han Knoeff		Leo Voogt	
02	okt. 2015	Huub De Bruijn Goaitske de Vries Robert 't hart		Han Knoeff		Leo Voogt	
D1	dec. 2015	Huub De Bruijn Robert 't hart		Han Knoeff		Leo Voogt	
D2	feb. 2016	Robert 't hart		Han Knoeff		Leo Voogt	

**Status**

definitief

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Algemeen	1
1.2	Doelgroep	3
1.3	Veranderingen ten opzichte van VTV 2006	3
1.4	Programma software	5
1.5	Leeswijzer	5
<b>2</b>	<b>Faalmechanismen, toetslagen, belastingen en schematisatie</b>	<b>6</b>
2.1	Overzicht faalmechanismen	6
2.2	Toetslagen	6
2.2.1	Eenvoudige toets (toetslaag 1)	8
2.2.2	Gedetailleerde toets (toetslaag 2)	9
2.2.3	Toets op maat (toetslaag 3)	13
2.2.4	Indirecte mechanismen	13
2.3	Hydraulische en overige belastingen	13
2.3.1	Hydraulische belastingen	14
2.3.2	Overige belastingen	14
2.4	Algemeen proces van schematiseren	15
2.4.1	Schematisatie stappenplan	16
2.4.2	Type duiding bekledingen ten behoeve van schematisatie	18
<b>3</b>	<b>Macrostabieliteit binnenwaarts, STBI</b>	<b>20</b>
3.1	Eenvoudige toets macrostabieliteit binnenwaarts	20
3.2	Gedetailleerde toets macrostabieliteit binnenwaarts	23
3.3	Toets op maat macrostabieliteit binnenwaarts	25
<b>4</b>	<b>Macrostabieliteit buitenwaarts, STBU</b>	<b>26</b>
4.1	Eenvoudige toets macrostabieliteit buitenwaarts	26
4.2	Gedetailleerde toets macrostabieliteit buitenwaarts	28
4.3	Toets op maat macrostabieliteit buitenwaarts	30
<b>5</b>	<b>Piping, STPH</b>	<b>31</b>
5.1	Eenvoudige toets piping	31
5.2	Gedetailleerde toets piping	32
5.3	Toets op maat piping	36
<b>6</b>	<b>Microstabieliteit, STMI</b>	<b>37</b>
6.1	Eenvoudige toets microstabieliteit	37
6.2	Gedetailleerde toets microstabieliteit	38
6.3	Toets op maat microstabieliteit	39
<b>7</b>	<b>Bezwijken asfaltbekleding door golfklappen (AGK)</b>	<b>40</b>
7.1	Eenvoudige toets golfklappen	40
7.2	Gedetailleerde toets golfklappen	41
7.3	Toets op maat golfklappen	43
<b>8</b>	<b>Bezwijken van asfaltbekleding door wateroverdruk (AWO)</b>	<b>46</b>

8.1	Eenvoudige toets wateroverdruk	46
8.2	Gedetailleerde toets wateroverdruk	50
8.3	Toets op maat wateroverdruk	50
<b>9</b>	<b>Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)</b>	<b>52</b>
9.1	Eenvoudige toets erosie buitentalud	53
9.2	Gedetailleerde toets erosie buitentalud	55
9.3	Toets op maat erosie buitentalud	58
<b>10</b>	<b>Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU)</b>	<b>59</b>
10.1	Eenvoudige toets afschuiven buitentalud	60
10.2	Gedetailleerde toets afschuiven buitentalud.	62
10.3	Toets op maat afschuiven buitentalud	63
<b>11</b>	<b>Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)</b>	<b>64</b>
11.1	Eenvoudige toets erosie kruin en binnentalud	65
11.2	Gedetailleerde toets erosie kruin en binnentalud	67
11.3	Toets op maat erosie kruin en binnentalud	68
<b>12</b>	<b>Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI)</b>	<b>70</b>
12.1	Eenvoudige toets afschuiven binnentalud	71
12.2	Gedetailleerde toets afschuiven binnentalud	72
12.3	Toets op maat afschuiven binnentalud	72
<b>13</b>	<b>Stabiliteit bekleding steenzetting, ZST</b>	<b>74</b>
13.1	Gedetailleerde toets bekleding steenzetting	74
13.2	Toets op maat bekleding steenzetting	77
<b>14</b>	<b>Duinwaterkering, DA</b>	<b>79</b>
14.1	Eenvoudige toets duinwaterkering	79
14.2	Gedetailleerde toets duinwaterkering	79
14.3	Toets op maat duinwaterkering	82
<b>15</b>	<b>Hoogte kunstwerken (HTKW)</b>	<b>83</b>
15.1	Eenvoudige toets hoogte kunstwerken	83
15.2	Gedetailleerde toets hoogte kunstwerk	83
15.3	Toets op maat hoogte kunstwerk	85
<b>16</b>	<b>Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW)</b>	<b>86</b>
16.1	Eenvoudige toets betrouwbaarheid sluiting	86
16.2	Gedetailleerde toets betrouwbaarheid sluiting	87
16.3	Toets op maat betrouwbaarheid sluiting	88
<b>17</b>	<b>Piping bij kunstwerken (PKW)</b>	<b>90</b>
17.1	Eenvoudige toets piping	90
17.2	Gedetailleerde toets piping	91
17.3	Toets op maat piping	92
<b>18</b>	<b>Sterkte en stabiliteit kunstwerk, puntconstructie (STKWp)</b>	<b>94</b>
18.1	Gedetailleerde toets sterkte en stabiliteit puntconstructie	94
18.2	Toets op maat sterkte en stabiliteit puntconstructie	96

<b>19 Sterkte en stabiliteit kunstwerk, langsconstructie (STKWI)</b>	<b>98</b>
19.1 Eenvoudige toets sterkte en stabiliteit langsconstructie	98
19.2 Toets op maat sterkte en stabiliteit langsconstructie	99
<b>20 Golfafslag voorland (VLGA)</b>	<b>100</b>
20.1 Eenvoudige toets golfafslag	100
20.2 Gedetailleerde toets golfafslag	102
20.3 Toets op maat golfafslag	102
<b>21 Afschuiving voorland (VLAF)</b>	<b>103</b>
21.1 Eenvoudige toets afschuiving voorland	103
21.2 Gedetailleerde toets afschuiving voorland	106
21.3 Toets op maat afschuiving voorland	107
<b>22 Zettingsvloeiing voorland (VLZV)</b>	<b>108</b>
22.1 Eenvoudige toets zettingsvloeiing	108
22.2 Gedetailleerde toets zettingsvloeiing voorland	112
22.3 Toets op maat zettingsvloeiing	113
<b>23 Havendammen (HAV)</b>	<b>114</b>
23.1 Eenvoudige toets voor havendammen	115
23.2 Gedetailleerde toets voor havendammen	115
23.2.1 Havendam met grondlichaam	115
23.2.2 Verticale havendammen of verticale elementen in havendammen	116
23.2.3 Oordeel havendam	117
23.3 Toets op maat	117
<b>24 Niet waterkerende objecten, NWO</b>	<b>118</b>
24.1 Eenvoudige toets NWO	118
24.2 Bebouwing (NWObe)	119
24.2.1 Eenvoudige toets bebouwing	119
24.2.2 Gedetailleerde toets bebouwing	122
24.2.3 Toets op maat bebouwing	122
24.3 Begroeiing (NWObo)	122
24.3.1 Eenvoudige toets begroeiing	122
24.3.2 Gedetailleerde toets begroeiing	126
24.3.3 Toets op maat begroeiing	126
24.4 Kabels en Leidingen (NWOkl)	126
24.4.1 Controle aanwezigheid van afsluiters	126
24.4.2 Eenvoudige toets kabels en leidingen	126
24.4.3 Gedetailleerde toets leidingen	129
24.4.4 Toets op maat leidingen	130
24.5 Overige constructies (NWOoc)	130
<b>25 Toetsen van technische innovatie (INN)</b>	<b>131</b>
<b>26 Begrippen</b>	<b>134</b>
<b>27 Symbolen</b>	<b>169</b>
<b>28 Afkortingen</b>	<b>173</b>

<b>29 Literatuur</b>	<b>175</b>
<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A Zonering en profielen</b>	<b>A-1</b>
A.1 Kernbegrippen	A-1
A.2 Het beoordelingsprofiel	A-4
A.2.1 Inleiding	A-4
A.2.2 Bepaling beoordelingsprofiel	A-4
<b>B Ondergrondscenario's</b>	<b>B-1</b>
<b>C Rekenregels voor gedetailleerde toets op zettingsvloeiing</b>	<b>C-1</b>
C.1 Stap A - Bepaal optredingskans zettingsvloeiing per ondergrondscenario $P(ZV S_i)$ voor het betreffende vak	C-1
C.2 Stap B - Bepaling optredingskans zettingsvloeiing voor alle grondopbouwscenario's $P(ZV)$	C-3
C.3 Stap C - Bepaal overschrijdingskans toelaatbare inscharingslengte gegeven een vloeiing $P(L > L_{toelaatbaar} ZV)$	C-3
C.4 Stap D - Bepaal de kans op overschrijding van toelaatbare inscharingslengte door een zettingsvloeiing per dijkvak per jaar $P(L > L_{toelaatbaar})_{vak}$ .	C-6
<b>D <math>N_{dsn}</math>-waarden voor erosie kruin en binnentalud</b>	<b>D-1</b>
<b>E Voor eenvoudige toets piping (STPH) benodigde betrouwbaarheid per doorsnede: <math>\beta_{eis, dsn}</math></b>	<b>E-1</b>
<b>F Formules beoordeling geotechnische stabiliteit binnentalud</b>	<b>F-1</b>
<b>G Indeling objecten / kunstwerken</b>	<b>G-1</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Algemeen

Om het overstromingsrisico nu en in de toekomst te kunnen beheersen wordt er iedere twaalf jaar verslag gedaan over de algemene waterstaatkundige toestand van de primaire waterkeringen. De wijze waarop de waterkeringen worden beoordeeld staat in het Wettelijk Toets Instrumentarium 2017.

Het Wettelijk Toets Instrumentarium 2017 (afgekort WTI 2017) is opgebouwd uit de volgende drie wettelijke onderdelen (zie Figuur 1.1):

1. *Voorschrift Toetsen op Veiligheid, Algemeen deel* (VTV Algemeen deel). Dit deel geeft de belangrijkste kaders en definities, beschrijft het toetsproces en geeft de beoordelings- en rapportageverplichtingen.
2. *Voorschrift Toetsen op Veiligheid, Technisch deel* (VTV Technisch deel). Dit deel beschrijft de toetsschema's voor de faalmechanismen.
3. *Hydraulische Randvoorwaarden, Technisch deel* (HR Technisch deel). Dit deel geeft de methode voor het afleiden van de hydraulische belastingen voor de primaire keringen.

Het Wettelijk Toets Instrumentarium 2017 wordt ondersteund door:

- *Software*. Dit betreft de software ter ondersteuning van de eenvoudige toets (toetslaag 1) en de gedetailleerde toets (toetslaag 2).

Dit document betreft het Voorschrift Toetsen op Veiligheid Technisch deel.

Het VTV Technisch deel is uitsluitend bedoeld voor de beoordeling van primaire waterkeringen in relatie tot de overstromingskans die in de Waterwet is vastgelegd. De beoordeling van regionale waterkeringen, valt buiten het toepassingsgebied van dit voorschrift. Ook het beoordelen van andere dan de waterkerende functie van de waterkeringen valt buiten het bereik van dit voorschrift. Daar waar in het vervolg gesproken wordt over 'toetsing' betreft het dan ook uitsluitend de kwaliteit van de functie 'veiligheid tegen overstromen'.

De achtergronden bij het VTV staan in verschillende rapportages:

- In het basisrapport bij het WTI 2017 worden de algemene uitgangspunten en consequenties van toepassing van het WTI beschreven. Het basisrapport is beschikbaar via de Helpdesk Water.
- In achtergrondrapporten bij het VTV staan achtergronden bij en handreikingen voor de uitvoering van de toetsing: faalmechanisme- en modelbeschrijvingen, schematiseringshandleidingen, en handvatten voor geavanceerde analyses in de Toets op maat. De achtergrondrapporten zijn beschikbaar via de Helpdesk Water.
- Bijlaggerapporten bevatten de onderzoeksrapportages met wetenschappelijke verantwoording. Deze documenten kunnen via de Helpdesk Water worden opgevraagd.

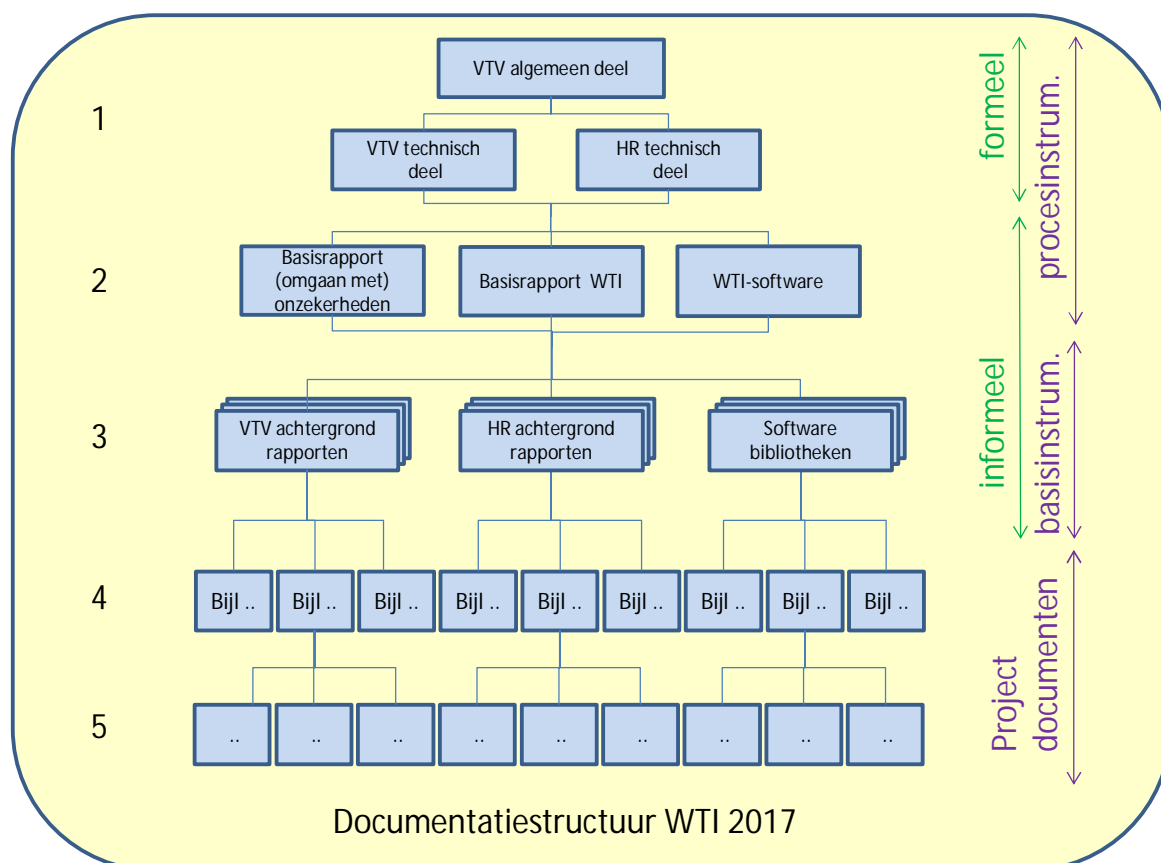
De volgende schematiseringshandleidingen ondersteunen het VTV technische deel:

- Schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Van Deen & Van Duinen, 2015).
- Schematiseringshandleiding piping (Förster, de Visser, De Bruijn, Kruse, Hijma, & Vonhögen-Peeters, 2015).
- Schematiseringshandleiding microstabiliteit (Hoven, 2015a).



- Schematiseringshandleiding asfaltbekledingen ('t Hart, 2015).
- Schematiseringshandleiding grasbekledingen (Hoven, 2015).
- Schematiseringshandleiding steenzettingen (Klein Breteler & Mourik, 2015).
- Schematiseringshandleiding duinafslag (Boers, den Bieman, & de Visser, 2015).
- Schematiseringshandleiding kunstwerken hoogte (van Bree, Schematiseringshandleiding faalmechanisme overslag en/of overloop, Toetsregels Kunstwerken. Rapport 1220087-001-GEO-0001, Versie C1, 2015).
- Schematiseringshandleiding kunstwerken betrouwbaarheid sluiting (Delhez R. , 2015a).
- Schematiseringshandleiding kunstwerken piping (van Bree, 2015).
- Schematiseringshandleiding kunstwerken sterkte en stabiliteit puntconstructies (Delhez & van Bree, 2015).
- Schematiseringshandleiding golfafslag voorland (van Deen, 2016a).
- Schematiseringshandleiding afschuiving voorland (van Deen, Schematiseringshandleiding Afschuiving Voorland. Rapport 1220083-013-GEO, 2016).
- Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing (van den Ham, 2015).
- Schematiseringshandleiding hydraulische condities bij de dijkteen (de Waal & de Visser, Schematiseringshandleiding Hydraulische condities bij de dijkteen. Rapport 1209432-006-GEO-0006, Versie 2, 2015).
- Handleiding voor Stochastische Ondergrondschematisatie (Kruse & Hijma, 2015).
- Schematiseringshandleiding hoogte (de Waal & de Visser, 2015).

Als in de tekst wordt verwezen naar “de schematiseringshandleiding”, dan wordt bedoeld de handleiding die op het betreffende toetspoot betrekking heeft.



Figuur 1.1 Documentatiestructuur WTI 2017

## 1.2 Doelgroep

Dit VTV Technisch deel is in de eerste plaats bedoeld voor de beheerders van primaire waterkeringen. Zij dienen aan de hand van dit voorschrift de veiligheid tegen overstromen van de bij hen in beheer zijnde primaire waterkeringen te beoordelen en de bevindingen te rapporteren aan het Rijk in de persoon van de Minister van Infrastructuur en Milieu (I&M). De primaire waterkeringen zijn voornamelijk in beheer bij waterschappen en regionale diensten van Rijkswaterstaat.

Daarnaast is dit voorschrift bedoeld voor de toezichthouder op de primaire waterkeringen, de Inspectie voor Leefomgeving en Transport (ILT). Zij kunnen aan de hand van dit voorschrift de beoordeling van primaire waterkeringen en de rapportage van die beoordeling controleren en rapporteren periodiek een landelijk overzicht en veiligheidsbeeld aan de Minister van I&M.

De derde doelgroep wordt gevormd door adviseurs die beheerders, ILT en het Rijk kunnen bijstaan. Adviseurs zijn in het algemeen ingenieurbureaus.

## 1.3 Veranderingen ten opzichte van VTV 2006

Het WTI 2017 is het instrument dat de beheerder gebruikt om te controleren of de primaire keringen aan de wettelijke veiligheidsnorm voldoen. Ten opzichte van het WTI 2006 kent het WTI 2017 een aantal veranderingen. De belangrijkste hiervan zijn:

- In het WTI 2006 is getoetst aan overschrijdingskansnormen. Bij het toetsen aan de overschrijdingskansbenadering moet elk dijkvak, duinraai of kunstwerk een maatgevende belasting kunnen keren. Met het WTI 2017 wordt getoetst aan overstromingskansnormen die in de wet zijn vastgelegd. De norm is per dijktraject uitgedrukt in een maximaal toelaatbare kans op overstroming. Onder overstroming wordt verstaan: "de situatie dat er dusdanig veel water in het gebied achter de kering komt te staan dat er dodelijke slachtoffers vallen of substantiële economische schade ontstaat". In de nieuwe veiligheidsbenadering wordt geen onderscheid meer gemaakt tussen primaire keringen van de categorie a, b of c. De categorie primaire keringen gelegen buiten de landsgrenzen blijven wel bestaan.

Consequenties voor het VTV Technisch deel zijn:

- De faaldefinities van mechanismen wijzigen.
- De toetsporen Hoge gronden en Behoud toestand 1996 hebben geen waarde meer en vervallen.

Voor een nadere toelichting op de faaldefinities wordt verwezen naar de achtergrondrapportage: Fenomenologische beschrijving, Faalmechanismen WTI ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

- In het WTI 2017 wordt onderscheid gemaakt in directe mechanismen en indirecte mechanismen. Een 'direct mechanisme' leidt direct tot een verminderde sterkte van een waterkering. Een 'indirect faalmechanisme' vergroot de kans dat een direct faalmechanisme optreedt. Immers, als een stuk voorland of waterkering verdwijnt, is de breedte en/of hoogte van het dijklichaam kleiner. Dit heeft meestal nadelige invloed op de veiligheid van de waterkering. De gereduceerde waterkering kan via de toetsregels voor de 'directe faalmechanismen' worden beoordeeld.

- Uitgangspunt bij de toetsing op veiligheid is dat de kering goed wordt onderhouden. Aspecten die onder regulier beheer en onderhoud vallen, worden in het WTI 2017 niet meer beoordeeld. Een toelichting van de zorgplicht wordt gegeven in het VTV-algemeen deel. Voorbeeld zijn schades die tijdens jaarlijkse inspecties worden waargenomen en in regulier

onderhoud wordt hersteld. Uitgangspunt voor de toetsing is de situatie zoals die bij de goed onderhouden waterkering tot de peildatum kan optreden.

- Nieuwe inzichten uit kennisontwikkeling zijn in de voorschriften geïmplementeerd. Grootste veranderingen betreffen de beoordeling van erosie van grasbekleding, piping, macrostabiliteit en zettingsvloeiing. De veranderingen zijn terug te vinden in de achtergronddocumenten.
- Voor duinwaterkering wordt alleen een toetsing uitgevoerd voor het mechanisme duinafslag (DA). Winderosie is niet meer opgenomen als toetsspoor in dit VTV en valt onder zorgplicht. Bij normaal goed beheer van de landzijde van het duin (begroeiing etc. en geen kale plekken) heeft winderosie een verwaarloosbaar kleine invloed op de beoordeling van de sterkte van het duin.

#### 1.4 Programma software

Binnen het WTI is programma software uitgeleverd ten behoeve van het uitvoeren van de toetsing. Het betreft hier officiële software die gebruikt moet worden bij de Gedetailleerde toets. Alleen indien er duidelijke (te rapporteren) motieven zijn mag van het gebruik van de officiële software worden afgeweken.

De programma software omvat het volgende:

- Ringtoets.
- Asfaltbekleding-software.
- Grasbekleding-software.
- Steentoets.
- PC-Overslag.
- Morphan.
- D-Soil Model.
- D- FlowSlide.

Voor de Toets op maat kan uiteraard ook andere software onderbouwd worden ingezet.

#### 1.5 Leeswijzer

Het VTV Technisch deel is een voorschrift voor het toetsen van de verschillende faalmechanismen. Voor de toelichting en onderbouwing van de toetsschema's en de toetscriteria wordt verwezen naar de achtergrondrapporten. Voor de algemene beschrijvingen van het toetsproces wordt verwezen naar het VTV Algemeen deel. In dit VTV Technisch deel zijn de volgende hoofdstukken opgenomen.

Hoofdstuk 2	<b>Toetssporen en belastingen.</b> Op basis van dit hoofdstuk kunnen, per type waterkering, de toetssporen worden bepaald die dienen te worden doorgelopen. Verder wordt aangegeven hoe de hydraulische en overige belasting per toetsspoor kunnen worden bepaald.
Hoofdstuk 3 t/m 25	<b>Uitwerking toetssporen.</b> Deze hoofdstukken bevatten de uitwerking van de verschillende toetssporen. De beoordeling per toetsspoor vindt plaats volgens de getrapte procedure zoals beschreven in hoofdstuk 2. In elke van de hoofdstukken 3 t/m 25 worden de stappen van de beoordeling voor een toetsspoor beschreven.
Hoofdstuk 26	<b>Begrippen.</b> Lijst van begrippen.
Hoofdstuk 27	<b>Symbolen.</b> Lijst van symbolen.
Hoofdstuk 28	<b>Afkortingen.</b> Lijst met gehanteerde afkortingen
Hoofdstuk 29	<b>Literatuur.</b> Lijst van verwijzingen naar gehanteerde literatuur.

## 2 Faalmechanismen, toetslagen, belastingen en schematisatie

Dit hoofdstuk geeft een omschrijving van de door te lopen toetslagen weer. Het geeft aan welke toetssporen per type waterkering dienen te worden doorlopen en welke hydraulische en overige belastingen relevant zijn.

### 2.1 Overzicht faalmechanismen

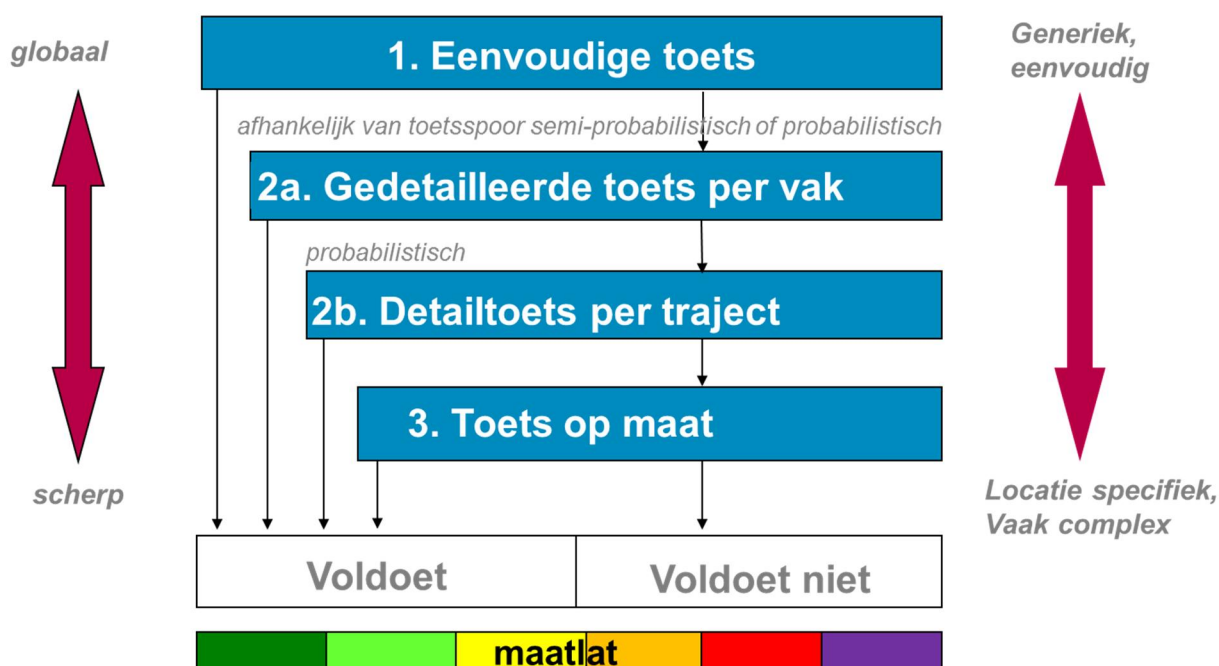
Een waterkering is een complex systeem. De verschillende toetssporen, dat zijn de aspecten en onderdelen die moeten worden beoordeeld zijn weergegeven in Tabel 2.1.

Per faalmechanisme is er over het algemeen een toetsspoor, vastgelegd in de volgende hoofdstukken.

Voor de beoordeling van technische innovaties (INN) is een apart toetsspoor opgenomen. Deze beoordeling wordt toegepast als een (onderdeel van een) waterkering niet volgens de toetssporen in de tabel kan worden beoordeeld.

### 2.2 Toetslagen

De beoordeling van de veiligheid tegen overstromen van een dijktraject gebeurt stapsgewijs. De toetslagen zijn beschreven in het VTV Algemeen deel en verloopt van grof naar fijn en van eenvoudig naar complex. In dit voorschrift wordt per toetsspoor een drietal niveaus onderscheiden. In navolgende paragrafen wordt een korte beschrijving van de verschillende toetslagen gegeven. Figuur 2.1 geeft schematisch de toetslagen weer. Dit is de algemene lijn, maar in specifieke gevallen kunnen overigens één of meerdere toetslagen worden overgeslagen.

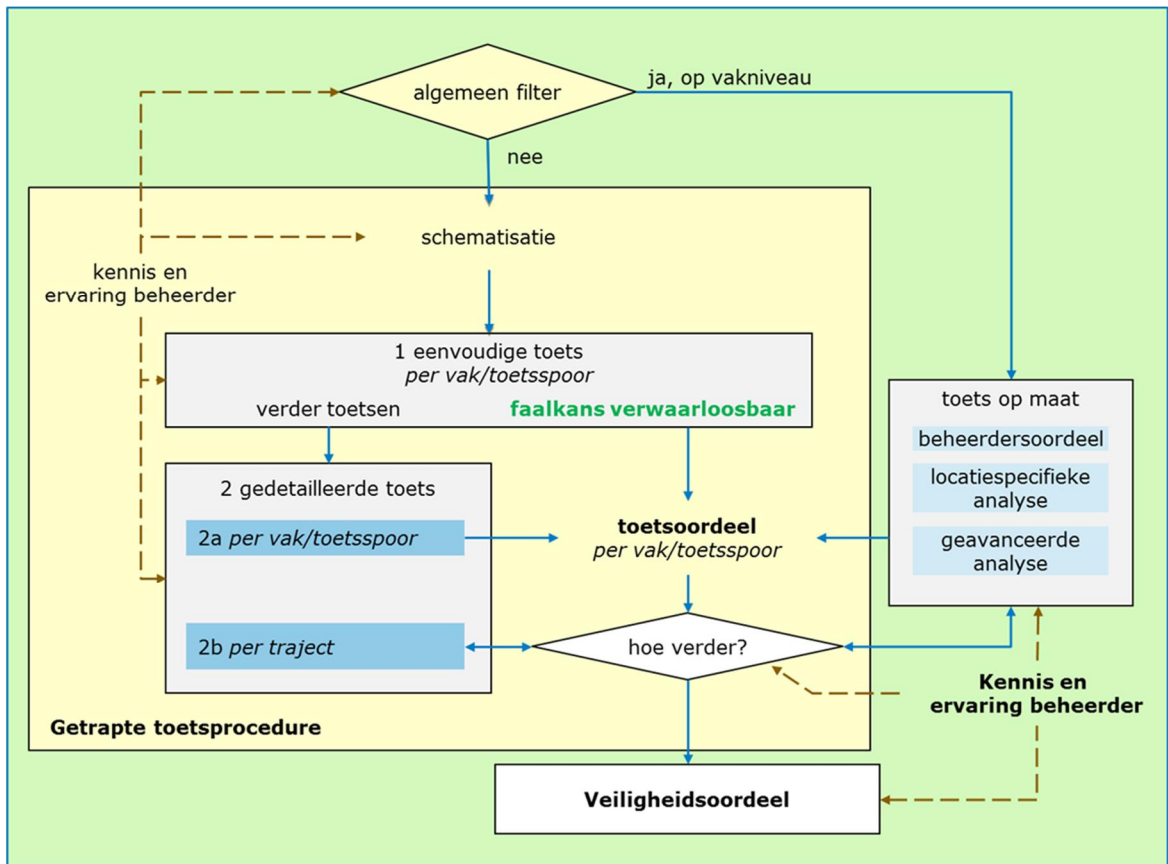


Figuur 2.1 Schematische weergave toetslagen

Tabel 2.1 Toetssporen per type waterkering

<b>Faalmechanismen</b>	<b>Code</b>	<b>Hoofdstuk</b>	<b>Schematiseringshandleiding</b>
<b>Dijken en dammen</b>			
Macrostabieleit binnenwaarts	STBI	3	Macrostabieleit
Macrostabieleit buitenwaarts	STBU	4	Macrostabieleit
Opbarsten, heave en piping	STPH	5	Piping
Microstabieleit	STMI	6	Microstabieleit
<i>Bekledingen</i>			
Asfaltbekleding Golfklappen	AGK	7	Asfaltbekledingen
Asfaltbekleding Wateroverdrukken	AWO	8	Asfaltbekledingen
Grasbekleding Erosie buitentalud	GEBU	9	Grasbekledingen
Grasbekleding Afschuiven buitentalud	GABU	10	Grasbekledingen
Grasbekleding erosie kruin en binnentalud	GEKB	11	Grasbekledingen/ hoogte
Grasbekleding afschuiven binnentalud	GABI	12	Grasbekledingen/ hoogte
Stabiliteit bekleding steenzetting	ZST	13	Steenzettingen
Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG			
Toplaaginstabiliteit onder langsstroming ZTS			
Afschuiving ZAF			
Materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG			
Erosie onderlaag ZEO			
Materiaaltransport vanuit de ondergrond ZMO			
<b>Duinwaterkering</b>			
Duinafslag	DA	14	Duinafslag
<b>Kunstwerken</b>			
Hoogte kunstwerk	HTKW	15	Kunstwerken: hoogte
Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk	BSKW	16	betrouwbaar- heid sluiting
Piping bij kunstwerk	PKW	17	piping
Sterkte en stabiliteit puntconstructies	STKWp	18	sterkte en stabiliteit
Sterkte en stabiliteit langconstructies	STKWI	19	sterkte en stabiliteit
<b>Voorland</b>			
Golfafslag	VLGA	20	
Afschuiving	VLAF	21	
Zettingsvloeiing	VLZV	22	zettingsvloeiing
<b>Havendammen</b>	HAV	23	Dammen en voorlanden
<b>Niet-waterkerende objecten</b>		24	
Bebouwing	NWObe		
Begroeiing	NWObo		
Kabels en leidingen	NWOkI		
Overige constructies	NWOoc		

Het toetsproces staat beschreven in het VTV Algemeen deel en is weergegeven in Figuur 2.2.



Figuur 2.2 Generiek toetsproces

Voor de eenvoudige toets is een filter ingebouwd. Wanneer op bestuurlijk niveau met goedkeuring van het bevoegd gezag wordt besloten om een waterkering of toetsspoor om bijzondere redenen niet in de toetsing mee te nemen kan met behulp van dit filter het toetsproces worden gepasseerd. Voor de toepassing van het filter wordt verwezen naar het VTV algemeen deel.

Wanneer de keringbeheerder kan onderbouwen dat de lokale situatie niet met regels uit toetslaag 1 en 2 kan worden beoordeeld kan het filter worden gebruikt om onderbouwd direct een Toets op maat uit te voeren. De eenvoudige en gedetailleerde toets worden per toetsspoor uitgevoerd. In Tabel 2.1 is een overzicht weergegeven van de toetssporen welke per type waterkering worden beoordeeld. Een toetsspoor kan meerdere faalmechanismen bevatten.

### 2.2.1 Eenvoudige toets (toetslaag 1)

In de eenvoudige toets wordt met eenvoudige beslisregels gecontroleerd of de kans dat het faalmechanisme optreedt, verwaarloosbaar klein is. Er vindt een afweging plaats waarin de waterkering wordt getoetst aan veilige afmetingen, algemene eigenschappen of eenvoudige rekenregels. De beheerder kan ervoor kiezen om de eenvoudige toets over te slaan en direct de gedetailleerde toets uit te voeren. In dat geval dienen de redenen voor deze keuze te worden gerapporteerd. Opgemerkt wordt dat niet voor elk mechanisme een eenvoudige toets beschikbaar is, in dat geval wordt direct gestart met toetslaag 2.

Voor de eenvoudige toets gelden de volgende uitgangspunten:

- Voor de eenvoudige toets wordt een dijktraject voor elk mechanisme opgedeeld in vakken. Per mechanisme wordt de wijze van indelen beschreven in de schematiseringshandleidingen.
- Resultaat van een beslisregel is de conclusie dat wel of niet aan de voorwaarde van voldoende kleine kans op falen wordt voldaan.
- Eenvoudige beslisregels zijn gebaseerd op eenvoudig in te winnen gegevens. De beslisregels zijn gebaseerd op historische analyses, (gebieds)eigenschappen met betrekking tot de kering en eenvoudige relaties.
  - Beslisregels die aangeven of een mechanisme relevant is voor het betreffende type kering.
  - Beslisregels die aangeven of de kans op een mechanisme onafhankelijk van Hydraulische Belastingen klein is (piping treedt bijvoorbeeld niet op bij een zanddijk op een zandondergrond).
  - Beslisregels die aangeven of de kans op een mechanisme gegeven maatgevende Hydraulische Belastingen klein is (er treedt bijvoorbeeld geen erosie van het buitentalud op bij golven kleiner dan 0,25 m).

Beslisregels kunnen zijn onderbouwd door een theoretische beschouwing, probabilistische analyses of pragmatische expert judgement. Onderbouwingen van de beslisregels staan in achtergrondrapporten, zie Figuur 1.1.

Voor verschillende toetsschema's zijn eenvoudige hydraulische belastingen nodig, zoals een toetspeil (waterstand met een overschrijdingskans gelijk aan de normoverstromingskans) en significante golfhoogte. In het HR-technische deel staat beschreven hoe aan deze belasting moet worden getoetst.

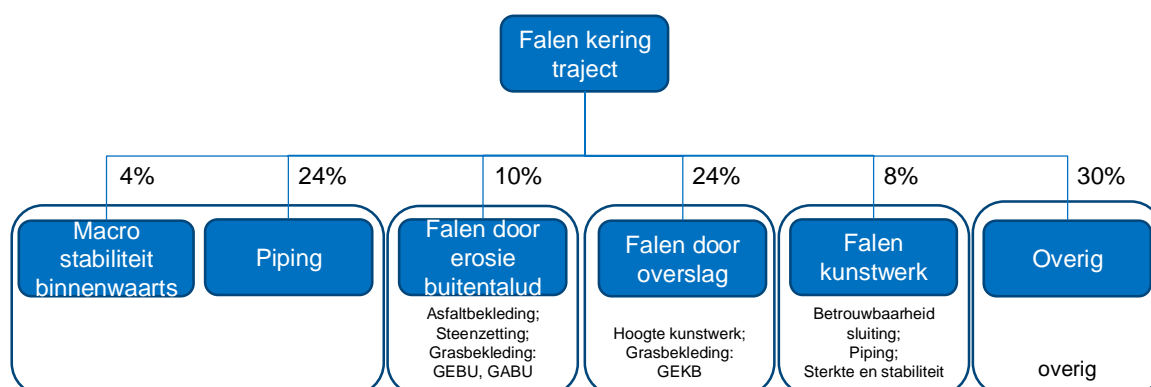
#### 2.2.2 Gedetailleerde toets (toetslaag 2)

De gedetailleerde toets is gebaseerd op modelmatige analyses en rekenregels. De rekenregels zijn generiek. Specifieke rekenmodellen en/of omstandigheden worden in toetslaag 3 meegenomen.

Onderscheid wordt gemaakt in een toets op vakniveau en een toets op traject-niveau (toetslaag 2b, volgt in 2019).

Op basis van een vaste faalkansverdeling kan in de gedetailleerde toets per vak en mechanisme (toetslaag 2a) worden beoordeeld of aan de norm wordt voldaan. Dit is mogelijk met probabilistische of semi-probabilistische berekening. Voor toetslaag 2a worden uit de overstromingskansnorm van het traject faalkanseisen op vak/kunstwerk of op doorsnede niveau afgeleid. Daartoe wordt de overstromingskansnorm verdeeld over verschillende faalmechanismen, zie Tabel 2.2 en Figuur 2.3.





Figuur 2.3 Faalkansverdeling voor de semi-probabilistische toetslaag 2a voor dijken en dammen

Tabel 2.2 Faalkansruimtefactor  $\omega$  voor de verschillende faalmechanismen voor toetslaag 2a.

Type waterkering	Faalmechanismen	Duinen	Dijken en dammen
Dijken en dammen	Falen door overslag; (hoogte kunstwerk; grasbekleding; GEKB)	0	0,24
	Piping (Opdrijven, heave en terugschrijdende erosie)	0	0,24
	Macro stabiliteit binnenwaarts	0	0,04
	Erosie buitentalud (grasbekleding, steen zetting en asfaltbekleding)	0	0,10
kunstwerken	Betrouwbaarheid sluiting	0	0,04
	Piping	0	0,02
	Sterkte en stabiliteit (langs-en puntconstructies)	0	0,02
Duinen	Duinafslag	0,70	0
Overige		0,30	0,30
Totaal		1,00	1,00

Door rekening te houden met correlaties (lengte-effect) kunnen voor de faalmechanismen eisen per doorsnede, eisen op vakniveau danwel eisen per kunstwerk worden afgeleid. De getalsmatige eis voor een mechanisme is niet overal gelijk maar afhankelijk van trajectlengte of aantal kunstwerken en de normhoogte.

De eis voor toets van een doorsnede (toetslaag 2a) wordt als volgt afgeleid:

$$P_{eis;dsn} = \frac{\omega P_{eis}}{N_{dsn}}$$

Vgl 2.1

Waarin:

$P_{eis;dsn}$  Faalkanseis die per doorsnede (=object in geval van kunstwerk, puntconstructie) aan een faalmechanisme wordt gesteld [1/jaar].

$P_{eis}$  Maximaal toelaatbare overstromingskans van het dijktraject volgend uit de normstelling [1/jaar].

$\omega$  Faalkansruimtefactor voor het betreffende faalmechanisme, voorgeschreven voor toetslaag 2a, zie Tabel 2.2 en Tabel 2.3 [-].

$N_{dsn}$  Lengte-effectfactor voor een doorsnede, weergegeven bij de toetssporen [-].

Voor het faalmechanisme Macrostabieliteit Buitenwaarts (STBU), wat kenmerken draagt van een indirect faalmechanisme, wordt een factor 10 grotere faalkans toegelaten in vergelijking tot het mechanisme Macrostabieliteit Binnenwaarts (STBI). De toetseis voor Macrostabieliteit Buitenwaarts wordt gevonden door:

$$P_{eis;dsn} = \frac{\omega(10 * P_{eis})}{N_{dsn}} \quad \text{Vgl 2.2}$$

De faalkansruimtefactoren zoals gegeven in Tabel 2.2 zijn voor het faalmechanisme betreffende dijkbekledingen nog verder onderverdeeld. In die tabel is overigens ook de faalkansruimtefactor voor het mechanisme “falen door overslag” opgenomen, omdat die van belang is voor de grasbekleding op de kruin en het binnentalud.

Voor het mechanisme “falen geïnitieerd door bezwijken bekleding op het buitentalud” is 10% van de totale faalkans gereserveerd. Tabel 2.3 geeft per bekledingstype en mechanismen de juiste waarde voor  $\omega$ .

Tabel 2.3 Faalkansruimtefactoren (toetslaag 2a) voor mechanismen betreffende bekledingen, zowel binnen-als buitentalud. \* verwerkt in de veiligheidscoëfficiënt. \*\* voor grasbekleding op het buitentalud wordt nog een afwijkende faalkansbegroting opgesteld.

Type bekleding	Mechanisme	Faalkansruimtefactor $\omega$
Asfaltbekleding	Golfklappen (AGK)	0,012
	Wateroverdrukken (AWO)	(alleen toetslaag 1)
Grasbekledingen	Erosie buitentalud (GEBU)**	0,045
	Afschuiven buitentalud (GABU)**	0,005
	Erosie kruin en binnentalud (GEKB)	0,24
	Afschuiven binnentalud (GABI)	(onderdeel 30% overige)
Steenzettingen	Toplaagstabieliteit onder golfaanval (ZTG)	0,03*

De waarden voor  $N_{dsn}$ , de lengte-effectfactor voor een dijkdoorsnede, wordt voor de mechanismen macrostabieliteit binnenwaarts en piping gegeven door:

$$N_{dsn} = 1 + \frac{a_l \cdot L_{traject}}{b_l} \quad \text{Vgl 2.3}$$

Waarin:

$a_l$  Mechanismegevoelige fractie van de trajectlengte [-].

$b_l$  Lengtemaat die de intensiteit van het lengte-effect weergeeft binnen de mechanismegevoelige lengte van het traject [m].

$L_{traject}$  Lengte van het dijktraject zoals vastgelegd in Bijlage II van de Waterwet [m].

Als toelichting op de gebruikte parameters:

“ $b_l$ ” kan geïnterpreteerd worden als de lengte van een onafhankelijke dijksectie.

“ $a_l \cdot L_{traject} / b_l$ ” kan geïnterpreteerd worden als het aantal onafhankelijke, equivalente dijksecties (equivalent voor wat betreft de betrouwbaarheid) binnen de mechanisme-gevoelige lengte van het traject.

Tabel 2.4 Mechanisme afhankelijke parameters voor de lengte-effectfactor

Mechanisme	Mechanismegevoelige fractie $a_l$ [-]	Lengtemaat van het lengte-effect $b_l$ [m]
Macrostabiliteit binnenwaarts	0,033	50
Piping	0,4 of 0,9	300

Voor grasbekledingen (GEKB) is de waarde  $N_{dsn}$  afhankelijk van de belasting en de oriëntatie van de dijk bepaald. De waarde wordt per traject voorgeschreven in de bijlage 0.

Voor steenzettingen dienen de rekenwaarden voor de parameters, zie schematiseringshandleiding, te zijn gebaseerd op  $N_{dsn}=4$ .

Voor duinwaterkeringen dienen de rekenwaarden voor de parameters in de semi-probabilistische berekening te zijn gebaseerd op de waarde  $N_{dsn}=2$ , zie ook de schematiseringshandleiding.

Voor het mechanisme betrouwbaarheid sluiting kunstwerken (BSKW) wordt de lengte-effectfactor  $N_{vak}$  gegeven door:

$$N_{vak} = \max(1; c \cdot n_{2a}) \quad \text{Vgl 2.4}$$

Waarin:

- $c$  Reductiefactor om tot uitdrukking te brengen dat de faalkansen van kunstwerken niet allemaal precies even groot zijn (= 0,5) [-].
- $n_{2a}$  Aantal kunstwerken in het dijktraject waarvan de faalkans niet verwaarloosbaar klein is volgens de Eenvoudige toets [-].

De waarden voor  $N_{dsn}$  wordt voor de mechanismen grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB) en kunstwerken hoogte puntconstructies (HTKWp) gegeven in bijlage 0. Voor het mechanisme kunstwerken sterkte en stabiliteit puntconstructies (KWSTp) geldt:  $N_{vak} = 3$ .

Een nadere (scherpere) beoordeling is mogelijk waarbij de vaste faalkansruimteverdeling per mechanisme wordt losgelaten in een probabilistische beoordeling. De faalkanseis voor een probabilistische beoordeling is 70% van de maximaal toelaatbare overstromingskans volgend uit de normstelling.

Daartoe worden de schematisaties uit toetslaag 2a gebruikt. Voor een probabilistische beoordeling zijn in principe geen andere invoergegevens noodzakelijk dan voor de semi-probabilistische beoordeling in toetslaag 2a. Op basis van resultaten uit toetslaag 2a kan wel worden besloten om meer gegevens in te winnen en of de schematisatie te verfijnen.

De Gedetailleerde toets zoals beschreven in de volgende hoofdstukken betreft toets op doorsnede-niveau (toetslaag 2a) tenzij expliciet anders is vermeld. Toetslaag 2b is per 2019 beschikbaar voor de faalmechanismen grasbekleding (erosie kruin en binnentalud), piping, macrostabiliteit binnenwaarts, duinafslag en kunstwerken (hoogte; betrouwbaarheid sluiting; sterkte en stabiliteit).

### 2.2.3 Toets op maat (toetslaag 3)

De Toets op maat is de derde toetslaag van het toetsinstrumentarium waarin locatie specifieke analyses kunnen worden uitgevoerd. Alleen het proces van deze toetslaag wordt voorgeschreven. De exacte inhoud van de analyses volgt uit de verschillende stappen van het proces. Het proces bestaat uit drie stappen:

1. Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.
2. Beoordelen effectiviteit analyses (wegen de kosten van de analyse op tegen de baten, het potentieel voorkomen van verbeteringswerken).
3. Uitvoeren nadere, locatie specifieke geavanceerde analyse.

Voor het uitvoeren van de locatie specifieke analyses binnen de Toets op maat gelden de volgende uitgangspunten:

- Nadere analyses in de Toets op maat kunnen variëren van eenvoudig tot geavanceerd en van deterministisch tot probabilistisch.
- De beheerder is verantwoordelijk voor de kwaliteitsborging (veelal kan worden volstaan met verwijzing naar een geaccepteerd rapport).
- Door het programma WTI 2017 worden achtergrondrapporten opgesteld met handvatten voor geavanceerde analyses. Ook bestaande technische rapporten en handreikingen bevatten handvatten voor nadere analyses.

Analyses in de Toets op maat worden niet ondersteund door de binnen het WTI programma beschikbaar gestelde software.

De Toets op maat zal zich de komende jaren verder ontwikkelen, voor de meest actuele stand van de Toets op maat kan de Helpdesk water te worden geraadpleegd.

### 2.2.4 Indirecte mechanismen

Voor de indirecte mechanismen, de aan het voorland gerelateerde mechanismen en de niet waterkerende objecten, zijn de toetssporen enigszins afwijkend. Hierbij worden de volgende niveaus onderscheiden:

1. Toetslaag 1: De bijdrage van de indirecte mechanismen is verwaarloosbaar klein op basis van de eenvoudige toets van het indirecte mechanismen.
2. Toetslaag 2: De bijdrage van de indirecte mechanismen op de overstromingskans bepaald met voorgeschreven modellen en is voldoende klein.
3. Toetslaag 3: Als scenario meenemen in de Toets op maat per direct mechanisme of met locatie specifieke methode aantonen dat de indirecte mechanismen niet bijdragen aan de overstromingskans.

## 2.3 Hydraulische en overige belastingen

Als onderdeel van het uitvoeren van de toetsing dienen per toetsspoor de relevante belastingen op de waterkering te worden bepaald. In deze paragraaf worden de belastingen genoemd. Hoe de belasting moet worden meegenomen is voorgeschreven in het HR Technisch deel. Het afleiden van hydraulische belastingen wordt ondersteund door software en de schematiseringshandleidingen. Grofweg worden twee type belastingen onderscheiden:

- Hydraulische belastingen.
- Overige belastingen.

### 2.3.1 Hydraulische belastingen

De hydraulische belastingen worden gevormd door:

- Waterstanden inclusief waterstandverlopen en lokale toeslagen.
- Windgolven.
- Stroming.

Voor de verschillende mechanismen en toetslagen worden deze belastingen beschreven door het HR Technisch deel.

### 2.3.2 Overige belastingen

Overige belastingen kunnen worden omschreven als invloeden of processen die de stabiliteit van de kering bedreigen, anders dan hydraulische belastingen, zoals:

- Wind.
- IJs.
- Verkeer.
- Aanvaringen.
- Hydraulische belasting als gevolg van scheepvaart.
- Aardbevingen en aardshokken.

#### *Wind*

De indirecte invloed van wind op de waterkeringen via waterstand en golven is onderdeel van de berekening van de hydraulische belastingen. De invloed van wind is in het geval van zandtransport door wind bij zeekeringen en golfvervorming en/of spray bij golfoverslag verdisconteerd in de toetsregels.

Windbelasting is van invloed op verschillende faalmechanismen via Niet Waterkerende Objecten (NWO's). In het geval van windbelasting, die via bomen en niet-waterkerende constructies wordt overgebracht op de waterkering dient per geval te worden nagegaan wat het effect is van de windbelasting voor de stabiliteit van het grondlichaam, er vanuit gaande dat omwaaien en ontworteling van begroeiing en bezwijken van de fundering van constructies niet zullen voorkomen. Daarnaast is de windbelasting van invloed op het falen van NWO's (ontworteling van begroeiing of bezwijken van de fundering van constructies). De Technische Rapporten geven aan hoe de invloed van de windbelasting op NWO's in rekening moet worden gebracht.

#### *IJs*

In Nederland bestaat geen regelgeving omtrent de wijze waarop bij het ontwerpen en toetsen van grondconstructies rekening moet worden gehouden met ijsbelasting. Bij constructies wordt kruierend ijs of drijvend ijs meegenomen als belasting. In de Leidraad kunstwerken is dit omschreven (TAW, 2003).

#### *Verkeer*

Verkeersbelasting wordt niet in rekening gebracht binnen het faalmechanisme Macrostabiliteit binnenwaarts. Opgemerkt wordt dat binnen de zorgplicht moet worden geregeld wanneer de dijk moet worden afgesloten voor zwaar verkeer. Voor het toetsspoor Macrostabiliteit Buitenwaarts dient de verkeersbelasting meegenomen te worden. De wijze waarop dit dient te gebeuren staat beschreven in de Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit.

### *Aanvaringen*

Aanvaringen worden als toetsbelasting voor grondlichamen in dit voorschrift niet meegenomen, wel bij de toetsing van afsluitmiddelen in kunstwerken (toetsspoor sterkte en stabiliteit (waterkerende) kunstwerken. Drijvend vuil en wrakhout zijn in het algemeen te klein om serieuze schade aan een grondlichaam of een bekleding te veroorzaken; beschadiging van een grasbekleding is wel mogelijk, maar wordt niet behandeld in het kader van de toetsing.

### *Hydraulische belasting als gevolg van scheepvaart*

De waterbeweging als gevolg van langsvarende schepen bestaat uit:

- Een primaire scheepsgolf: frontgolf, tijdelijke waterspiegeldaling en haalgolf.
- Een secundaire scheepsgolf: boeg- en/of hekgolf.
- Stroming: retourstroom en stroming door de schroefstraal.

In het algemeen zal een scheepsgeïnduceerde belasting geen rol spelen bij de toetsing. Mocht een beheerder hierover in twijfel verkeren, dan wordt aanbevolen contact op te nemen met de Helpdesk Water.

Het herstellen van eventuele schade door scheepsgeïnduceerde belastingen valt onder normaal beheer.

### *Aardbevingen en aardschokken*

Voor delen van Nederland zijn natuurlijke en geïnduceerde aardbevingen niet uit te sluiten. Het kan overwogen worden dit aspect bij het ontwerp van versterkingen mee te wegen, maar aardbevingen maken nog geen deel uit van het huidige VTV. Daarbij gelden de volgende overwegingen:

- Bij primaire keringen is de kans op samenloop van een (bijna-)maatgevend hoogwater met een voldoende sterke aardbeving vermoedelijk zeer klein.
- Het VTV vraagt uitgekristalliseerde kennis en regelgeving, die in eenduidige beslis- en rekenregels is te vatten. Hiervan is nu nog geen sprake. Op het gebied van aardbevingen zijn zowel kennis als regelgeving nu nog sterk in beweging: inzichten rond maatgevende aardbevingsbelasting en de afbakening van aardbevingsgevoelige gebieden zijn elk (half)jaar grondig veranderd, en de NPR-NEN-Eurocode-regelgeving die hiervan gebruik maakt is nog volop in ontwikkeling.
- Daarnaast zijn de kennisleemtes nog zeer groot, zowel op het gebied van aardbevingsbelasting, als van de respons van waterkeringen en hun ondergrond.

Wanneer gereede vermoedens bestaan en aangetoond kan worden dat de overstromingskans primair door aardbevingen wordt bepaald, dan kan hiermee in een Toets op Maat en (wanneer versterken meer kans op goedkeuring geeft dan kennisontwikkeling en onzekerheidsreductie) een versterkingsontwerp rekening worden gehouden.

## **2.4 Algemeen proces van schematiseren**

De wijze hoe een voor een specifiek faalmechanisme de modelschematisatie dient te worden opgezet is beschreven in de in paragraaf 1.1 genoemde schematiseringshandleidingen. Het proces van schematiseren over de toetslagen 1 tot 3 gaat van grof naar fijn. In deze paragraaf wordt dit beschreven. De wijze waarop een stochastische ondergrond-schematisatie moet worden meegenomen in de (volledige) schematisatie en het uiteindelijke toetsresultaat staat beschreven in Bijlage A.

#### 2.4.1 Schematisatie stappenplan

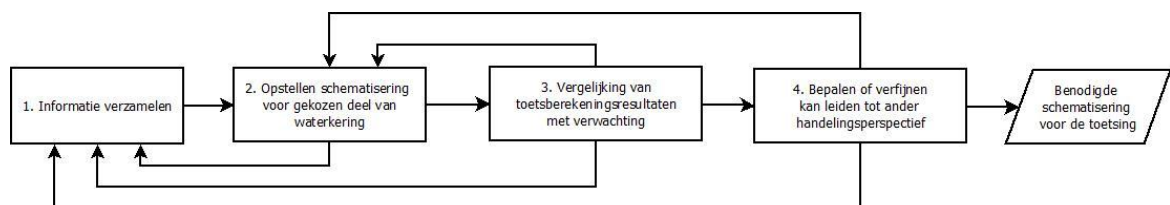
Doel bij het schematiseren voor de toetsing is om te komen tot een schematisering waarbij verder verfijning van de schematisering niet meer leidt tot een toetsoordeel waarbij een andere handelingsperspectief volgt.

Het schematiseren zal per toetsspoor gebeuren en bestaat uit de volgende stappen:

- 1 Het verzamelen van de relevante informatie over de waterkering met betrekking tot het toetsspoor.  
De faalmechanebeschrijving en parameterlijst geven aan welke informatie relevant kunnen zijn voor het schematiseren van het toetsspoor. Onder informatie wordt de breedste zin van het woord verstaan: onder andere meetgegevens, waarnemingen, ervaringen, eerdere schematisaties en analyses (of analyseresultaten). Het verzamelen van informatie hoeft niet uitputtend te worden uitgevoerd. De toetser maakt op basis van technisch inhoudelijke kennis en ervaring een afweging tussen de verwachte benodigde informatie en benodigde inspanning om te komen tot de gewenste schematisering. Mocht het in een vervolgstap noodzakelijk zijn om meer informatie in te winnen, dan kan die informatie alsnog en gericht worden ingewonnen.  
Het vastleggen van deze informatie is gewenst, maar geen onderdeel van de toetsing.
- 2 Het opstellen van een schematisering voor een gekozen deel van de waterkering op basis van de verzamelde relevante informatie over de waterkering.  
Een schematisering heeft altijd betrekking op een gekozen deel van de waterkering. Andersom geldt dat de eigenschappen in het gekozen deel van de waterkering de schematisering bepaald. De toetser stelt op basis van technisch inhoudelijke kennis en ervaring van het toetsspoor de schematisering op. De toetser maakt in feite een technisch inhoudelijke onderbouwde vertaling van de verzamelde relevante informatie naar een schematisering.  
Hierbij dienen de aanwijzingen in de schematiseringshandleidingen als hulpmiddel voor het op objectieve en uniforme wijze te komen tot een schematisering. Gemotiveerd afwijken van de aanwijzingen kan in bepaalde gevallen nodig zijn.  
Bij het schematiseren werkt de toetser van grof naar fijn. Het is vaak niet nodig om een zeer verfijnde schematisering op te stellen. De toetser maakt op basis van technisch inhoudelijke kennis en ervaring een inschatting van de benodigde mate van fijnheid van de schematisatie om te komen tot het benodigde toetsresultaat. Ook kan er een afweging worden gemaakt in inspanning om eerst met een beperkte inspanning grof te schematiseren en daarna met een gerichte inspanning de schematisering te verfijnen of om direct een relatief grotere inspanning te leveren om te komen tot een verfijnde schematisatie.  
Schematiseringskeuzes dienen te zijn onderbouwd en vastgelegd op basis van de verzamelde informatie. Bij het schematiseren dient niet alleen rekening gehouden te worden met de beschikbare informatie, maar ook met de onzekerheden door het ontbreken van informatie. De schematisering gaat uit van waarschijnlijkheden: de reële situatie zoals die aanwezig is zonder veiligheid of conservatisme. Onzekerheden of variatie komen tot uitdrukking in de spreiding. Binnen deze stap kunnen er iteraties zijn met betrekking tot de schematisering en de gekozen deel van de waterkering.  
In deze stap kan ook besloten worden dat er onvoldoende informatie beschikbaar is om (een deel) van de schematisatie in de gewenste fijnheid op te kunnen stellen. In dat geval gaat de toetser terug naar stap 1 en wint de benodigde informatie alsnog in.

- 3 Het vergelijken van de toetsberekingsresultaten met de verwachtingen op basis van de verzamelde informatie en de technisch inhoudelijk kennis en ervaring van de toetser. Om te kunnen beoordelen of een schematisering goed is, is een vergelijking tussen de toetsberekingsresultaten op basis van de schematisering en de verwachtingen van de toetser nodig. Hierbij is ook kennis en ervaring nodig van de gebruikte toetsberekingsmodellen: het berekeningsresultaat kan ook afwijken van de verwachting door het gebruikte model. De toetser moet het resultaat van deze vergelijking vastleggen en zo nodig de schematisering aanpassen. Hiervoor gaat de toetser terug naar stap 2. De toetser moet bedacht zijn dat de schematisering onder verschillende belastingsituaties de verwachte toetsberekingsresultaten geeft. Ook in deze stap kan besloten worden dat er onvoldoende informatie beschikbaar is om (een deel) van de schematisatie goed op te kunnen stellen. In dat geval gaat de toetser terug naar stap 1 en wint de benodigde informatie alsnog in.
- 4 Het bepalen of het verfijnen van een schematisering kan leiden tot een toetsoordeel waarbij een ander handelingsperspectief volgt. In deze stap wordt bepaald of het mogelijk is om door het verfijnen van de schematisering te komen tot een verfijnde toetsoordeel waarbij de keringbeheerder andere maatregelen zal nemen dan zonder verfijning. De toetser kan hiertoe gevoeligheidsanalyses uitvoeren om te bepalen of verfijningen van delen van de schematisatie of geschematiseerde eigenschappen van de waterkering leiden tot verfijnde toetsoordeel. En of bij deze toetsoordeel een ander handelingsperspectief volgt. De toetser dient daarbij rekening te houden met de noodzakelijke onderbouwing van de mogelijke verfijning gebaseerd op (in te winnen) informatie. Kan de verfijning niet met informatie aangetoond worden, dan is de verfijning van de schematisering niet mogelijk. Als het verfijnen van een schematisering nog kan leiden tot een toetsoordeel waarbij een ander handelingsperspectief volgt, dan moet de schematisering worden verfijnd. De toetser gaat dan terug naar stap 1 om de benodigde informatie voor de onderbouwing van de verfijning in te winnen, of naar stap 2 om op basis van reeds beschikbare informatie de schematisatie te verfijnen. Als het verfijnen niet meer leidt tot een ander handelingsperspectief dan dient dit onderbouwd te worden vastgelegd. Het schematiseren en verfijnen van de schematisering voor het faalmechanisme en/of toetsspoor voor het gekozen deel van de waterkering wordt dan beëindigd.

De flowchart van de schematiseringstappen is hieronder gegeven.



Figuur 2.4 Proces van schematisering weergegeven in de vorm van een flowchart



#### 2.4.2 Type duiding bekledingen ten behoeve van schematisatie

Er bestaat een grote diversiteit aan bekledingsconstructies. Tabel 2.5 bevat een uitgebreid overzicht van voorkomende bekledingstypes. Het overzicht is ontleend aan Leidraad Zee- en Meerdijken (TAW, 1999).

Van de zeven clusters komen grasbekledingen, steenzettingen en asfaltbekledingen het meest voor op primaire waterkeringen. De toetsregels voor deze drie hoofdgroepen worden daarom behandeld in dit VTV:

- Asfaltbekledingen in de hoofdstukken 7 en 8.
- Grasbekledingen in de hoofdstukken 9 t/m 12.
- Steenzettingen in hoofdstuk 13.

De andere vier hoofdgroepen komen sporadisch voor en dan bovendien meestal in minder zwaar belaste zones. Desondanks is het nodig om ook deze bekledingen te toetsen. Tabel 2.5 geeft een eerste ingang voor de betreffende rekenregels. Aangezien doorgroeistenen normaliter alleen bij wijze van overgangsconstructie tussen een harde bekleding en grasbekleding worden toegepast worden deze niet in dit VTV behandeld.

Op een dijk kunnen verschillende dijkbekledingen naast elkaar aanwezig zijn. Alle bekledingen op buitentalud, kruin en binnentalud moeten worden beoordeeld. Daarbij wordt verondersteld dat door het uitvoeren van regulier onderhoud er geen schades aan de bekleding aanwezig zijn door andere oorzaken dan de hydraulische belastingen. Schades als gevolg van vandalisme, aanvaringen of temperatuureffecten (bijvoorbeeld open daglassen bij een asfaltbekleding) worden dus buiten beschouwing gelaten. Met de kwaliteit van de bekleding tot aan de peildatum wordt wel rekening gehouden. Denk daarbij aan:

- Hoe dicht de elementen van een steenzetting opeen zijn gezet.
- Geringere topplagdikte als gevolg van vorstschade bij specifieke zettingen van natuursteen.
- De kwaliteit van de grasmatten.
- De mate van materiaaldegradatie voor asfaltbekledingen.

Tabel 2.5 Overzicht typen dijkbekledingen. LZM = Leidraad Zee- en Meerdijken, 1999; HRD = Handreiking Dijkbekledingen, 2015, deel 1: Algemeen (Rijkswaterstaat, Royal HaskoningDHV, Deltares, 2015); deel 2: Steenzettingen (Rijkswaterstaat, Royal HaskoningDHV, Deltares, 2015a); deel 3: Asfaltbekledingen (Rijkswaterstaat, Royal HaskoningDHV, Deltares, 2015b); deel 4: Breuksteenbekledingen (Rijkswaterstaat, Deltares, 2015); \*G... = GEBU, GEKB, GABU en GABI; \*\* = Handreiking innovatie (Knoeff, et al., 2013)

Cluster • Type bekleding	Toetsspoor/ Literatuur
<b>Gras</b> • Gezaaid gras • Graszoden en graszaad/zoden in kunststofmatten • Doorgroeistenen	*G... *G... *G...
<b>Losgestorte materialen</b> • Bestorting van grof grind en andere granulaire materialen • Breuksteen (stortsteen) • Breuksteen als overlaging van bestaande steenzetting bekleding	HRD4 HRD4 HRD2
<b>Verpakte bekledingen</b> • Grove granulaire materialen c.q. breuksteen verpakt in metaalgaas • Fijne granulaire materialen c.q. zand/grind verpakt in geotextiel	LZM LZM
<b>Gezette bekledingen en blokkenmatten</b> • Betonblokken met afgeschuinde hoeken of gaten erin • Betonblokken zonder openingen • Blokkenmatten met openingen • Blokkenmatten zonder openingen • Betonnen doorgroeistenen • Gezette basalt • Gezette betonzuilen • Gezette natuursteen	ZST ZST HRD2 HRD2 HRD2 ZST ZST ZST
<b>Betonbekledingen</b> • Betonplaten in situ gestort • Colloïdaal beton (open structuur) • Betonplaten prefab • Breuksteen, gepenetreerd met cementbeton of colloïdaal beton (vol en zat) • Breuksteen, gepenetreerd met cementbeton of colloïdaal beton (patroonpenetratie)	LZM LZM LZM LZM LZM
<b>Asfaltbekledingen</b> • Waterbouw-asfaltbeton • Asfaltmastiek • Dicht steenasfalt • Geprefabriceerde open steenasfaltmatten (eventueel) met wapening • Open steenasfalt • Zandasfalt (toplaag of onderlaag) • Breuksteen, gepenetreerd met asfalt (vol en zat) • Gezette baksteen/betonsteen/basalt, gepenetreerd met asfalt (vol en zat) • Breuksteen, gepenetreerd met asfalt (patroonpenetratie)	AGK, AWO AGK, AWO AGK, AWO AGK, AWO  AGK, AWO AGK, AWO AGK, AWO  ZST HRD3
<b>Innovatieve bekledingen</b> • Polymeergebonden breuksteen	HRD1/** (Arcadis, 2015)

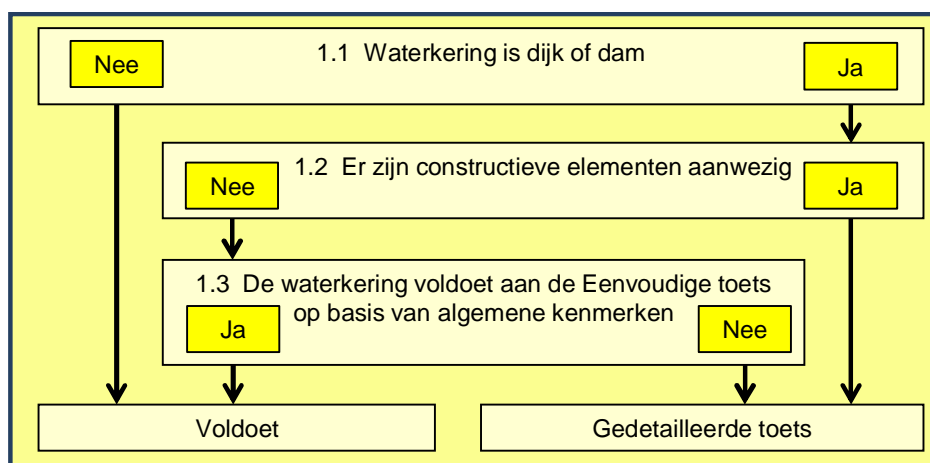
### 3 Macrostabiteit binnenwaarts, STBI

De beoordeling op macrostabiteit vindt plaats volgens de getrapte procedure zoals beschreven in paragraaf 2.2. In dit hoofdstuk worden de drie stappen voor het toetspoo macrostabiteit (STBI) beschreven. Het betreft hier de stabiliteit van een grondmoot, niet de stabiliteit van de bekleding of toplagen.

#### 3.1 Eenvoudige toets macrostabiteit binnenwaarts

De eenvoudige toets bestaat, zoals in Figuur 3.1 is aangegeven, uit drie stappen:

- Stap 1.1 en 1.2: Relevantietoets op basis van type kering.
- Stap 1.3: Toets op basis van algemene kenmerken.



Figuur 3.1 Toetschema eenvoudige toets macrostabiteit binnenwaarts (STBI)

#### Stap 1.1: Waterkering is dijk of dam.

Als de waterkering wordt gevormd door een grondlichaam anders dan een duin, dan dient de toets te worden vervolgd met Stap 1.2. Anders is het oordeel Voldoet voor dit faalmechanisme, en zal het grondlichaam dienen te worden getoetst als duinwaterkering (hoofdstuk 14).

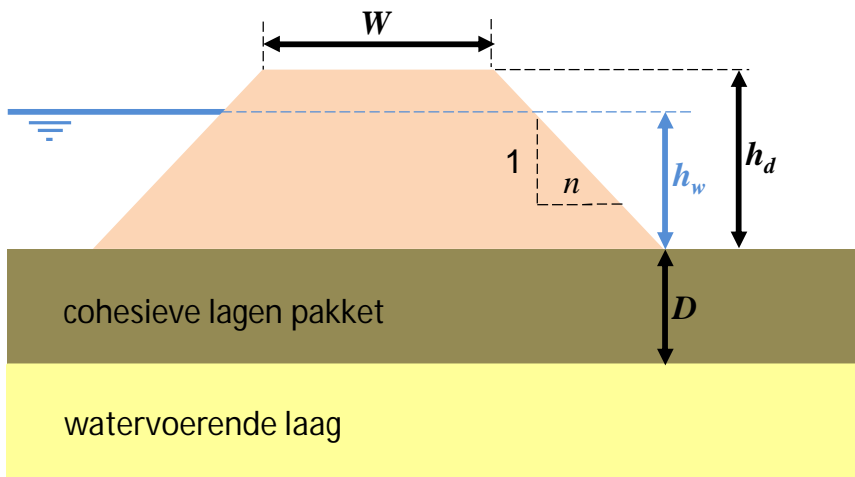
#### Stap 1.2: Er zijn constructieve elementen aanwezig.

Wanneer het grondlichaam voor de binnenwaartse stabiliteit sterkte ontleent aan constructieve elementen (ankers, nagels, damwanden etc.) of kunstmatig versterkte grondkolommen of lagen (bijvoorbeeld Mixed in Place of versterkt veen) kan de eenvoudige toets niet worden toegepast en dient verder te worden gegaan met de gedetailleerde toets.

#### Stap 1.3: De waterkering voldoet aan de eenvoudige toets op basis van algemene kenmerken.

In de eenvoudige toets wordt nagegaan of op basis van de geometrie kan worden gesteld of voldoende restprofiel overblijft na het optreden van een afschuiving. Als voldoende restprofiel aanwezig is, dan voldoet de waterkering aan de eenvoudige toets op basis van geometrische kenmerken (faalkans verwaarloosbaar klein). Deze toets kan worden uitgevoerd wanneer er sprake is van een kleidijk, of zanddijk met kleiafdekking. Wanneer in de dijk veenlagen aanwezig zijn op een niveau hoger dan het binnendijks maaiveldniveau mag stap 1.3 niet worden uitgevoerd en dient verder te worden gegaan met toetslaag 2.

Als de dijk voldoende hoog is in vergelijking met de waterhoogte die moet worden gekeerd, dan vindt de toets plaats op basis van grafieken, zogenaamde contourplots. Deze zijn opgesteld op basis van een groot aantal berekeningen voor dijken van zand en van klei met uiteenlopende geometrieën. De geometrische parameters van de dijk die van belang zijn voor het aflezen van de contourplots zijn in Figuur 3.2 weergegeven.



Figuur 3.2 Overzicht geometrische kenmerken dijk

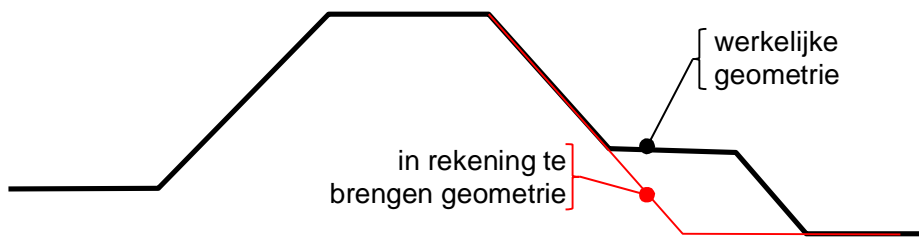
Hierbij geldt:

- $W$  Kruinbreedte [m]; range van 3 tot 30 m.
- $n$  Cotangens van de helling van het binnentalud;  $n$  in de range van 1 tot 6.
- $h_d$  Dijkhoogte boven maaiveld binnendijks [m].
- $D$  Dikte cohesieve lagen pakket [m].
- $h_w$  Hoogte buitenwaterstand boven maaiveld binnendijks, waarbij de waterstand dient te worden toegepast behorende bij de overschrijdingskans gelijk aan de normoverstromingskans [m].

Het oordeel mag alleen op de contourplots worden gebaseerd als de kruinbreedte en de helling van het binnentalud vallen binnen de bij deze parameters aangegeven ranges, en als de waterhoogte die de dijk keert kleiner of gelijk is aan  $2/3$  van de hoogte van het dijklichaam:

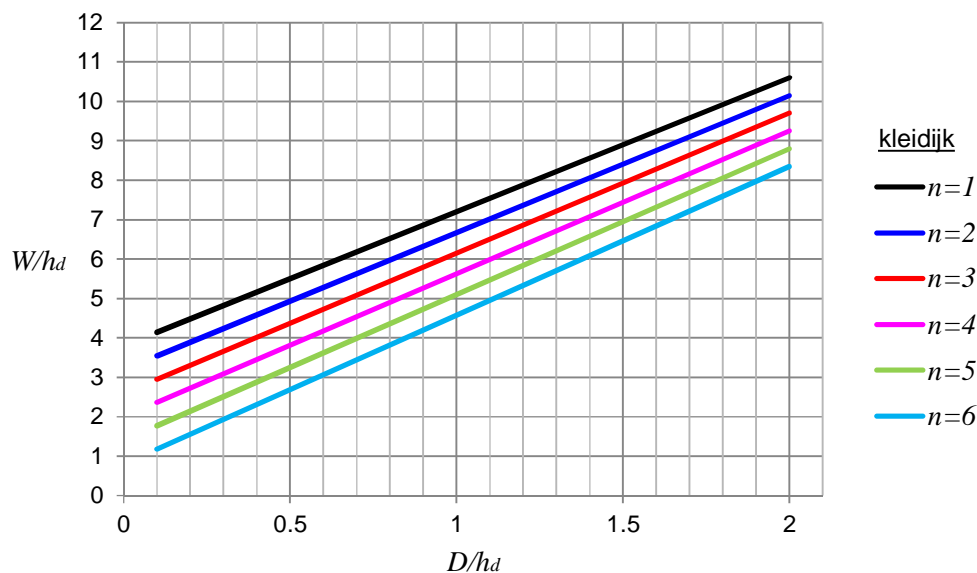
$$h_w \leq \frac{2}{3} h_d \quad \text{Vgl 3.1}$$

Wanneer langs de binnenteenlijn een berm aanwezig is, moet voor de beoordeling uitgegaan worden van een dwarsprofiel waarbij de berm achterwege is gelaten, zie Figuur 3.3. Als bekend is dat de berm is aangelegd in verband met problemen met de binnenwaartse stabiliteit heeft een eenvoudige beoordeling zonder berm geen zin en kan uiteraard direct worden doorgedaan met de Gedetailleerde toets. Hoe rekening te houden met een eventuele watergang (sloot) nabij de binnenteen is uitgelegd in de schematiseringshandleiding.



Figuur 3.3 In de Eenvoudige toets te hanteren geometrie in geval van een binnenberm

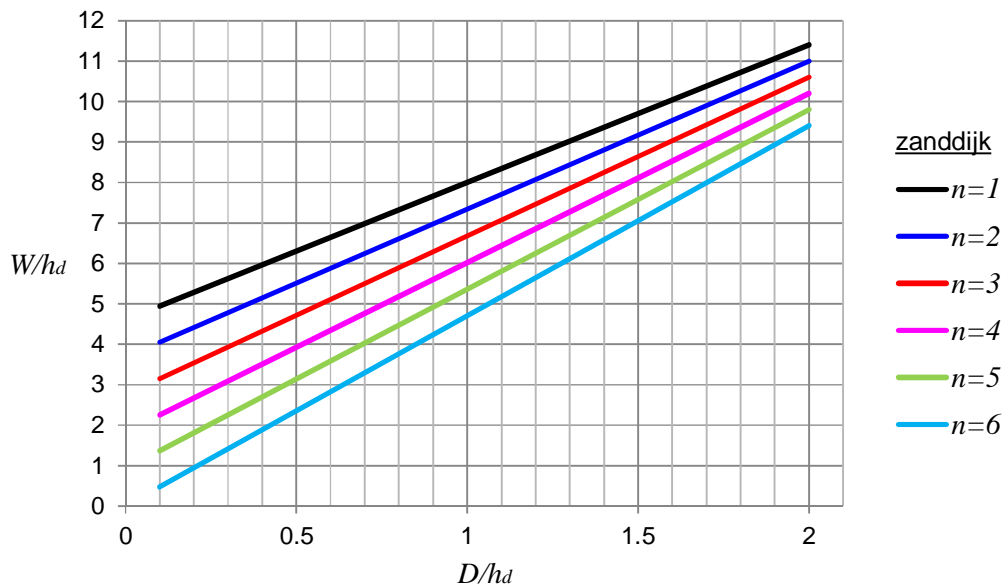
In Figuur 3.4 en Figuur 3.5 zijn de contourlijnen weergegeven. Er is onderscheid gemaakt in een kleidijk en een zanddijk. Een zanddijk met een kleiafdekking dient te worden getoetst als zanddijk. Wanneer sprake is van een gemengde opbouw van de dijk en veenlagen zijn uitgesloten dienen de veilige afmetingen voor zanddijken te worden gebruikt.



Figuur 3.4 Veilige afmetingen kleidijk

In beide figuren is op de verticale as het quotiënt van de kruinbreedte  $W$  en de dijkhoogte  $h_d$  weergegeven. Op de horizontale as staat het quotiënt van de dikte van de cohesieve lagen  $D$  en de dijkhoogte  $h_d$ . De gekleurde lijnen geven de lijnen voor de specifieke taludhellingen 1:  $n$ , met  $n = 1$  tot  $n = 6$ .

Aan de toets van de veilige afmetingen wordt voldaan wanneer te keren waterhoogte kleiner of gelijk is aan  $2/3$  van de dijkhoogte en de dijk kan worden gekarakteriseerd door een punt met de coördinaten  $D/h_d$  en  $W/h_d$  boven de lijn die hoort bij de helling van het binnentalud. Wanneer de te keren waterhoogte groter is of het punt voor de dijk lager ligt dan de lijn behorende bij de helling van het binnentalud, dan wordt niet voldaan aan de veilige afmetingen. De toetsing wordt dan voortgezet met de Gedetailleerde toets.



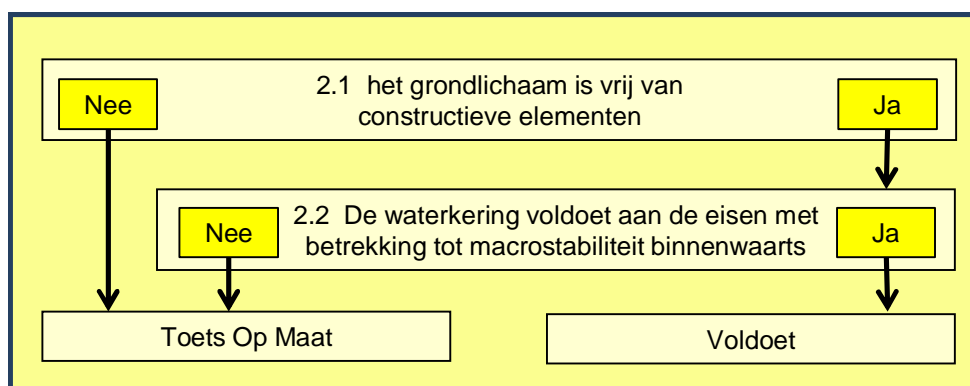
Figuur 3.5 Veilige afmetingen zanddijk

### 3.2 Gedetailleerde toets macrostabiliteit binnenwaarts

In de gedetailleerde toets wordt falen gedefinieerd als het afschuiven van een grondmoot waardoor de kruin van de dijk wordt verlaagd en functieverlies van de waterkering zal optreden. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving (t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1.

De gedetailleerde toets bestaat, zoals in Figuur 3.5 aangegeven uit twee stappen:

- Stap 2.1: Toepassingsvoorwaarde voor de gedetailleerde toets.
- Stap 2.2: Toets op basis van een berekening van de stabiliteitsfactor.



Figuur 3.6 Toetsschema Gedetailleerde toets macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)

Stap 2.1: Het grondlichaam is vrij van constructieve elementen die een bijdrage leveren aan de stabiliteit van de waterkering.

Wanneer het grondlichaam voor de binnenwaartse stabiliteit vrij is van constructieve elementen (ankers, nagels, damwanden etc.) en kunstmatig versterkte grondkolommen of grondlagen (bijvoorbeeld Mixed in Place of versterkt veen) kan de Gedetailleerde toets

worden toegepast. Indien er wel sprake is van constructieve elementen die een bijdrage leveren aan de stabiliteit van de waterkering, dan dient verder te worden gegaan met de Toets Op Maat.

Stap 2.2: Voldoet de waterkering aan de eisen met betrekking tot macrostabiliteit binnenwaarts.

Functieverlies wordt beoordeeld door in toetslaag 2a.1 te toetsen of de berekende faalkans kleiner of gelijk is aan de faalkansruimte die voor dit mechanisme is gereserveerd, zie Figuur 2.3. In toetslaag 2b wordt gecontroleerd of de berekende faalkans voor het dijktraject kleiner of gelijk is aan de maximaal toelaatbare faalkans. Voor het berekenen van de binnenwaartse stabiliteit wordt gebruik gemaakt van glijvlakanalyses volgens de methode LiftVan. De beoordeling dient te worden uitgevoerd met behulp van de door het WTI programma beschikbaar gestelde software. De wijze waarop de analyse moet worden uitgevoerd staat beschreven in de schematiseringshandleiding en achterliggende Leidraden en Technische Rapporten. Voor de schematisering van de ondergrond moet gebruik worden gemaakt van de in het kader van WTI-2017 ter beschikking gestelde software.

Binnen de programma software worden voor een doorsnede meerdere scenario's doorgerkend. In Bijlage A wordt aangegeven hoe met deze scenario's wordt omgegaan.

De berekende faalkans per doorsnede wordt voor toetslaag 2a gevonden op basis van de berekende stabiliteitsfactoren per scenario. Op basis van de onderstaande correlatie worden de benaderde faalkansen teruggerekend vanuit de berekende evenwichtsfactor. Hierbij wordt uitgegaan van de navolgende relatie tussen faalkans en stabiliteitsfactor:

$$P_{f;i}^* = \Phi \left( - \frac{\left( \frac{F_{d;i}}{\gamma_d} \right) - 0,463}{0,161} \right) \quad \text{Vgl 3.2}$$

Waarin:

$P_{f;i}^*$  Benaderde faalkans voor scenario  $i$  [1/jaar].

$\Phi()$  Kansfunctie [1/jaar].

$F_{d;i}$  Berekende stabiliteitsfactor voor een scenario  $i$ , gebaseerd op de rekenwaarde voor de schuifsterkte (karakteristieke waarde gedeeld door materiaalfactor) [-].

$\gamma_d$  Modelfactor [-].

De materiaal- en modelfactoren benodigd voor deze analyses staan beschreven in de schematiseringshandleiding.

Om te komen tot de kans op falen van de doorsnede moet de faalkans per scenario worden vermenigvuldigd met de kans op dat scenario en dat product moet voor alle scenario's worden gesommeerd:

$$P_{f;dsn}^* = \sum_{i=1}^n (P(S_i) \square P_{f;i}^*)$$

Waarin:

$P(S_i)$  Kans van voorkomen van een scenario  $i$  [-].

$P_{f;dsn}^*$  Berekende faalkans per doorsnede [1/jaar].

$P_{f;i}^*$  Berekende faalkans bij scenario  $i$  [1/jaar].

De berekende (benaderde) faalkans wordt getoetst aan de toelaatbare faalkans ( $P_{eis;dsn}$ ) bepaald met Vgl 2.1, zie hoofdstuk 2.2.2.

Aan de gedetailleerde toets wordt voldaan wanneer de berekende faalkans per dijkvak kleiner of gelijk is aan de toelaatbare faalkans per doorsnede of op vakniveau.

Indien de berekende faalkans groter is dan de toelaatbare faalkans dient verder te worden gegaan met toetslaag 2b en daarna met de Toets op maat.

### 3.3 Toets op maat macrostabiliteit binnenwaarts

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.

Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).

Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Technische mogelijkheden voor de Toets op maat staan beschreven in de diverse achtergrondrapporten, zie paragraaf 1.1. Mogelijke nadere analyses zijn:

- Bewezen sterkte onderzoeken (parameter optimalisatie op basis van waarnemingen van overleefde hoge waterstanden).
- Toepassen van Eindige Elementen Modellen (EEM).
- Toepassen tijdsafhankelijk grondwaterstromingsmodellen voor schematiseren waterspanningen.
- In rekening brengen van reststerkte van de waterkering.



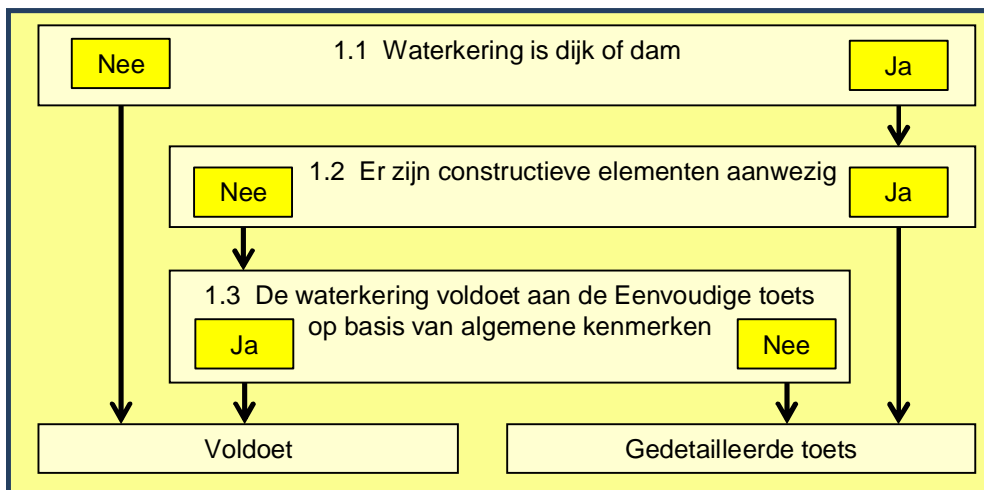
## 4 Macrostabiteit buitenwaarts, STBU

De beoordeling op macrostabiteit vindt plaats volgens de getrapte procedure zoals beschreven in paragraaf 2.2. In dit hoofdstuk worden de drie stappen voor het toetsspoor macrostabiteit buitenwaarts (STBU) beschreven. Het betreft hier de stabiliteit van een grondmoot, niet de stabiliteit van de bekleding of toplagen.

### 4.1 Eenvoudige toets macrostabiteit buitenwaarts

De eenvoudige toets bestaat, zoals in Figuur 4.1 aangegeven, uit drie stappen:

- Stap 1.1 en 1.2: Relevantietoets op basis van type kering.
- Stap 1.3: Toets op basis van algemene kenmerken.



Figuur 4.1 Toetsschema Eenvoudige toets macrostabiteit buitenwaarts (STBU)

#### Stap 1.1: Waterkerend is dijk of dam.

Als de waterkering wordt gevormd door een grondlichaam anders dan een duin, dan dient de toets te worden vervolgd met Stap 1.2. Anders is het oordeel 'Voldoet'.

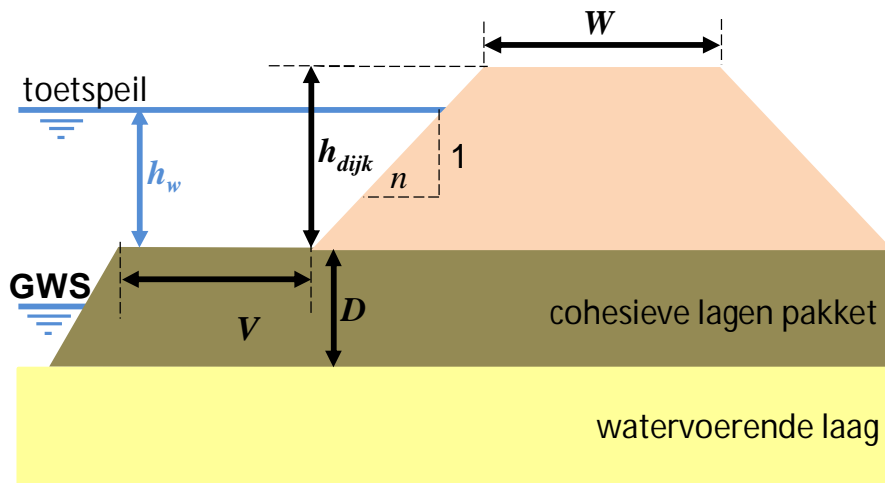
#### Stap 1.2: Er zijn constructieve elementen aanwezig.

Wanneer het grondlichaam voor de buitenwaartse stabiliteit sterkte ontleent aan constructieve elementen (ankers, nagels, damwanden etc.) of kunstmatig versterkte grondkolommen of lagen (bijvoorbeeld Mixed in Place of versterkt veen) kan de eenvoudige toets niet worden toegepast en dient verder te worden gegaan met de gedetailleerde toets.

#### Stap 1.3: De waterkering voldoet aan de eenvoudige toets op basis van algemene kenmerken.

In de eenvoudige toets wordt nagegaan of op basis van de geometrie kan worden gesteld of voldoende restprofiel overblijft na het optreden van een afschuiving. Als voldoende restprofiel aanwezig is, dan voldoet de waterkering aan de eenvoudige toets op basis van geometrische kenmerken (faalkans verwaarloosbaar klein). Deze toets kan worden uitgevoerd wanneer er sprake is van een kleidijk, of zanddijk met kleiafdekking. Wanneer in de dijk veenlagen aanwezig zijn op een niveau hoger dan het binnendijks maaiveldniveau mag stap 1.3 niet worden uitgevoerd en dient verder te worden gegaan met toetslaag 2.

Als de dijk voldoende hoog is in vergelijking met de waterhoogte die moet worden gekeerd, dan vindt de toets plaats op basis van grafieken, zogenaamde contourplots. Deze zijn opgesteld op basis van een groot aantal berekeningen voor dijken van zand en van klei met uiteenlopende geometrieën. De geometrische parameters van de dijk die van belang zijn voor het aflezen van de contourplots zijn in Figuur 3.2 weergegeven.



Figuur 4.2 Overzicht geometrische kenmerken dijk

Hierbij geldt:

- $W$  Kruinbreedte [m]; range van 3 tot 30 m.
- $V$  Breedte van het voorland [m].
- $n$  Cotangens van de helling buitentalud;  $n$  in de range van 1 tot 6.
- $h_{dijk}$  Dijkhoogte boven maaiveld buitendijks [m].
- $D$  Dikte cohesieve lagen pakket [m].
- $h_w$  Hoogte buitenwaterstand boven maaiveld binnendijks waarbij de waterstand dient te worden toegepast behorende bij de overschrijdingskans gelijk aan de normoverstromingskans [m].

Het oordeel mag alleen worden toegepast wanneer aan alle drie de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- De kruinbreedte en de helling van het binnentalud vallen binnen de bij deze parameters aangegeven ranges,
- de waterhoogte die de dijk keert is kleiner of gelijk aan  $2/3$  van de hoogte van het dijklichaam:

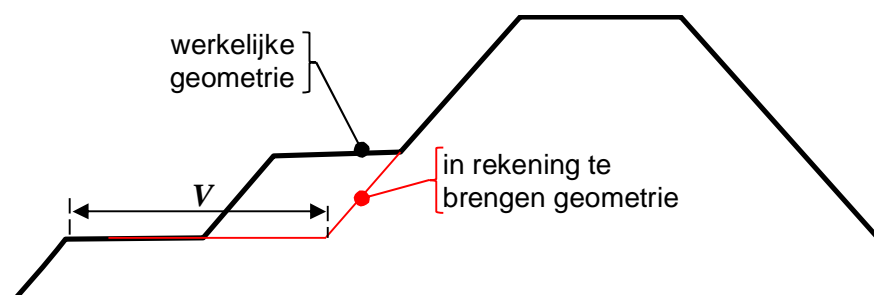
$$h_w \leq \frac{2}{3} h_d \quad \text{Vgl 4.1}$$

- De breedte van het voorland is minimaal 2 keer de hoogte van de waterkering:

$$V \geq 2h_d \quad \text{Vgl 4.2}$$

Wanneer langs de buitenteenlijn een berm aanwezig is, moet voor de beoordeling uitgegaan worden van een dwarsprofiel waarbij de berm achterwege is gelaten, analoog aan de beoordeling macrostabiliteit binnenwaarts zie Figuur 4.3. Hoe rekening te houden met een

eventuele watergang (sloot) nabij de buitenteen is uitgelegd in de schematiserings-handleiding.



Figuur 4.3 In de Eenvoudige toets te hanteren geometrie in geval van een buitenberm

De beoordeling is hetzelfde als die bij stap 1.3 van Macrostabieleit Binnenwaarts. Ook voor macrostabieleit buitenwaarts wordt gebruik gemaakt van de contourlijnen in Figuur 3.4 en Figuur 3.5 (hoofdstuk 3.1).

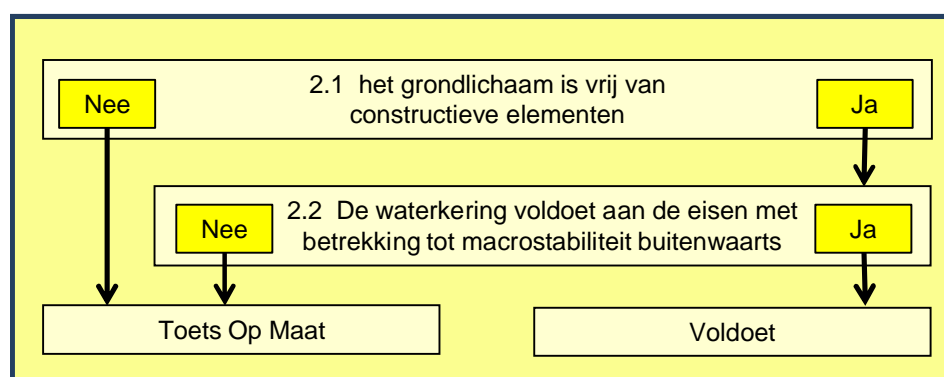
Er is onderscheid gemaakt in een kleidijk en een zanddijk. Een zanddijk met een kleiafdekking dient te worden getoetst als zanddijk. Wanneer sprake is van een gemengde opbouw van de dijk en veenlagen zijn uitgesloten dienen de veilige afmetingen voor zanddijken te worden gebruikt.

#### 4.2 Gedetailleerde toets macrostabieleit buitenwaarts

In deze gedetailleerde toets wordt falen gedefinieerd als het afschuiven van een grondmoot waardoor de kruin van de dijk wordt verlaagd en functieverlies van de waterkering zal optreden. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1.

De gedetailleerde toets bestaat, zoals in Figuur 4.4 aangegeven uit twee stappen:

- Stap 2.1: Toepassingsvoorwaarde voor de gedetailleerde toets.
- Stap 2.2: Toets op basis van een berekening van de stabiliteitsfactor.



Figuur 4.4 Toetsschema Gedetailleerde toets macrostabieleit buitenwaarts (STBI)

##### Stap 2.1: Het grondlichaam is vrij van constructieve elementen die een bijdrage leveren aan de stabiliteit van de waterkering.

Wanneer het grondlichaam voor de buitenwaartse stabiliteit vrij is van constructieve elementen (ankers, nagels, damwanden etc.) en kunstmatig versterkte grondkolommen of grondlagen (bijvoorbeeld Mixed in Place of versterkt veen) kan de Gedetailleerde toets

worden toegepast. Indien er wel sprake van is van constructieve elementen die een bijdrage leveren aan de stabiliteit van de waterkering, dan dient verder te worden gegaan met de Toets Op Maat.

Stap 2.2: Voldoet de waterkering aan de eisen met betrekking tot macrostabiliteit buitenwaarts.

Functieverlies wordt beoordeeld door in toetslaag 2a.1 te toetsen of de berekende faalkans groter of gelijk is aan de faalkansruimte voor dit mechanisme. Voor het berekenen van de buitenwaartse stabiliteit wordt gebruik gemaakt van glijvlakanalyses volgens de methode LiftVan.

De wijze waarop de analyse moet worden uitgevoerd staat beschreven in de schematiseringshandleiding en achterliggende Leidraden en Technische Rapporten. Voor de schematisering van de ondergrond moet gebruik worden gemaakt van de in het kader van WTI-2017 ter beschikking gestelde software.

Om tot een toetsoordeel te komen, worden voor een doorsnede meerdere scenario's doorgerkend. In Bijlage A wordt aangegeven hoe met deze scenario's wordt omgegaan.

De berekende faalkans per doorsnede wordt voor toetslaag 2a.1 gevonden op basis van de berekende stabiliteitsfactoren per scenario. Op basis van de onderstaande correlatie worden de benaderde faalkansen teruggerekend vanuit de berekende evenwichtsfactor. Hierbij wordt uitgegaan van de navolgende relatie tussen faalkans en stabiliteitsfactor:

$$P_{f;i}^* = \Phi \left( \frac{\left( \frac{F_{d;i}}{\gamma_d} \right) - 0,463}{0,161} \right) \quad \text{Vgl 4.3}$$

Waarin:

$P_{f;i}^*$	Benaderde faalkans voor scenario $i$ [1/jaar].
$\Phi()$	Kansfunctie [1/jaar].
$F_{d;i}$	Berekende stabiliteitsfactor voor een scenario $i$ , gebaseerd op de rekenwaarde voor de schuifsterkte (karakteristieke waarde gedeeld door materiaalfactoren) [-].
$\gamma_d$	Modelfactor [-].

De materiaal- en modelfactoren benodigd voor deze analyses staan beschreven in de schematiseringshandleiding.

Om te komen tot de kans op falen van de doorsnede moet de faalkans per scenario worden vermenigvuldigd met de kans op dat scenario en dat product moet voor alle scenario's worden gesommeerd:

$$P_{f;dsn}^* = \sum_{i=1}^n (P(S_i) \square P_{f;i}^*) \quad \text{Vgl 4.4}$$

Waarin:

$P_{f;dsn}^*$	Berekende faalkans per doorsnede [1/jaar].
$P(S_i)$	Kans van voorkomen van een scenario $i$ [-].

$P_{f,i}^*$  Berekende faalkans bij scenario  $i$  [1/jaar].

De berekende (benaderde) faalkans wordt getoetst aan de toelaatbare faalkans ( $P_{eis;dsn}$ ) bepaald met Vgl 2.2, zie hoofdstuk 2.2.2.

Aan de gedetailleerde toets wordt voldaan wanneer de berekende faalkans per dijkvak kleiner of gelijk is aan de toelaatbare faalkans per doorsnede of op vakniveau.

Indien de berekende faalkans groter is dan de toelaatbare faalkans dient verder te worden gegaan met toetslaag 2b en daarna met de Toets op maat.

#### 4.3 Toets op maat macrostabiliteit buitenwaarts

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.

Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).

Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Technische mogelijkheden voor de Toets op maat staan beschreven in de diverse achtergrondrapporten. Mogelijke nadere analyses zijn:

- Bewezen sterkte onderzoeken (parameter optimalisatie op basis van waarnemingen van overleefde hoge waterstanden).
- Toepassen van Eindige Elementen Modellen (EEM).
- Toepassen tijdsafhankelijk grondwaterstromingsmodellen voor schematiseren waterspanningen.
- In rekening brengen van de reststerkte van de waterkering.

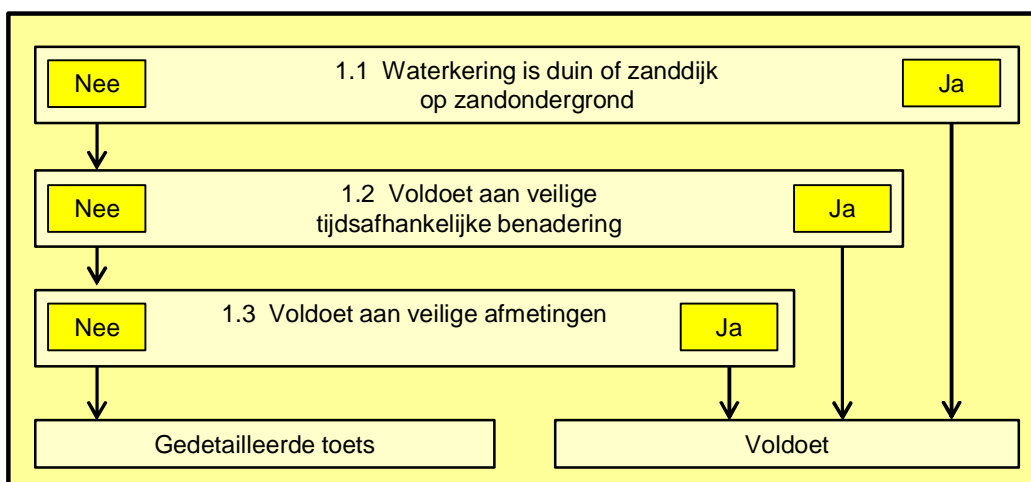
## 5 Piping, STPH

De beoordeling van de weerstand tegen piping vindt plaats volgens de getrapte procedure zoals beschreven in paragraaf 2.2. In dit hoofdstuk worden de drie stappen voor het toetspooor piping (STPH) beschreven.

### 5.1 Eenvoudige toets piping

De eenvoudige toets bestaat, zoals in Figuur 5.1 aangegeven, uit drie stappen:

- Stap 1.1: Relevantietoets op basis van ondergrondkenmerken.
- Stap 1.2: Toets op tijdsafhankelijke benadering.
- Stap 1.3: Toets op basis van geometrische kenmerken.



Figuur 5.1 Toetsschema Eenvoudige toets piping STPH

#### Stap 1.1: Waterkering is een duin of zanddijk op een zandondergrond.

Piping treedt niet op bij een zanddijk op een goed doorlatende ondergrond, waarbij direct onder de zool van de zanddijk geen slecht doorlatende (klei en/of veen) lagen aanwezig zijn. In de schematiseringshandleiding wordt aangegeven hoe dit kan worden aangetoond, in het SOS staat aangegeven welke ondergrondscenario uitgaan van een zandlaag direct onder maaiveld.

Bij zanddijken op een goed doorlatende ondergrond moet worden opgemerkt dat er bij de aanleg van een dijk een sliblaagje kan zijn achtergebleven waaronder een voor piping mogelijk kritieke kwelweg zou kunnen ontstaan. In dat geval is geen sprake van een zanddijk op een goed doorlatende ondergrond en dient de toetsing te worden voortgezet met Stap 1.2.

In geval van twijfel over de opbouw van de dijk moet worden uitgegaan van een kleidijk. Indien kan worden aangetoond dat de dijk aan binnenwaartse zijde bestaat uit een zandlichaam, bijvoorbeeld door binnendijkse of vierkante verzwaring in zand, dan mag voor het toetsen van piping worden uitgegaan van een zanddijk.

Stap 1.2 De dijk voldoet op basis van een eenvoudige tijdsafhankelijk benadering

Indien aan alle vijf volgende criteria wordt voldaan, zal binnen de duur van hoogwater geen doorgaande pipe ontstaan. De bijdrage aan de overstromingskans is daardoor verwaarloosbaar en het dijkvak 'Voldoet' aan de eisen met betrekking tot piping. De voorwaarden zijn:

- Er is aantoonbaar in het verleden geen zandmeevoerende wel waargenomen.
- In calamiteitenplannen wordt rekening gehouden met maatregelen die moeten worden genomen wanneer twee extreme hoogwatergolven achter elkaar optreden.
- Er is geen sprake van een aansluiting op een constructie of van een doorgaande leiding onder de kering.
- Rivierafvoer speelt geen rol bij het verval over de kering.
- Kwelweglengte is groter dan 50 m.

Wordt aan ten minste één van deze voorwaarden niet voldaan, dan wordt de toetsing voortgezet met Stap 1.3.

Stap 1.3: De dijk voldoet aan de eenvoudige toets op basis van veilige afmetingen.

Bij een bepaalde verhouding tussen kwelweglengte en het waterdrukverschil over de waterkering kan piping zeker niet optreden. De verhouding is afhankelijk van de dikte van de deklaag:

- Geen deklaag:  $L/\Delta H \geq 16\beta_{eis;dsn} - 19$
  - Dikte deklaag  $D_{deklaag} \leq 6\text{m}$   $L/\Delta H \geq 17\beta_{eis;dsn} - 29$
  - Dikte deklaag  $D_{deklaag} \geq 6\text{ m}$   $L/\Delta H \geq 17\beta_{eis;dsn} - 48$
- Vgl 5.1

Waarin:

$L$  Afstand tussen intrede- en uitredpunt [m].

$\Delta H$  Verschil tussen maatgevende buitenwaterstand en waterstand bij uitredpunt [m].

$D_{deklaag}$  Dikte slecht waterdoorlatende laag (deklaag bestaande uit klei- en/of veenlagen) boven op de pipinggevoelige zandlaag [m].

$\beta_{eis;dsn}$  Betrouwbaarheidsindex van het representatieve dwarsprofiel per dijkvak [-].

De schematiseringshandleiding beschrijft hoe de bovenstaande parameters  $L$ ,  $\Delta H$  en  $D_{deklaag}$  te bepalen. De  $\beta_{eis;dsn}$  voor de Eenvoudige toets is gegeven in de tabel in Bijlage 0.

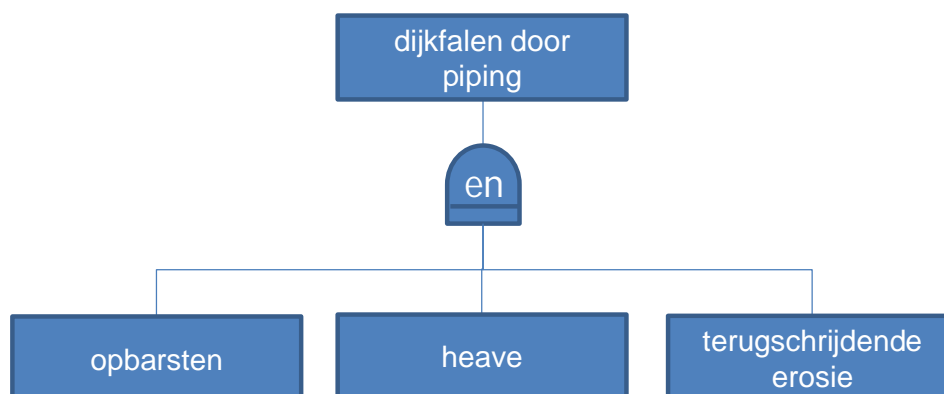
**5.2 Gedetailleerde toets piping**

In de gedetailleerde toets wordt falen als gevolg van piping gedefinieerd als het overschrijden van het kritisch verhang waarbij het progressieve erosieproces niet meer tot evenwicht komt. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1. In de gedetailleerde toets worden, zoals in Figuur 5.2 is weergegeven, de kans op optreden beoordeeld waarbij de volgende drie deelmechanismen een rol spelen:

- Opbarsten.
- Heave.
- Terugschrijdende erosie.

In de semi-probabilistische beoordeling per dijkvak (toetslaag 2a) wordt de kans op dijkfalen door piping bepaald door daarvoor de kleinste van de kans op falen door één van deze drie

deelmechanismen te nemen. Als de faalkans kleiner is dan de geëiste maximale faalkans voor het dijkvak, dan 'Voldoet' het dijkvak voor het faalmechanisme piping. De analyse wordt uitgevoerd met behulp van de door het WTI programma beschikbaar gestelde software.



Figuur 5.2 Foutenboom toetsing op piping STPH

Bij de beoordeling worden voor een dijkvak een of meerdere scenario's doorerekend, zoals is aangegeven in Bijlage A, dit geldt voor alle drie de deelmechanismen.

#### Falen voor het deelmechanisme opbarsten

Eerste voorwaarde voor het optreden van piping is het opbarsten van de deklaag. Opbarsten ontstaat wanneer de waterdruk in de zandlaag hoger wordt dan het gewicht van deklaag. De controle op opbarsten is gebaseerd op het verticaal evenwicht van de deklaag achter de dijk. Opgemerkt wordt dat als voorwaarde geldt dat de deklaag intact moet zijn en niet geperforeerd. Als bij een opgetreden hoogwater is geconstateerd dat er wellen achter de dijk aanwezig waren of als bekend is dat de deklaag plaatselijk onderbroken is, is niet voldaan aan deze voorwaarde en kan de faalkans voor dit deelmechanisme ( $P_{f;u}^*$ ) meteen op 1 worden gezet ( $P_{f;u}^* = 1,0$ ). In de schematiseringskansleiding wordt toegelicht hoe onderstaande parameters dienen te worden bepaald.

Voor opbarsten moet (per scenario) de stabiliteitsfactor met betrekking tot opbarsten ( $F_u$ ) worden bepaald. De stabiliteitsfactor is het quotiënt van het kritisch stijghoogteverschil over de deklaag en het optredend stijghoogteverschil.

$$F_u = \frac{\Delta\phi_{c,u}}{\Delta\phi} \quad \text{Vgl 5.2}$$

Waarin:

- $F_u$  Berekende stabiliteitsfactor voor het deelmechanisme opbarsten [-].
- $\Delta\phi_{c,u}$  Kritisch stijghoogteverschil over de deklaag (bij uittredepunt) [m].
- $\Delta\phi$  Optredend stijghoogteverschil over de deklaag (bij uittredepunt) [m].

Het kritisch stijghoogteverschil, de sterkte, wordt gegeven door:

$$\Delta\phi_{c,u} = \frac{D_{deklaag} (\gamma_{sat} - \gamma_{water})}{\gamma_{water}} \quad \text{Vgl 5.3}$$



Waarin:

- $D_{deklaag}$  Laagdikte van de cohesieve deklaag [m].  
 $\gamma_{water}$  Volumiek gewicht van water [kN/m<sup>3</sup>].  
 $\gamma_{sat}$  Verzadigd volumiek gewicht van de cohesieve deklaag [kN/m<sup>3</sup>].

Het optredend stijghoogteverschil, de belasting, volgt uit:

$$\Delta\phi = \phi_{exit} - h_{exit} = [\phi_{polder} + (h - \phi_{polder})r_{exit}] - h_{exit} \quad \text{Vgl 5.4}$$

Waarin:

- $\phi_{exit}$  Stijghoogte in de watervoerende laag bij uittredepunt ten opzichte van NAP [m]  
 $\phi_{polder}$  Stijghoogte in de watervoerende laag op grote afstand achter de dijk ten opzichte van NAP [m]  
 $h_{exit}$  Freatisch niveau, of hoogte van het maaiveld, bij uittredepunt ten opzichte van NAP [m]  
 $r_{exit}$  Damping- of responsfactor bij uittredepunt [-]

De faalkans voor het deelmechanisme wordt bepaald met de volgende vergelijking:

$$P_{f;u}^* = \Phi\left(-\frac{F_u + 1,5}{0,6}\right) \quad \text{Vgl 5.5}$$

Waarin:

- $F_u$  Berekende stabiliteitsfactor voor het deelmechanisme opbarsten [-].  
 $\Phi()$  Standaard normale verdeling [1/jaar].  
 $P_{f;u}^*$  Benaderde faalkans voor het deelmechanisme opbarsten [1/jaar].

#### Falen voor het deelmechanisme heave

De tweede voorwaarde voor het optreden van piping is dat de verticale stroming in het opbarstkanaal zo groot is dat de zandkorrels uit de watervoerende laag naar het maaiveld worden meegevoerd. De stabiliteitsfactor, die bepaald of het deelmechanisme heave wel of niet kan optreden, is het quotiënt van de kritische gradiënt en de optredende gradiënt in het opbarstkanaal:

$$F_h = \frac{i_{c,h}}{i} \quad \text{Vgl 5.6}$$

Waarin:

- $F_h$  berekende stabiliteitsfactor voor het deelmechanisme heave [-].  
 $i_{c,h}$  kritieke heave gradiënt = 0,3 [-].  
 $i$  berekende heave gradiënt [-].

De heave gradiënt, de belasting component, volgt uit:

$$i = \frac{\phi_{exit} - h_{exit}}{D_{deklaag}} \quad \text{Vgl 5.7}$$

Waarin:

- $\phi_{exit}$  Stijghoogte in de watervoerende laag bij uittredepunt ten opzichte van NAP [m].  
 $h_{exit}$  Freatisch niveau, of hoogte van het maaiveld, bij uittredepunt ten opzichte van NAP [m].  
 $D_{deklaag}$  Laagdikte van de cohesieve deklaag [m].

De faalkans voor het deelmechanisme wordt bepaald met de volgende vergelijking:

$$P_{f,h}^* = \Phi\left(-\frac{F_h + 1,9}{0,6}\right) \quad \text{Vgl 5.8}$$

Waarin:

- $F_h$  Berekende stabiliteitsfactor voor het deelmechanisme heave [-].  
 $\Phi()$  Standaard normale verdeling [-].  
 $P_{f,h}^*$  Benaderde faalkans voor het deelmechanisme heave [1/jaar].

#### *Falen voor het deelmechanisme terugschrijdende erosie*

Terugschrijdende erosie is een erosieproces waarbij een pipe onder de dijk ontstaat. Het erosieproces begint bij het uittredepunt. De stabiliteitsfactor, die bepaald of het deelmechanisme terugschrijdende erosie wel of niet kan optreden, is het quotiënt van het kritieke verval en het optredende verval over de kering:

$$F_p = \frac{\Delta H_c}{(h - h_{exit} - r_c D_{deklaag})} \quad \text{Vgl 5.9}$$

Hierin is:

- $\Delta H_c$  Het kritieke verval over de kering [m].  
 $F_p$  Stabiliteitsfactor voor terugschrijdende erosie [-].  
 $h$  Niveau buitenwaterstand ten opzichte van NAP [m].  
 $h_{exit}$  Freatisch niveau, of hoogte van het maaiveld, bij uittredepunt ten opzichte van NAP [m].  
 $r_c$  Reductiefactor voor de weerstand bij het uittredepunt (0,3) [-].  
 $D_{deklaag}$  Dikte van het afdekkende pakket bij het uittredepunt [m].

De sterkte, oftewel het kritiek verval over de kering ( $\Delta H_c$ ), wordt bepaald met de rekenregel van Sellmeijer.

De stabiliteitsfactoren berekend per scenario worden op basis van de onderstaande correlatie teruggerekend naar benaderde faalkansen:

$$P_{f,p}^* = \Phi\left(-\frac{F_p}{0,7} - 1,7\right) \quad \text{Vgl 5.10}$$

Waarin:

- $F_p$  Stabiliteitsfactor voor terugschrijdende erosie (piping) [-].  
 $\Phi()$  Standaard normale verdeling [1/jaar].  
 $P_{f,p}^*$  Benaderde faalkans voor deelmechanisme terugschrijdende erosie [1/jaar].

*Deelmechanismen en scenario's samen beoordelen*

Als voor elk ondergrondscenario de faalkansen voor de drie deelmechanismen zijn bepaald, moet op grond hiervan de totale faalkans van het mechanisme piping ( $P_{f,dsn}^*$  [1/jaar]) worden bepaald en vergeleken met de faalkanseis. Allereerst moet per scenario  $i$  de faalkans voor het mechanisme piping ( $P_{f,i}^*$  [1/jaar]) worden bepaald. Die faalkans voor scenario  $i$  wordt benaderd door het minimum van de kansen voor de deelmechanismen bij dat scenario:

$$P_{f,i}^* = \min(P_{f,u,i}^*; P_{f,h,i}^*; P_{f,p,i}^*) \quad \text{Vgl 5.11}$$

Door de faalkans per scenario te vermenigvuldigen met de kans op dat scenario en dat product voor alle scenario's te sommeren wordt de totale faalkans ( $P_{f,dsn}^*$  [1/jaar]) berekend, zie Bijlage A. Deze berekende faalkans dient kleiner of gelijk te zijn aan de faalkanseis voor de doorsnede ( $P_{eis;dsn}$  [1/jaar]).

$$P_{f,dsn}^* \leq P_{eis;dsn} \quad \text{Vgl 5.12}$$

De eis op doorsnedeniveau wordt als volgt afgeleid conform hoofdstuk 2.2.2:

$$P_{eis;dsn} = \frac{\omega P_{eis}}{N_{dsn}} \quad \text{Vgl 5.13}$$

Aan de gedetailleerde toets wordt voldaan wanneer de benaderde faalkans per doorsnede kleiner of gelijk is aan de toelaatbare faalkans per doorsnede.

Indien de benaderde faalkans groter is dan de toelaatbare faalkans dient verder te worden gegaan naar gedetailleerde toetslaag 2b en daarna naar de Toets op maat.

### 5.3 Toets op maat piping

Voor de Toets op maat is alleen het toetsproces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

- Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.
- Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).
- Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Mogelijke nadere analyses zijn:

- Uitvoeren van tijdsafhankelijke grondwaterstromingsberekeningen.
- In rekening brengen van heterogeniteit en ruimtelijke variatie van de ondergrond.

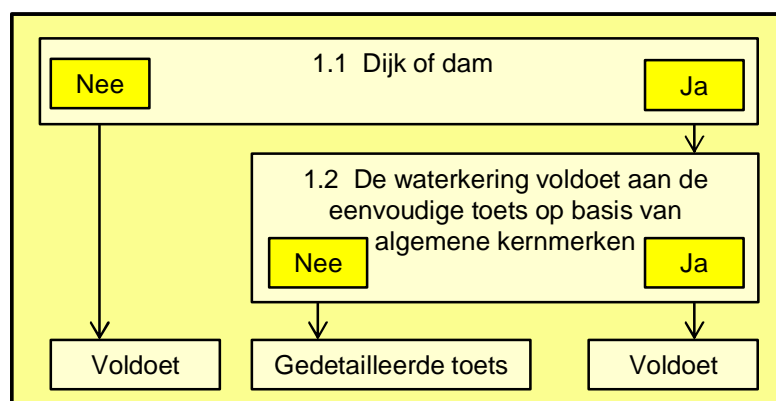
## 6 Microstabiliteit, STMI

De beoordeling op microstabiliteit vindt plaats volgens de getrapte procedure zoals beschreven in paragraaf 2.2. Beoordeeld wordt of micro-instabiliteit kan leiden tot kruinverlaging. In dit hoofdstuk worden de drie stappen voor het toetsspoor microstabiliteit (STMI) beschreven.

### 6.1 Eenvoudige toets microstabiliteit

De eenvoudige toets bestaat, zoals in Figuur 6.1 aangegeven, uit twee stappen:

- Stap 1.1: Relevantietoets op basis van type kering.
- Stap 1.2: Toets op basis van algemene kenmerken.



Figuur 6.1 Toetsschema Eenvoudige toets microstabiliteit (STMI)

#### Stap 1.1: Relevantietoets op basis van type kering.

Het mechanisme microinstabiliteit kan alleen bij dijken en dammen tot falen van de kering leiden. Voor duinen en kunstwerken is het geen relevant mechanisme en 'Voldoet' de kering aan de eisen voor microstabiliteit.

#### Stap 1.2: Toets op basis van algemene kenmerken.

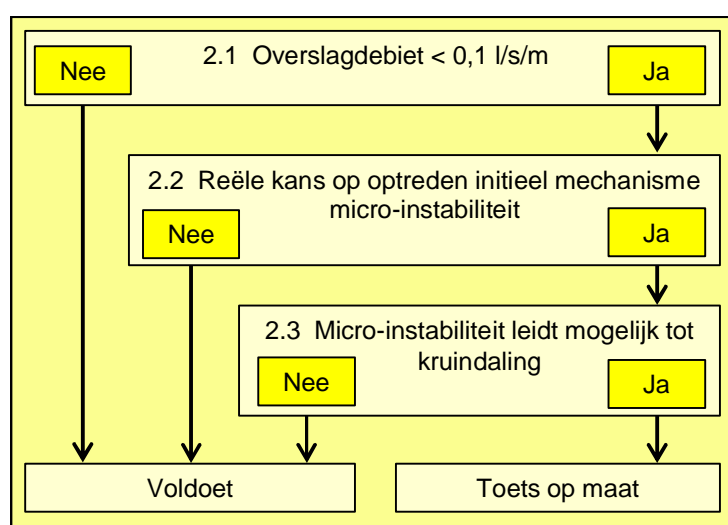
Indien aan één of meerdere van de volgende criteria wordt voldaan, is de bijdrage van microstabiliteit aan de overstromingskans verwaarloosbaar en is het oordeel 'Voldoet' voor het mechanisme microstabiliteit:

- 1 De binnenteen van de waterkering wordt in voldoende mate gedraineerd. Dit kan doordat een goed functionerende drainageconstructie in de teen van de waterkering aanwezig is.
- 2 De waterkering heeft een kleikern (slecht doorlatend) waarvan de hoogte gelijk is aan of hoger is dan de waterstand met een overschrijdingskans gelijk aan de overstromingskans en waarvan de basis aansluit op een slecht doorlatende ondergrond.
- 3 Het gehele dijklichaam binnenwaarts van de binnenkruinlijn bestaat volledig uit klei.
- 4 De waterkering is zandig en heeft een zandig binnentalud met een helling flauwer dan 1V:5H. Met zandig binnentalud wordt bedoeld een binnentalud met ongeveer gelijke doorlatendheid als de kern van de dijk. Een kleibekleding ontbreekt in dit geval.

## 6.2 Gedetailleerde toets microstabiliteit

In de gedetailleerde toets wordt falen gedefinieerd als het optreden van kruinverlaging door het optreden van een microstabiliteit. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1. De gedetailleerde toets kent, zoals in Figuur 6.2 is aangegeven, drie stappen:

- Stap 2.1: Bepalen maatgevend mechanisme.
- Stap 2.2: Beoordeling initieel mechanisme micro-instabiliteit.
- Stap 2.3: Beoordeling erosieproces dat leidt tot kruinverlaging.



Figuur 6.2 Toetsschema Gedetailleerde toets microstabiliteit STMI

### Stap 2.1 Overslagdebiet < 0,1 l/s/m.

De eerste stap bestaat uit een controle of de microstabiliteit moet worden beoordeeld. Dit gebeurt aan de hand van de grootte van het overslagdebiet. Dit debiet moet worden bepaald met behulp van de door het WTI programma beschikbaar gestelde software.

Indien het overslagdebiet bij een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de norm kleiner is dan 0,1 l/s/m dan is infiltratie van water in het binnentalud niet relevant, maar kan door het verhogen van het freatisch vlak in de dijk mogelijk wel micro-instabiliteit optreden. Dit wordt gecontroleerd in Stap 2.2.

Indien het overslagdebiet groter is dan 0,1 l/s/m, dan moet wel rekening worden gehouden met infiltratie van overslaand water, waardoor het freatisch vlak in de dijk extra snel kan stijgen. Het effect van infiltratie komt bovenop de verhoging van het freatisch vlak door een hoge buitenwaterstand en het daardoor door de dijk sijpelen van water. Met de gevolgen van infiltratie van water door het binnentalud wordt expliciet rekening gehouden bij de beoordeling van de stabiliteit van de bekleding op het binnentalud (GABI). Als het overslagdebiet groter is dan 0,1 l/s/m is de beoordeling van GABI maatgevend boven de beoordeling van de microstabiliteit.

Opgemerkt wordt dat kleidijken, of dijken die binnenwaarts van de binnenkruinlijn uit klei bestaan in stap 1 al van het oordeel 'Voldoet' zijn voorzien. Deze dijken worden bij het toetsspoor GABI echter nog wel gecontroleerd op stabiliteit.

Stap 2.2: Beoordeling optreden initieel mechanisme microstabiliteit.

In Stap 2.2 wordt met rekenregels het optreden van het mechanisme microstabiliteit beoordeeld. De rekenregels zijn beschreven in Bijlage 0. Indien wordt voldaan aan deze evenwichtsregels, dan 'Voldoet' de waterkering aan de Gedetailleerde toets voor de toetsspoor Microstabiliteit. Indien niet aan de rekenregels wordt voldaan, wordt de toetsing voortgezet met Stap 2.3.

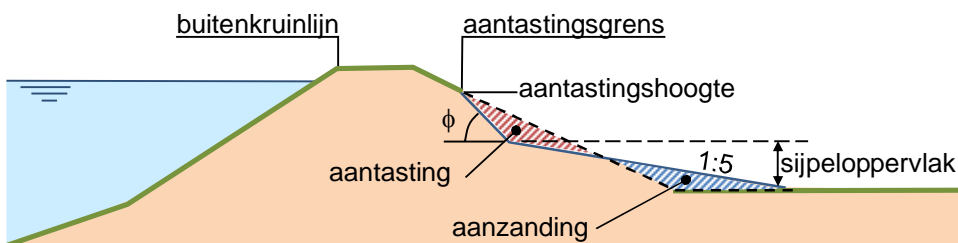
Stap 2.3: Microstabiliteit leidt mogelijk tot kruinverlaging.

Als blijkt dat micro-instabiliteit niet kan worden uitgesloten, wordt in Stap 2.3 gecontroleerd of het mechanisme ook kan leiden tot kruindaling en bresvorming met behulp van het restprofiel. Deze laatste stap kan echter ook voor stap 2.2 worden uitgevoerd om falen van de waterkering volgens dit mechanisme uit te sluiten.

De toets op basis van geometrische kenmerken gaat uit van de restprofiel benadering. Daarin wordt gecontroleerd of een restprofiel acceptabel is vanuit het oogpunt van veiligheid. Noodzakelijk voor de controle van de geometrie is de ligging van de freatische lijn in de dijk. Die bepaalt namelijk het sijnelloppervlak op het binnentalud.

Voor de bepaling van het restprofiel gelden de volgende aannamen, zie Figuur 6.3:

- Het materiaal kan niet hoger dan het sijnelloppervlak uitspoelen.
- Het weggespoelde materiaal wordt afgezet onder een evenwichtshelling van 1V:5H.
- Het hoger gelegen materiaal kan bijzakken onder een helling van het natuurlijk talud  $\phi$ .
- Het oppervlak van de aantasting in de dwarsdoorsnede moet overeenstemmen met het oppervlak van de aanzanding.



Figuur 6.3 Schadeprofiel microstabiliteit waarbij de aantasting in evenwicht moet zijn met de aanzanding

Als voldoende restprofiel aanwezig is (aantasting leidt niet tot kruindaling), dan 'Voldoet' de waterkering (faalkans verwaarloosbaar klein).

### 6.3 Toets op maat microstabiliteit

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

- Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.
- Stap 2: beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).
- Stap 3: uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Mogelijke nadere analyses betreffen opdruk-, uitspoel en/of glijvlakanalyses. De wijze waarop deze analyses kunnen worden uitgevoerd staan beschreven in het Technische rapport Waterkerende grondconstructies (TAW, 2001).

## 7 Bezijken asfaltbekleding door golfklappen (AGK)

Het toetsspoor heeft betrekking op de beoordeling van de volgende typen asfaltbekledingen:

- Waterbouw-asfaltbeton (WAB).
- Vol en zat gepenetreerde breuksteen (V&ZG).
- Asfaltmastiek.
- Dicht steenasfalt.
- Geprefabriceerde open steenasfaltmatten (eventueel) met wapening.
- Open steenasfalt.
- Zandasfalt (toplaag of onderlaag).
- Patroongepenetreerde breuksteen

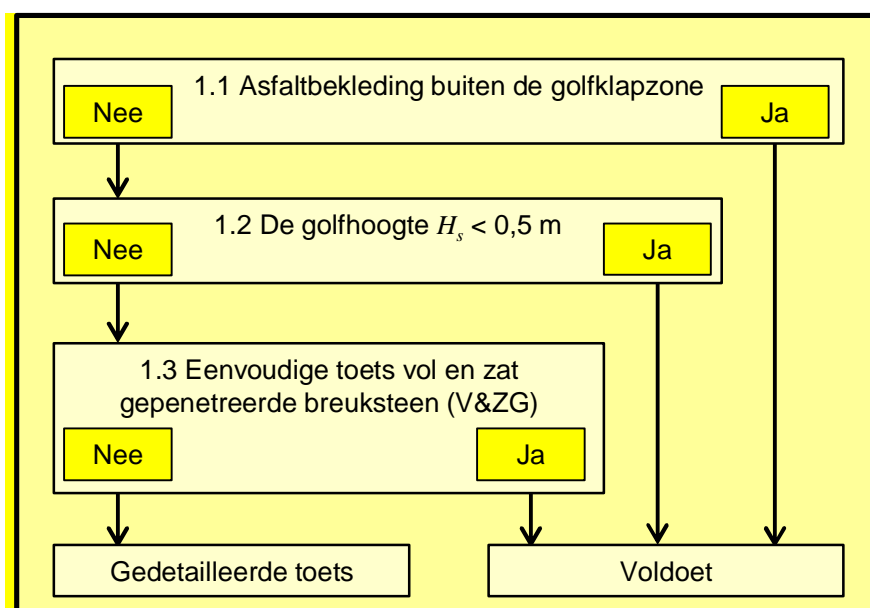
Bij de beoordeling van alle bekledingen wordt verondersteld dat die in 2023 'op orde' zijn. In de Handreiking Continu Inzicht Asfaltdijkbekledingen (STOWA/RWS, verwacht 2016) wordt gespecificeerd wat 'op orde' inhoudt door gebruik te maken van schadescores.

Bij het mechanisme golfklap wordt de vermoeiing van het asfalt tijdens een storm beoordeeld. De belasting wordt gevormd door de spanningswisselingen in de bekleding ten gevolge van gedurende de storm optredende golfklappen.

De hier beschreven beoordeling betreft alleen de bekleding op het buitentalud. Er is geen toets beschreven voor die asfaltbekledingen die slechts in de oploophoeft, op de kruin en/of op het binnentalud liggen.

### 7.1 Eenvoudige toets golfklappen

De Eenvoudige toets van AGK bestaat uit drie beslisregels. Deze staan weergegeven in het toetschema in Figuur 7.1. Indien er aan één van de drie regels wordt voldaan, dan is de bijdrage aan de overstromingskans door falen van de asfaltbekledingen door golfklappen verwaarloosbaar. Als aan geen van de regels 1.1 t/m 1.3 wordt voldaan moet beoordeling worden voortgezet met de Gedetailleerde toets.



Figuur 7.1 Toetsschema Eenvoudige toets op golfklappen (AGK)

Voor deze Eenvoudige toets zijn via de door het WTI programma beschikbaar gestelde software de volgende parameters beschikbaar:

- Waterstand  $h$  ten opzichte van NAP, het toetspeil [m].
- Golfhoogte  $H_{m0}$  [m] (wordt ook  $H_s$  genoemd).

Deze parameters worden gegeven voor verschillende overschrijdingskansen [1/jaar]. Voor deze toets moet hiervoor de norm-overstromingskans worden genomen.

Stap 1.1: De asfaltbekleding ligt buiten de golfklapzone.

Het asfalt wordt *niet* door golfklappen belast als het taluddeel geheel buiten de golfklapzone ligt. Deze golfklapzone loopt van gemiddeld laag water tot het betreffende toetspeil +  $\frac{1}{4} H_s$ , waarin  $H_s$  de significante golfhoogte [m] is.

Stap 1.2: De golfhoogte  $H_s < 0,5$  m.

Bij een significante golfhoogte kleiner dan 0,5 m treedt, bij een bekleding die 'op orde' is, geen schade door golfbelasting op.

Stap 1.3: Eenvoudige toetsregel V&ZG.

Als in het geval van vol en zat gepenetreerde (V&ZG) breuksteen de dikte van de bekleding voldoende is en de belasting niet al te extreem kan de bekleding met een eenvoudige regel worden goedgekeurd. Er sprake is van vol en zat gepenetreerde breuksteen als de bovenste laag breuksteen ten minste voor 2/3 deel is ingebed in de penetratiemortel (gietasfalt of asfaltmastiek).

De dikte van de V&ZG breuksteen is toereikend als er een steensortering van 5-40 kg of 10-60 kg met een laagdikte van  $1,5 \cdot D_{N50}$  aanwezig is, waarin  $D_{N50}$  de nominale steendiameter [m] van de breuksteensortering is. Voor de golfhoogte geldt als eis:  $H_s < 3$  m. Indien aan deze voorwaarden wordt voldaan is het oordeel voor de V&ZG breuksteenbekleding voor het beoordelingsspoor Golfklap (AGK): 'Voldoet'.

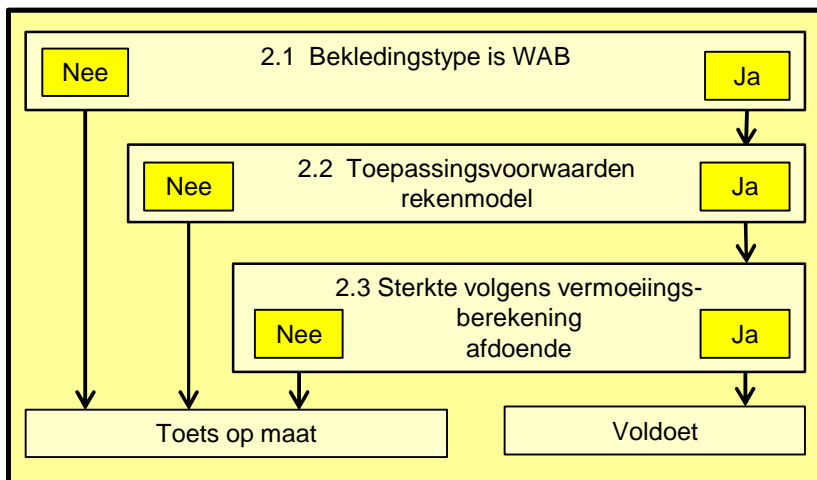
Als de bekleding niet voldoet aan de gestelde eisen, moet verder worden gegaan met de Gedetailleerde toets.

## 7.2 Gedetailleerde toets golfklappen

De Gedetailleerde toets voor het beoordelingsspoor Golfklap betreft een semi-probabilistische beoordeling, voorafgegaan door een aantal toepassingsvoorwaarden. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1.

In de Gedetailleerde toets wordt falen gedefinieerd als het begin van scheuren aan de onderzijde van het asfalt. Dit wordt beoordeeld door de cumulatieve vermoeiingsschade van het asfalt door herhaalde golfklappen te bepalen. De beoordeling dient te worden uitgevoerd met behulp van de door het WTI programma beschikbaar gestelde software als wordt voldaan aan de volgende voorwaarden, zie Figuur 7.2.





Figuur 7.2 Toetsschema Gedetailleerde toets op golfklappen (AGK)

#### Stap 2.1: Bekledingstype is WAB.

Voor een asfaltbekleding die uit één of twee lagen WAB bestaat, geeft de schematiseringshandleiding een uitgewerkte procedure om de materiaaleigenschappen te bepalen. Als de mengsamenstelling ligt tussen de grenzen zoals die voor waterbouwasfaltbeton staan vermeld in de Handreiking dijkbekledingen deel 3: asfaltbekledingen, dan dient verder te worden gegaan met Stap 2.2. Voor andere soorten asfalt is een Toets op maat nodig.

#### Stap 2.2: Toepassingsvoorwaarden rekenmodel.

Het rekenmodel dat wordt gebruikt voor de Gedetailleerde toets, kent zeven toepassingsvoorwaarden:

- $H_s \leq 3\text{m}$ . Bij extreem grote golfhoogtes leiden golfklappen mogelijk tot grondmechanisch bezwijken van de ondergrond.
- $\text{GRWS} < \text{onderrand asfaltbekleding}$ . Indien het niveau van het grondwater in de dijk onder maatgevende omstandigheden (GRWS) tot onder de asfaltbekleding aanwezig is, dan kunnen golfklappen aanleiding geven tot verwekingsverschijnselen of lokale afschuiving in de ondergrond: grondmechanisch bezwijken. Ook de in rekening te brengen stijfheid kan dan niet op de gebruikelijke manier worden vastgesteld.
- Het watersysteem betreft Westerschelde of Kust of Waddenzee of Merengebied. Alleen voor deze watersystemen zijn er door middel van kalibratie veiligheidscoëfficiënten bepaald.
- Type onderlaag of ondergrond = zand. Slechts voor de situatie waarbij er direct onder de WAB-bekleding zand aanwezig is, zijn er gekalibreerde veiligheidscoëfficiënten beschikbaar.
- Als de asfaltbekleding bestaat uit twee lagen WAB dan moeten deze goed gehecht zijn.
- Asfaltlaagdikte  $> 0,1\text{ m}$ .
- Variatiecoëfficiënt van de buigtreksterkte  $V_{ob} \leq 0,35$ . Slechts voor bekledingen met een beperkte variabiliteit in de buigtreksterkte zijn er gekalibreerde veiligheidscoëfficiënten beschikbaar.

Wordt aan al deze zeven toepassingsvoorwaarden van het rekenmodel voldaan dan dient verder te worden gegaan met Stap 2.3. Indien aan één of meerdere van deze toepassingsvoorwaarden niet wordt voldaan, wordt de beoordeling vervolgd met een Toets op maat.

Stap 2.3: Sterkte afdoende volgens de vermoeiingsberekening.

In Stap 2.3 wordt door middel van een semi-probabilistische vermoeiingsberekening met de WTI-software beoordeeld of de sterkte van de bekleding afdoende is.

De veiligheidscoëfficiënt in deze semi-probabilistische beoordeling op dijkvakniveau is afgeregeld op de voor dit mechanisme AGK gereserveerde faalkansruimte. De faalkanseis voor dit mechanisme in het betreffende dijkvak wordt bepaald met de faalkansruimtefactor voor AGK die gegeven is door:

$$\omega = \lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \quad \text{Vgl 7.1}$$

Waarin:

- $\omega$  De faalkansruimtefactor voor AGK [-].
- $\lambda_0$  Faalkansruimtefactor voor alle bekledingen (= 0,10) [-].
- $\lambda_1$  Faalkansruimtedeel gereserveerd voor de asfaltbekleding (= 0,33) [-].
- $\lambda_2$  Faalkansruimtedeel gereserveerd voor de te evalueren asfaltmechanismen (= 0,5) [-].
- $\lambda_3$  Faalkansruimtedeel gereserveerd voor asfalt belast door golfklappen (= 0,7) [-].

De lengte-effectfactor  $N_{dsn}$  volgt voor dit mechanisme uit:

$$N_{dsn} = \frac{L_{traject}}{\Delta L} \quad \text{Vgl 7.2}$$

Waarin:

- $L_{traject}$  Totale lengte van het dijktraject [m].
- $\Delta L$  Lengte van onafhankelijke dijkstrekkingen voor dit mechanisme (=1000) [m].

Getoetst wordt aan de vereiste faalkans zoals weergegeven in 2.2.2

De invoerparameters voor de vermoeiingsberekening staan beschreven in de Schematiseringshandleiding.

### 7.3 Toets op maat golfklappen

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

- Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.
- Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).
- Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Mogelijke nadere analyses betreffen:

- Onderbouwd toepassen van het rekenmodel uit de Gedetailleerde toets buiten het gebruikelijke toepassingsgebied van het model.
- Voor OSA-bekledingen kan een analyse met het rekenmodel uit de Gedetailleerde toets worden uitgevoerd, maar de bepaling van de materiaaleigenschappen en het voldoen aan de veiligheidseis vereisen specialistische aandacht.
- Volledig probabilistische analyse met het rekenmodel uit de Gedetailleerde toets.
- Analyse van de reststerkte, als de Gedetailleerde toets op AGK niet leidt tot 'Voldoet', dan kan de erosie van een eventuele onderlaag van klei in de Toets op maat worden beoordeeld.

Een analyse van de reststerkte kan vooral zinvol zijn als de asfalttoplaag ligt op een onderlaag van klei. Deze kleilaag kan na het bezwijken van de toplaag van asfalt nog een substantiële bijdrage aan de sterkte leveren. Voor het beoordelen van deze (rest)sterkte is geen specifieke rekenregel beschikbaar. Bij de beoordeling van de sterkte van de kleionderlaag kan als conservatieve benadering worden uitgegaan van de rekenmethode ontwikkeld voor de sterkte van de kleilaag onder een fragmentarische graszode.



## 8 Bezijken van asfaltbekleding door wateroverdruk (AWO)

Het toetsspoor heeft betrekking op de beoordeling van de volgende typen asfaltbekledingen:

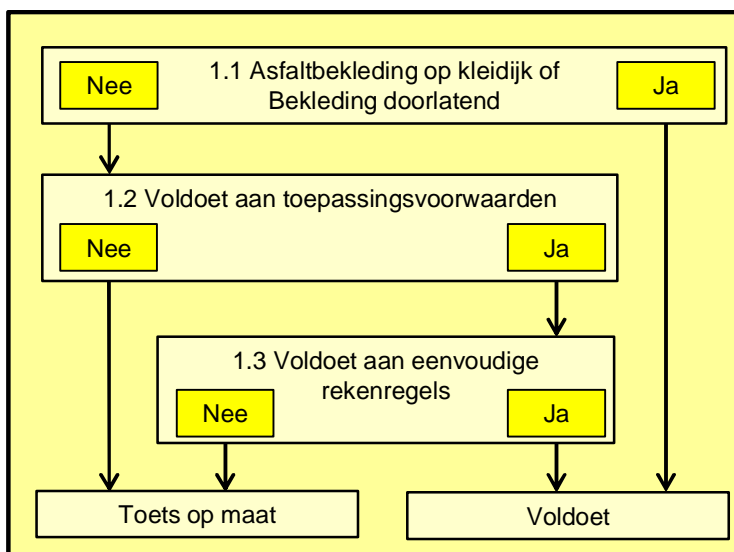
- Waterbouw-asfaltbeton (WAB).
- Vol en zat gepenetreerde breuksteen (V&ZG).
- Asfaltmastiek.
- Dicht steenasfalt.
- Geprefabriceerde open steenasfaltmatten (eventueel) met wapening.
- Open steenasfalt.
- Zandasfalt (toplaag of onderlaag).
- Patroongepenetreerde breuksteen

Bij de beoordeling van alle bekledingen wordt verondersteld dat die in 2023 'op orde' zijn. In de Handreiking Continu Inzicht Asfaltdijkbekledingen (STOWA/RWS, verwacht 2016) wordt gespecificeerd wat 'op orde' inhoudt door gebruik te maken van schadescores.

De hier beschreven beoordeling betreft alleen de bekleding op het buitentalud. Er is geen toets beschreven voor die asfaltbekledingen die slechts in de oploopzone, op de kruin en/of op het binnentalud liggen. Voor die bekledingen zal een Toets op maat moeten worden uitgevoerd.

### 8.1 Eenvoudige toets wateroverdruk

De Eenvoudige toets van AWO bestaat uit drie beslisregels. Deze staan weergegeven in het toetschema in Figuur 8.1. Als volgens deze regels niet wordt gekomen tot het oordeel 'Voldoet', moet de beoordeling worden voortgezet met de Toets op maat. Voor het beoordelingsspoor wateroverdrukken is er geen Gedetailleerde toets.



Figuur 8.1 Toetschema Eenvoudige toets op wateroverdruk (AWO)

Stap 1.1: Asfaltbekleding ligt op kleidijk of de bekleding is doorlatend.

De toets op wateroverdrukken is alleen relevant voor die (asfalt)bekledingen waarbij er sprake is van een grensvlak tussen een doorlatend dijklichaam (zand) en een veel minder doorlatende laag, bijvoorbeeld de toplaag van WAB of V&ZG.

Voor asfaltbekledingen die direct op een kleikern liggen, zijn de optredende wateroverdrukken zodanig laag dat de wateroverdrukken geen probleem opleveren. De freatische lijn in het grondlichaam stijgt nauwelijks bij kortdurende hydraulische belastingen, zoals een hoogwater bij zeedijken, en om de bekleding op te drukken moet grondwater toestromen, hetgeen in een kleidijk zodanig weinig zal zijn dat dit niet tot schade leidt. Wateroverdruk is dan geen relevant faalmechanisme en de eindscore is direct 'Voldoet'. Dit is ook het geval als de bekleding doorlatender is dan het direct daaronder gelegen zandbed.

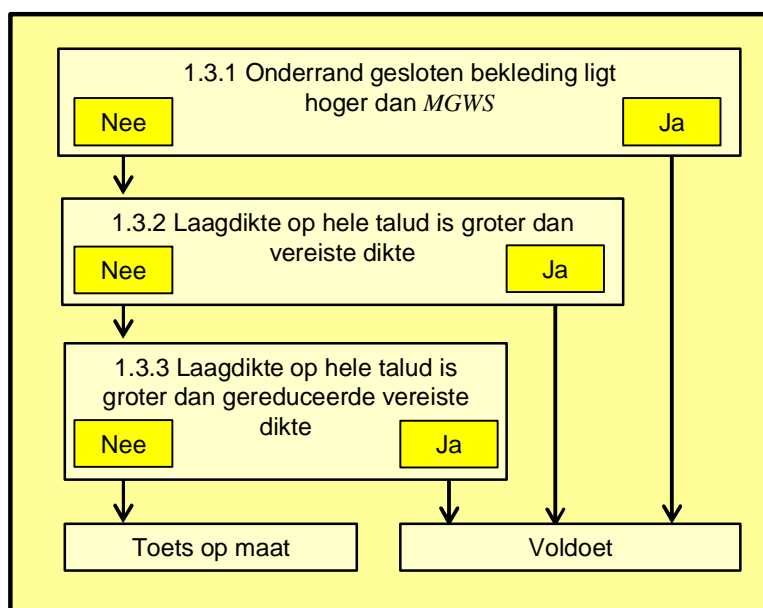
Stap 1.2: Er wordt voldaan aan toepassingsvoorwaarde geometrische toets.

Als er sprake is van één de onderstaande drie situaties, dan zijn de rekenregels van de Eenvoudige toets toepasbaar:

- A. De ondergrond en het dijklichaam bestaan uit homogeen zand of een ander materiaal met een vergelijkbare doorlatendheid. Dit is bijvoorbeeld niet het geval als er zich een (extreem) doorlatende mijnsteenкаде onder de bekleding bevindt of er sprake is van een overlaging van een doorlatende steenzetting. Ook bij een buitendijkse verzwaring (in zand) van een oude kade of dijk van klei is de eenvoudige methode niet toepasbaar, evenmin als bij de aanwezigheid van ondoorlatende lagen in de ondiepe ondergrond.
- B. Als de vorige, maar het asfalt ligt op een kleilaag van beperkte dikte (zie hiervoor de schematiseringshandleiding). De wateroverdrukken treden op tegen de onderzijde van de kleilaag. Als onder de kleilaag een kern van zand ligt, is de eenvoudige rekenmethode toepasbaar, waarbij de kleilaag als deel van de toplaag wordt meegerekend.
- C. De asfaltbekleding (eventueel met onderliggende kleilaag) is aangelegd op een dijklichaam van zand op een ondergrond met een slecht doorlatende deklaag (dikte > 1 meter), waarbij het buitentalud geheel dicht is en aansluit op de deklaag. Gebruik in dat geval als maatgevende grondwaterstand (MGWS) het niveau van de freatische lijn uit bijlage 1 van het TR waterspanningen bij dijken (TAW, 2004).

Stap 1.3: De bekleding voldoet aan de eenvoudige rekenregels.

De methode bestaat uit een vergelijking tussen de aanwezige laagdikte en de vereiste laagdikte. De vereiste laagdikte die volgt uit het evenwicht van de ondoorlatende laag loodrecht op het talud, is afhankelijk van de soortelijke massa (dichtheid), de taludhelling en het niveauverschil tussen de maatgevende grondwaterstand en de onderkant van de gesloten bekleding. De eenvoudige methode is opgedeeld in een aantal deel-toetsstappen. Per deel-toetsstap nemen de benodigde gegevens en de benodigde toetsinspanning toe, waardoor een steeds groter aantal gevallen met 'Voldoet' kan worden beoordeeld. Hiervoor dient het toetschema te worden doorlopen conform Figuur 8.2.



Figuur 8.2 Toetsschema Eenvoudige toets op wateroverdruk AWO – detaillering stap 1.3

Stap 1.3.1: De onderrand gesloten bekleding ligt hoger dan MGWS.

Wanneer de onderrand van de bekleding boven maatgevende grondwaterstand (*MGWS*) ligt is de score 'Voldoet'. In andere gevallen dient verder te worden gegaan naar de volgende toetsstap (1.3.2).

De maatgevende grondwaterstand (*MGWS*) in het dijklichaam volgt voor situatie C (zie stap 1.2) uit bijlage 1 van het TR waterspanningen en voor de situaties A en B uit:

$$MGWS = GWS + f_{MGWS} \cdot (Toetspeil - GWS) \quad \text{Vgl 8.1}$$

Waarin:

*MGWS* Maatgevende grondwaterstand ten opzichte van NAP [m].

*f<sub>MGWS</sub>* Factor maatgevende grondwaterstand [-].

*Toetspeil* Waterpeil behorende bij normstelling voor het betreffende dijkvak ten opzichte van NAP [m].

*GWS* Gemiddelde buitenwaterstand ten opzichte van NAP [m].

De waarde voor *f<sub>MGWS</sub>* is afhankelijk van het watersysteem en volgt uit tabel 5.2 uit de schematiseringshandleiding toetsing asfaltbekledingen.

Stap 1.3.2: De laagdikte op hele talud is groter dan de vereiste laagdikte.

De volgende deel-toetsstappen zijn gebaseerd op de evenwichtsbeschouwing tussen wateroverdruk en eigen gewicht van de bekleding. De zone waarin wateroverdrukken kunnen optreden is de zone tussen de maatgevende grondwaterstand (*MGWS*) in het dijklichaam en de onderrand van de gesloten bekleding. De buitenwaterstand waarbij theoretisch de overdrukken maximaal zijn (*TMWS*) ligt op een niveau 0,53 maal de afstand tussen *MGWS* en de onderrand van de gesloten bekleding beneden *MGWS* ( $v = 0,53 z$ ), zie Figuur 8.3(a). Wanneer aan het opdruk criterium wordt voldaan kan de bekleding niet worden opgedrukt. Het opdruk criterium wordt gegeven door:

$$d_a + 0,65 \cdot d_{klei} > 0,21 \cdot Q_n \cdot z \cdot \frac{\rho_w}{(\rho_a - \rho_w)} \quad \text{Vgl 8.2}$$

Waarin:

- $d_a$  Laagdikte (samengestelde) asfaltlaag [m].
- $d_{klei}$  Laagdikte onderlaag van klei [m], indien aanwezig.
- $\rho_a$  Soortelijke massa asfalt [ $\text{kg/m}^3$ ].
- $\rho_w$  Soortelijke massa water [ $\text{kg/m}^3$ ].
- $Q_n$  Factor voor de taludhelling [-].
- $z$  Hoogteverschil tussen *MGWS* en onderrand gesloten bekleding =  $a+v$  [m].
- $v$  Verticaal gemeten afstand van de maatgevende buitenwaterstand tot de maatgevende grondwaterstand (*MGWS*), zie Figuur 8.3(a) [m].
- $a$  Verticaal gemeten afstand van de onderrand van de gesloten bekleding tot de theoretisch maatgevende buitenwaterstand [m].

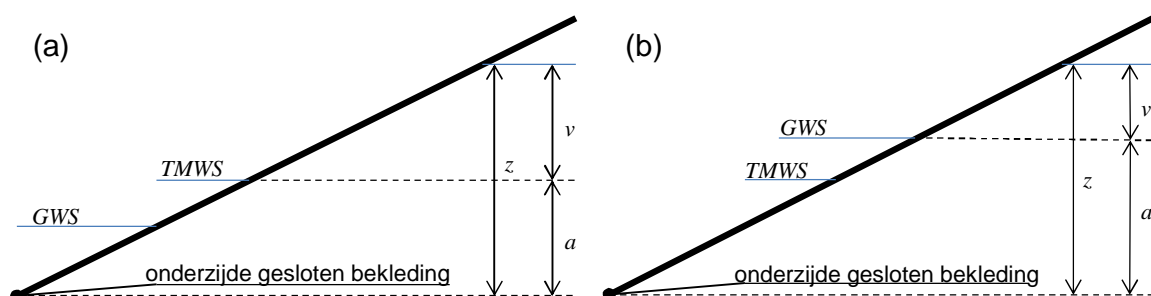
De taludhelling van de bekleding ( $\alpha$ , hoek met de horizontaal) beïnvloedt de weerstand tegen wateroverdruk. Hoe steiler de helling, hoe groter de benodigde laagdikte. Dit wordt beschreven door de factor  $Q_n$  waarvoor geldt:

$$Q_n = \frac{0,96}{(\cos(\alpha))^{1,4}}$$

Vgl 8.3

De maximaal optredende waterdruk wordt bepaald door  $z$ , dat wil zeggen het hoogteverschil tussen *MGWS* en de onderrand van de gesloten bekleding. Indien er sprake is van een waterdichte teenconstructie moet daarmee rekening gehouden worden. Dit wordt in de schematiseringshandleiding uitgewerkt.

De bekleding 'Voldoet' aan de toets op wateroverdruk wanneer wordt voldaan aan de toetsvoorwaarde weergegeven als Vgl 8.2.

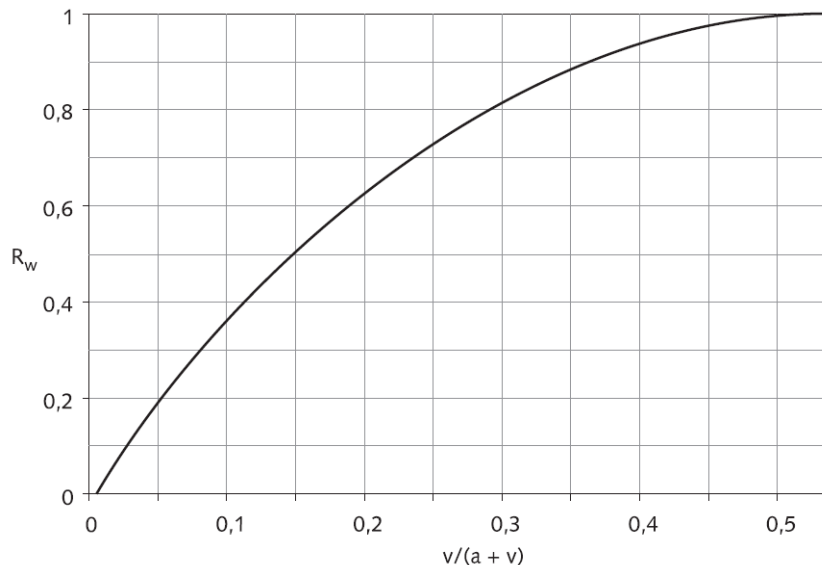


Figuur 8.3 Definitie van  $a$ ,  $v$  en  $z$  voor een relatief lage (a) en voor een relatief hoge (b) gemiddelde buitenwaterstand (*GWS*); *MGWS* = maatgevende grondwaterstand; *TMWS* = theoretisch maatgevende buitenwaterstand

### Stap 1.3.3: De laagdikte op hele talud is groter dan de gereduceerde vereiste laagdikte.

Als de theoretisch maatgevende buitenwaterstand (*TMWS*) lager ligt dan de gemiddelde buitenwaterstand (*GWS*), zie Figuur 8.3(b), dan kan de vereiste laagdikte worden gereduceerd. Deze situatie kan zich bijvoorbeeld voordoen als de onderrand van de gesloten bekleding erg laag ligt of schijnbaar erg laag ligt als gevolg van een dichte teenconstructie. Als deze situatie zich voordoet, mag een reductiefactor  $R_w$  worden toegepast op de benodigde laagdikte.  $R_w$  wordt bepaald uit de kromme van Figuur 8.4.





Figuur 8.4 Reductiefactor voor als de theoretische maatgevende buitenwaterstand lager ligt dan de gemiddelde buitenwaterstand

De bekleding ‘Voldoet’ aan de toets op wateroverdruk wanneer wordt voldaan aan de toetsvoorwaarde volgens (Vgl 8.4).

$$d_a + 0,65 \cdot d_{klei} > 0,21 \cdot Q_n \cdot z \cdot R_w \cdot \frac{\rho_w}{(\rho_a - \rho_w)} \quad \text{Vgl 8.4}$$

## 8.2 Gedetailleerde toets wateroverdruk

Voor het faalmechanisme wateroverdruk AWO is geen Gedetailleerde toets beschikbaar.

## 8.3 Toets op maat wateroverdruk

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

- Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.
- Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).
- Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Mogelijke nadere analyses betreffen:

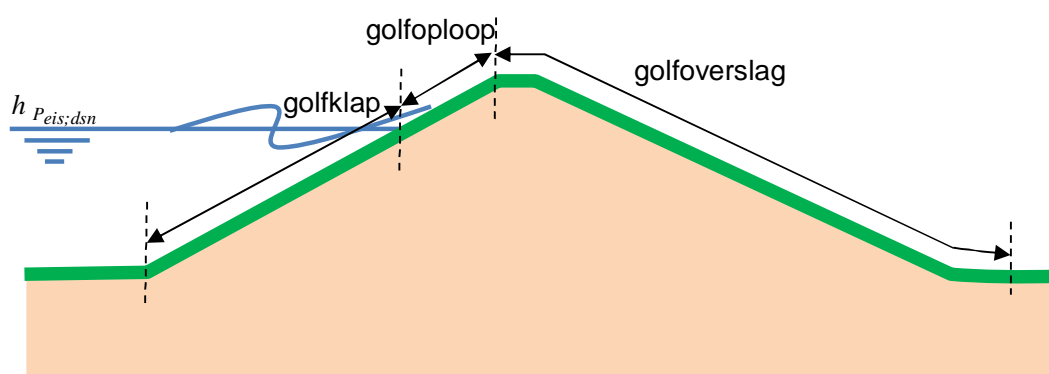
- Onderscheid maken in de eisen gesteld aan de laagdikte op basis van de hoogte op het talud, De wateroverdruk onder de bekleding is maximaal ter plaatse van de maatgevende buitenwaterstand (de theoretische waarde óf de gemiddelde waterstand). Het is echter niet noodzakelijk dat de asfaltdikte die uit Vgl 9.2 of Vgl 8.4 volgt, in het gehele dwarsprofiel aanwezig is. Aan de onderrand van de gesloten bekleding en ter hoogte van de maatgevende grondwaterstand is geen wateroverdruk aanwezig en kan de dikte geringer zijn. Deze analyse is alleen zinvol als de asfaltdikte niet overal op het talud

- dezelfde dikte heeft. Omdat dat uitzonderingsgevallen betreft is deze analyse in de Toets op maat ondergebracht.
- Aangezien de in de vuistregels gehanteerde aannamen voor de maatgevende grondwaterstand conservatief zijn, kan een nauwkeuriger bepaling van de geohydrologische randvoorwaarden in de Toets op maat worden overwogen.

## 9 Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)

De beoordeling van de grasbekledingen vindt plaats volgens de getrapte procedure zoals beschreven in paragraaf 2.2. In de hoofdstukken 9 tot en met 12 worden de drie stappen voor de toetsporen met betrekking tot grasbekledingen beschreven.

De toetsporen voor grasbekledingen hebben betrekking op en maken onderscheid in verschillende zones in het dijkprofiel, zie Figuur 9.1.



Figuur 9.1 Schematische weergave dijkprofiel met verschillende belastingzones

De verschillende belastingzones op het talud zijn als volgt gedefinieerd:

Golfklap	Tussen teen van de dijk en waterstand behorende bij de doelkans plus toeslagen.
Golfoploop	Tussen waterstand behorende bij de doelkans plus toeslagen en de buitenkruinlijn.
Golfoverslag	Kruin en binnentalud, tot en met de knik van talud naar het achterland.

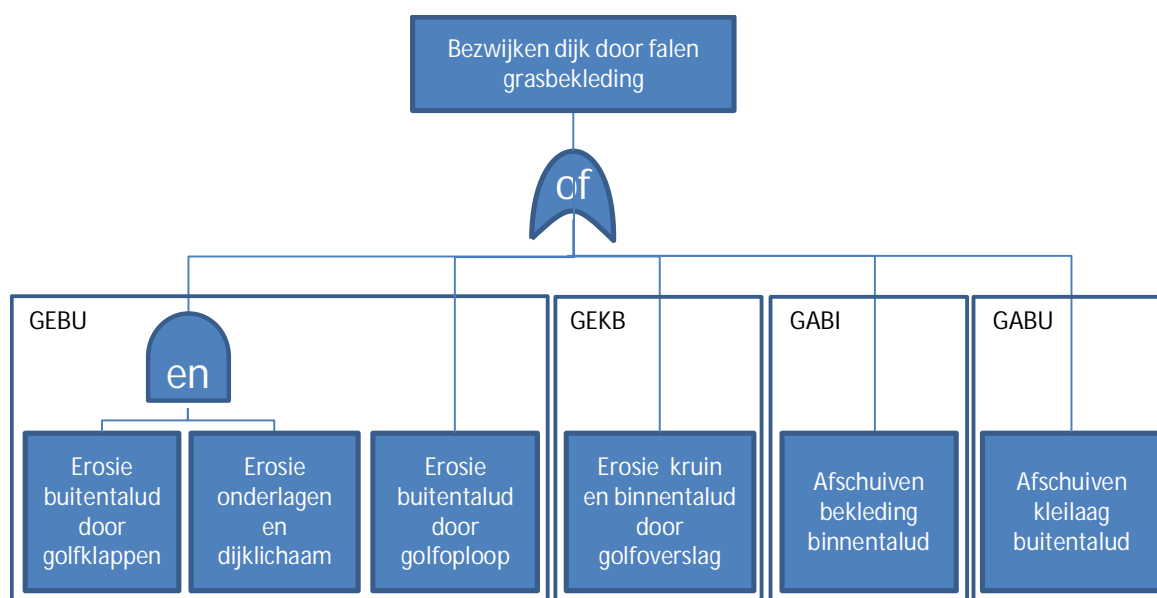
Met de “waterstand behorende bij de doelkans” wordt bedoeld de waterstand met een kans van voorkomen gelijk aan de normoverstromingskans.

In de verschillende zones wordt op de volgende mechanismen getoetst, zie Tabel 9.1.

Tabel 9.1 Overzicht belastingzones en te toetsen mechanismen voor grasbekledingen

Zone	Mechanisme	Verwijzing
Golfklap	erosie (GEBU)	Hoofdstuk 9
	afschuiven (GABU)	Hoofdstuk 10
Golfoploop	erosie (GEBU)	Hoofdstuk 9
Golfoverslag	erosie (GEKB)	Hoofdstuk 11
	afschuiven (GABI)	Hoofdstuk 12

In de hoofdstukken 9 t/m 12 worden per mechanisme de drie stappen voor het betreffende toetsporen voor grasbekledingen beschreven. In Figuur 9.2 is de relatie tussen de beoordelingssporen en de faalmechanismen voor grasbekledingen aan de hand van een foutenboom weergegeven. De vier beoordelingssporen worden voor zover er op buitentalud kruin of binnentalud een grasbekleding aanwezig is, elk apart beoordeeld en leiden elk tot een score.



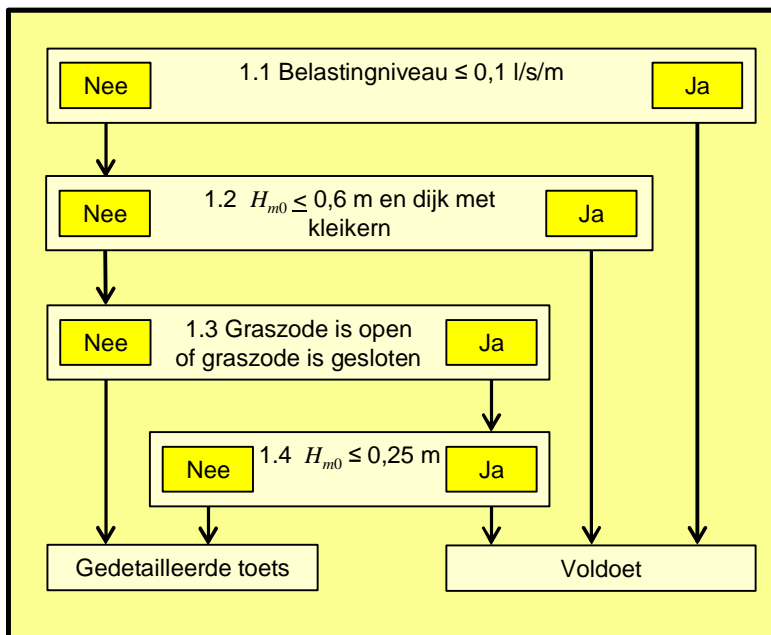
Figuur 9.2 Foutenboom voor het falen van grasbekledingen met de relatie naar de beoordelingssporen

Merk op dat alleen voor het erosiemechanisme op het buitentalud door golfklappen (GEBU) de erosie van de onderlagen en dijklichaam in rekening moet worden gebracht en niet voor de overige mechanismen (GEBU-Golfploop, GEKB, GABI en GABU). Er is bij deze laatste mechanismen wel reststerkte aanwezig, maar deze wordt niet in toetslaag 2 meegenomen. In de Toets op maat kan de eventuele reststerkte van onderlagen wel rekening worden gebracht.

### 9.1 Eenvoudige toets erosie buitentalud

Toetslaag 1 voor het mechanisme erosie grasbekleding buitentalud is de gecombineerde toets voor de erosie in de golfklapzone en de golfploopzone.

De Eenvoudige toets van GEBU bestaat uit vier beslisregels. Deze staan weergegeven in het toetsschema van Figuur 9.3. Alleen als aan één of meer van deze vier regels wordt voldaan is de bijdrage aan de overstromingskans door falen van de grasbekledingen door golfklappen verwaarloosbaar. Als niet aan de juiste regels wordt voldaan moet de beoordeling worden voortgezet met de Gedetailleerde toets.



Figuur 9.3 Toetsschema Eenvoudige toets erosie grasbekleding op buitentalud (GEBU)

Voor deze Eenvoudige toets zijn via de door het WTI programma beschikbaar gestelde software de volgende parameters beschikbaar:

- Waterstand  $h$  ten opzichte van NAP [m].
- Golfhoogte  $H_{m0}$  [m] (wordt ook  $H_s$  genoemd).

Deze parameters worden gegeven voor verschillende overschrijdingskansen [1/jaar]. Voor deze toets moet hiervoor de normoverstromingskansen worden genomen.

De verschillende parameters worden onafhankelijk van elkaar bepaald. Het is dus niet zo dat de combinatie van de parameters een bepaalde overschrijdingskans heeft, maar elke parameter onafhankelijk van de andere. Hierdoor is de combinatie van deze parameters een conservatieve belasting gelet op de overschrijdingskans. De hoek van inval van de golven wordt niet meegenomen: aangenomen wordt dat de golven loodrecht invallen.

Stap 1.1: Het hydraulisch belastingniveau  $\leq 0,1$  l/s/m.

Ligt de grasbekleding boven het hydraulisch belastingniveau van 0,1 l/s/m, dan volgt de score 'Voldoet'. Indien de grasbekleding lager op de dijk ligt, dan wordt verder gegaan met Stap 1.2.

Het niveau waarboven de hydraulische belasting klein genoeg is, wordt met de volgende formule bepaald:

$$h_{k0,1} = h + \frac{H_{m0}}{2.6} \cdot \ln\left(2 \cdot \sqrt{g \cdot H_{m0}^3}\right) \quad \text{Vgl 9.1}$$

Waarin:

$h_{k0,1}$  (Kruin)hoogte ten opzichte van NAP waarbij een overslagdebiet van 0,1 l/s/m optreedt [m].

$h$	Waterstand ten opzichte van NAP [m].
$H_{m0}$	Significante golfhoogte, gebaseerd op spectrum [m].
$g$	Zwaartekrachtversnelling [ $m/s^2$ ].

Stap 1.2:  $H_{m0} \leq 0,6$  en dijk heeft een kleikern.

Indien de dijk een kleidijk is of een kleikern heeft tot 0,5 m boven de waterstand  $h$  en de golfhoogte  $H_{m0} \leq 0,6$  m, dan leidt erosie van het buitentalud nooit tot een doorbraak gedurende de maatgevende storm. Dan is het oordeel 'Voldoet'. Heeft de dijk geen kleikern van voldoende hoogte, of is de golfhoogte groter dan 0,6 m, dan wordt de toetsing voortgezet met Stap 1.3.

Stap 1.3: Graszone is open of graszone is gesloten.

Stap 1.3 bestaat uit een beoordeling van de kwaliteit van de graszone op het buitentalud van de dijk. Voor de kwaliteit van de graszone is de aanwezigheid van een dicht gewoven wortelnet belangrijk. Hiertoe worden de bovengrondse plantendelen van de grasbekleding beoordeeld, bij twijfel aangevuld met lokale beoordeling van globale karakteristieken van een met een spade gestoken zone-plag. Voor de beoordeling van de sterkte van de graszone worden drie kwaliteitscategorieën onderscheiden (gesloten zone, open zone, fragmentarische zone). De wijze waarop dit onderscheid te maken, wordt beschreven in de schematiseringshandleiding.

Indien de graszone *open* is of indien de graszone *gesloten* is, wordt de toets voortgezet met Stap 1.4. Indien de graszone slechts *fragmentarisch* is, dan volgt een Gedetailleerde toets, Stap 2.

Stap 1.4:  $H_{m0} < 0,25$  m.

Indien de golfhoogte  $H_{m0}$  kleiner is dan 0,25 m, dan is de score 'Voldoet'. Zo niet, dan wordt de toetsing met Stap 2 voortgezet.

## 9.2 Gedetailleerde toets erosie buitentalud

In de Gedetailleerde toets wordt falen gedefinieerd als het moment waarop door erosie de grasbekleding is doorgesleten, zodat deze de ondergrond niet meer tegen erosie beschermt. Bij deze toets wordt waar mogelijk rekening gehouden met zowel het falen van de toplaag, de grasbekleding, als met de erosie van de kleilaag daaronder. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in de golfklapzone en de golfoploopzone. In de golfklapzone wordt namelijk de erosie van de zone en de onderliggende kleilaag beoordeeld. Maar voor de oploopzone wordt alleen de erosie van de zone beoordeeld, omdat voor de erosie van de onderlagen in de oploopzone geen erosie-model beschikbaar is. De sterkte van de kleilaag in de oploopzone kan dus niet worden meegewogen.

De Gedetailleerde toets verloopt volgens het schema in Figuur 9.4. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1.

Stap 2.1: Toepassingsvoorwaarden voor de Gedetailleerde toets.

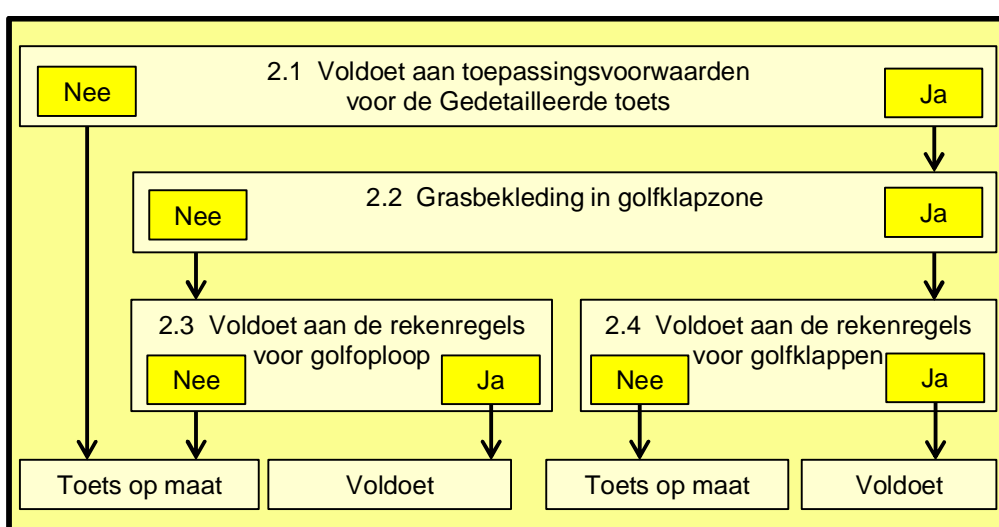
Stap 2.1 bestaat uit de beoordeling of de bekleding valt binnen de toepassingsvoorwaarden van de Gedetailleerde toets. De rekenmodellen die voor de gedetailleerde toets beschikbaar zijn hebben betrekking op bekledingen die voldoen aan beide volgende voorwaarden:

- De graskwaliteit dient een *open* of een *gesloten zone* te hebben.
- De taludhelling dient 1V : 2,5H of flauwer te zijn.

Is de kwaliteit van de graszode *fragmentarisch* en/of is de taludhelling steiler dan 1V : 2,5H dan is het rekenmodel niet toepasbaar en moet verder worden gegaan met de Toets op maat. Is de kwaliteit van de graszode *open* of *gesloten* en is de taludhelling 1V : 2,5H of flauwer dan wordt de toetsing met Stap 2.2 voortgezet.

Stap 2.2: De grasbekleding bevindt zich in de golfklapzone.

Stap 2.2 bestaat uit de beoordeling in welke zone de grasbekleding zich bevindt, zie Figuur 9.1. Indien de bekleding ligt onder de waterstand ( $h$ ) behorend bij de faalkanseis van de doorsnede ( $P_{eis;dsn}$ , zie hoofdstuk 2.2.2) dan ligt de bekleding in de golfklapzone en wordt verder gegaan met Stap 2.4. Ligt de bekleding boven deze waterstand, oftewel in de golfoploopzone, dan wordt verder gegaan met Stap 2.3.



Figuur 9.4 Toetsschema Gedetailleerde toets erosie grasbekledingen op buitentalud (GEBU)

Stap 2.3: De grasbekleding voldoet volgens de rekenregels in de golfoploopzone.

In deze stap wordt de erosie van de grasbekleding in de golfoploopzone beoordeeld. Voor deze beoordeling is WTI-software beschikbaar.

Hierbij wordt in toetslaag 2 geen rekening gehouden met de erosie van de onderlaag. De beoordeling vindt plaats voor één, het maatgevend, punt op het buitentalud. Dat maatgevend punt is het laagst gelegen punt in de golfoploopzone. Voor dijken met zware golfaanval zal dit het punt zijn op de overgang van de harde bekleding die doorloopt van de golfklapzone tot aan de grasbekleding hoger op het talud.

De rekenregel van het erosiemodel voor gras, de cumulatieve overbelastingmethode, luidt:

$$D_c = \sum_{i=1}^N \max(U_i^2 - U_c^2; 0) \quad \text{Vgl 9.2}$$

Waarin:

$D_c$  Cumulatieve overbelasting [ $\text{m}^2/\text{s}^2$ ].

$N$  Aantal golven [-].

$U_i$  Frontsnelheid van de  $i^{\text{de}}$  van  $N$  oplopende golven [ $\text{m}/\text{s}$ ].

$U_c$  Kritische stroomsnelheid, sterkte parameter van de graszode [ $\text{m}/\text{s}$ ].

De erosiebestendigheid van de grasbekleding wordt gekarakteriseerd door de kritische stroomsnelheid  $U_c$ . Deze is gekoppeld aan een graskwaliteit en de kwaliteit van de grond in de zode (klei of zand).

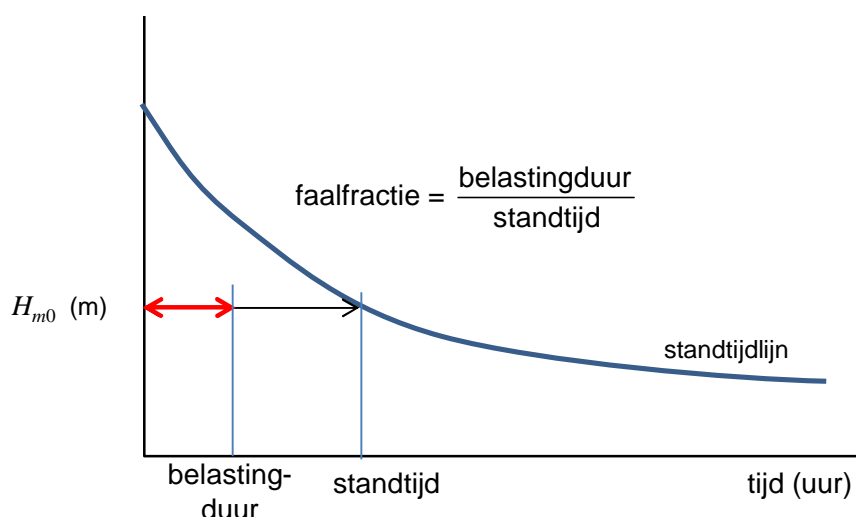
De benodigde hydraulische belasting bestaat uit het verloop van waterstand en golfcondities, welke in HR-technisch deel zijn beschreven en middels de WTI-software beschikbaar worden gesteld. Met de WTI-software dienen ook de berekeningen te worden gemaakt.

Uit de waterstand en golfcondities wordt de belasting bestaande uit de fontnsnelheid van de oplopende golftongen bepaald. Door per tijdstap, waarin de storm wordt onderverdeeld, een waarde te berekenen en deze op te tellen, wordt de cumulatieve overbelasting bepaald. Indien de cumulatieve overbelasting de kritische waarde van  $7000 \text{ m}^2/\text{s}^2$  overschrijdt, faalt de grasbekleding volgens de Gedetailleerde toets en wordt de toets vervolgd met de Toets op maat. Als de cumulatieve overbelasting kleiner is dan de kritische waarde, dan is het oordeel voor de grasbekleding in de golfploopzone 'Voldoet'.

Stap 2.4: De grasbekleding voldoet volgens de rekenregels in de golfklapzone.

In deze stap wordt de erosie in de golfklapzone beoordeeld. Het gaat daarbij om de erosie van de grasbekleding en de daaronder gelegen kleilaag. Daarvoor wordt bepaald hoe de belastingduur zich verhoudt tot de standtijd van de grasbekleding inclusief eventuele sterkte van de kleilaag onder de grasbekleding. Deze verhouding wordt de faalfractie genoemd. Voor deze beoordeling is WTI-software beschikbaar.

De standtijd, de sterkte van de bekleding, is de tijd dat de grasbekleding en eventueel een kleilaag een gegeven golfhoogte kan weerstaan. De relatie tussen de standtijd en de golfhoogte wordt beschreven met de standtijdlijn, zie Figuur 9.5. De standtijdlijn is naast de golfhoogte afhankelijk van de graskwaliteit, de kwaliteit van de grond in de zode en eventueel de kleilaagdikte onder de zode en het zandgehalte hiervan.



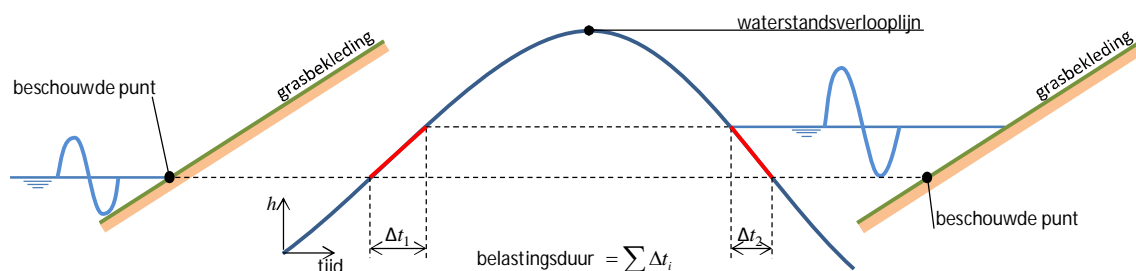
Figuur 9.5 Voorbeeld faalfractie bij beoordeling erosie grasbekleding in de golfklapzone

Voor een aantal discrete punten op het buitentalud in de golfklapzone (standaard om de 10 cm verticaal) wordt de faalfractie voor de grasbekleding inclusief eventuele kleilaag onder de grasbekleding bepaald.

De belastingduur is voor elk beschouwde punt op het talud gelijk aan de tijd dat het punt gedurende een hoogwaterverloop in de zone ligt tussen de waterstand en een halve golfhoogte ( $0,5 H_{m0}$ ) onder de waterstand. De verlopen van waterstand en golfhoogte worden



opgedeeld in tijdstapjes en per tijdstapje wordt gekeken of de beschouwde punten in de door golfklappen aangevallen zone liggen. Het waterstandverloop en het verloop van de golfhoogte maken deel uit van de hydraulische randvoorwaarden die in WTI-software beschikbaar worden gesteld.



Figuur 9.6 Schematisch weergave van berekening van de belastingsduur voor een beschouwd punt

Er wordt gerekend met een faalfractie, omdat tijdens een storm de golfhoogte verandert en er dus geen sprake is van één golfhoogte met één bijbehorende standtijd. De faalfracties bij verschillende golfhoogtes en waterstanden gedurende een storm worden gesommeerd. Bij een som van 1 wordt de kritische waarde van de faalfractie bereikt, bij hogere waarden faalt de grasbekleding. Indien er een kleilaag aanwezig is met een bepaalde reststerkte, dan wordt hiermee bij de berekening van de faalfractie rekening gehouden.

Als de berekende faalfractie in alle punten van de bekleding kleiner of gelijk is aan 1, dan wordt de sterkte van de grasbekleding in de golfklapzone beoordeeld met 'Voldoet'. Als de berekende faalfractie in één van de punten groter is dan 1, dan wordt de toetsing voortgezet met de Toets op maat.

### 9.3 Toets op maat erosie buitentalud

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

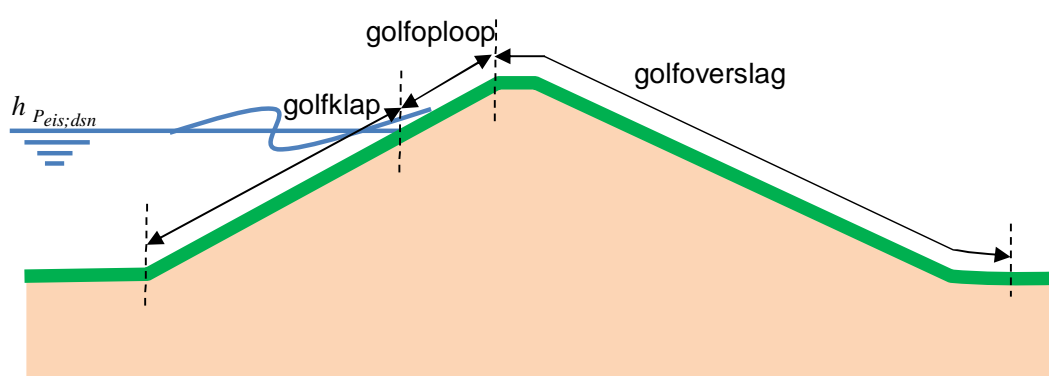
- Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.
- Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).
- Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Gedacht kan worden aan in situ proeven (golfoploeproeven en / of golfklapproeven) om de erosiebestendigheid van het buitentalud te testen.

## 10 Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU)

De beoordeling van de grasbekledingen vindt plaats volgens de getrapte procedure zoals beschreven in paragraaf 2.2. In de hoofdstukken 9 tot en met 12 worden de drie stappen voor de toetsporen met betrekking tot grasbekledingen beschreven.

De toetsporen voor grasbekledingen hebben betrekking op en maken onderscheid in verschillende zones in het dijkprofiel, zie Figuur 10.1.



Figuur 10.1 Schematische weergave dijkprofiel met verschillende belastingzones

De verschillende belastingzones op het talud zijn als volgt gedefinieerd:

Golfklap	Tussen teen van de dijk en waterstand behorende bij de doelkans plus toeslagen.
Golfoploop	Tussen waterstand behorende bij de doelkans plus toeslagen en de buitenkruinlijn.
Golfoverslag	Kruin en binnentalud, tot en met de knik van talud naar het achterland.

Met de “waterstand behorende bij de doelkans” wordt bedoeld de waterstand met een kans van voorkomen gelijk aan de normoverstromingskans.

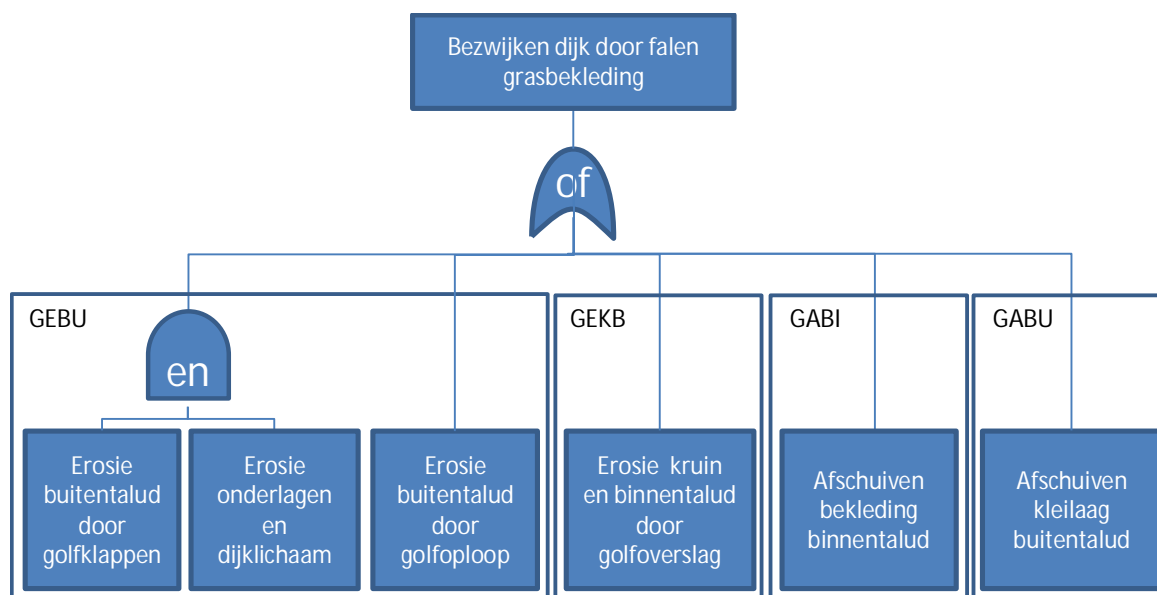
In de verschillende zones wordt op de volgende mechanismen getoetst, zie Tabel 10.1.

Tabel 10.1 Overzicht belastingzones en te toetsen mechanismen voor grasbekledingen

Zone	Mechanisme	Verwijzing
Golfklap	erosie (GEBU) afschuiven (GABU)	Hoofdstuk 9 Hoofdstuk 10
Golfoploop	erosie (GEBU)	Hoofdstuk 9
Golfoverslag	erosie (GEKB) afschuiven (GABI)	Hoofdstuk 11 Hoofdstuk 12

In de hoofdstukken 9 t/m 12 worden per mechanisme de drie stappen voor het betreffende toetspoot voor grasbekledingen beschreven. In Figuur 10.2 is de relatie tussen de beoordelingssporen en de faalmechanismen voor grasbekledingen aan de hand van een foutenboom weergegeven. De vier beoordelingssporen worden voor zover er op buitentalud

kruin of binnentalud een grasbekleding aanwezig is, elk apart beoordeeld en leiden elk tot een score.



Figuur 10.2 Foutenboom voor het falen van grasbekledingen met de relatie naar de beoordelingssporen

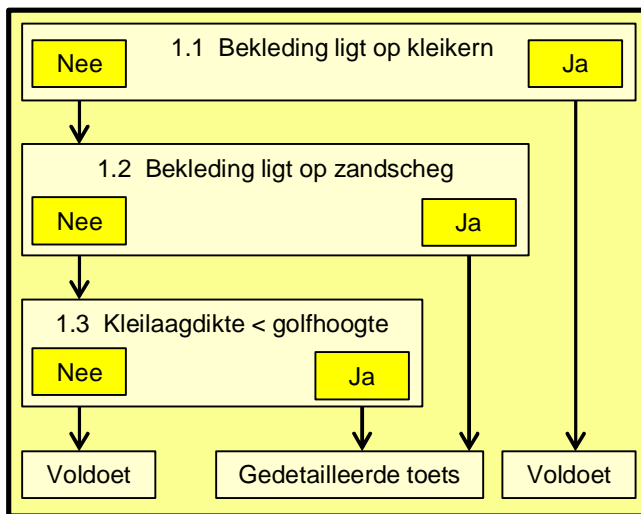
Merk op dat alleen voor het erosiemechanisme op het buitentalud door golfklappen (GEBU) de erosie van de onderlagen en dijklichaam in rekening moet worden gebracht en niet voor de overige mechanismen (GEBU-Golfoploop, GEKB, GABI en GABU). Er is bij deze laatste mechanismen wel reststerkte aanwezig, maar deze wordt niet in toetslaag 2 meegenomen. In de Toets op maat kan de eventuele reststerkte van onderlagen wel rekening worden gebracht.

### 10.1 Eenvoudige toets afschuiven buitentalud

De Eenvoudige toets van GABU bestaat uit drie beslisregels. Deze staan weergegeven in Figuur 10.3.

Stap 1.1: De bekleding ligt op een kleikern.

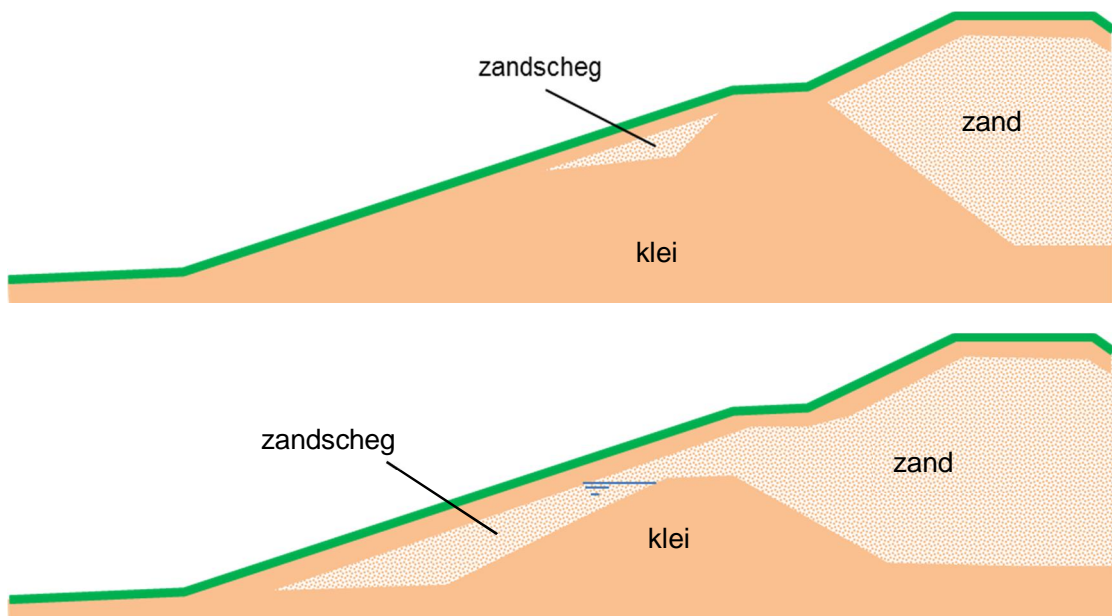
Indien de bekleding direct op een kleikern ligt, dan is de score 'Voldoet'.



Figuur 10.3 Toetsschema Eenvoudige toets afschuiven grasbekleding op buitentalud (GABU)

**Stap 1.2: De bekleding ligt op een zandscheg.**

Als zich vlak onder de bekleding een zandscheg bevindt is een Gedetailleerde toets noodzakelijk. In de schematiseringshandleiding is uitgewerkt wanneer en hoe de zandscheg moet worden geschematiseerd. Twee voorbeelden van een dijkprofiel met een zandscheg zijn weergegeven in Figuur 10.4.



Figuur 10.4 Dijkprofielen met een zandscheg: zand tussen kleilaag van de bekleding op het buitentalud en de kleikern

**Stap 1.3: De kleilaagdikte is kleiner dan golfhoogte.**

Indien de kleilaag (de totale dikte van de deklaag) kleiner is dan de golfhoogte  $H_{m0}$  dan moet worden doorgesaneerd met de Gedetailleerde toets. Als de kleilaag groter is dan de golfhoogte  $H_{m0}$  dan is de score 'Voldoet'.

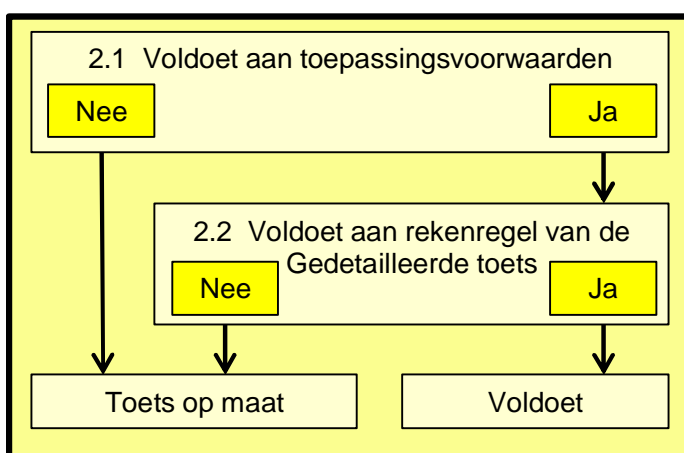
Voor deze Eenvoudige toets is via de door het WTI programma beschikbaar gestelde software de volgende parameter beschikbaar:

- golfhoogte  $H_{m0}$  [m] (wordt ook  $H_s$  genoemd).

Deze parameter wordt gegeven voor verschillende overschrijdingskansen [1/jaar]. Voor deze toets moet hiervoor de norm-overstromingskansen worden genomen.

## 10.2 Gedetailleerde toets afschuiven buitentalud.

In deze Gedetailleerde toets wordt falen van de bekleding gedefinieerd als het opdrukken en of afschuiven van de kleilaag op het buitentalud als gevolg van een te groot waterdrukverschil over de kleilaag, waardoor de kleilaag scheurt en zijn functie verliest. De beoordeling vindt plaats volgens het schema in Figuur 10.5. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1.



Figuur 10.5 Toetsschema Gedetailleerde toets afschuiven grasbekleding op buitentalud (GABU)

### Stap 2.1: Voldoet aan de toepassingsvoorwaarden.

Voor het uitvoeren van de gedetailleerde toetsregel, Stap 2.2, moet voldaan worden aan de volgende twee toepassingsvoorwaarden:

- De bekleding ligt niet op een zandscheg (Figuur 10.4).
- De taludhelling is minder steil dan 1V:2,5H.

Als wordt voldaan aan beide voorwaarden dan wordt de toetsing voortgezet met de gedetailleerde rekenregel, Stap 2.2, anders volgt de Toets op maat (toetslaag 3).

### Stap 2.2: Voldoet aan Gedetailleerde toets.

Aan de hand van een empirische formule wordt op basis van de eigenschappen van de kleilaag, de golfhoogte en de taludhelling getoetst of de kans op afschuiven van de bekleding voldoende klein is, waarbij reststerkte niet wordt meegenomen. De rekenregel voor de Gedetailleerde toets is gelijk aan die voor afschuiving van een steenzetting op een kleilaag:

$$\frac{H_{m0}}{\Delta_g \cdot d_{klei} \cdot \cos \alpha} \leq 3$$

Vgl 10.1

Waarin:

$H_{m0}$	Golfhoogte [m].
$\Delta_g$	Relatieve dichtheid kleilaag $(\rho_g - \rho_w) / \rho_w$ [-].
$\rho_w$	Soortelijke massa water [ $\text{kg/m}^3$ ].
$\rho_g$	Soortelijke massa van de verzadigde kleilaag [ $\text{kg/m}^3$ ].
$d_{klei}$	Dikte kleilaag [m].
$\alpha$	Taludhelling [ $^\circ$ ].

Als wordt voldaan aan bovenstaande empirische ongelijkheid dan is de kans op afschuiven van de bekleding voldoende klein en is het oordeel 'Voldoet'. Wordt niet voldaan, dan wordt de toets voortgezet met de Toets op maat. Erosie van de kleilaag wordt in de gedetailleerde beoordeling op afschuiven niet gerekend tot de sterkte omdat wordt verondersteld dat de kleilaag scheurt bij afschuiven: het zandbed kan dus direct eroderen.

### 10.3 Toets op maat afschuiven buitentalud

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.

Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).

Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

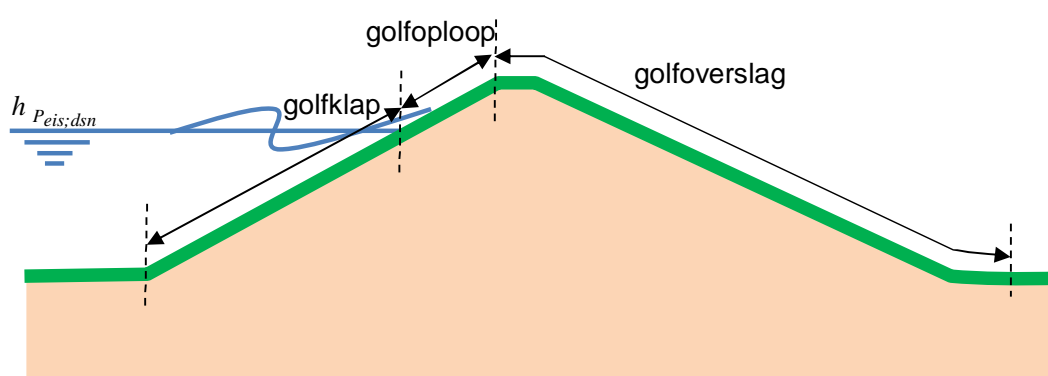
Voor de Toets op maat kan gedacht worden aan:

- Beter bepalen van waterspanningen in de zandkern onder de kleilaag onder invloed van hoogwater in combinatie met (maximale) golfterugtrekking. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van een niet stationaire grondwaterstomingsberekening (waterstand in de zandkern) en kennis uit het onderzoek naar steenzettingen, op basis waarvan een inschatting kan worden gegeven van de stijghoogte op het talud bij maximale golfterugtrekking.
- Toepassen van een geavanceerder stabiliteitsmodel, bijvoorbeeld met behulp van EEM en bepalen van locatiespecifieke sterkteparameters.
- Nauwkeuriger beschrijven van het faalproces, wat gebeurt er bij instabiliteit, hoelang duurt het voordat het optreedt en is er eventueel nog voldoende reststerkte aanwezig voor het resterende deel van het hoogwater.
- Uitvoeren van een grootschalige proef.

## 11 Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)

De beoordeling van de grasbekledingen vindt plaats volgens de getrapte procedure zoals beschreven in paragraaf 2.2. In de hoofdstukken 9 tot en met 12 worden de drie stappen voor de toetsporen met betrekking tot grasbekledingen beschreven.

De toetsporen voor grasbekledingen hebben betrekking op en maken onderscheid in verschillende zones in het dijkprofiel, zie Figuur 11.1.



Figuur 11.1 Schematische weergave dijkprofiel met verschillende belastingzones

De verschillende belastingzones op het talud zijn als volgt gedefinieerd:

Golfklap	Tussen teen van de dijk en waterstand behorende bij de doelkans plus toeslagen.
Golfoploop	Tussen waterstand behorende bij de doelkans plus toeslagen en de buitenkruinlijn.
Golfoverslag	Kruin en binnentalud, tot en met de knik van talud naar het achterland.

Met de “waterstand behorende bij de doelkans” wordt bedoeld de waterstand met een kans van voorkomen gelijk aan de normoverstromingskans.

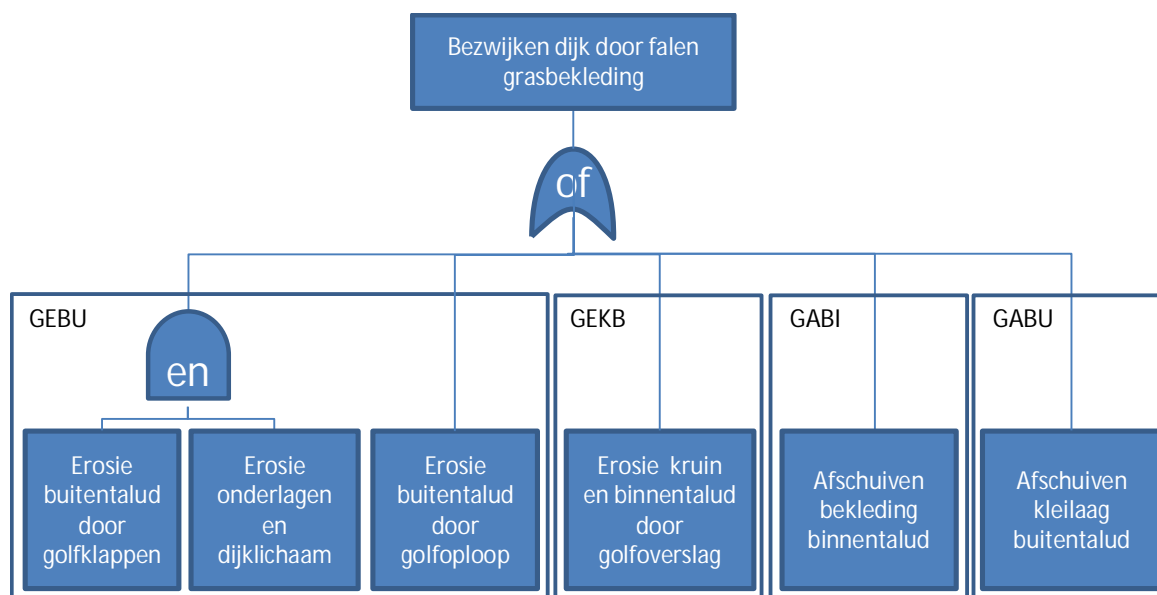
In de verschillende zones wordt op de volgende mechanismen getoetst, zie Tabel 11.1.

Tabel 11.1 Overzicht belastingzones en te toetsen mechanismen voor grasbekledingen

Zone	Mechanisme	Verwijzing
Golfklap	erosie (GEBU)	Hoofdstuk 9
	afschuiven (GABU)	Hoofdstuk 10
Golfoploop	erosie (GEBU)	Hoofdstuk 9
Golfoverslag	erosie (GEKB)	Hoofdstuk 11
	afschuiven (GABI)	Hoofdstuk 12

In de hoofdstukken 9 t/m 12 worden per mechanisme de drie stappen voor het betreffende toetspoot voor grasbekledingen beschreven. In Figuur 11.2 is de relatie tussen de beoordelingssporen en de faalmechanismen voor grasbekledingen aan de hand van een foutenboom weergegeven. De vier beoordelingssporen worden voor zover er op buitentalud

kruin of binnentalud een grasbekleding aanwezig is, elk apart beoordeeld en leiden elk tot een score.



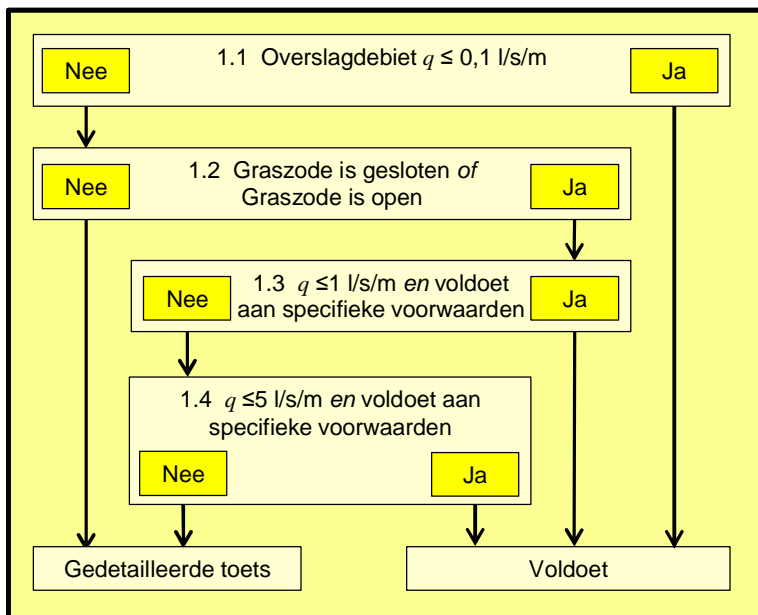
Figuur 11.2 Foutenboom voor het falen van grasbekledingen met de relatie naar de beoordelingssporen

Merk op dat alleen voor het erosiemechanisme op het buitentalud door golfklappen (GEBU) de erosie van de onderlagen en dijklichaam in rekening moet worden gebracht en niet voor de overige mechanismen (GEBU-Golfoploop, GEKB, GABI en GABU). Er is bij deze laatste mechanismen wel reststerkte aanwezig, maar deze wordt niet in toetslaag 2 meegenomen. In de Toets op maat kan de eventuele reststerkte van onderlagen wel rekening worden gebracht.

### 11.1 Eenvoudige toets erosie kruin en binnentalud

De beoordeling in toetslaag 1 voor GEKB (erosie kruin en binnentalud) verloopt volgens het schema in Figuur 11.3.





Figuur 11.3 Toetsschema Eenvoudige toets erosie van grasbekleding op kruin en binnentalud (GEKB)

#### Stap 1.1: Overslagdebiet $\leq 0,1$ l/s/m.

Bij een overslagdebiet kleiner of gelijk aan 0,1 l/s/m, wordt aangenomen dat de bekleding de belasting zonder ontoelaatbare schade kan weerstaan. Als de belasting groter is dan 0,1 l/s/m wordt de toetsing voortgezet met Stap 1.2.

Het overslagdebiet wordt met de volgende formule bepaald:

$$q = 200 \cdot \sqrt{g \cdot H_{m0}^3} \cdot e^{\frac{-2,6(h_k - h)}{H_{m0}}}$$

Vgl 11.1

Waarin:

- $h_k$  Kruinhoogte ten opzichte van NAP [m].
- $h$  Waterstand ten opzichte van NAP [m].
- $H_{m0}$  Significante golfhoogte, gebaseerd op spectrum [m].
- $q$  Gemiddeld overslagdebiet [l/s/m].
- $g$  Zwaartekrachtversnelling [m/s<sup>2</sup>].

Voor deze Eenvoudige toets zijn via de door het WTI programma beschikbaar gestelde software de volgende paramaters beschikbaar:

- Waterstand  $h$  ten opzichte van NAP [m].
- Golfhoogte  $H_{m0}$  [m] (wordt ook  $H_s$  genoemd).

Deze parameters worden gegeven voor verschillende overschrijdingskansen [1/jaar]. Voor deze toets moet hiervoor de norm-overstromingskansen worden genomen.

Stap 1.2: Kwaliteit graszode.

Stap 1.2 bestaat uit een beoordeling van de kwaliteit van de graszode op de kruin en het binnentalud van de dijk. Indien de graszode *open* of *gesloten* is, wordt de toets voortgezet met Stap 1.3. Indien de graszode *fragmentarisch* is, dan volgt direct een Gedetailleerde toets. Hoe de grasbekleding moet worden ingedeeld in een van de drie categorieën (*gesloten* zode, *open* zode of *fragmentarische* zode) is toegelicht in de schematiseringshandleiding.

Stap 1.3: Sterkte criterium gegeven  $q \leq 1$  l/s/m.

Bij een overslagdebiet kleiner of gelijk aan 1 l/s/m kan de grasbekleding met 'Voldoet' worden beoordeeld in één van de volgende situaties:

- Graskwaliteit is *gesloten* zode.
- Graskwaliteit is *open* zode op een kleilaagdikte van minimaal 0,4 m.

Indien niet aan deze voorwaarden wordt voldaan wordt de toets voortgezet met Stap 1.4.

Stap 1.4: Sterkte criterium gegeven  $q \leq 5$  l/s/m.

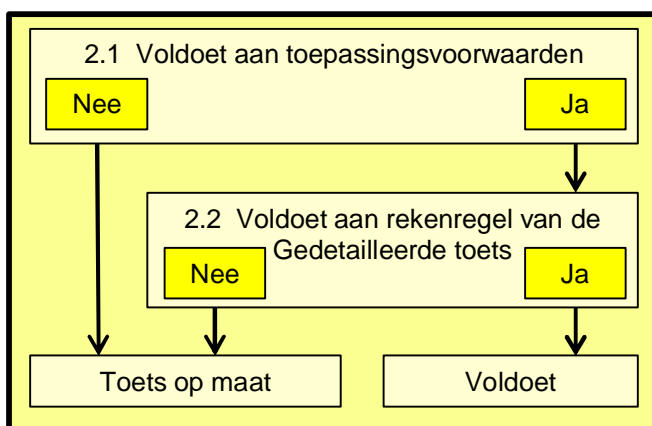
Bij een overslagdebiet kleiner of gelijk aan 5 l/s/m kan de grasbekleding met 'Voldoet' worden beoordeeld wanneer alle vijf volgende voorwaarden van toepassing zijn:

1. Graskwaliteit is *gesloten* zode.
2. Golfhoogte  $H_{m0} \leq 3$  m.
3. Kleilaagdikte  $d_{klei} \geq 0,4$  m òf taludhelling flauwer dan 1V:4H.
4. De snede door de zode van objecten (NWO's) is kleiner dan 0,15 m. Met snede door de zode wordt bedoeld de grootste afmeting van het object (NWO) gemeten in het vlak van de bekleding.
5. Geen wegen of (fiets)paden op de dijk.

Indien niet aan al deze vijf voorwaarden wordt voldaan, of het overslagdebiet is groter dan 5 l/s/m, dan wordt de beoordeling voortgezet met de Gedetailleerde toets (toetslaag 2).

## 11.2 Gedetailleerde toets erosie kruin en binnentalud

In deze Gedetailleerde toets wordt falen gedefinieerd als het moment waarop door erosie de toplaag van ca. 20 cm is doorgesleten, zodat deze de ondergrond niet meer tegen erosie beschermt. De beoordeling vindt plaats volgens het schema in Figuur 11.4. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1.



Figuur 11.4 Toetsschema Gedetailleerde toets erosie van grasbekleding op kruin en binnentalud (GEKB)

De Gedetailleerde toets bestaat uit een beoordeling of de berekende faalkans voor dit mechanisme kleiner is dan de acceptabele faalkans. De faalkansberekening vindt plaats met rekenregels geïmplementeerd in door het WTI programma beschikbaar gestelde software, op basis van de kwaliteit van de grasbekleding. Maar eerst wordt gecontroleerd of wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden.

Stap 2.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarden.

Voor het gebruik van de rekenregels voor de Gedetailleerde toets moet worden voldaan aan alle drie volgende toepassingsvoorwaarden:

- Graskwaliteit is *open zode* of *gesloten zode*.
- $H_{m0} \leq 3$  m.
- Taludhelling flauwer dan 1V:4H of kleilaagdikte  $\geq 0,4$  m.

Wordt aan al deze drie voorwaarden voldaan, dan wordt de toets voortgezet met Stap 2.2, anders wordt vervolgd met de Toets op maat.

Stap 2.2: Voldoet aan Gedetailleerde toets.

De beoordeling vindt plaats aan de hand van de berekening volgens de cumulatieve overbelastingmethode, zie stap 2.3 in paragraaf 9.2, zoals deze is geïmplementeerd in de door het WTI programma beschikbaar gestelde software.

Blijft de faalkans binnen de voor dit mechanisme reserveerde faalkansruimte ( $\omega = 0,24$ , zie Tabel 2.3), dan is het oordeel Voldoet. Indien de faalkansberekening leidt tot een te hoge faalkans door dit mechanisme dan volgt toetslaag 3, de Toets op maat.

### 11.3 Toets op maat erosie kruin en binnentalud

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

- Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.
- Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).
- Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

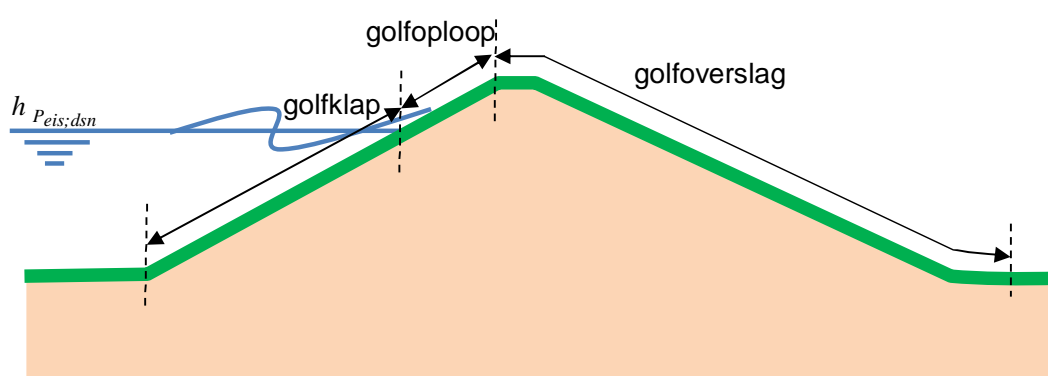
Voor de Toets op maat kan gedacht worden aan:

- Gebruik maken van de cumulatieve overbelastingmethode om locatie-specifiek een kansverdeling van het kritisch overslagdebiet af te leiden. Hierdoor zijn bijvoorbeeld de volgende optimalisaties mogelijk:
  - Nauwkeuriger schatting van de karakteristieke golfhoogte kan worden gebruikt in plaats van klassen van golfhoogte.
  - Locatie-specifieke invoer van de sterkte gekarakteriseerd door  $U_c$  [m/s]. Deze kan worden aangescherpt met kleine veldproeven en of golfoverslagproeven.
  - In het geval van overgangen en objecten, de invloedsfactoren hiervan specifiek voor de overgang of object invoeren.
- In rekening brengen van reststerkte na falen van de grasbekleding.

## 12 Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI)

De beoordeling van de grasbekledingen vindt plaats volgens de getrapte procedure zoals beschreven in paragraaf 2.2. In de hoofdstukken 9 tot en met 12 worden de drie stappen voor de toetsporen met betrekking tot grasbekledingen beschreven.

De toetsporen voor grasbekledingen hebben betrekking op en maken onderscheid in verschillende zones in het dijkprofiel, zie Figuur 12.1.



Figuur 12.1 Schematische weergave dijkprofiel met verschillende belastingzones

De verschillende belastingzones op het talud zijn als volgt gedefinieerd:

Golfklap	Tussen teen van de dijk en waterstand behorende bij de doelkans plus toeslagen.
Golfoploop	Tussen waterstand behorende bij de doelkans plus toeslagen en de buitenkruinlijn.
Golfoverslag	Kruin en binnentalud, tot en met de knik van talud naar het achterland.

Met de “waterstand behorende bij de doelkans” wordt bedoeld de waterstand met een kans van voorkomen gelijk aan de normoverstromingskans.

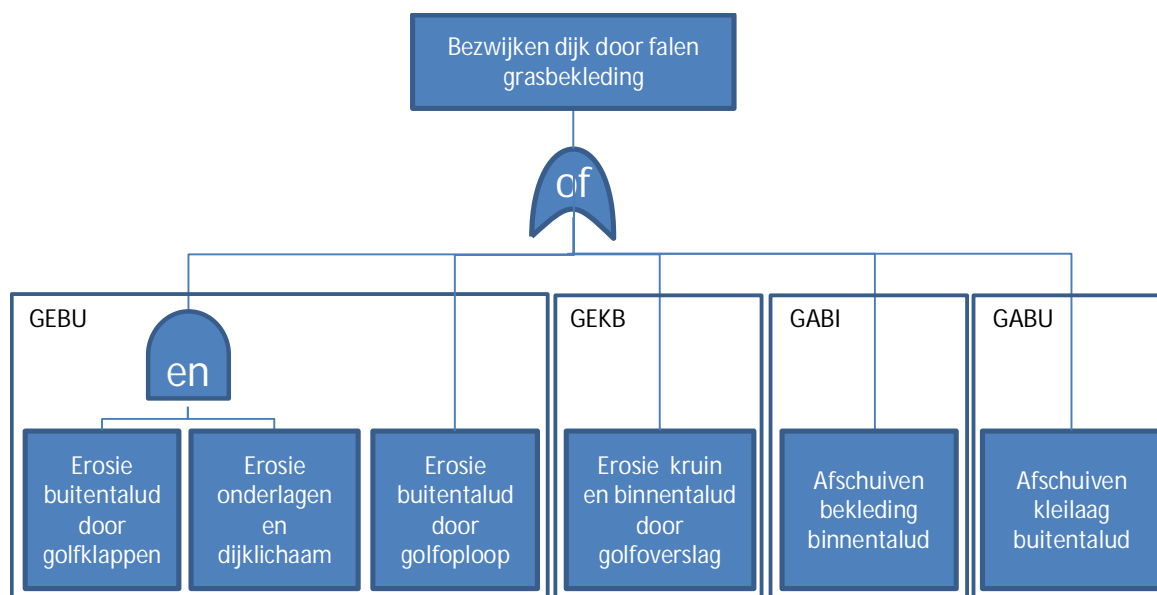
In de verschillende zones wordt op de volgende mechanismen getoetst, zie Tabel 12.1.

Tabel 12.1 Overzicht belastingzones en te toetsen mechanismen voor grasbekledingen

Zone	Mechanisme	Verwijzing
Golfklap	erosie (GEBU) afschuiven (GABU)	Hoofdstuk 9 Hoofdstuk 10
Golfoploop	erosie (GEBU)	Hoofdstuk 9
Golfoverslag	erosie (GEKB) afschuiven (GABI)	Hoofdstuk 11 Hoofdstuk 12

In de hoofdstukken 9 t/m 12 worden per mechanisme de drie stappen voor het betreffende toetsporen voor grasbekledingen beschreven. In Figuur 12.2 is de relatie tussen de beoordelingssporen en de faalmechanismen voor grasbekledingen aan de hand van een foutenboom weergegeven. De vier beoordelingssporen worden voor zover er op buitentalud

kruin of binnentalud een grasbekleding aanwezig is, elk apart beoordeeld en leiden elk tot een score.



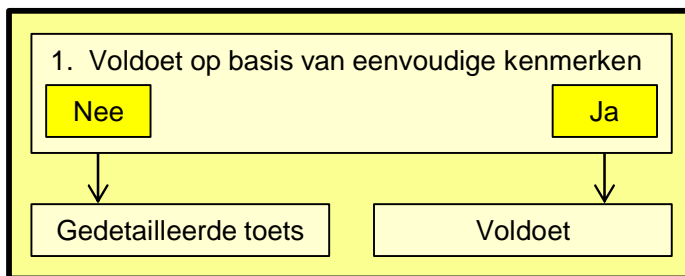
Figuur 12.2 Foutenboom voor het falen van grasbekledingen met de relatie naar de beoordelingssporen

Merk op dat alleen voor het erosiemechanisme op het buitentalud door golfklappen (GEBU) de erosie van de onderlagen en dijklichaam in rekening moet worden gebracht en niet voor de overige mechanismen (GEBU-Golfoploop, GEKB, GABI en GABU). Er is bij deze laatste mechanismen wel reststerkte aanwezig, maar deze wordt niet in toetslaag 2 meegenomen. In de Toets op maat kan de eventuele reststerkte van onderlagen wel rekening worden gebracht.

Het faalmechanisme GABI heeft een sterke relatie met het faalmechanisme micro-instabiliteit. Bij een overslagdebiet dat groter is dan 0,1 l/s/m kunnen de waterspanningen in de dijk extra snel stijgen. De waterspanningstoename als gevolg van golfoverslag moet worden meegenomen bij de beoordeling van de stabiliteit van de bekleding op het binnentalud. Deze controle hoeft maar één keer te gebeuren. Daarom wordt bij een overslagdebiet kleiner of gelijk aan 0,1 l/s/m alleen de controle op micro-instabiliteit uitgevoerd en hoeft bij een overslagdebiet groter dan 0,1 l/s/m alleen het faalmechanisme GABI te worden gecontroleerd, zie ook paragraaf 6.2 Stap 2.1.

### 12.1 Eenvoudige toets afschuiven binnentalud

De beoordeling in toetslaag 1 voor GABI (afschuiven binnentalud) verloopt volgens het schema in Figuur 12.3. De Eenvoudige toets bestaat uit een toets op basis van geometrische kenmerken en eenvoudig te bepalen parameters.



Figuur 12.3 Toetsschema Eenvoudige toets afschuiven van grasbekleding op binnentalud (GABI)

Stap 1: De bekleding voldoet op basis van eenvoudige kenmerken.

De bekleding 'Voldoet' aan de toets op afschuiving binnentalud indien aan minimaal één van de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- Het overslagdebiet  $q$  is kleiner dan 0,1 l/s/m (bepaald volgens hoofdstuk 11.1).
- De taludhelling van het binnentalud is flauwer of gelijk aan 1V:5H en bestaat niet uit veen.
- De taludhelling van het binnentalud is flauwer of gelijk aan 1V:3H en de dijk bestaat uit stevige klei (zie schematiseringshandleiding).
- De taludhelling van het binnentalud is flauwer of gelijk aan 1V:4H en de dijk bestaat uit klei die niet als stevig kan worden gekwalificeerd.
- De dijk bestaat uit zand, al dan niet voorzien van een kleibekleding, en heeft een goed werkende drainage in de binnenteen.

Het overslagdebiet wordt berekend met formule Vgl 11.1 gegeven in paragraaf 11.1.

## 12.2 Gedetailleerde toets afschuiven binnentalud

In deze Gedetailleerde toets wordt falen van de bekleding gedefinieerd als het opdrukken en of afschuiven van de kleilaag op het binnentalud als gevolg van een te groot waterdrukverschil over de kleilaag, waardoor de kleilaag scheurt en zijn functie verliest. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1.

In de Gedetailleerde toets wordt eerst het overslagdebiet nauwkeuriger bepaald met behulp van de door het WTI programma beschikbaar gestelde software. Daarvoor wordt uitgegaan van hydraulische randvoorwaarden behorende bij een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de norm voor het te beoordelen traject. Dit overslagdebiet zal lager zijn dan berekend in de Eenvoudige toets. Indien het overslagdebiet lager is dan 0,1 l/s/m dan kan direct het oordeel 'Voldoet' worden gegeven.

Als het overslagdebiet hoger is dan 0,1 l/s/m dan moet de stabiliteit van de bekleding op het binnentalud worden gecontroleerd met behulp van de formules in Bijlage 0.

Indien de bekleding bij het berekende overslagdebiet stabiel is, is het oordeel 'Voldoet', anders is de volgende stap een Toets op maat.

## 12.3 Toets op maat afschuiven binnentalud

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

- Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.

- Stap 2: beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).
- Stap 3: uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Voor de Toets op maat kan gedacht worden aan:

- Beter bepalen van waterspanningen in de toplaag en kern van de dijk of dam bij overslag, door toepassen van niet-stationaire grondwaterstromingsmodellen en bepaling van de locatie-specifieke stromingsparameter in het veld.
- Toepassen van een geavanceerder stabiliteitsmodel, bijvoorbeeld met behulp van EEM en bepalen van locatie-specifieke sterkteparameters.
- Nauwkeuriger beschrijven van het faalproces, wat gebeurt er bij instabiliteit, hoelang duurt het voordat het optreedt en is er eventueel nog voldoende reststerkte aanwezig voor het resterende deel van het hoogwater.
- Uitvoeren van een grootschalige proef, waarbij infiltratie wordt gesimuleerd door het talud over een bepaalde strekking te overstromen.



## 13 Stabiliteit bekleding steenzetting, ZST

In dit hoofdstuk wordt het toetsspoor 'steenzettingen' beschreven waarmee de stabiliteit van steenzettingen dient te worden beoordeeld. Het gaat daarbij om alle steenzettingen met als waterkerende functie: de bescherming van het onderliggende grondlichaam tegen erosie. In de volgende gevallen zal dus ook een steenzetting op kruin of aan de landwaartse zijde moeten worden beoordeeld:

- Lage havendam waarvan de golfreductie essentieel is voor de standzekerheid van de achterliggende waterkering (zie hiervoor het toetsschema Havendammen).
- Relatief lage dijk waarbij de golfoverslag zodanig is dat de steenzetting op kruin en binnentalud essentieel is voor de erosiebescherming (overslagbestendige dijk).

De toetsprocedure die in dit hoofdstuk is beschreven, is voor de volgende typen steenzettingen toepasbaar:

- Gezette betonzuilen.
- Gezette natuursteen (o.a. basalt).
- Gezette betonblokken met of zonder gaten erin.
- Open blokkenmatten.
- Blokkenmatten zonder openingen.
- Steenzetting gepenetreerd met mastiek.
- Steenzetting gepenetreerd met beton.

Voor andere typen steenzettingen moet een toets op maat worden uitgevoerd.

### *Het toetsspoor steenzetting*

De beoordeling van een bekleding bestaande uit een steenzetting vindt plaats volgens de getrapte procedure zoals beschreven is in paragraaf 2.2. Voor steenzettingen is er echter slechts een Gedetailleerde toets (toetslaag 2a) en een Toets op maat (toetslaag 3). In dit hoofdstuk worden de twee beschikbare stappen voor het toetsspoor beschreven. In de volgende paragrafen wordt het toetsschema voor de mechanismen gegeven.

### 13.1 Gedetailleerde toets bekleding steenzetting

In de gedetailleerde toets wordt falen gedefinieerd als het ontstaan van een zodanige schade aan de steenzetting en kleilaag dat het dijklichaam niet meer afdoende wordt beschermd door de steenzetting. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1.

Het toetsschema voor het toetsen van steenzettingen is gegeven in Figuur 13.1.

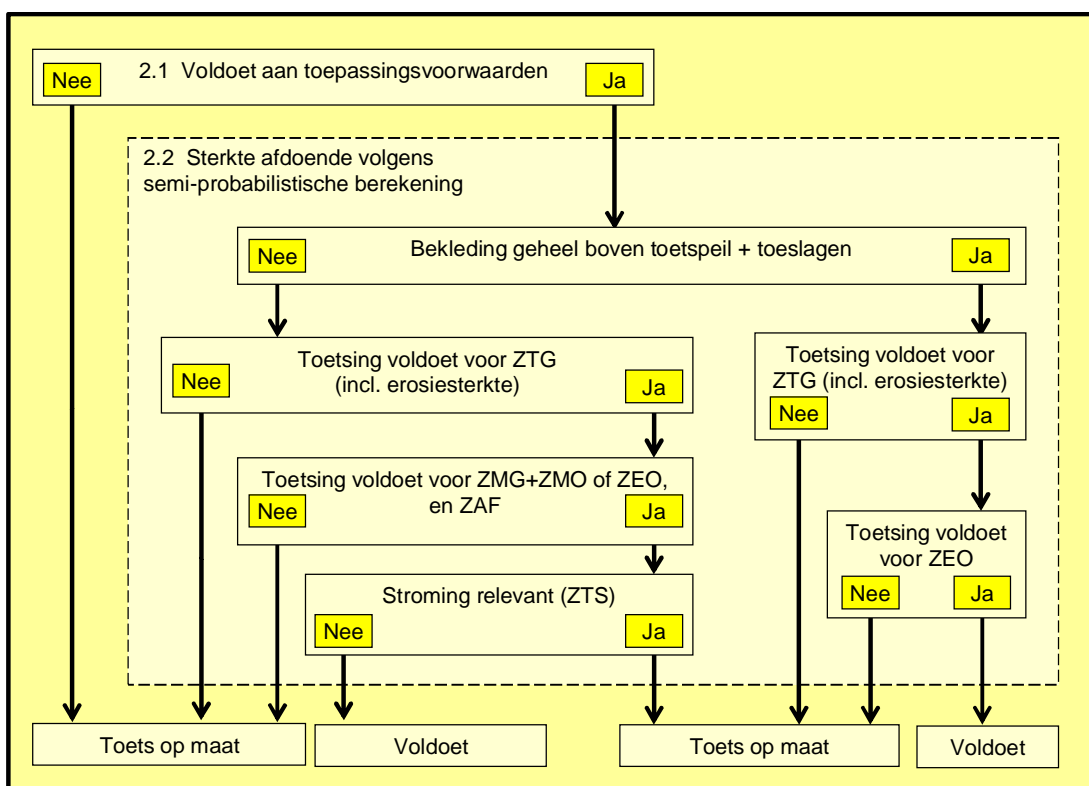
De volgende mechanismen dienen te worden beoordeeld:

- Stabiliteit steenzetting toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG.
- Stabiliteit steenzetting toplaaginstabiliteit onder langsstroming ZTS.
- Stabiliteit steenzetting afschuiving ZAF.
- Stabiliteit steenzetting materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG
- Stabiliteit steenzetting materiaaltransport vanuit de ondergrond ZMO

Daarnaast moet bij onvoldoende stabiliteit ten aanzien van de mechanismen ZTG, ZTS, ZMG en ZMO de erosie van de onderlagen beschouwd worden: ZEO.

De invloed die een overgangsconstructie in goede staat heeft op de toplaagstabiliteit (ZOI) maakt deel uit van het rekenmodel waarmee de toplaagstabiliteit onder golfaanval (ZTG) wordt beoordeeld.

De gedetailleerde beoordeling kan worden uitgevoerd met de steenzettingenmodule uit de door het WTI programma beschikbaar gestelde software. Die module omvat wat in het toetsschema is aangegeven met het vak met de stippellijn. Maar eerst zal moeten worden beoordeeld of wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden (Stap 2.1).



Figuur 13.1 Toetsschema Gedetailleerde toets bekleding steenzetting

#### Stap 2.1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarden.

Wanneer er sprake is van één van de navolgende steenzettingen kan de door het WTI programma beschikbaar gestelde software **niet** worden toegepast:

- Geschakelde toplagen, zoals blokkenmatten.
- Doorgroeienden (grasbetonstenen).
- Steenzetting met breuksteen overlaging.
- Steenzetting met PBA (polyurethaan gebonden breuksteen) overlaging.
- Steenzettingen die op een oude steenzetting zijn gezet.
- De kop van een havendam.
- Steenzetting gelegen op een zandscheg, zie Figuur 10.4.
- Steenzetting op een onderlaag van klei, waarbij de zanddijk een hoog achterland (bijvoorbeeld opgespoten industrieterrein) heeft.

Wanneer wel sprake is van een van bovengenoemde situaties dient verder te worden gegaan met de Toets op maat. Voor andere steenzettingen dient verder te worden gegaan met Stap 2.2.

Stap 2.2: Sterkte afdoende.

De sterkte is afdoende als die voor de vijf mechanismen (ZTG, ZTS, ZMG, ZMO, ZEO) in orde is.

*Toplaagstabiliteit onder golfaanval (ZTG)*

De stabiliteit van de toplaag onder golfaanval is het belangrijkste faalmechanisme voor steenzettingen. En het is dan ook dit mechanisme waarvoor een kalibratie van de veiligheidsfactoren voor de semi-probabilistische berekening heeft plaatsgevonden.

De stabiliteit van de toplaag van de steenzetting onder golfaanval (ZTG) wordt vastgesteld door te beoordelen of een of meerdere elementen uit de zetting kunnen worden gedrukt doordat de druk in de filterlaag onder de toplaag lokaal groter is dan de waterdruk op het talud en de weerstand die de gezette elementen leveren. Zowel de belasting op het moment van de maximale golfsterkte als op het moment van de golfklap kan maatgevend zijn.

Bij de beoordeling van dit faalmechanisme wordt impliciet rekening gehouden met de reststerkte van de onderlaag en het dijklichaam, doordat de veiligheidscoëfficiënt afhankelijk is van de kleikwaliteit en dikte van de onderlaag en van de breedte van de dijk op het niveau van de maatgevende waterstand.

De veiligheidscoëfficiënt in deze semi-probabilistische beoordeling op dijkvakniveau is afgeregeld op de voor dit mechanisme ZTG gereserveerde faalkansruimte. De veiligheidscoëfficiënt voor dit mechanisme is gebaseerd op een lengte-effect factor  $N_{dsn} = 4$  en een faalkansruimtefactor  $\omega$ :

$$\omega = \lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \quad \text{Vgl 13.1}$$

Waarin:

- $\omega$  De faalkansruimtefactor voor ZST [-].
- $\lambda_0$  Faalkansruimtefactor voor alle bekledingen (= 0,10) [-].
- $\lambda_1$  Faalkansruimtedeel gereserveerd voor de steenzetting (= 0,5) [-].
- $\lambda_2$  Faalkansruimtedeel gereserveerd voor toplaag-gerelateerde mechanismen (= 0,9) [-].
- $\lambda_3$  Faalkansruimtedeel gereserveerd voor toplaagstabiliteit onder golfaanval (= 0,7) [-].

Bij de beoordeling van de toplaagstabiliteit onder golfaanval wordt al rekening gehouden met de sterkte te ontleen aan de erosie van de onderlagen (ZEO) en voor een deel met de erosieweerstand van het dijklichaam. Aan de hand van de golfhoogte, de kleilaagdikte en de breedte van de dijk wordt gekozen voor een grote (1,1), middelmatige (1,0) of kleine veiligheidsfactor (0,9) op de vereiste toplaagdikte.

*Overige mechanismen*

Ten aanzien van de stabiliteit van de toplaag van de zetting onder langsstroming (ZTS) wordt alleen aan de hand van de effectieve dikte van de toplaag en het watersysteem waaraan de zetting ligt, gecheckt of een beoordeling op langsstroming zinvol is. Die beoordeling is alleen nodig voor zettingen die lager liggen dan de maatgevende waterstand.

Of de steenzetting onder maatgevende omstandigheden kan afschuiven (ZAF) wordt gecontroleerd door het evenwicht van een moot van de bekleding te berekenen.

Als er een kleilaag van voldoende dikte is toegepast, kan het mechanisme niet optreden. Als criterium geldt:

$$\frac{H_{mo}}{\Delta D + b + b_{klei}} > 3 \cos \alpha \quad \text{Vgl 13.2}$$

Waarin:

$D$	Dikte van de toplaag van gezette steen [m].
$\Delta$	Relatieve soortelijke massa van de zetstenen [-].
$b$	Dikte van de filterlagen [m].
$b_{klei}$	Dikte van de kleilaag [m].
$\alpha$	Taludhelling [°].

Als er geen kleilaag aanwezig is, wordt het mechanisme afschuiven gecontroleerd met de evenwichtsvergelijking voor de zetting op zand, waarin ook de doorlatendheid van het zand een rol speelt. Die doorlatendheid wordt gekarakteriseerd op basis van een korreldiameter van het zand:  $D_{b15}$  [m].

De stabiliteit ten aanzien van materiaaltransport vanuit de granulaire laag (ZMG) wordt gecontroleerd door met filterregels na te gaan of materiaal uit de granulaire laag onder de toplaag kan uitspoelen door de gaten of spleten tussen de elementen van de toplaag. Ook deze beoordeling is alleen nodig voor zettingen die lager liggen dan de maatgevende waterstand.

Of materiaaltransport vanuit de ondergrond (ZMO) door de granulaire laag kan optreden, wordt bepaald aan de hand van filterregels. De belasting voor dit mechanisme is het verhang in de (onderste) granulaire laag als gevolg van de golfbeweging op het talud. Dat verhang op het grensvlak van onderlaag en granulaire laag moet kleiner zijn dan het kritieke verhang waarbij uitspoelen optreedt. Dit mechanisme hoeft niet getoetst te worden als de steenzetting geheel en al boven het toetspeil ligt.

Of de erosie van de onderlagen voldoende sterkte (ZEO) lang genoeg duurt om te komen tot een oordeel 'Voldoet', wordt bepaald met de empirische formules waarin de standtijd van de onderlagen gegeven is als functie van de eigenschappen van de betreffende onderlagen.

De sterkte volgens al deze mechanismen dient te worden beoordeeld. Daartoe zijn in het kader van WTI-2017 ter beschikking gestelde software de rekenmethoden voor deze mechanismen geïmplementeerd. Is de sterkte volgens de berekening met WTI-software afdoende, dan is het toetsoordeel 'Voldoet', anders wordt de toetsing vervolgd met een Toets op maat.

### 13.2 Toets op maat bekleding steenzetting

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

- Stap 1: Inventariseren mogelijkheden van nadere analyses.
- Stap 2: beoordelen effectiviteit van nadere analyses (kosten-baten analyse).
- Stap 3: uitvoeren van nadere (locatie specifieke) analyse.

Als mogelijkheden voor een Toets op maat worden genoemd:

- In het geval er sprake is van een zandscheg wordt verwezen naar de suggesties genoemd in het Technisch Rapport Steenzettingen (TAW, 2003b).
- Dijken met een aanzienlijke erosie-weerstand kunnen probabilistisch doorgerekend worden om de faalkans van de dijk te bepalen. Dit is relevant voor dijken die relatief breed zijn (breedte van de dijk op Toetspeil:  $B_{dijk} > 20H_s$ ), een relatief dikke kleilaag hebben (kleilaagdikte  $d_{klei} > 0,6 H_s$ ), of belast worden met relatief kleine golven ( $H_s < 2$  m).

## 14 Duinwaterkering, DA

Voor duinwaterkering wordt alleen een toetsing uitgevoerd voor het mechanisme duinafslag (DA). Winderosie is niet meer opgenomen als toetsspoor in dit VTV en valt onder zorgplicht. Bij normaal goed beheer van de landzijde van het duin (begroeiing en geen kale plekken) heeft winderosie een verwaarloosbaar kleine invloed op de beoordeling van de sterkte van het duin.

### 14.1 Eenvoudige toets duinwaterkering

Er is geen Eenvoudige toets voor de beoordeling van een duinwaterkering.

### 14.2 Gedetailleerde toets duinwaterkering

In de Gedetailleerde toets wordt falen gedefinieerd als het moment waarop de duinafslag het grensprofiel raakt, waarbij het grensprofiel tegen de landwaartse begrenzing van het werkelijk aanwezige duinprofiel is gelegen. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1.

In Figuur 14.1 wordt na positieve beantwoording van de toetsstappen 2.1 t/m 2.3 met een Gedetailleerde toets een maatgevend afslagprofiel en een grensprofiel berekend met behulp van het binnen WTI beschikbare software instrumentarium. Vervolgens wordt beoordeeld of dit maatgevend afslagprofiel en het grensprofiel passen binnen het aanwezige duinprofiel. Als dit het geval is, 'Voldoet' de waterkering, anders is een Toets op maat noodzakelijk.

#### Stap 2.1 Er zijn randvoorwaarden duinafslag beschikbaar

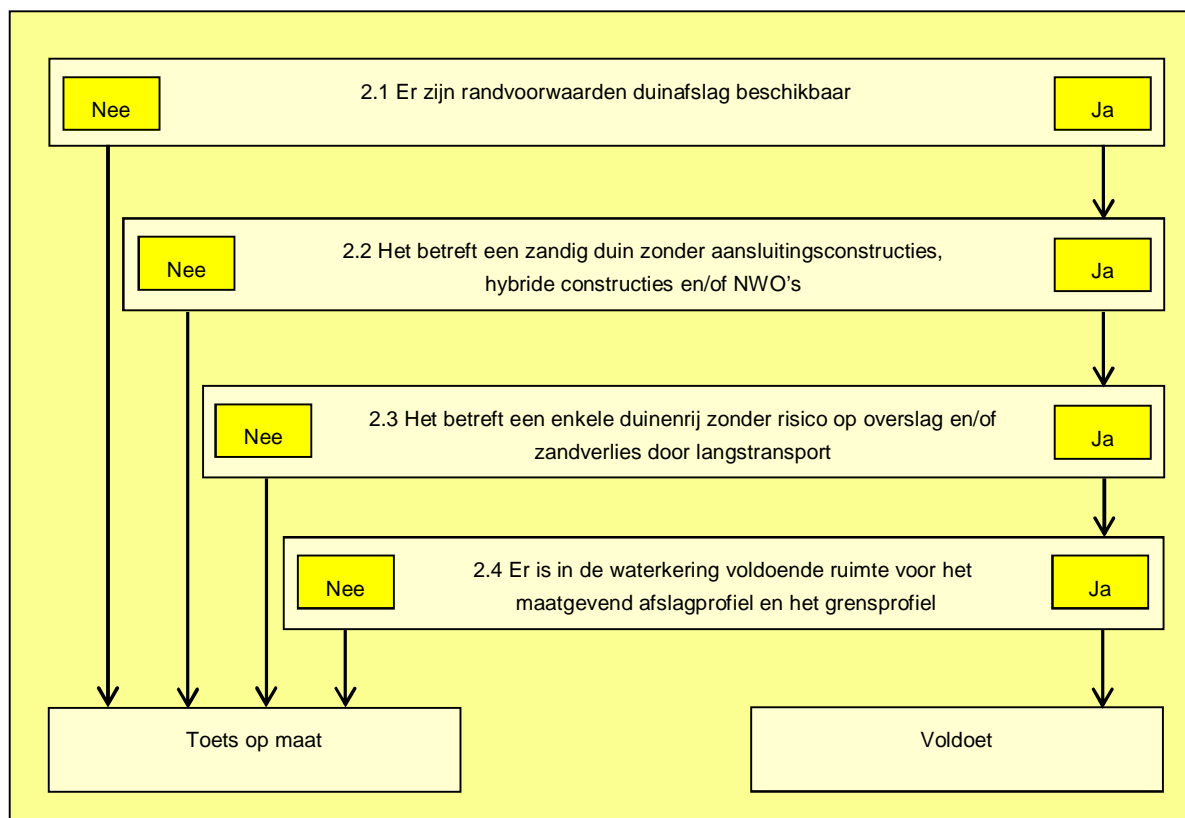
Voor de uitvoering van toetslaag 2A worden er randvoorwaarden voor hydraulische belastingen ter beschikking gesteld voor het toetsen van duinwaterkeringen langs de Noordzeekust. Het betreft hierbij de kustvakken die zijn aangemerkt als primaire waterkeringen. Deze hydraulische belastingen zijn toegankelijk via de door het WTI beschikbaar gestelde toetssoftware voor toetslaag 2a en 2b. Wanneer er tussenraaien worden gedefinieerd tussen JARKUS – raaien waarvoor hydraulische belastingen beschikbaar zijn, dan kunnen de benodigde hydraulische belastingen worden verkregen door middel van lineaire interpolatie zoals beschreven in de schematiseringshandleiding. Voor de grote binnenwateren zijn geen Hydraulische Belastingen beschikbaar voor de beoordeling op duinafslag, in dat geval dient binnen een Toets op maat de hydraulische belasting op het duin te worden bepaald.

De wijze waarop de hydraulische belasting is afgeleid is beschreven in het HR technische Deel.

#### Stap 2.2 Het betreft een zandig duin zonder aansluitingsconstructies, hybride constructies en/of NWO's

Met de Gedetailleerde toets is het niet mogelijk om duinafslag te berekenen wanneer de volgende harde elementen voorkomen in de afslagzone of het grensprofiel:

- Aansluitingsconstructies of overgangsconstructies, (duin-Dijk; Duin – Hybride keringen; duin – kunstwerk)



Figuur 14.1 Toetsschema Gedetailleerde toets duinafslag (DA)

- Hybride keringen, waarbij onder een hybride kering een waterkering is waarbij de beschermende werking door meerdere onderdelen wordt bewerkstelligd. De twee soorten hybride keringen waarbij getoetst dient te worden op het faalmechanisme duinafslag zijn:
  - Dijk in duin: Hierbij ligt er voor een dijk een zandbuffer die zorgt voor een reductie van de hydraulische belasting op de dijk.
  - Verdedigd duin: Hierbij zorgt een strandmuur of duinvoetverdediging voor een afname van de golfbelasting op het duin waardoor de afslaglengte wordt gereduceerd.
- Niet Waterkerende Objecten (NWO's) die extra duinafslag kunnen veroorzaken. Hierbij wordt een uitzondering gemaakt voor de volgende NWO's. Van deze NWO's wordt aangenomen dat ze potentieel **geen** negatief effect hebben op het faalmechanisme duinafslag en dus aanwezig zouden mogen zijn:
  - Duinvegetatie.
  - Strandpaviljoens die tijdens storm in kleine stukken uiteenvallen.
  - Wegen met een losverband wegdek (klinkers, stelconplaten).
  - Straatmeubilair.
  - Kabels.

Wanneer er aansluitconstructies, of NWO's aanwezig zijn anders dan de genoemde uitzonderingen dient verder gegaan te worden met de Toets op maat en kan geen gedetailleerde toets worden uitgevoerd. Het WTI2017 bevat tevens geen toetsregels voor de beoordeling van hybride keringen. Dit betekent dat hybride keringen getoetst dienen te

worden binnen toetslaag 3 tenzij de harde elementen zich landwaarts van de afslagzone bevinden.

Stap 2.3 Het betreft een enkele duinenrij zonder risico op overslag en/of zandverlies door langstransport

De Gedetailleerde toets kan worden uitgevoerd indien de volgende complicerende factoren **niet** voorkomen:

- Stap 2.3.a Zandverlies door gradiënt in het langstransport tijdens storm.
- Stap 2.3.b Dubbel duin met achterloopsheid.
- Stap 2.3.c Laag duin met golfoverslag.

*Stap 2.3.a er is sprake van zandverlies tijdens storm*

Om de gedetailleerde toets uit te kunnen voeren wordt aangenomen dat het zandvolume in het profiel tijdens de storm niet verandert. Om dit aan te tonen moeten twee inschattingen worden gemaakt:

- Maak een inschatting op morfologische inzichten of een zandverlies door een gradiënt in het langstransport tijdens storm realistisch is.
- Bepaal op grond van waarnemingen of er tijdens storm zandverlies optreedt.

Voor het maken van een morfologische inschatting dienen de volgende vragen te worden beantwoord. Indien één of meerdere vragen positief wordt beantwoord, dan is er kans op zandverlies tijdens storm. In dat geval kan **geen** Gedetailleerde toets worden uitgevoerd en dient een toets op maat te worden uitgevoerd:

- Is er sprake van een gekromde bolle kust?
- Is er sprake van scheef invallende golven in combinatie met ondiepten voor de kust?
- Is er sprake van getijgeulen dicht voor de kust?
- Zijn er obstakels die het langstransport onderbreken?

Voor het maken van een inschatting op basis van waarnemingen dienen de volgende vragen te worden beantwoord, waarbij een bevestigend antwoord een indicatie is voor zandverlies en dient. In dat geval kan geen Gedetailleerde toets worden uitgevoerd en dient een Toets op maat te worden uitgevoerd:

- Moet er onevenredig veel worden gesuppleerd om de basiskustlijn (BKL) te handhaven?
- Treedt er tijdens storm onevenredig meer afslag op dan bij andere locaties?

*Stap 2.3.b er is sprake van een dubbel duin met achterloopsheid*

Wanneer de eerste doorgaande duinregel (de zeereep) bezwijkt, dan leidt dit tot een overstroming van de achterliggende duinvallei. Dit kan leiden tot achterloopsheid waardoor uiteindelijk een overstroming plaatsvindt in het binnendijks gebied. Indien de afslagzone zich volledig in de zeereep bevindt dan is er geen sprake van een dubbel duin met achterloopsheid. Wanneer er sprake is van een dubbel duin met achterloopsheid kan geen gedetailleerde toets worden uitgevoerd en dient verder te worden gegaan met de toets op maat.

*Stap 2.3.c is er sprake van een laag duin met golfoverslag*

Wanneer tijdens storm het water over een duin heenslaat, dan leidt dit tot waterbezwaar in het achtergelegen gebied, en wordt het duin verzwakt door erosie aan de achterzijde van het



duin. Wanneer het duin te laag is kan geen gedetailleerde toets worden uitgevoerd en dient verder te worden gegaan met de toets op maat. In de schematiseringshandleiding is aangegeven hoe deze toets uit te voeren.

Stap 2.4 Er is in de waterkering voldoende ruimte voor het maatgevend afslagprofiel en het grensprofiel

In deze stap wordt de uiteindelijke toetsing uitgevoerd. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de binnen het WTI beschikbaar gestelde software. Beoordeeld wordt of de maatgevende afslagzone en het grensprofiel passen in de ruimte die het aanwezige duinprofiel biedt. Indien dit het geval is, 'Voldoet' de waterkering. Indien dit niet het geval is, dient alsnog een Toets op maat te worden uitgevoerd.

De wijze waarop de sterkte (afslag) in rekening wordt gebracht, is beschreven in het Technisch Rapport Duinafslag (ENW, 2007). Daarbij is de ruimte voor de waterkering niet het in de legger gedefinieerde waterstaatswerk, maar het daadwerkelijk aanwezige duinprofiel. Deze beoordeling wordt uitgevoerd binnen de door het WTI beschikbaar gestelde software. De eis op doorsnede of raai volgt uit Hoofdstuk 2.2.2.

### 14.3 Toets op maat duinwaterkering

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

- Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.
- Stap 2: beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).
- Stap 3: uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Mogelijke geavanceerde analyses voor de duinwaterkering en hybride kering zijn:

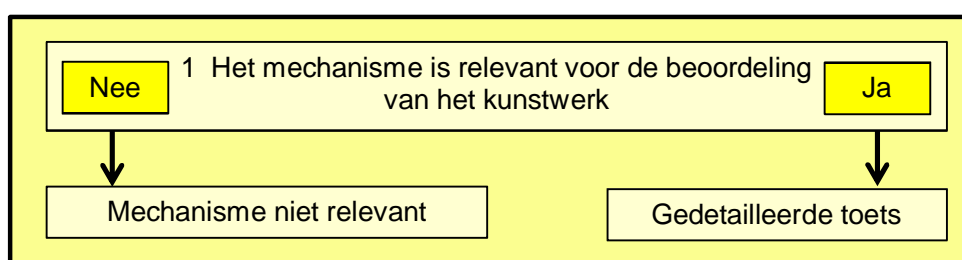
- Beoordeling met tijdsafhankelijk numeriek model, waarbij rekening wordt gehouden met het negatieve of positieve effect van een gradiënt in het langtransport.
- Analyse volgens de handreiking NWO's.
- Beoordeling harde constructie in geval van hybride kering.

## 15 Hoogte kunstwerken (HTKW)

Als kunstwerk worden beoordeeld alle objecten in de primaire waterkeringen die worden benoemd in het Stroomschema beoordelingsaanpak niet-waterkerende en waterkerende objecten, zie Bijlage G en (Breedeveld, 2014).

### 15.1 Eenvoudige toets hoogte kunstwerken

De beoordeling in toetslaag 1 voor hoogte kunstwerken verloopt volgens het schema in Figuur 15.1.



Figuur 15.1 Toetsschema Eenvoudige toets hoogte voor kunstwerken (HTKW)

#### Stap 1 het mechanisme is relevant voor de beoordeling van het kunstwerk.

De Eenvoudige toets bestaat uit de vraag of het faalmechanisme relevant is. Dit is het geval als de kerende hoogte wordt verzorgd door het kunstwerk zelf. Indien de kerende hoogte wordt verzorgd door het dijklichaam dan is het toetsspoor hoogte niet relevant voor het kunstwerk. De beoordeling van de hoogte van het dijklichaam wordt dan uitgevoerd binnen het dijkenstroom. Voorbeelden van kunstwerken die zelfstandig de kerende hoogte verzorgen zijn schutsluizen, keersluizen en coupures. Bij leidingen en duikers die door een dijklichaam heen voeren wordt de kerende hoogte bepaald door het dijklichaam ter plaatse van het kunstwerk.

Indien het faalmechanisme wel relevant is, dan wordt in alle gevallen een Gedetailleerde toets uitgevoerd.

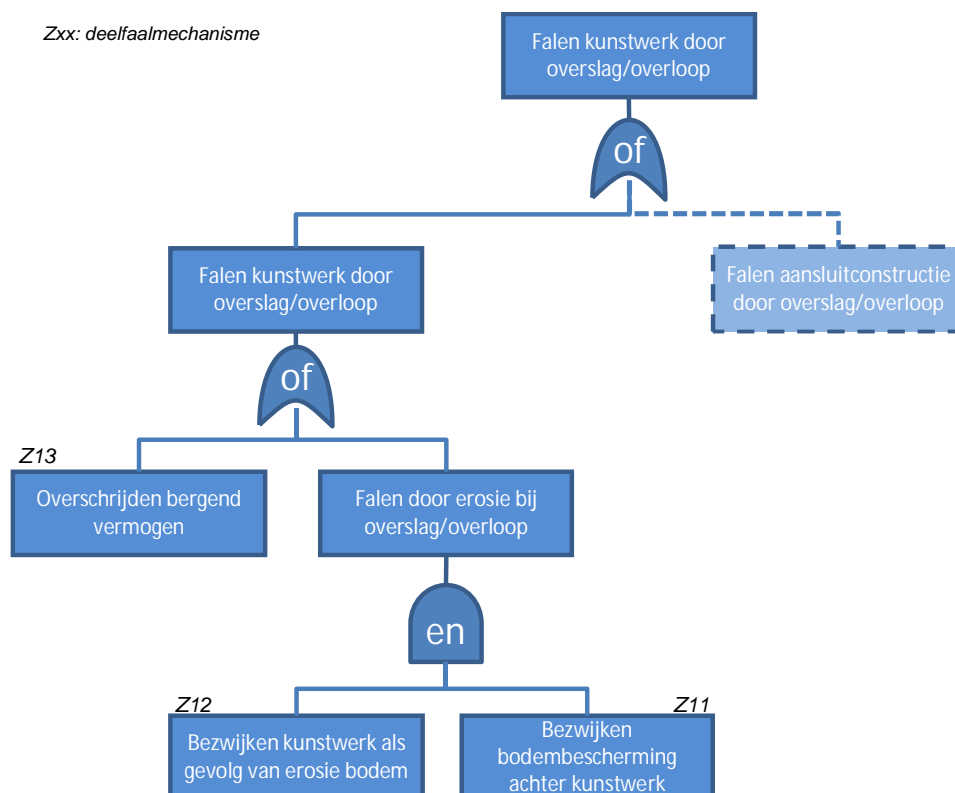
### 15.2 Gedetailleerde toets hoogte kunstwerk

In de Gedetailleerde toets hoogte kunstwerk wordt falen gedefinieerd als het moment waarop er in het achterland significante overstromingsgevolgen optreden als gevolg van golfoverslag en/of overloop over het hoogwaterkerend kunstwerk (gesloten keermiddelen). Er is sprake van significante gevolgen als er sprake is van meer dan 10 miljoen euro schade en/of tenminste 1 slachtoffer. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving (t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1.

In Figuur 15.2 is de modellering van het toetsspoor hoogte in de vorm van een foutenboom weergegeven. De foutenboom geeft aan hoe uit de kansen op de onderscheiden gebeurtenissen kan worden gekomen tot de kans op de topgebeurtenis: de kans op falen van het waterkerend kunstwerk door overslag en/of overloop.

In deze foutenboom is *Falen aansluitconstructie door overslag / overloop* wel weergegeven, maar dit wordt niet geconcretiseerd in de beoordeling van het kunstwerk. Eventuele gebreken aan de aansluitconstructie worden in het dagelijks beheer onderkend en hersteld en de invloed van de (overgang naar de) constructie op een aangrenzende grasmat wordt

verrekenend door in dat aangrenzende dijkvak rekening te houden met een op de situatie toegesneden sterkte-reductiefactor in geval van een overgang.



Figuur 15.2 Foutenboom toetsspoor hoogte voor kunstwerken

Falen als gevolg van tekort aan hoogte vindt plaats indien er door golfoverslag en/of overloop zoveel water over het hoogwaterkerend gesloten kunstwerk of de aansluitconstructie gaat, dat het faalcriterium (optreden significante gevolgen) wordt overschreden. Dit kan enerzijds optreden bij een standzeker kunstwerk, waar door overschrijding van het bergend vermogen aan de binnenzijde van het kunstwerk significante gevolgen ontstaan. Anderzijds kan het kunstwerk zelf bezwijken als gevolg van bezwijken van de bodembescherming aan de binnenzijde van het kunstwerk, waarna erosie van de ondergrond optreedt waardoor het kunstwerk als geheel bezwijkt met een bres in de waterkering als gevolg, zie hiervoor de Leidraad kunstwerken (TAW, 2003).

Een tekort aan kerende hoogte bij een aansluitingsconstructie is niet in de modellen van dit faalmechanisme opgenomen. Wel is hiervoor een handreiking opgesteld die gebruikt kan worden voor aansluitconstructies. Dit toetsspoor behandelt alleen de kerende hoogte van het kunstwerk zelf.

De volgende deelfaalmechanismen zijn aanwezig:

- Z11: Bezwijken van de bodembescherming achter het kunstwerk als gevolg van het overslaande of overlopende water, dat uiteindelijk leidt tot het ontstaan van erosiekuilen.
- Z12: Bezwijken van het kunstwerk (onderuit gaan) als gevolg van ontgrondingskuilen ontstaan na bezwijken bodembescherming. In de gedetailleerde beoordeling wordt aan deze tak een faalkans 1 toegekend.

- Z13: Falen van het kunstwerk als gevolg van onvoldoende waterbergend vermogen in het achterland doordat er te veel water overslaat/overloopt gedurende een hoogwatergolf.

Voor de Gedetailleerde toets van *hoogte kunstwerk* in het WTI 2017 wordt een probabilistische toets met een faalkanseis op objectniveau uitgevoerd met behulp van de door het WTI programma beschikbaar gestelde software. Als hieruit blijkt dat de kans op falen van de kering door overslag of overloop kleiner is dan de beschikbare faalkansruimte zie paragraaf 2.2.2, dan is het oordeel 'Voldoet' voor het toetsspoor hoogte. Is de berekende faalkans groter dan de beschikbare faalkansruimte, moet verder worden gegaan met de Toets op maat.

### 15.3 Toets op maat hoogte kunstwerk

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.

Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).

Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Mogelijke nadere analyses zijn:

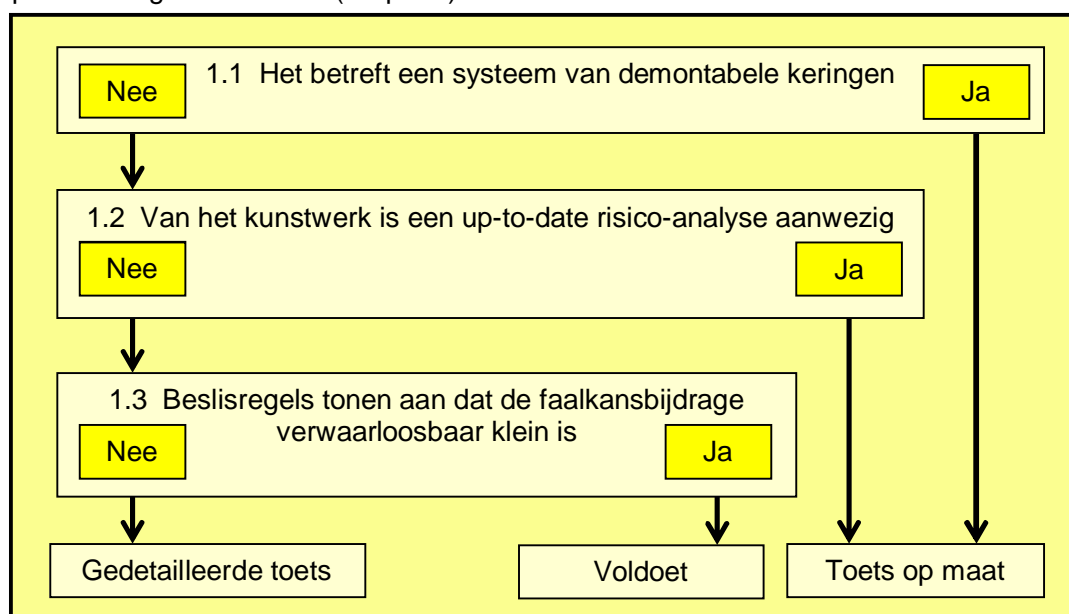
- Nadere bepaling van het optredende overslag-/overloopdebiet
- Indien er slechts een beperkt hoogtetekort wordt berekend in de Gedetailleerde toets dan kan met behulp van de EurOtop-manual (EurOtop Team, 2007) een meer nauwkeurige inschatting van het optredende overslag-/overloopdebiet worden bepaald. Met name bij constructies met voorlanden en samengestelde constructies kan met de EurOtop-manual een kleiner overslag-/overloopdebiet worden berekend.
- Nadere inschatting van het kritieke debiet  
Met name indien 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 vergt maatwerk waarvoor specialistische kennis omtrent bodembeschermingen vereist is.
- Kwantificering van de aanwezige reststerkte. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar het deelfaalmechanisme dat de faalkans bepaalt:
  - Komberging  
Indien het kombergend vermogen de faalkans bepaalt, kan een nadere analyse van dit kombergend vermogen (nadere inschatting instromend volume, kombergend oppervlak, toelaatbare peilstijging of combinatie van deze aspecten) worden uitgevoerd.
  - Bezijken van de bodembescherming  
Indien de faalkans gedomineerd wordt door het bezijken van de bodembescherming en het vervolgens bezijken van het kunstwerk als gevolg van het ontstaan van ontgrondingskuilen kan een nadere analyse worden uitgevoerd. Deze analyse is erop gericht de kans op het bezijken van het kunstwerk als gevolg van het ontstaan van ontgrondingskuilen beter in te schatten.
  - Voor het beoordelen van overgangsconstructies wordt verwezen naar de Handreiking aansluitconstructies (Deltares, 2015).

## 16 Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW)

Als kunstwerk worden beoordeeld alle objecten in de primaire waterkeringen die worden benoemd in het Stroomschema beoordelingsaanpak niet-waterkerende en waterkerende objecten, zie Bijlage G en (Breedveld, 2014).

### 16.1 Eenvoudige toets betrouwbaarheid sluiting

In Figuur 16.1 is het toetsschema voor de Eenvoudige toets van betrouwbaarheid sluiting weergegeven. De Eenvoudige toets bestaat uit 2 beslisregels (Stap 1.1 en 1.2) en een toets op eenvoudige kenmerken (Stap 1.3).



Figuur 16.1 Toetsschema Eenvoudige toets betrouwbaarheid sluiting (BSKW)

#### Stap 1.1: Het betreft een systeem van demontabele keringen.

Een systeem van demontabele waterkeringen is een mobiele kering van het type langsconstructie waarvan een deel van de constructie alleen bij dreigend hoogwater wordt opgebouwd en waarvan onder normale omstandigheden slechts een beperkt deel van de constructie (zoals funderingsbalken, kwelschermen, of aansluitingen op bestaande constructies) achterblijft op het waterkeringstracé. Indien het kunstwerk bestaat uit een systeem van demontabele keringen, dan dient verder gegaan te worden met de Toets op maat. Als het kunstwerk geen systeem van demontabele keringen betreft wordt de toets voortgezet met Stap 1.2.

#### Stap 1.2: Er is een up-to-date risico-analyse aanwezig.

Als er een risico-analyse van de actuele situatie aanwezig is, dan kan dit een efficiënte route naar een oordeel 'Voldoet' opleveren; in de Toets op maat moet worden vastgesteld of deze risico-analyse aantoont dat het kunstwerk al dan niet voldoet. Is er geen risico-analyse aanwezig, dan wordt de toets voortgezet met Stap 1.3.

#### Stap 1.3: Beslisregels tonen aan dat de faalkansbijdrage verwaarloosbaar klein is.

Indien een kunstwerk in Stap 1.3 aan een of meer van de volgende beslisregels voldoet, dan kan het oordeel 'Voldoet' voor betrouwbaarheid sluiting aan dit kunstwerk worden toegekend:

- **Gemaal:** Het gemaal is van twee hoogwaterkerende keermiddelen voorzien die met het pompbedrijf zijn gekoppeld.
- **Gemaal en in- en uitwateringssluis:** Het kunstwerk beschikt over één watervoerende leiding door de waterkering en deze leiding heeft een diameter kleiner of gelijk aan 0,5 m.
- **Gemaal:** Het gemaal is voorzien van leidingen met een diameter kleiner of gelijk aan 1,0 m en het binnendijkse instroomhoofd ligt buiten de invloedzone (zie bijlage A) van de waterkering.
- **Schutsluis:** De fysiek kerende hoogte van de hoogwaterkerende keermiddelen in binnen- en buitenhoofd en van de kolk van de schutsluis is aan elkaar gelijk. Aanvullend geldt dat de schutsluis geen situaties kent waarbij deze helemaal geopend staat. Nooit mogen alle schutdeuren open staan om:
  - De scheepvaart vrije doorvaart te geven als er geen verval is.
  - Water in dan wel uit de polder te laten.
- **Uitwateringssluis:** De uitwateringssluis of vrij verval rioolleiding/riooloverstortleidingen (duikers) komt binnendijks buiten de invloedzone van de waterkering (zie bijlage A) uit in een inspectieput, waarvan de toegang minimaal op het niveau van het maaiveld ligt.

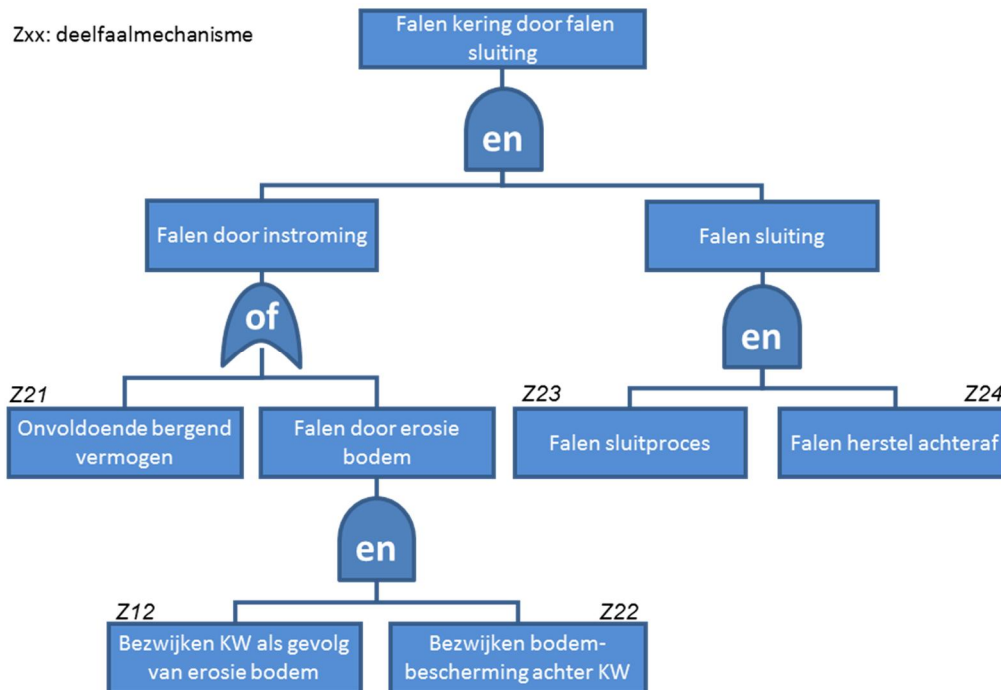
In de overige gevallen wordt de beoordeling vervolgd met de Gedetailleerde toets (toetslaag 2).

## 16.2 Gedetailleerde toets betrouwbaarheid sluiting

In de Gedetailleerde toets betrouwbaarheid sluiting kunstwerk wordt falen gedefinieerd als het moment waarop er in het achterland significante overstromingsgevolgen optreden als gevolg van het water dat door het niet gesloten kunstwerk gaat. Er is sprake van significante gevolgen als er sprake is van meer dan 10 miljoen euro schade en/of tenminste 1 slachtoffer. Voorafgaand aan de instroming van water faalde de sluiting van het kunstwerk. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1.

Voor de Gedetailleerde toets van *betrouwbaarheid sluiting* wordt in het WTI 2017 een probabilistische toets met een faalkanseis op objectniveau uitgevoerd met behulp van de door het WTI programma beschikbaar gestelde software.

In Figuur 16.2 is de modellering van het toetsspoor betrouwbaarheid sluiting in de vorm van een foutenboom weergegeven.



Figuur 16.2 Foutenboom toetsspoor betrouwbaarheid sluiting

De volgende deelfaalmecanismen zijn aanwezig:

- Z12: Kans dat het kunstwerk als geheel bezwijkt (onderuit gaat) gegeven het feit dat bezwijken van de bodembescherming heeft plaatsgevonden. Heeft betrekking op het eroderen van de onbeschermde bodem, het ontstaan van ontgrondingskuilen en het bezwijken van het kunstwerk na bezwijken bodembescherming. In de gedetailleerde beoordeling wordt aan deze tak een faalkans 1 toegekend.
- Z21: Falen van het kunstwerk als gevolg van onvoldoende waterbergend vermogen in het achterland, doordat er te veel water instroomt gedurende een hoogwatergolf.
- Z22: Bezwijken van de bodembescherming achter het kunstwerk als gevolg van het instromende water.
- Z23: Falen van het sluitproces van de (hoog)waterkerende keermiddelen, waardoor het kunstwerk niet gesloten is.
- Z24: Falen van het herstel van een falende sluiting.

Voor het evalueren van de faalkans wordt gebruik gemaakt van de door het WTI programma beschikbaar gestelde software. Als hieruit blijkt dat de kans op falen van de waterkering door het falen van de sluiting kleiner is dan de beschikbare faalkansruimte, zie paragraaf 2.2.2, dan is het oordeel 'Voldoet' voor het mechanisme betrouwbaarheid sluiting. Is de berekende faalkans groter dan de beschikbare faalkansruimte, dan moet verder worden gegaan met de Toets op maat.

### 16.3 Toets op maat betrouwbaarheid sluiting

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

- Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.  
 Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).  
 Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Afhankelijk van het dominante deelfaalmechanisme zijn verschillende nadere analyses mogelijk. Aanscherping kans op falen van het sluitproces (altijd in het kritieke pad):

- Analyse kans op niet sluiten (foutenboomanalyse).
- Analyse faalkans herstel van sluiting (foutenboomanalyse).
- Nadere bepaling kans op open staan bij naderend hoogwater (gebruiksanalyse).

Aanscherping komberging:

- Meenemen daadwerkelijk verloop van hoogwater (locatie specifiek waterstandsverloop).
- Nadere bepaling kritieke waterstand achterliggende waterkeringen (sterkteanalyse achterliggende waterkeringen).
- Nadere bepaling kombergend oppervlak (achterlandstudie).

Aanscherping bodembescherming:

- Nadere bepaling bresvorming bij optreden erosie bodembescherming (beschouwing situatie en constructie in relatie tot het ontstaan van grondmechanische instabiliteit van het kunstwerk en daarmee het ontstaan van een bres).

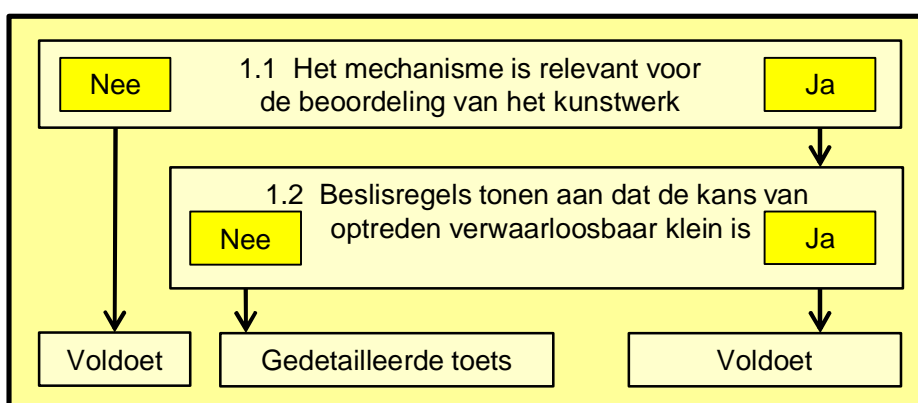


## 17 Piping bij kunstwerken (PKW)

Als kunstwerk worden beoordeeld alle objecten in de primaire waterkeringen die worden benoemd in het Stroomschema beoordelingsaanpak niet-waterkerende en waterkerende objecten, zie Bijlage G en (Breedeveld, 2014).

### 17.1 Eenvoudige toets piping

In Figuur 17.1 het toetsschema voor de Eenvoudige toets van piping bij kunstwerken weergegeven.



Figuur 17.1 Toetsschema Eenvoudige toets piping bij kunstwerken (PKW)

#### Stap 1.1: Het mechanisme is relevant voor de beoordeling van het kunstwerk.

Het mechanisme is altijd relevant voor kunstwerken, tenzij:

- Aan de uittredezijde van het kunstwerk een filter aanwezig is waarin uitstroming plaatsvindt. Indien dit filter voldoet aan de 'filterregels' en de conditie is goed, dan is de veiligheid met betrekking tot piping gewaarborgd (zie hiervoor de schematiseringshandleiding).
- De kruising met de waterkering bestaat uit een leiding die voorzien is van een kwelscherm en waarvan de leidingdiameter kleiner is dan 0,50 m.

#### Stap 1.2: Beslisregels tonen aan dat de kans van optreden verwaarloosbaar klein is.

De kans op het optreden van piping kan als verwaarloosbaar klein beschouwd worden als voldaan wordt aan onderstaande voorwaarden:

- De constructie en eventuele kwelschermen worden rondom omsloten door een slecht doorlatend klei-/veenpakket van minimaal 1 m dikte (na zetting aan het eind van de toetsperiode), waarbij er geen in- of uitredepunten voor piping via de aansluiting tussen grond en constructie kunnen ontstaan.
- Indien de constructie op palen is gefundeerd is deze voorzien van een functionerend kwelscherm (dit zal nagenoeg altijd het geval zijn).
- De onder het kunstwerk aanwezige zandlagen zijn beoordeeld met 'Voldoet' volgens toetsspoor piping in het dijkenpoor.
- Indien achterloopsheid niet van toepassing is en één van de kwelschermen heeft een lengte die groter is dan twee keer het verval over het kunstwerk bij maatgevende

waterstanden. Opgemerkt wordt dat het hierbij lastig is om achterloopsheid op voorhand uit te sluiten. Situaties waarin achterloopsheid uitgesloten kan worden zijn:

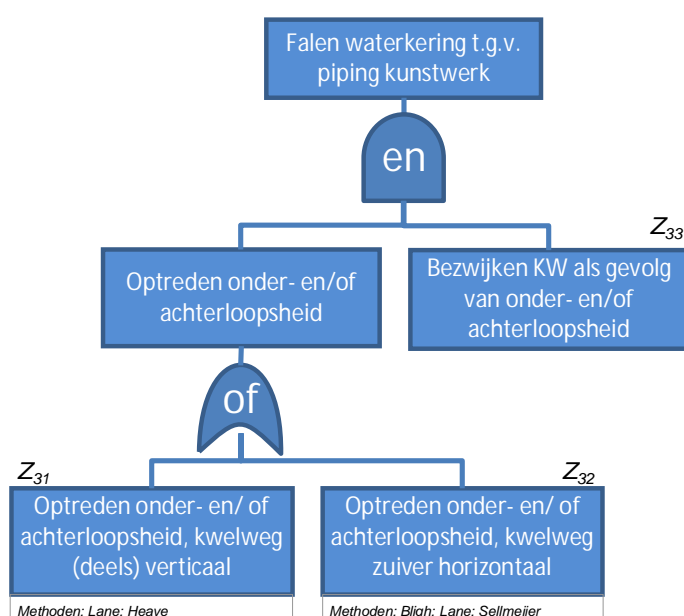
- Kunstwerken die zijn opgenomen in een dijklichaam met een zandkern; in deze situatie dient een toets op microstabiliteit van het aansluitende grondlichaam gedaan te worden. Tevens dienen de achterloopsheidschermen een bepaalde minimummaat buiten het kunstwerk te zijn doorgezet; aanbevolen wordt hier als praktische maat de lengte van het kwelscherm onder de constructie voor te hanteren.
- Kunstwerken waarbij aan de binnendijkse zijde een filterconstructie is opgenomen om achterloopsheid tegen te gaan; het filter dient hierbij te voldoen aan de 'filterregels' en in goede conditie te zijn.

Als op grond van één van bovenstaande beslisregels wordt vastgesteld dat de kans van optreden van piping verwaarloosbaar klein is, dan is het oordeel 'Voldoet'. Anders wordt de toetsing voortgezet met de Gedetailleerde toets, Stap 2.

## 17.2 Gedetailleerde toets piping

In de Gedetailleerde toets piping kunstwerk wordt falen door onder- of achterloopsheid gedefinieerd als het uitspoelen van gronddeeltjes ten gevolge van een geconcentreerde kwelstroom, waardoor holle ruimten ontstaan onder (onderloopsheid) of naast (achterloopsheid) een kunstwerk. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1.

In Figuur 17.2 is de modellering van het toetsspoor piping in de vorm van een foutenboom weergegeven.



Z<sub>xx</sub>: deelfaalmechanisme

Figuur 17.2 Foutenboom faalmechanismen onder- en achterloopsheid

De begrippen onderloopsheid en achterloopsheid roepen soms verwarring op, zodat een nadere toelichting hier op zijn plaats is:

- Onder achterloopsheid wordt verstaan de vorming van kanaaltjes of holle ruimten aan de zijkant van een kunstwerk als gevolg van het uitspoelen van grond. De maatgevende kwelweg is meestal zuiver horizontaal gericht (een kwelstroom langs het kunstwerk op het grensvlak van een cohesieve laag), maar kan ook verticale componenten bevatten (denk aan een uitrede onder een binnendijks scherm). In de praktijk wordt achterloopsheid echter vaak 1 op 1 gekoppeld aan het model van Bligh, dus aan situaties met een zuiver horizontale kwelweg.
- Onderloopsheid betreft het ontstaan van holle ruimten onder een kunstwerk als gevolg van een geconcentreerde kwelstroom waarbij gronddeeltjes worden meegevoerd. Hierbij loopt de kwelstroom onder het kunstwerk door op het grensvlak van constructie en zand. Onder een kunstwerk zijn doorgaans kwelschermen aanwezig, waardoor de kwelstroom ook verticale componenten omvat. Dit hoeft echter niet altijd het geval te zijn. Denk aan lange duikers en leidingen waarbij geen kwelschermen aanwezig zijn. In de praktijk wordt onderloopsheid echter vaak 1 op 1 gekoppeld aan het model van Lane en/of heave, dus aan situaties met een (deels) verticale kwelweg.

De volgende deelfaalmechanismen zijn aanwezig:

- Z31: Het uitspoelen van gronddeeltjes ten gevolge van een geconcentreerde kwelstroom die (deels) verticaal gericht is, waardoor holle ruimten ontstaan onder of naast het kunstwerk. Dit leidt tot een proces van terugschrijdende (interne) erosie, waarbij uiteindelijk een doorgaande pipe ontstaat onder het kunstwerk.
- Z32: Het uitspoelen van gronddeeltjes ten gevolge van een geconcentreerde kwelstroom die uitsluitend horizontaal gericht is, waardoor holle ruimten ontstaan onder of naast het kunstwerk. Dit leidt tot een proces van terugschrijdende (interne) erosie, waarbij uiteindelijk een doorgaande pipe ontstaat onder of naast het kunstwerk.
- Z33: Bezwijken van het kunstwerk (volledig onderuit gaan) gegeven het feit dat onder- of achterloopsheid heeft plaatsgevonden. Heeft betrekking op reststerkte van het kunstwerk (inclusief aanliggende grondlichaam) na het ontstaan van een doorgaande pipe onder of naast het kunstwerk. In de gedetailleerde beoordeling wordt aan deze tak een faalkans 1 toegekend.

Voor het bepalen van de kans op het uitspoelen van gronddeeltjes ten gevolge van een geconcentreerde kwelstroom die (deels) verticaal gericht is, zijn de modellen van Lane en heave beschikbaar. Voor een horizontale kwelweg zijn ook de modellen van Bligh en Sellmeijer beschikbaar. Voor de wijze van parameterbepaling wordt verwezen naar de schematiseringshandleiding. De rekenwijzen zijn beschreven in het Achtergrondrapport Toetsspoor Piping. Als hieruit blijkt dat de kans op falen van het kunstwerk door piping kleiner is dan de beschikbare faalkansruimte, zie paragraaf 2.2.2, dan is het oordeel 'Voldoet' voor het mechanisme piping.

### 17.3 Toets op maat piping

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

- Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.
- Stap 2: beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).
- Stap 3: uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Als mogelijkheden voor een Toets op maat worden genoemd:

- Gebruik maken van state of the art kennis en software (EEM modellen) in grondwaterstromingsberekeningen.
- Rekening houden met tijdsafhankelijkheid in grondwaterstromingsanalyses.
- Analyse gebruikmakend van peilbuiswaarnemingen.
- Analyse bewezen sterkte.
- Probabilistische piping of heave analyse.

## 18 Sterkte en stabiliteit kunstwerk, puntconstructie (STKWp)

Als kunstwerk worden beoordeeld alle objecten in de primaire waterkeringen die worden benoemd in het Stroomschema beoordelingsaanpak niet-waterkerende en waterkerende objecten, zie Bijlage G en (Breedeveld, 2014). Maar de beoordeling sterkte en stabiliteit kunstwerken die in dit hoofdstuk wordt beschreven heeft betrekking op puntconstructies; voor langsconstructies zie hoofdstuk 19.

Bij puntconstructies (o.a. sluisen, coupures) spelen over het algemeen onzekerheden gerelateerd aan de lengte<sup>1</sup> van het kunstwerk (verder aangeduid als lengte-effect) een ondergeschikte rol en heeft de constructie altijd een dominante invloed op het gedrag van de waterkering. Hiervoor is binnen WTI 2017 in het beoordelingsspoor sterkte en stabiliteit kunstwerken (STKWp) een Gedetailleerde toets en een Toets op maat voorzien.

Door de grote diversiteit in soorten, types en dimensies van kunstwerken is het niet mogelijk om algemeen geldende beslisregels voor de Eenvoudige toets te geven.

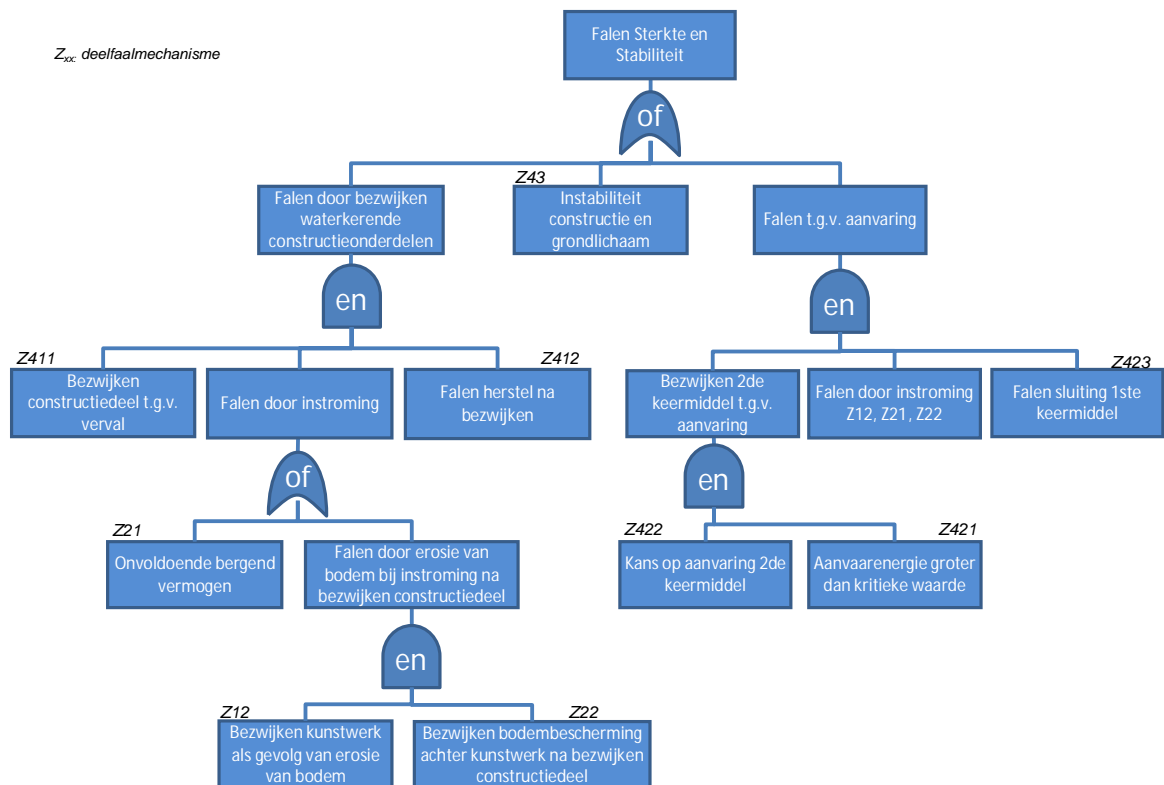
### 18.1 Gedetailleerde toets sterkte en stabiliteit puntconstructie

In de Gedetailleerde toets sterkte en stabiliteit puntconstructie wordt falen door bezwijken van het kunstwerk gedefinieerd als het moment waarop de kritische stroomsnelheid van de bodembescherming wordt overschreden, danwel het moment dat er in het achterland significante overstromingsgevolgen optreden als gevolg van stroming via het bezwiken kunstwerk. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1.

Voor de Gedetailleerde toets van *sterkte en stabiliteit van puntconstructie* wordt in het WTI 2017 een probabilistische toets met een faalkanseis op objectniveau uitgevoerd. In Figuur 18.1 is daartoe de modellering van het toetsspoor in de vorm van een foutenboom weergegeven. Voor het evalueren van de faalkans wordt gebruik gemaakt van de door het WTI programma beschikbaar gestelde software.

---

<sup>1</sup> In de lengterichting van de waterkering;



Figuur 18.1 Foutenboom toetspoot sterkte en stabiliteit puntconstructie

De volgende deelsporen zijn aanwezig, de hoofdtakken in de foutenboom:

1. Falen door bezwijken constructieonderdelen. Het gaat hier om het bezwijken van de keermiddelen van het kunstwerk, waardoor een grote hoeveelheid water naar binnen kan stromen.
2. Falen door instabiliteit constructie en grondlichaam. Als gevolg van instabiliteit bezwijkt het kunstwerk (puntconstructie) of het aanpalende grondlichaam, waardoor een grote hoeveelheid water naar binnen kan stromen. Hierbij kan worden gedacht aan bijvoorbeeld het bezwijken van de fundatie van het kunstwerk. Indien dit plaatsvindt, dan is herstel niet meer mogelijk en dus zijn er ook geen andere deelfaalmecanismen meer aanwezig.
3. Falen door aanvaring van het 2<sup>de</sup> keermiddel. Dit is een deelspoot dat geheel gericht is op schutsluizen. Omdat het alleen op één type puntconstructie van toepassing is, wordt het niet als apart toetspoot gezien, maar als één van de deelsporen bij sterkte en stabiliteit. Bezwijken vindt plaats indien de deuren in het ene sluishoofd open staan en een schip de deuren in het andere sluishoofd eruit vaart.

De volgende deelfaalmecanismen zijn aanwezig:

- Tak Falen waterkerende constructieonderdelen:
  - Z12: Bezwijken (onderuit gaan) van het kunstwerk als geheel, gegeven het feit dat erosie van de bodembescherming heeft plaatsgevonden. In de gedetailleerde beoordeling wordt aan deze tak een faalkans 1 toegekend.
  - Z21: Falen van het kunstwerk als gevolg van onvoldoende waterbergend vermogen in het achterland, doordat er te veel water instroomt gedurende een hoogwatergolf.

- Z22: Bezijken van de bodembescherming achter het kunstwerk als gevolg van het instromende water, dat uiteindelijk leidt tot het ontstaan van erosiekuilen.
  - Z411: *Bezijken constructieonderdelen* als gevolg van de vervalbelasting op het betreffende onderdeel. Dit bezijken leidt direct tot ongecontroleerde instroming van water.
  - Z412: Falen van het herstel van het waterkerende vermogen nadat een constructieonderdeel van het kunstwerk is bezweken.
- Tak Instabiliteit constructie en grondlichaam:
    - Z43: Falen van het kunstwerk als gevolg van instabiliteit van het grondlichaam en/of de constructie.
  - Tak Falen ten gevolge van aanvaring (specifiek schutsluizen):
    - Z421: Bezijken van de deuren in het gesloten sluishoofd als gevolg van het aanvaren door een schip. Hierbij is de aanvaarenergie groter dan de door de constructie opneembare energie.
    - Z422: Kans dat het gesloten keermiddel wordt aangevaren.
    - Z423: Falen van het herstel van het waterkerende vermogen met behulp van het niet gesloten keermiddel, nadat door aanvaring het gesloten keermiddel is bezweken.

Voor het evalueren van de faalkans wordt gebruik gemaakt van door het WTI programma beschikbaar gestelde software. Als uit door het WTI programma beschikbaar gestelde software-berekening blijkt dat de kans op falen door een tekort aan sterkte kleiner is dan de beschikbare faalkansruimte, dan is het oordeel 'Voldoet' voor het mechanisme sterkte en stabiliteit puntconstructie. Is de berekende faalkans groter dan de beschikbare faalkansruimte zie hiervoor hoofdstuk 2.2.2, dan moet verder worden gegaan met de Toets op maat.

## 18.2 Toets op maat sterkte en stabiliteit puntconstructie

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.

Stap 2: beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).

Stap 3: uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Als mogelijkheden voor een Toets op maat worden genoemd:

Sterkte constructieonderdelen:

- Toepassing eindige elementen methodiek voor nadere bepaling sterktecapaciteit constructie.

Geotechnische stabiliteit constructie:

- Toepassing eindige elementen methodiek voor nadere bepaling sterktecapaciteit constructie.

Aanvaren:

- Monitoring optredende vaarsnelheden in de kolk (specifiek voor betreffende kunstwerk/sluis).

- Geavanceerde bepaling sterkte constructie in relatie tot botsing (inzet van EEM).



## 19 Sterkte en stabiliteit kunstwerk, langsconstructie (STKWI)

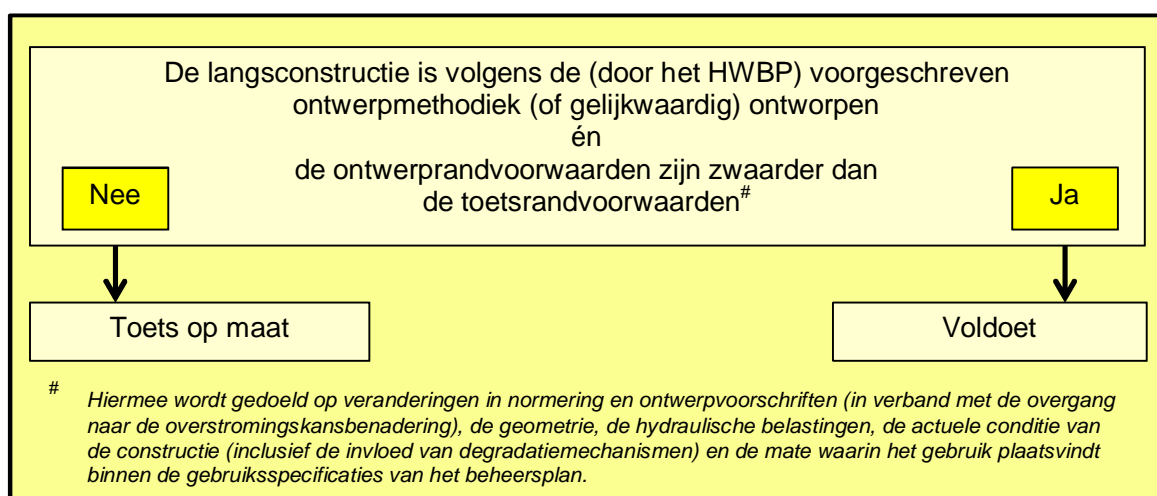
Als kunstwerk worden beoordeeld alle objecten in de primaire waterkeringen die worden benoemd in het Stroomschema beoordelingsaanpak niet-waterkerende en waterkerende objecten, zie Bijlage G en (Breedeveld, 2014). Maar de beoordeling sterkte en stabiliteit kunstwerken die in dit hoofdstuk wordt beschreven heeft betrekking op langsconstructies; voor puntconstructies zie hoofdstuk 18.

Bij langsconstructies<sup>2</sup> (bijvoorbeeld stabiliteitsschermen, kistdammen, kademuren, systemen van demontabele keringen, keermuurtjes) moet het lengte-effect duidelijk wel worden meegenomen. Wat betreft de invloed op het gedrag van de waterkering kan deze variëren per type langsconstructie; een grondrijk met langsconstructie die de weerstand tegen instabiliteit vergroot, zal zich bijvoorbeeld nog steeds als grondrijk gedragen. Binnen WTI 2017 is voor langsconstructies in het gecombineerde beoordelingspoor sterkte en stabiliteit langsconstructie (STKWI), naast een Eenvoudige toets, alleen een Toets op maat voorzien.

Deze paragraaf heeft betrekking op langsconstructies die de weerstand tegen instabiliteit van de aanwezige grondrijk vergroten (bijvoorbeeld stabiliteitsschermen). Langsconstructies die aan een puntconstructie zijn gerelateerd, zoals pipingschermen, worden bij de beoordeling van de puntconstructie (STKWp) beschouwd. Binnen WTI 2017 is voor langsconstructies die de weerstand tegen instabiliteit van een grondrijk vergroten in het beoordelingspoor sterkte en stabiliteit langsconstructie (STKWI), naast een Eenvoudige toets alleen een Toets op maat voorzien.

### 19.1 Eenvoudige toets sterkte en stabiliteit langsconstructie

Hieronder is in Figuur 19.1 het toetsschema voor de Eenvoudige toets van sterkte en stabiliteit langsconstructie weergegeven.



Figuur 19.1 Toetsschema Eenvoudige toets sterkte en stabiliteit langsconstructie

<sup>2</sup> Hierbij gaat het dus niet om langsconstructies die aan een puntconstructie zijn gerelateerd, zoals pipingschermen;

Het Technisch Rapport Analyse Macrostabieleit van dijken met de Eindige Elementen Methode (Bakker, Bredeveld, & Teunissen, 2011) is gebruikt voor een aantal ontwerprichtlijnen die binnen het kader van het HWBP worden voorgeschreven. Deze ontwerprichtlijnen zijn specifiek voor de (qua ondergrondcondities) complexe situatie bij de dijkversterking Kinderdijk-Schoonhovenseveer (KIS) geschreven.

Onder een ontwerp dat is gemaakt volgens de (door het HWBP) voorgeschreven ontwerpmethodiek wordt daarom verstaan een ontwerp dat is gemaakt in lijn met de aanpak (maar mogelijk met een van KIS afwijkende invulling) uit een van de volgende documenten:

- Ontwerp stabiliteitsschermen (type II) in primaire waterkeringen (groene versie) – Ontwerprichtlijn voor WSRL, (Deltares, 2013e).
- Ontwerp zelfstandig waterkerende constructies (type I) dijkversterking KIS, (Deltares, 2013f).
- “Erratum ontwerprichtlijn stabiliteitsschermen, (Deltares, 2014e).

Wat betreft de methodiek voor het beoordelen van langsconstructies vindt er, vooral op basis van ontwerpervaringen van gebruikers binnen het HWBP, doorontwikkeling plaats. Deze is er voornamelijk op gericht om minder conservatief te kunnen ontwerpen. Aan de andere kant is echter de toelaatbare faalkans van dijktrajecten met de komst van het WTI 2017 ingrijpend gewijzigd. Het is dus maar de vraag of een (volgens de richtlijnen ontworpen) langsconstructie ‘automatisch’ kan worden goedgekeurd als wordt geconstateerd dat de belasting niet is vergroot of de constructieve sterkte niet is verminderd. Resultaten uit eerdere beoordelingen zijn dan ook ten hoogste bruikbaar bij het interpreteren van de resultaten binnen het WTI 2017.

Opgemerkt wordt dat het belangrijk is de relevante gegevens over de langsconstructie compleet te verzamelen. Voor wat betreft de ontwerpuitgangspunten en gebruiksspecificaties in bijvoorbeeld een zogenaamd ‘oplegblad voor het ontwerp’, zie Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003) en de rekenbestanden van de EEM-analyses. Voor wat betreft de conditie en gebruiksspecificaties in het beheersregister of beheersplan.

## 19.2 Toets op maat sterkte en stabiliteit langsconstructie

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.

Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).

Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Voor de locatie specifieke aspecten zullen moeten aangeven welke optimalisaties in de toetsing ten opzichte van de ontwerpberoeeningen kunnen worden gemaakt.

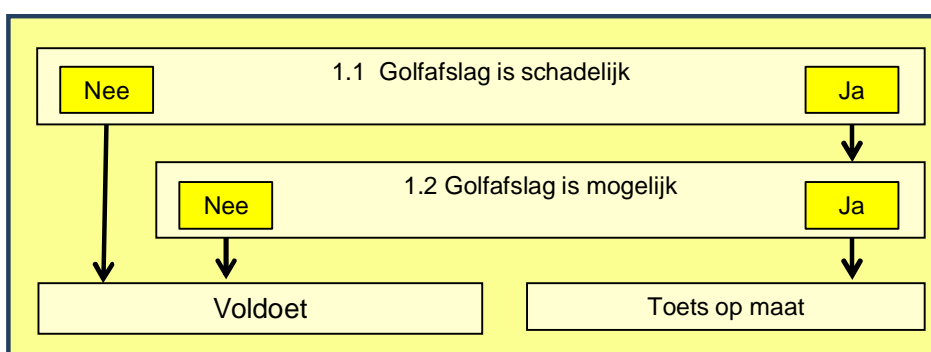
## 20 Golfafslag voorland (VLGA)

Het mechanisme golfafslag voorland is een indirect faalmechanisme. De beoordeling van elk van de beoordelingssporen betreffende het voorland vindt plaats volgens de getrapte procedure zoals beschreven in paragraaf 2.2.4. Voor deze beoordeling wordt gebruik gemaakt van een signaleringsprofiel. Het signaleringsprofiel is het profiel van het voorland dat minimaal aanwezig moet zijn om te voorkomen dat een eventuele golfafslag, afschuiving of zettingsvloeiing schadelijk kan zijn voor de waterkering.

Voor het faalmechanisme golfafslag wordt getoetst of de bijdrage van golfafslag aan de overstromingskans voldoende klein is.

### 20.1 Eenvoudige toets golfafslag

Figuur 20.1 geeft het toetsschema voor de Eenvoudige toets van golfafslag. In de Eenvoudige toets wordt op basis van globale kenmerken de invloed van golfafslag op de waterkering beoordeeld. In de eenvoudige toets wordt hiertoe gecontroleerd of de kans dat het restprofiel de invloedzone van de dijk, zie Bijlage A, doorsnijdt voldoende klein is. Daarbij wordt gecontroleerd of het mechanisme de waterkering kan beschadigen (Stap 1.1) en of het mechanisme kan optreden (Stap 1.2). De voor deze toets benodigde golfrandvoorwaarden maken deel uit van de hydraulische randvoorwaarden die in WTI-software beschikbaar worden gesteld conform het HR-technisch deel.

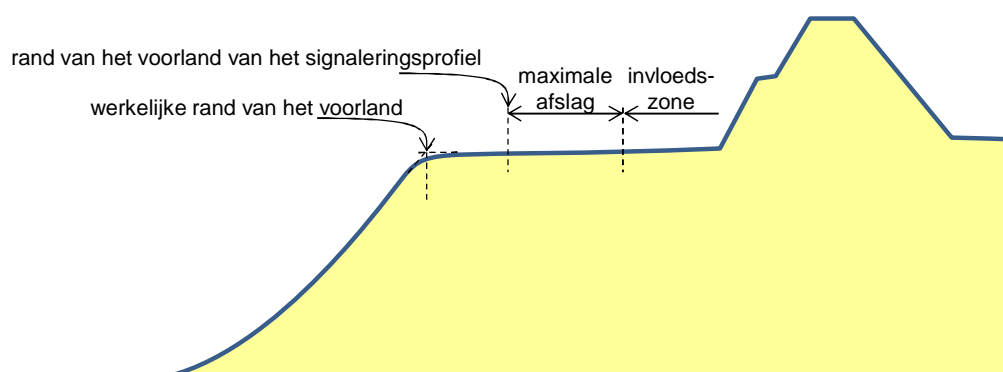


Figuur 20.1 Toetsschema Eenvoudige toets golfafslag bij voorlanden (VLGA)

#### Stap 1.1 Golfafslag is schadelijk voor andere mechanismen.

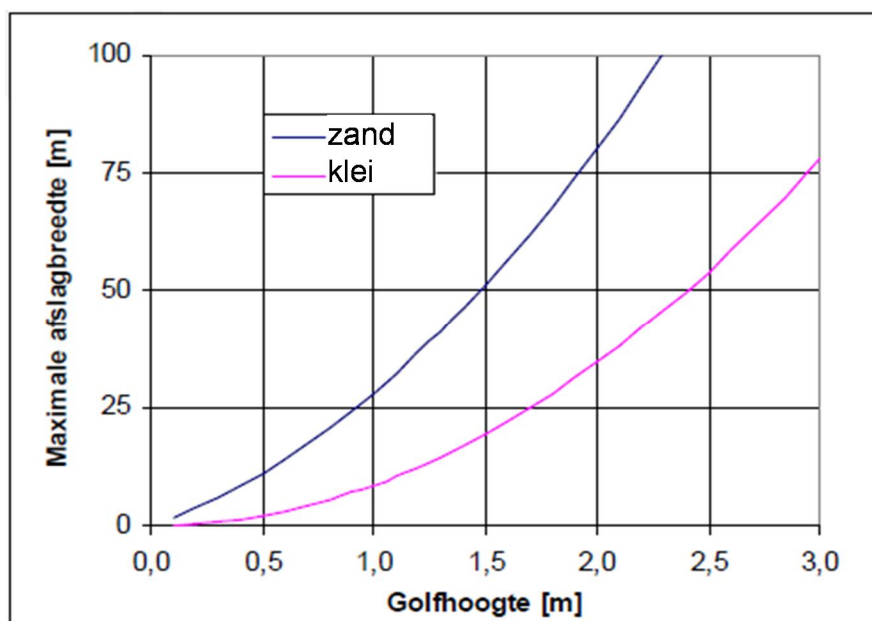
Stap 1.1 bestaat uit een vergelijking van het signaleringsprofiel met het maatgevende (meest ongunstigste profiel) in de beoordelingsperiode.

Voor golfafslag wordt het signaleringsprofiel slechts gekarakteriseerd door de positie van de rand van het voorland. De rand van het signaleringsprofiel ligt buitendijks van de invloedzone van de waterkering, zie Bijlage **Error! Reference source not found.**, en wel op een afstand gelijk aan de maximale afslagbreedte, zie Figuur 20.2.



Figuur 20.2 Rand van het voorland volgens het signaleringsprofiel

De maximale afslagbreedte kan worden afgelezen uit Figuur 20.3. Deze breedte is afhankelijk van de golfhoogte en het materiaal van het voorland. Indien de werkelijke rand van het voorland verder buitendijks ligt dan de rand van het signaleringsprofiel, dan zal de golfafslag andere bezwijkmechanismen van de waterkering niet negatief beïnvloeden en is de deelscore voor Golfafslag voorland: 'Voldoet'. Indien de werkelijke rand van het voorland landwaarts ligt ten opzichte van de rand van het signaleringsprofiel, dan is de golfafslag schadelijk voor andere mechanismen en dient de toetsing te worden gecontinueerd met Stap 1.2.



Figuur 20.3 Minimale benodigde marge buiten de invloedszone

#### Stap 1.2 Golfafslag is mogelijk.

Golfafslag kan *niet* optreden, indien aan minimaal één van de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- Grasmat op voorland aanwezig en golfhoogte is kleiner dan 0,75 m.
- Het niveau van het voorland is lager dan toetspeil (zie 26 Begrippen) en het toetspeil minus maaiveldhoogte van het voorland is groter dan twee keer de significante golfhoogte.
- Het niveau van het voorland is hoger dan toetspeil en de bekleding van het voorland (inclusief de brekerzone) voldoet aan de eisen gesteld in de hoofdstukken 7 t/m 13.

Indien aan één van bovengenoemde voorwaarden wordt voldaan, dan wordt golfafslag verhinderd en is de deelscore voor golfafslag voorland 'Voldoet'. Indien aan géén van bovengenoemde voorwaarden wordt voldaan, kan afslag mogelijk optreden en dient de beoordeling te worden voortgezet met de Toets op maat (toetslaag 3).

## **20.2 Gedetailleerde toets golfafslag**

Voor het mechanisme golfafslag bestaat geen Gedetailleerde toets.

## **20.3 Toets op maat golfafslag**

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.

Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).

Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Mogelijkheden voor een Toets op maat zijn:

- Uitvoeren van berekeningen met Durosta of Delft 3D, zoals staat beschreven in Technisch Rapport Voorland (Deltares, 2012a).
- Afslagprofiel meenemen als stochastische variabele in beoordeling directe faalmechanismen: als continu verdeelde variabele of als geometrie-scenario.

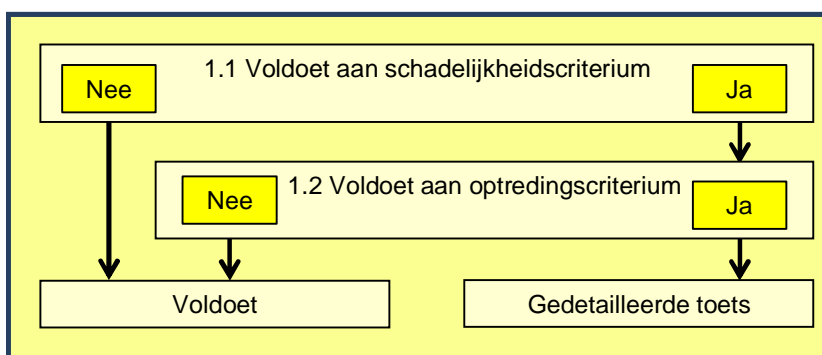
## 21 Afschuiving voorland (VLAF)

Het mechanisme afschuiving voorland is een indirect faalmechanisme. De beoordeling van elk van de beoordelingssporen betreffende het voorland vindt plaats volgens de getrapte procedure zoals beschreven in paragraaf 2.2.4. Voor deze beoordeling wordt gebruik gemaakt van een signaleringsprofiel. Het signaleringsprofiel is het profiel van het voorland dat minimaal aanwezig moet zijn om te voorkomen dat een eventuele golfafslag, afschuiving of zettingsvloeiing schadelijk kan zijn voor de waterkering.

Voor het faalmechanisme afschuiving voorland wordt getoetst of de bijdrage van afschuiving voorland aan de overstromingskans voldoende klein is. In de eenvoudige en gedetailleerde toets wordt hiertoe gecontroleerd of de kans dat het restprofiel de invloedzone van de dijk doorsnijdt voldoende klein is.

### 21.1 Eenvoudige toets afschuiving voorland

De Eenvoudige toets op afschuiving van het voorland bestaat uit 2 stappen en is weergegeven in Figuur 21.1.



Figuur 21.1 Toetsschema Eenvoudige toets op afschuiving voorland (VLAF)

#### Stap 1.1: Schadelijkheids criterium afschuiving.

Deze stap bestaat uit een vergelijking van het signaleringsprofiel met het beoordelingsprofiel. Daarmee wordt bepaald of eventueel optreden van een afschuiving van het voorland de dijk of dam of kunstwerk in gevaar brengt. De uitwerking van het schadelijkheids criterium bestaat uit drie deelstappen:

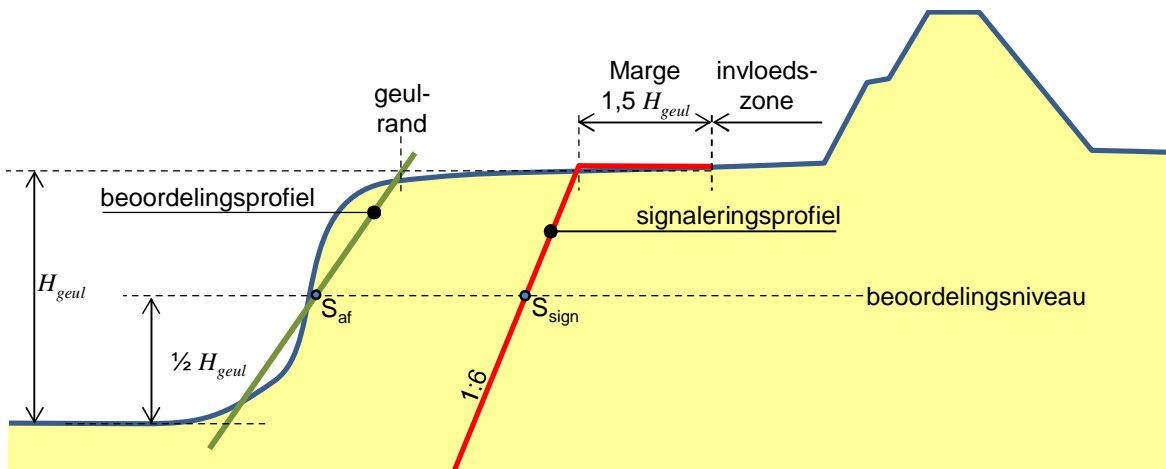
- Bepaling van het signaleringsprofiel bestaande uit het horizontaal deel buiten de invloedzone (bepaald zoals beschreven in Bijlage A) van de waterkering (de marge) en het hellende deel (taludhelling 1:n).
- Bepaling van het beoordelingsprofiel en beoordelingsniveau.
- Vergelijking van beoordelingsprofiel met het signaleringsprofiel.

Het schadelijkheids criterium kan bepaald worden voor twee situaties:

- A. Standaard situatie (zonder vooroeverbetastingen).
- B. Situatie met vooroeverbetasting.

Ad: A. Standaard situatie (zonder vooroeverbestortingen):

1. Bepaling van het signaleringsprofiel met behulp van Figuur 21.2:
  - a. Voor de standaard situatie geldt voor de marge een waarde van  $1,5H_{geul}$ . Waarbij  $H_{geul}$  is de geuldiepte, oftewel de verticale afstand tussen de geulrand en de geulbodem.
  - b. Het hellende deel van het signaleringsprofiel sluit aan op het horizontale deel. De te hanteren taludhelling is 1V:6H.
2. Bepaling van het beoordelingsprofiel en beoordelingsniveau:
  - a. Het beoordelingsprofiel is het gemiddelde profiel vóór afschuiving. De doorgaande blauwe lijn in Figuur 21.2 toont het vóór de afschuiving aanwezige profiel. Op basis daarvan wordt een rechte lijn getrokken, vanaf de geulrand tot aan de geulbodem (dus onder de gemiddelde helling van het aanwezige profiel). Hoe de geulrand is gedefinieerd is omschreven in de schematiseringshandleiding.
  - b. Het beoordelingsniveau ligt op een hoogte van  $\frac{1}{2} H_{geul}$  boven de geulbodem.
3. Vergelijking van het signaleringsprofiel met het gemiddeld profiel vóór afschuiving. Op het beoordelingsniveau worden twee punten gedefinieerd. Het signaleringspunt  $S_{sign}$  is het snijpunt van het signaleringsprofiel met het beoordelingsniveau. Het afschuivingpunt  $S_{af}$  is het snijpunt van het gemiddeld profiel vóór afschuiving met het beoordelingsniveau.



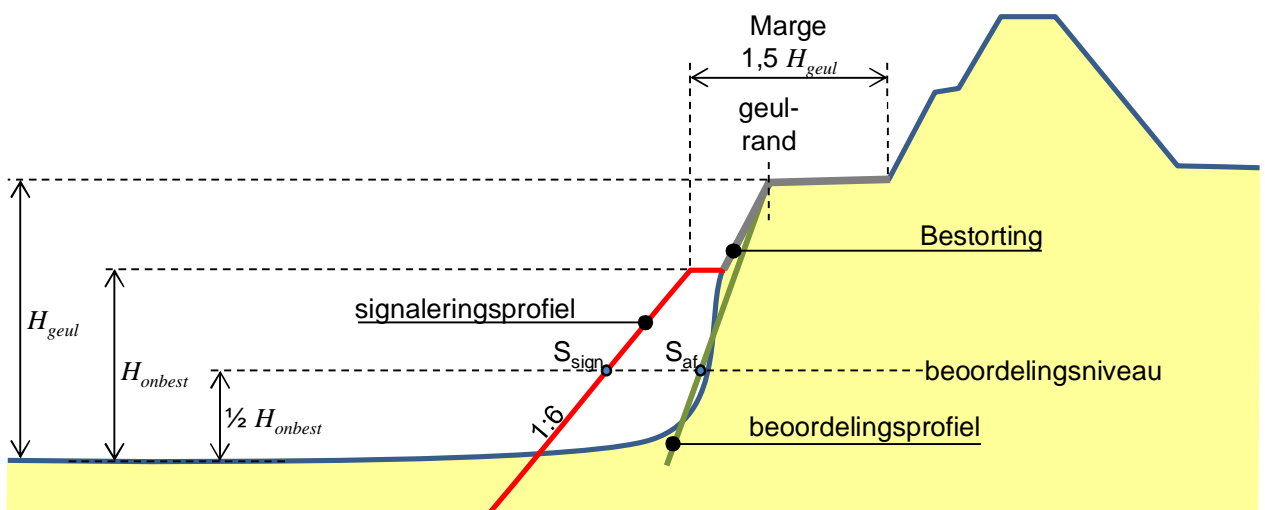
Figuur 21.2 Situatie zonder bestorting met signaleringsprofiel en beoordelingsprofiel

Ad: B. Situatie met vooroeverbestorting:

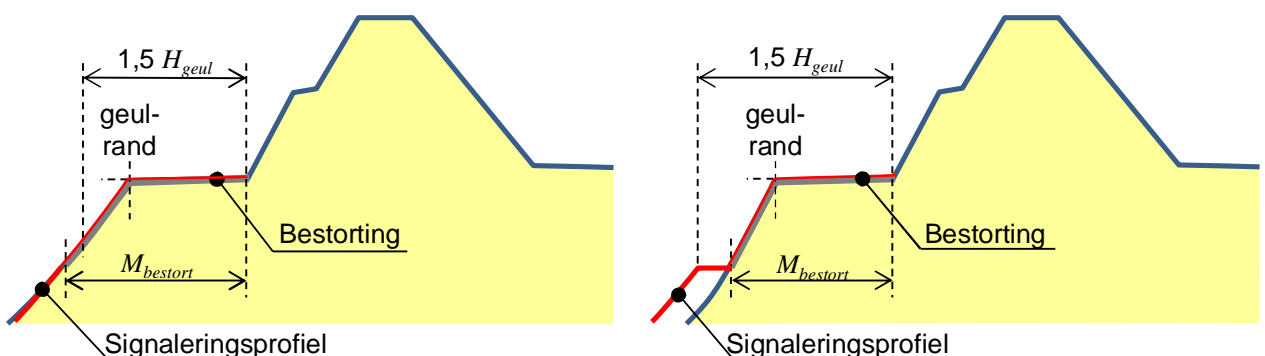
1. Bepaling van het signaleringsprofiel met behulp van Figuur 21.3:
  - a. Vanaf de teen van de dijk volgt het signaleringsprofiel de ligging van de bestorting tot aan het uiteinde daarvan. Als voor het geval met een vooroeverbestorting de marge  $1,5 H_{geul}$  groter is dan de horizontale projectie van de bestorting,  $M_{bestorting}$ , verloopt het signaleringsprofiel horizontaal verder vanaf het uiteinde van de bestorting, totdat de horizontale afstand tot aan de teen gelijk is aan  $1,5 H_{geul}$  (zie ook Figuur 21.4). Net als bij de standaard situatie geldt voor het geval met een vooroeverbestorting voor de marge een minimale waarde van  $1,5H_{geul}$ , en is de geuldiepte  $H_{geul}$  de verticale afstand tussen de geulrand en de geulbodem.
  - b. Een vooroever waarvan het onderste deel bestort is en waarbij de bestorting begint in het diepste punt van de geul. Voor bepaling van het beoordelingsniveau wordt in plaats van  $H_{geul}$  de onbestorte geuldiepte  $H_{onbest}$  genomen

- C. De taludhelling van het signaleringsprofiel vanaf dat punt is hetzelfde als voor het standaardgeval: 1V:6H.
2. Bepaling van het beoordelingsprofiel en beoordelingsniveau.
    - a. De bepaling van het gemiddeld profiel vóór afschuiving verloopt hetzelfde als voor het standaardgeval.
    - b. Voor de bepaling van het beoordelingsniveau hoeft alleen te worden gekeken naar het gedeelte onder de bestorting,  $H_{onbest}$ . Daarbinnen geldt dezelfde regel als voor het standaardgeval: het beoordelingsniveau ligt op een hoogte van  $\frac{1}{2} H_{onbest}$  boven de geulbodem.
  3. De vergelijking van het signaleringsprofiel met het gemiddeld profiel vóór afschuiving verloopt hetzelfde als voor het standaardgeval.

Voor geval A en B wordt aan het schadelijkheids criterium voldaan, als het afschuivingspunt  $S_{af}$  landwaarts ligt van het signaleringspunt  $S_{sign}$ . In dat geval dient de toetsing te worden voortgezet met Stap 1.2. Als niet wordt voldaan aan het schadelijkheids criterium is de deelscore voor Afschuiving voorland 'Voldoet'.



Figuur 21.3 Schadelijkheids criterium afschuiving voorland met vooroeverbrestorting



Figuur 21.4 Schadelijkheids criterium afschuiving voorland - bepaling ligging signaleringsprofiel in relatie tot de lengte van de bestorting



Stap 1.2: Optredingscriterium.

Het optreden van een afschuiving is mogelijk als wordt voldaan aan één van de volgende drie voorwaarden:

- De gemiddelde helling is steiler dan of gelijk aan 1V:2H, over een hoogte van minimaal 5 m, tenzij er sprake is van een kleilaag zonder zand.
- De gemiddelde helling is steiler dan of gelijk aan 1V:1H, over een hoogte van minimaal 5 m, mits ter plaatse van de kleilaag zonder zand.
- De totale helling (geulrand-geulbodem) is gemiddeld steiler dan of gelijk aan 1V:4,5H.

Indien aan **geen** van deze voorwaarden wordt voldaan is de deelscore voor afschuiving voorland 'Voldoet'. Indien aan ten minste een van de drie voorwaarden wordt voldaan, dan moet de toetsing worden voortgezet met de Gedetailleerde toets (toetslaag 2).

**21.2 Gedetailleerde toets afschuiving voorland**

Falen is voor de gedetailleerde toets gedefinieerd als een dusdanige afschuiving van het voorland dat deze van invloed is op de directe mechanismen, zoals piping en macro-instabiliteit binnenwaarts of buitenwaarts of erosie buitentalud. In de Gedetailleerde toets wordt danook getoetst of de kans dat het restprofiel na de afschuiving de grens van de invloedszone overschrijdt voldoende klein is. Daartoe wordt een geotechnische analyse van de stabiliteit uitgevoerd waarbij rekening wordt gehouden met ondergrondscenario's met hun kans van voorkomen, zie Bijlage A. Voor de geotechnische analyse wordt gebruik gemaakt van het rekenmodel LiftVan, zoals geïmplementeerd in de door WTI ter beschikking gestelde software. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De indeling in vakken en de schematisatie wordt opgesteld met behulp van de schematiseringshandleiding zoals genoemd in Tabel 2.1.

De beoordeling vindt plaats op dijkvakniveau. Om tot een oordeel te komen moeten per vak de volgende berekeningsstappen worden uitgevoerd:

Stap A	Bepaal met de WTI-software of er sprake is van falen gegeven de meest waarschijnlijke afschuiving per ondergrondscenario.
Stap B	Bereken de faalkans gegeven de meest waarschijnlijke afschuiving per ondergrondscenario door sommatie van de kansen behorende bij de ondergrondscenario's die tot falen leiden.
Stap C	Bepaal of deze faalkans kleiner is dan de voor dit mechanisme toelaatbare faalkans:

$$P_{eis,vak} = 0,01 \cdot L_{vak} \text{ [1/jaar]}$$

Vgl 21.1

waarin:

$P_{eis,vak}$  Toelaatbare faalkans voor het dijkvak [1/jaar].

$L_{vak}$  Lengte van het dijkvak [km].

Indien de berekende faalkans kleiner is dan de toelaatbare faalkans is de deelscore voor afschuiving voorland 'Voldoet'. Indien de berekende faalkans groter is, dient de toetsing te worden vervolgd met de Toets op maat (toetslaag 3).

### 21.3 Toets op maat afschuiving voorland

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.

Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).

Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

- Een mogelijkheid voor de Toets op maat is het uitvoeren van geavanceerde analyses met Eindige Elementen Modellen (EEM) op basis van grondwaterstromingsmodellen en in situ onderzoek.
- Restprofiel na afschuiving meenemen als stochastische variabele in de beoordeling van directe faalmechanismen: als continu verdeelde variabele of als geometrie-scenario.

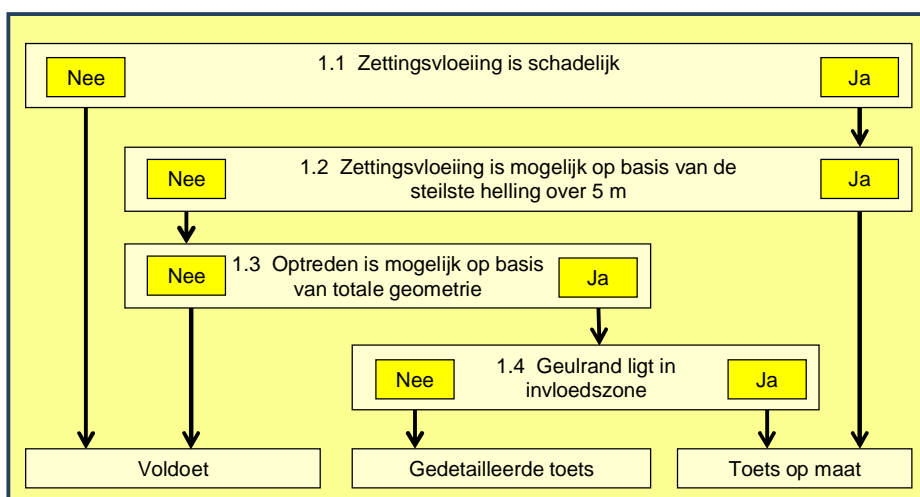
## 22 Zettingsvloeiing voorland (VLZV)

Het mechanisme zettingsvloeiing voorland wordt in de hier beschreven toetsing beoordeeld als een indirect faalmechanisme. De beoordeling van elk van de beoordelingssporen betreffende het voorland vindt plaats volgens de getrapte procedure zoals beschreven in paragraaf 2.2.4. Voor deze beoordeling wordt gebruik gemaakt van een signaleringsprofiel. Het signaleringsprofiel is het profiel van het voorland dat minimaal aanwezig moet zijn om te voorkomen dat een eventuele golfafslag, afschuiving of zettingsvloeiing schadelijk kan zijn voor de waterkering.

Voor het faalmechanisme zettingsvloeiing wordt getoetst of de bijdrage van een zettingsvloeiing aan de overstromingskans voldoende klein is. In de eenvoudige en gedetailleerde toets wordt hiertoe gecontroleerd of de kans dat het restprofiel het beoordelingsprofiel van de dijk doorsnijdt voldoende klein is. Wanneer dit niet kan worden uitgesloten dient een toets op maat te worden uitgevoerd.

### 22.1 Eenvoudige toets zettingsvloeiing

De eenvoudige toets vindt plaats op basis van een aantal besliscriteria. Deze zijn weergegeven in het toetsschema voor de Eenvoudige toets, zie Figuur 22.1. Het is een geometrische toets. Grondgegevens en beweeglijkheid van de vooroever kunnen niet ingevoerd worden, maar zijn impliciet conservatief aangenomen. Dat wil zeggen dat er vanuit wordt gegaan dat de gehele vooroever uit verwekings- en bresvloeiingsgevoelig zand bestaat en er sprake is van een grote dynamiek van de vooroever.



Figuur 22.1 Toetsschema Eenvoudige toets op zettingsvloeiingen (VLZV)

#### Stap 1.1: Zettingsvloeiing is schadelijk.

In deze stap wordt getoetst of, indien een zettingsvloeiing plaatsvindt, deze schadelijk kan zijn voor het waterkerend vermogen van de waterkering. Daartoe moet als eerste het signaleringsprofiel geconstrueerd worden. Het signaleringsprofiel bestaat uit een horizontaal stuk en een lijn onder een hellingshoek. Het horizontale stuk, de zogenaamde marge ( $M$ ), begint op de rand van de invloedzone van dijk.

De volgende situaties kunnen voorkomen en moeten elk op verschillende wijze beoordeeld worden. Voor alle situaties moet uitgegaan worden van het *meest ongunstige profiel dat kan*

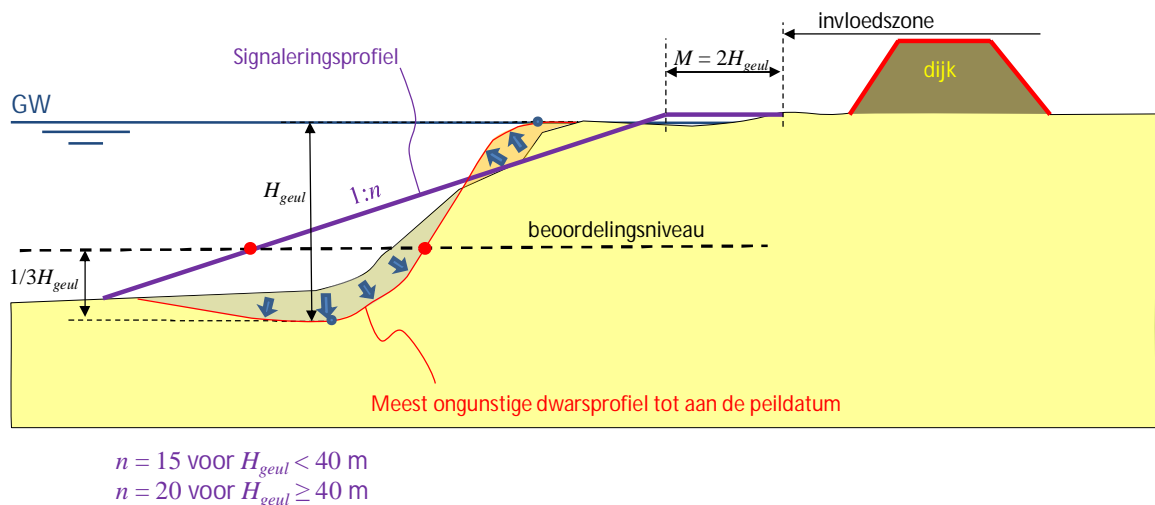
ontstaan tot aan de peildatum. De wijze van bepaling wordt beschreven in de schematiseringshandleiding (van den Ham, 2015):

- Een volledig bestorte vooroever: zettingsvloeiing kan niet optreden.
- Een vooroever zonder vooroeverbetorting:  $M = 2 \cdot H_{geul}$ . In Figuur 22.2 is aangegeven hoe  $H_{geul}$  is gedefinieerd. De helling van het hellende deel is 1:15 voor  $H_{geul} < 40$  m en 1:20 voor  $H_{geul} \geq 40$  m. Het beoordelingsniveau ligt op  $1/3 \cdot H_{geul}$  boven de geulbodem.
- Een vooroever waarvan alleen het bovenste gedeelte bestort is en waarbij de bestorting aansluit op de teenbestorting of buitenteen van de dijk. Als aanvullende eis geldt dat een inscharing deze bestorting niet mag bereiken. Indien de buitenwaartse beëindiging van de bestorting buitenwaarts ligt ten opzichte van de buitenwaartse beëindiging van de marge, verschuift het hellende deel van het signaleringsprofiel aan het uiteinde van de bestorting, anders aan de buitenwaartse beëindiging van de marge (zoals bij een situatie zonder bestorting), zie Figuur 22.4. Taludhellingen van het signaleringsprofiel zijn hetzelfde als voor de situatie zonder bestorting. Het beoordelingsniveau ligt ook in dit geval op  $1/3 \cdot H_{geul}$  boven de geulbodem, waarbij het bestorte deel van het talud ook onderdeel uit maakt van  $H_{geul}$ .
- Een vooroever waarvan het onderste deel bestort is en waarbij de bestorting begint in het diepste punt van de geul. Voor bepaling van het beoordelingsniveau wordt in plaats van  $H_{geul}$  de onbestorte geuldiepte  $H_{onbest}$  genomen en ligt het beoordelingsniveau op  $1/3 \cdot H_{onbest}$  boven de geulbodem danwel de bovenrand van de bestorting als de bestorting het onderste deel van het talud betreft, zie Figuur 22.3. Indien ook in het bovenste deel van het talud bestorting aanwezig is, en deze aansluit op de teenbestorting of buitenteen van de dijk geldt wat bij hiervoor beschreven situatie is beschreven: Indien de buitenwaartse beëindiging van de bestorting buitenwaarts ligt ten opzichte van de buitenwaartse beëindiging van de marge, begint het hellende deel van het signaleringsprofiel aan het uiteinde van de bestorting, anders aan de buitenwaartse beëindiging van de marge (zoals bij een situatie zonder bestorting).

Indien er geen of onvoldoende informatie beschikbaar is om het meest ongunstige profiel in de beoordelingsperiode te bepalen, moet uitgegaan worden van een beweeglijke oever, wat wil zeggen dat de marge vergroot moet worden met een afstand in meters gelijk aan het aantal jaren tot de volgende beoordeling.

De beoordeling vindt nu als volgt plaats:

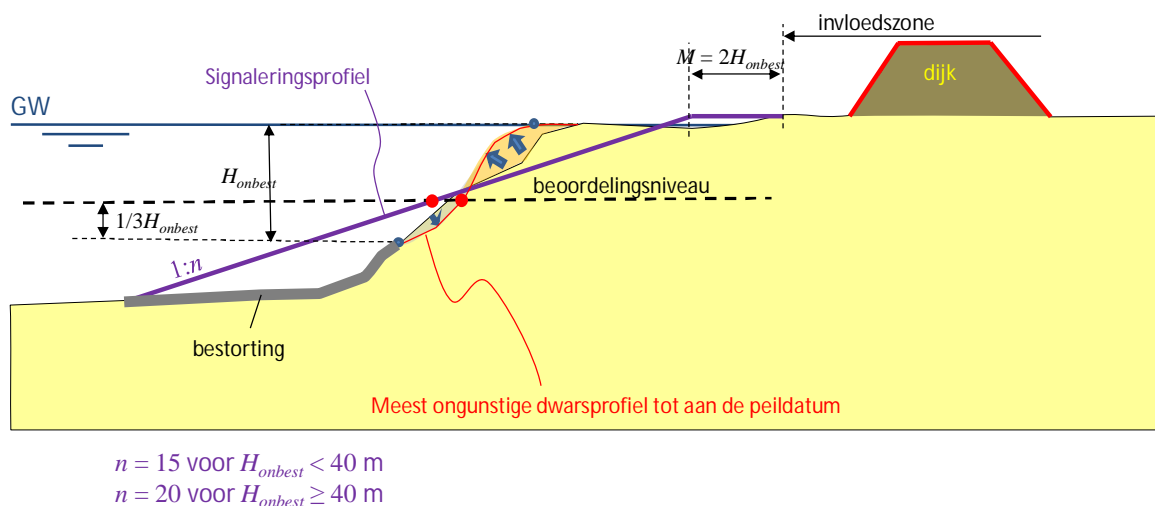
- Indien de vooroever volledig bestort is, kan een zettingsvloeiing niet optreden en is het oordeel 'Voldoet'.
- Indien het snijpunt van het beoordelingsniveau met het *meest ongunstige profiel in de beoordelingsperiode* buitenwaarts ligt ten opzichte van het snijpunt van het beoordelingsniveau met het signaleringsprofiel, dan is een zettingsvloeiing niet schadelijk en is het oordeel 'Voldoet'. Liggen de genoemde punten andersom, zoals in Figuur 22.2 en Figuur 22.3, dan kan een eventuele zettingsvloeiing wel schadelijk zijn en wordt doorgegaan naar Stap 1.2.



Figuur 22.2 Schematische weergave van het signaleringsprofiel zettingsvloeiing

In bovenstaande figuur is:

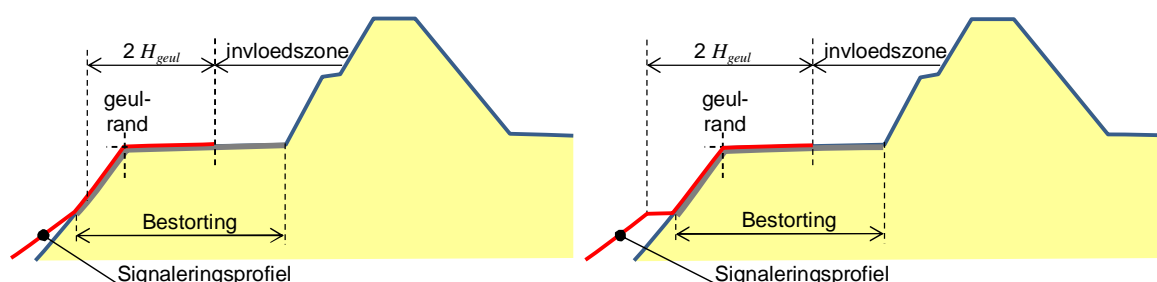
- GW Gemiddelde waterstand [m].  
 M Marge [m].  
 $H_{geul}$  Geuldiepte ten opzichte van de gemiddelde waterstand [m].



Figuur 22.3 Schematische weergave van het signaleringsprofiel zettingsvloeiing in vooroever die gedeeltelijk bestort is vanuit de geul

In bovenstaande figuur is:

- $H_{onbest}$  Hoogte van het gedeelte van het onderwatertalud boven de bestorting die begint onderin de geul (inclusief gedeelten die bestort zijn maar niet aansluiten op de bestorting onderaan de helling) en de geulrand, ten opzichte van de gemiddelde waterstand [m].



Figuur 22.4 Schadelijkheids criterium zettingsvloeiing voorland - bepaling ligging signaleringsprofiel in relatie tot de lengte van de bestorting

**Stap 1.2: Zettingsvloeiing kan optreden op basis van criterium “steilste helling over 5 m”.**

Is de gemiddelde helling van het onderwatertalud steiler dan of gelijk aan 1:4 over een hoogte van minimaal 5 m dan is het potentiële risico op een zettingsvloeiing aanzienlijk en dient verder te worden gegaan met de Toets op maat. Zo niet, dan wordt de Eenvoudige toets voortgezet met Stap 1.3.

**Stap 1.3: De zettingsvloeiing kan optreden op basis van de totale geometrie.**

Een zettingsvloeiing kan alleen optreden als voor het meest ongunstige profiel in de beoordelingsperiode geldt dat aan minimaal één van de twee volgende geometrische criteria wordt voldaan:

- 1 Een verwekingsvloeiing kan optreden als over de rekenhoogte  $H_R$  geldt dat  $\cot \alpha_R \leq 7 \cdot (H_R/24)^{1/3}$ , waarbij  $H_R$  [m] en  $\alpha_R$  zijn gedefinieerd in Figuur C.1 in Bijlage C.
- 2 Een bresvloeiing kan optreden als in één of meer van de zand- en siltlagen in het onbestorte deel van het onderwatertalud de taludhelling te steil is. De maximaal toegestane lokale helling is per diepte-interval gegeven in Tabel 22.1. Voor deze tweede geometrische toets moet aan de volgende toepassingsvoorwaarden worden voldaan:
  - a. de onbestorte hoogte van het onderwatertalud mag niet groter dan 40 m (verticaal) zijn.
  - b. in het onbestorte deel van het onderwatertalud moet gelden dat:  $d_{50, \text{gemiddeld}} > 0,2 \text{ mm}$  en  $d_{15, \text{gemiddeld}} > 0,1 \text{ mm}$ .

Voor de bepaling van  $d_{50, \text{gemiddeld}}$  en  $d_{15, \text{gemiddeld}}$  wordt verwezen naar de schematiseringshandleiding. Als aan ten minste één van de toepassingsvoorwaarden (a of b) niet wordt voldaan, kan geen oordeel Voldoet gegeven worden maar wordt de Eenvoudige toets voortgezet met Stap 1.4.

Diepte-interval van onbestort deel van het onderwatertalud [m]	Maximale helling
0 - 5	1:2
5 - 10	1:2.5
10 - 15	1:3
15 - 20	1:3.5
20 - 25	1:4
25 - 30	1:4.7
30 - 35	1:5.4
35 - 40	1:6

Tabel 22.1 Maximaal toelaatbare lokale hellingen ( $d_{50, \text{gemiddeld}} > 0,200 \text{ mm}$  en  $d_{15, \text{gemiddeld}} > 0,100 \text{ mm}$ )

Als een eventuele zettingsvloeiing op grond van één of beide bovenstaande geometrische criteria kan optreden, dan wordt de Eenvoudige toets voortgezet met Stap 1.4. Zijn de (lokale) taludhellingen flauwer dan alle gestelde criteria, dan kan een eventuele zettingsvloeiing niet optreden en is het oordeel 'Voldoet'.

Stap 1.4: De geulrand ligt in de invloedszone.

Als de geulrand in de invloedszone ligt, kan een eventuele zettingsvloeiing dusdanig ernstige consequenties hebben voor het veiligheidsniveau van de kering dat de Eenvoudige toets wordt vervolgd met een Toets op maat. Als de geulrand buiten de invloedszone ligt, wordt de Eenvoudige toets vervolgd met een Gedetailleerde toets.

## 22.2 Gedetailleerde toets zettingsvloeiing voorland

In deze gedetailleerde toets is falen gedefinieerd als een dusdanige zettingsvloeiing van het voorland dat deze van invloed is op de directe mechanismen, zoals piping en macro-instabiliteit binnenwaarts of buitenwaarts of erosie buitentalud. Dat wordt gecontroleerd door te eisen dat de geulrand nadat de zettingsvloeiing is opgetreden niet in de invloedszone mag liggen

In de Gedetailleerde toets wordt daarom getoetst of de kans dat het profiel dat rest na een zettingsvloeiing de grens van de invloedszone overschrijdt voldoende klein is. Waar de eenvoudige toets wordt uitgevoerd op basis van alleen de geometrische kenmerken van de vooroever en waterkering (behalve de tweede voorwaarde in stap 1.3), worden in de gedetailleerde toets ook grondeigenschappen meegenomen. Ook moeten ondergrondscenari'o's met een kans van voorkomen meegenomen worden. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals opgenomen in Tabel 2.1.

De beoordeling vindt plaats op dijkvakniveau. De indeling in vakken wordt beschreven in de schematiseringshandleiding. Om tot een oordeel te komen moeten per vak de volgende berekeningsstappen worden uitgevoerd:

- |        |  |
|--------|--|
| Stap A | Bepaal optredingskans zettingsvloeiing per ondergrondscenario: $P(ZV S_i)$ .                                   |
| Stap B | Bepaal optredingskans zettingsvloeiing voor alle ondergrondscenario's:<br>$P(ZV) = \sum_i P(ZV S_i)P(S_i)$ .   |
| Stap C | Bepaal overschrijdingskans toelaatbare inscharingslengte gegeven een vloeiing: $P(L > L_{toelaatbaar} ZV)$ .   |
| Stap D | Bepaal overschrijdingskans toelaatbare inscharingslengte voor het dijkvak:<br>$P(L > L_{toelaatbaar})_{vak}$ . |
| Stap E | Controleer of $P(L > L_{toelaatbaar})_{vak}$ kleiner is dan de faalkanseis $P_{eis,vak}$ .                     |

De berekeningen voor de stappen A t/m D zijn nader gespecificeerd in bijlage 0 van dit VTV.

De zettingsvloeiing wordt in de Gedetailleerde toets beoordeeld als indirect faalmechanisme. De invloedszone is gebaseerd op de norm. Daarom hoeft de norm niet meer verwerkt te worden in de toelaatbare kans dat een inscharing de invloedszone bereikt. Wel moet de lengte van het voor zettingsvloeiing beschouwde dijkvak meegenomen worden.

De faalkanseis voor dit mechanisme voor het dijkvak volgt uit:

$$P_{eis,vak} = 0,01 \cdot L_{vak} [\text{jaar}^{-1}]$$

Vgl 22.1

Waarin:

$L_{vak}$  De lengte van het dijkvak [km].

Vergelijk de berekende kans  $P(L > L_{toelaatbaar})_{vak}$  met de faalkanseis  $P_{eis,vak}$ . Indien  $P(L > L_{toelaatbaar})_{vak} \leq P_{eis,vak}$  is het oordeel 'Voldoet', anders wordt doorgedaan naar de Toets op maat.

### 22.3 Toets op maat zettingsvloeiing

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.

Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).

Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Als mogelijkheden voor een Toets op maat worden genoemd:

- Verdere verfijning bepaling kans op inscharinglengte, bijvoorbeeld met geavanceerde rekenmodellen. In D-FlowSlide zijn twee rekenmodellen ingebouwd: SLIQ2D voor bepaling van het optreden van verweking en HMBreach voor bepaling van het optreden van bresvloeiing.
- Het restprofiel na een zettingsvloeiing meenemen als stochastische variabele in de beoordeling van directe faalmechanismen: als continu verdeelde variabele of als geometrie-scenario.

Verder is er altijd de mogelijkheid dat binnen een beoordelingsperiode sprake is van voortschrijdend inzicht (kennisontwikkeling) waarmee het toetsoordeel kan worden aangescherpt.



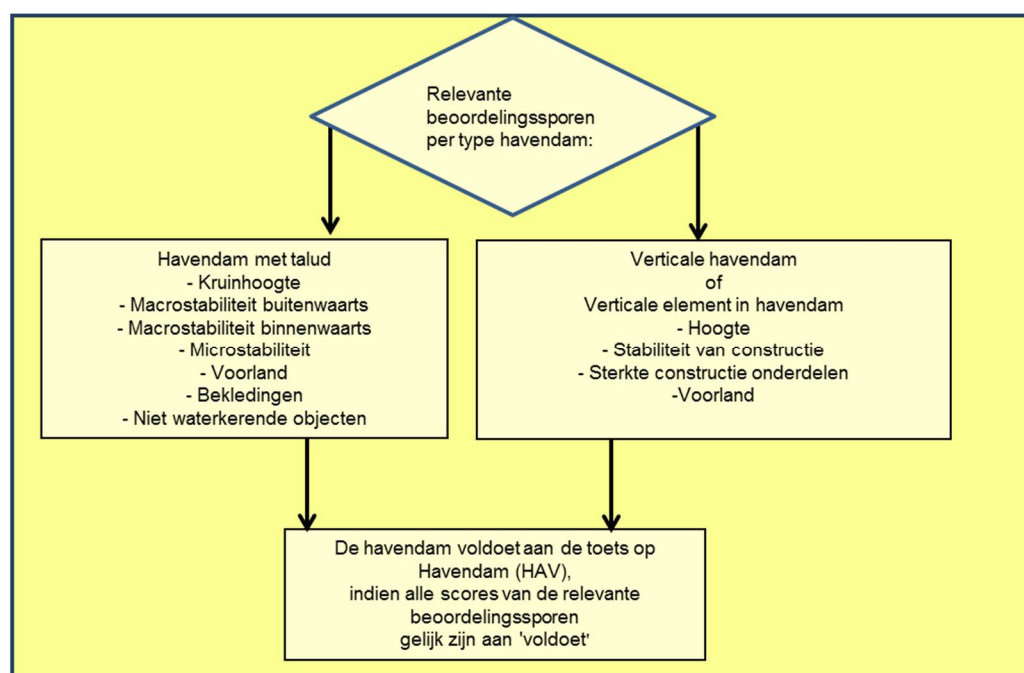
## 23 Havendammen (HAV)

Voor de beoordeling van waterkeringen gelegen achter havendammen worden hydraulische randvoorwaarden afgegeven voor een locatie aan de ingang (buitenzijde) van een haven (buiten de invloed van havendammen). Indien uit de beoordeling van primaire waterkeringen, gelegen achter havendammen blijkt dat deze niet voldoen gegeven de hydraulische randvoorwaarden van de locatie aan de ingang van de haven, dan dienen de waterkeringen beoordeeld te worden met de door de havendammen gereduceerde hydraulische randvoorwaarden. In dat geval moet tevens aangetoond worden dat de havendammen zelf betrouwbaar zijn en voldoen aan de norm.

De werkwijze voor de beoordeling op basis van HR met gereduceerde golfrandvoorwaarden is beschreven in het VTV Algemeen deel. De methodiek om de reductie van de golfaanval mee te nemen in de toetsing is opgenomen in het HR Technisch deel.

De toetsing vindt plaats volgens het schema in Figuur 23.1. Het toetsschema is opgedeeld in een aantal toetsstappen, afhankelijk van het type havendam:

- Havendammen met een grondlichaam, bestaande uit een buitentalud (met eventueel bermen), een ongeveer horizontale of afgeronde kruin, en een binnentalud (met eventueel bermen).
- Verticale havendammen of havendammen met verticale elementen, bestaande uit een verticale voorzijde (meestal een damwand of kademuur) of een kruinmuur.



Figuur 23.1 Stroomschema toetsing havendammen

Voor de onderscheiden types havendammen zijn de toetssporen afwijkend. Let op, als de havendam een mix is van grondlichaam en verticale elementen, dan zullen mechanismen uit

beide sporen moeten worden beoordeeld. Bij de beoordeling worden de volgende niveaus onderscheiden:

- Toetslaag 1: De primaire waterkering achter de havendam is getoetst op basis van een hydraulische belasting waarbij het effect van de havendam op de belasting niet is meegenomen.
- Toetslaag 2: De havendam wordt getoetst voor de in Figuur 23.1 weergegeven toetssporen.
- Toetslaag 3: Toets op maat voor de havendam.

### 23.1 Eenvoudige toets voor havendammen

Wanneer de havendam niet is meegenomen bij het afleiden van de hydraulische belasting voor de primaire waterkering hoeft de havendam niet te worden getoetst en is de bijdrage van de havendam in de faalkans van de waterkering verwaarloosbaar klein. Indien de hydraulische belasting van de primaire waterkering is afgeleid voor een situatie waarbij de havendam een gunstige invloed heeft op deze belasting dient verder gegaan te worden met toetslaag 2, de Gedetailleerde toets.

### 23.2 Gedetailleerde toets voor havendammen

Voor de toetsing van de faalmechanismen van havendammen wordt verwezen naar de algemene toetssporen weergegeven in hoofdstuk 3 tot en met 22. In de navolgende paragrafen wordt toegelicht hoe deze moeten worden doorlopen. De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals weergegeven in Tabel 2.1.

#### 23.2.1 Havendam met grondlichaam

##### Kruinhoogte

Feitelijk wordt de kruinhoogte van havendammen niet getoetst. Maar de kruinhoogte en de daaruit resulterende golftransmissie levert wel de randvoorwaarden op voor de waterkering achter de havendam. Voor het gehele waterkeringssysteem geldt dat de hoogte van de havendam en de sterkte van primaire waterkering samen afdoende moeten zijn om een overstroming te voorkomen.

##### Macrostabieliteit binnen- en buitenwaarts

Er is gevaar voor het afschuiven van het talud als de waterstand snel daalt. Dit bezwijkmechanisme kan bij havendammen net zo goed optreden aan de binnen- als aan de buitenzijde (zie hoofdstuk 4 macrostabieliteit buitenwaarts).

Voor de toetsing wordt onderscheid gemaakt voor de locatie van de havendam:

- Langs de estuaria en zeeën (en benedenrivieren): havendammen worden beoordeeld op basis van het toetsspoor macrostabieliteit buitenwaarts (STBU), zie (hoofdstuk 4).
- Langs de meren en bovenrivieren: in deze watersystemen is dit beoordelingsspoor niet relevant.

##### Microstabieliteit

De microstabieliteit betreft het uitspoelen van zand uit een dijklichaam ten gevolge van kwel uit het binnentalud van de dijk of het opdrukken van afdekkende kleilagen op het binnentalud door een hoge freatische lijn in de dijk. Er worden voor havendammen drie situaties onderscheiden:

- De dam bestaat uit zand met daarop een bekleding (zonder kleilaag): het beoordelingsspoor microstabiliteit is niet relevant omdat de bekleding als filterlaag zal zijn ontworpen.
- De dam bestaat uit klei (zonder zand) met daarop een bekleding: het beoordelingsspoor microstabiliteit is niet relevant.
- De kern van de dam bestaat uit zand met een (dunne) afdekkende kleilaag. De situatie kan voorkomen dat na een hoogwater in de dam een hoog freatisch vlak aanwezig is, dat na een snelle val van de buitenwaterstand de kleilaag wil opdrukken. Hier moet op worden gecontroleerd, voor zowel het binnen- als het buitentalud. Voor de toetsing wordt onderscheid gemaakt voor de locatie van de havendam:
  - Langs de estuaria en zeeën en benedenrivieren: havendammen worden beoordeeld op basis van het toetsspoor microstabiliteit (STMI), zie hoofdstuk 6 van dit document.
  - Langs de meren en bovenrivieren: in deze watersystemen is het beoordelingsspoor microstabiliteit niet relevant voor havendammen.

#### Voorland

Afschuiving, erosie en zettingsvloeiingen in het voorland vormen een bedreiging voor dijken, kunstwerken en voor havendammen. De problematiek voor dijken en kunstwerken verschilt in wezen niet van die bij havendammen. Havendammen dienen te worden beoordeeld volgens de toetsspoor die betrekkingen hebben op het voorland, zie de hoofdstukken 20 t/m 22 van dit document.

#### Niet-waterkerende objecten

Ook havendammen hebben soms niet waterkerende elementen, zoals monumenten, trappen, bankjes, muurtjes enzovoort. Al deze niet waterkerende elementen kunnen afhankelijk van de invloed opgenomen worden in de scenario's voor de betreffende toetssporen.

#### Bekledingen

De toets bestaat uit het beoordelen of de bekleding op het buitentalud, de kruin en het binnentalud voldoende stabiel is op basis van de maatgevende golfcondities voor elke mogelijke waterstand. Bekledingen op havendammen worden beoordeeld op verschillende beoordelingssporen die betrekking hebben op afschuiving, materiaaltransport en toplaaginstabiliteit. Deze staan afhankelijk van de soort bekleding omschreven in hoofdstuk 7 t/m 13.

#### 23.2.2 Verticale havendammen of verticale elementen in havendammen

Sommige havendammen kunnen worden beschouwd als een waterbouwkundig kunstwerk, vooral als zij grotendeels uit verticale elementen zijn opgebouwd. Naast de eisen die aan kruinhoogte en grondlichaam worden gesteld zoals gegeven in de vorige paragraaf (23.2.1) dienen deze constructies te worden getoetst op basis van de beoordelingssporen:

- Hoogte volgens toetsspoor Hoogte kunstwerk (HTKW), zie hoofdstuk 15. Het gaat daarbij dan uiteraard om het bezwijken van de bodembescherming achter de verticale elementen.
- Stabiliteit constructie volgens toetssporen Sterkte en Stabiliteit van langsconstructie, zie hoofdstuk 19.
- Stabiliteit voorland volgens de toetsspoor met betrekking tot het voorland, zie de hoofdstukken 20 t/m 22.

### 23.2.3 Oordeel havendam

Indien de havendam voldoet aan de toetsregels van alle relevante beoordelingssporen, dan wordt aan de havendam het oordeel 'Voldoet' toegekend.

Als de havendam niet aan alle gestelde eisen voldoet, dan wordt de toetsing vervolgd met een Toets op maat. Het toetsresultaat van de toetsspoor Havendammen wordt gerapporteerd als onderdeel van de toetsresultaten van de achter de havendammen gelegen primaire waterkeringen.

### 23.3 Toets op maat

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

- Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.
- Stap 2: beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).
- Stap 3: uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Voor de Toets op maat wordt verwezen naar de afzonderlijke toetssporen.

Het is mogelijk om de toetsing op Macrostabieliteit buitenwaarts bij havendammen uit te voeren op basis van 'bewezen sterkte' als de maatgevende situatie voor dit faalmechanisme zich al heeft voorgedaan. Handreikingen voor het toetsen op basis van bewezen sterkte zijn aangegeven in het Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken (ENW, 2010).

Voor een Toets op maat kan verder met een probabilistische benadering voor specifieke toetssporen de veiligheidsmarge worden geëvalueerd en eventueel aangepast worden, ten opzichte van die voor primaire waterkeringen, omdat aantasting van de havendam minder direct leidt tot inundatie dan aantasting van de primaire waterkering.

## 24 Niet waterkerende objecten, NWO

Het beoordelingsspoor Niet Waterkerende Objecten (NWO) betreft geen zuiver faalmechanisme, al kan bezwijken van een Niet Waterkerend Object wel leiden tot schade aan de waterkering. Het ontwortelen van een boom kan het dijkprofiel dusdanig aantasten dat de veiligheid van de kering daardoor wordt gereduceerd. De toetsing op Niet Waterkerende Objecten (NWO) betreft het bepalen van de invloed van niet waterkerende objecten op de faalmechanismen van de waterkering. Het mechanisme afschuiving voorland een indirect faalmechanisme.

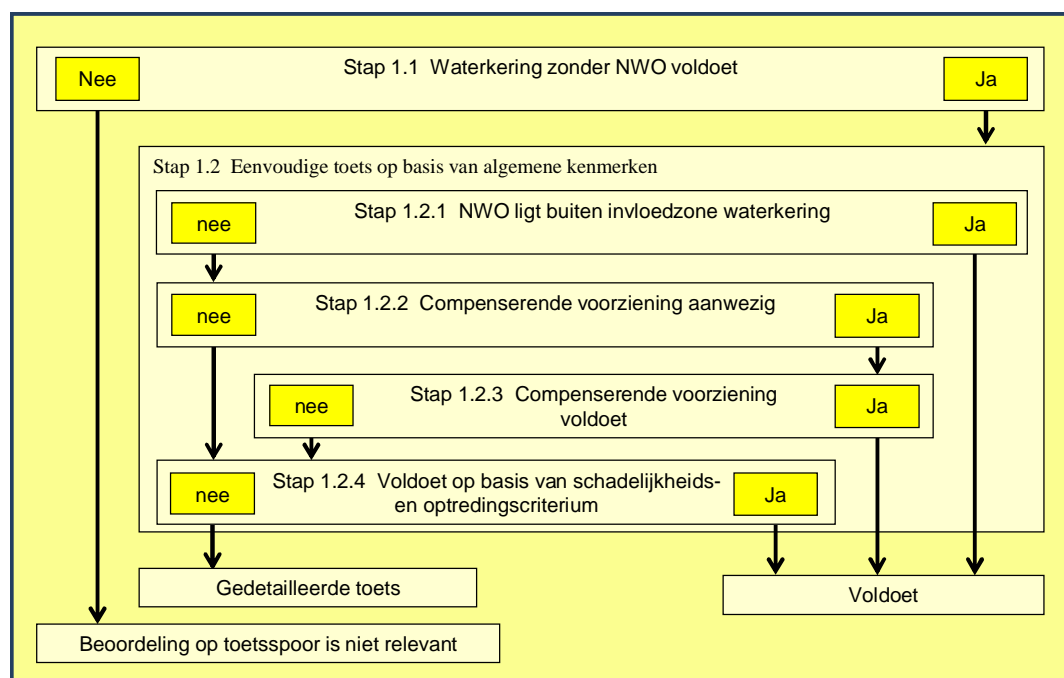
Afhankelijk van het type NWO wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende beoordelingssporen op basis van de volgende typen objecten:

- Bebouwingen (NWObe).
- Begroeiingen (NWObo).
- Kabels en leidingen (NWOkl).
- Overige constructies (NWOoc).

In dit hoofdstuk wordt allereerst de structuur van de Eenvoudige toets behandeld in paragraaf 24.1. In de daarop volgende paragrafen wordt per type NWO de te doorlopen stappen voor de verschillende toetslagen voorgeschreven.

### 24.1 Eenvoudige toets NWO

Het algemene schema voor de Eenvoudige toets voor de beoordeling van NWO's is weergegeven in Figuur 24.1. De toets bestaat uit twee stappen:



Figuur 24.1 Toetsschema Eenvoudige toets voor niet waterkerende objecten (NWO)

#### Stap 1.1 Waterkering voldoet zonder NWO.

De toets op NWO is alleen relevant als de specifieke waterkering of havendam zonder NWO's voldoet aan de eisen van de relevante toetssporen. De relevante toetssporen zijn in Tabel 24.1 aangegeven afhankelijk van de plaats van het NWO in het dwarsprofiel en type waterkering, havendam of voorland. Indien het Technisch oordeel voor de relevante toetssporen gelijk is aan 'Voldoet' niet hoeft een verdere toetsing op NWO's niet te worden

uitgevoerd. Indien de waterkering zonder NWO's voldoet aan de gestelde eisen op de relevante toetsporen, dan gaat de toetsing verder met Stap 1.2.

Tabel 24.1 Relevante toetsporen per type waterkering, havendam of voorland in relatie tot toetspoot NWO

Locatie NWO	Voorland	Dijk/ (Haven)dam	kunstwerk	Duin
Voorland	VI	STBU	STKW	DA
		Bekledingen (af, gr, zst)	PKW	
		STPH		
Waterkering		STBU	STKW	DA
		STBI		
		Bekledingen (af, gr, zst)		
		STMI		
Achterland		STBI	STKW	
		STPH	PKW	

#### Stap 1.2 Eenvoudige toets op basis van algemene kenmerken.

De invloed van de NWO's op het toetsresultaat wordt bepaald aan de hand van de invloed die de NWO's hebben op overige faalmechanismen. In Tabel 24.1. is de (mogelijke) invloed aangegeven van de NWO's op de betreffende te toetsen faalmechanismen per type waterkering en afhankelijk van de ligging ten opzichte van de waterkering.

Zoals aangegeven in Figuur 24.1 bestaat Stap 1.2 uit vier deelstappen. Bij deze deelstappen wordt gebruik gemaakt van begrippen zoals invloedzone en beoordelingsprofiel van de waterkering. De definitie en wijze van bepaling van de invloedzone en het beoordelingsprofiel is in Bijlage A weergegeven. De verdere detaillering van deze deelstappen vindt plaats per object type in de volgende paragrafen.

## 24.2 Bebouwing (NWObe)

### 24.2.1 Eenvoudige toets bebouwing

De Eenvoudige toets van bebouwing vindt plaats volgens het toetschema in Figuur 24.1.

#### Stap 1.1: Controle op toetsresultaten waterkering zonder NWO's.

Zoals in paragraaf 24.1 is aangegeven, wordt getoetst of het voor het toetsoordeel zinvol is om de NWO te beoordelen. Als het toetsoordeel zonder meenemen van de bebouwing voldoende is, dient verder te worden gegaan met Stap 1.2.

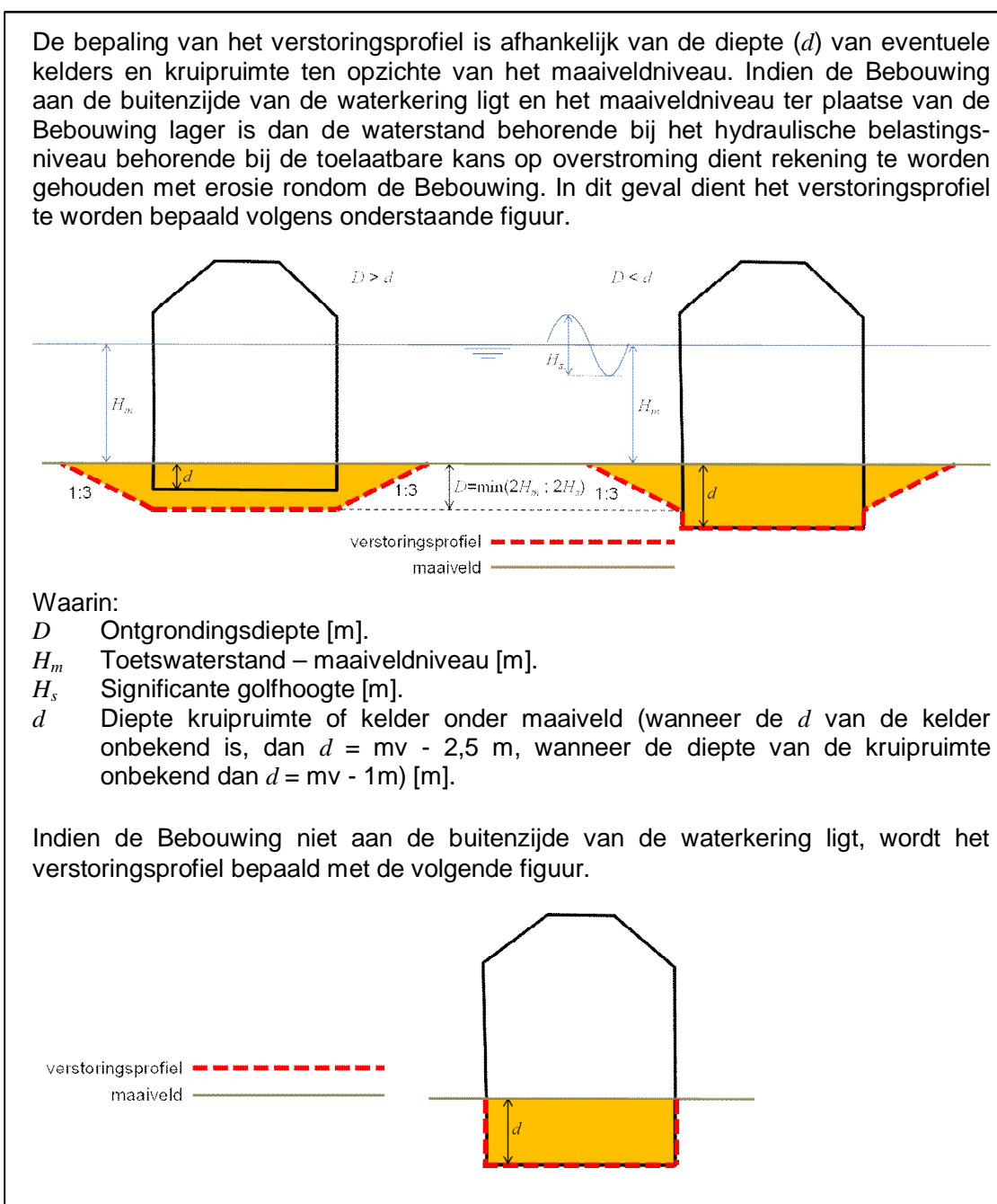
#### Stap 1.2: Eenvoudige toets basis van algemene kenmerken.

De toets vindt plaats conform de stappen in Figuur 24.1 en bijbehorende onderstaande toelichting per deelstap.

#### Stap 1.2.1: Controle ligging verstoringsprofiel binnen invloedzone waterkering.

Als het verstoringsprofiel van de bebouwing buiten de invloedzone van de waterkering ligt, wordt het oordeel 'Voldoet' toegekend. Indien het verstoringsprofiel van het NWO binnen de invloedzone van de waterkering ligt, gaat de toetsing verder met Stap 1.2.2.

Indien de bebouwing aan de buitenzijde van de waterkering ligt en het maaiveldniveau ter plaatse van de bebouwing is lager dan het toetspeil (zie 26 Begrippen), dan wordt de verstoringszone begrensd door een horizontale afstand tot de gevel met het maximum van  $6 \cdot H_s$  of  $6 \cdot H_m$  (met  $H_m =$  toetspeil + toeslagen – maaiveldhoogte). In alle andere gevallen wordt de verstoringszone begrensd door de gevels van het gebouw, zie Figuur 24.2.



Figuur 24.2 Bepaling verstoringsprofiel afhankelijk van diepte bebouwing ten opzichte van maaiveld

### Stap 1.2.2: Compenserende voorziening aanwezig.

Indien er een compenserende voorziening aanwezig is, berekend volgens Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003), kan deze voorziening gezien worden als functiescheidend element tussen waterkering en bebouwing. Deze compenserende voorzieningen werden voorheen wel aangeduid als Bijzondere Waterkerende Constructies (BWC).

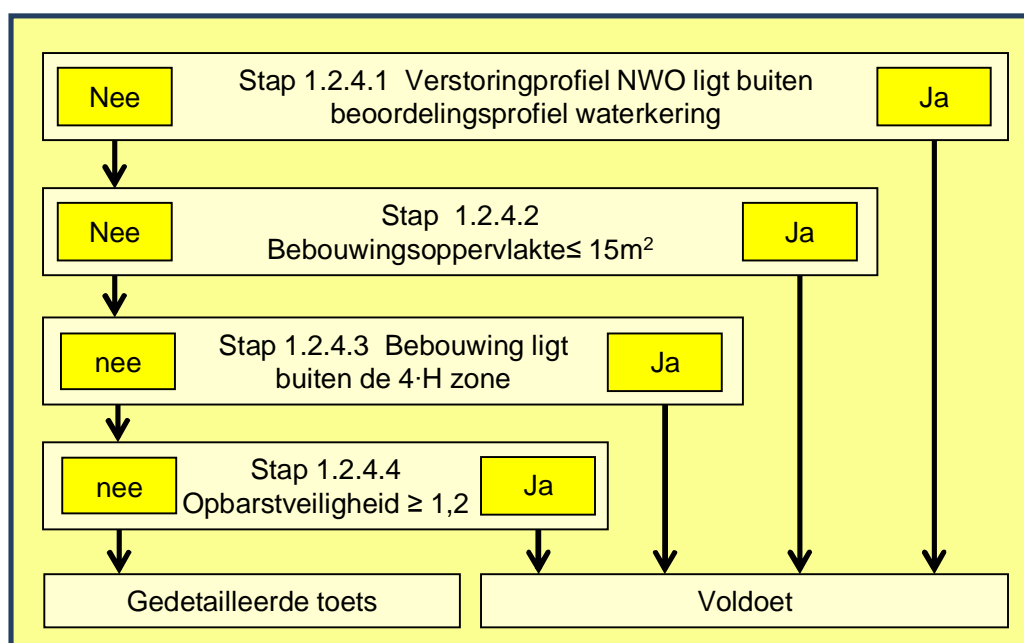
Indien een compenserende voorziening aanwezig is, gaat de toetsing verder met Stap 1.2.3. Indien dit niet het geval is, gaat de toetsing verder met Stap 1.2.4.

Stap 1.2.3: Beoordeling compenserende voorziening.

De compenserende voorziening dient te worden getoetst als kunstwerk. Indien deze voorziening voldoet aan de voor een kunstwerk relevante toetssporen (conform de hoofdstukken 15 t/m 19), is het oordeel voor het toetsspoor NWObe gelijk aan 'Voldoet'. Indien dit niet het geval is, gaat de toetsing verder met Stap 1.2.4.

Stap 1.2.4: Controle schadelijkheids- en optredingscriterium.

De stappen voor de controle van het schadelijkheids- en optredingscriterium zijn weer-gegeven in Figuur 24.3.



Figuur 24.3 Detaillering Stap 1.2.4 van Eenvoudige toets NWO bebouwing

Stap 1.2.4.1: Controle doorsnijding beoordelingsprofiel door verstoringprofiel.

Als het beoordelingsprofiel niet wordt doorsneden door het verstoringprofiel van het NWO wordt het oordeel 'Voldoet' toegekend aan het toetsspoor NWObe. Indien het beoordelingsprofiel wel wordt doorsneden door het verstoringprofiel van het NWO, dan moet de toetsing worden doorgegaan naar Stap 1.2.4.2.

Stap 1.2.4.2 Controle op bebouwingsoppervlak.

Indien de bebouwingsoppervlakte kleiner dan of gelijk aan 15 m<sup>2</sup> is, wordt het oordeel 'Voldoet' toegekend aan het toetsspoor NWObe. Indien het 'bebouwingsoppervlak groter is dan 15 m<sup>2</sup>, dan gaat de toetsing door met Stap 1.2.4.3 Aannee hierbij is dat bebouwing kleiner dan 15 m<sup>2</sup> meestal schuurtjes zijn die niet op palen staan en doorgaans geen kelder hebben. Ook het gewicht is beperkt. De invloed op de diverse faalmechanismen (toetssporen) is, ook bij lintbebouwing, verwaarloosbaar.

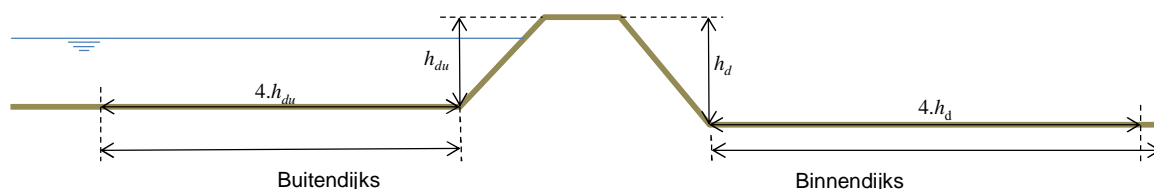
Stap 1.2.4.3 Controle op Bebouwing buiten de 4-H-zone.

De 4-H-zone wordt bepaald door de niveaunderschillen tussen de kruinhoogte en de hoogte van het vlakke maaiveld aan de voor- en achterzijde van de waterkering, zie Figuur 24.4. Op basis van een Eenvoudige toets kan niet worden uitgesloten dat bebouwing binnen deze zone significante invloed heeft op de sterkte van de waterkering. Staat de bebouwing in die zone dan dient de toetsing te worden voortgezet met Stap 3, een Toets op maat.

Staat binnendijkse bebouwing buiten deze zone dan kan deze alleen effect hebben op het mechanisme piping. De Eenvoudige toets wordt in dat geval voortgezet met Stap 1.2.4.4.



Voor buitendijkse bebouwing buiten de 4-H-zone wordt het oordeel 'Voldoet' toegekend voor het toetsspoor NWObe.



Figuur 24.4 Bepalen van de 4-H-zone

#### Stap 1.2.4.4: Opbarstveiligheid $\geq 1,2$ .

Bij een opbarstveiligheid binnendijks groter dan of gelijk aan 1,2 kan opdrijven worden uitgesloten en wordt het oordeel 'Voldoet' toegekend voor het toetsspoor NWObe. Bij een opbarstveiligheid kleiner dan 1,2 gaat de toetsing verder met de Toets op maat (toetslaag 3). De veiligheid tegen opbarsten wordt bepaald volgens hoofdstuk 5.2

#### 24.2.2 Gedetailleerde toets bebouwing

Voor NWObe is er geen Gedetailleerde toets beschikbaar. Daarom dient er direct naar een Toets op maat te worden overgestapt.

#### 24.2.3 Toets op maat bebouwing

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

- Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.
- Stap 2: beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).
- Stap 3: uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Indien niet aan één van de stopcriteria uit de Eenvoudige toets wordt voldaan moet een geavanceerde analyse worden uitgevoerd.. Hierbij dient per faalmechanismen de invloed van de NWO te worden meegenomen in de beoordeling. In het geval van bebouwing kan de ontgrondingskuil als scenario worden meegenomen in de modelschematisaties voor de verschillende directe faalmechanismen. Anderzijds kan met nadere analyses worden aangetoond dat de invloed van het NWO verwaarloosbaar klein is op de faalkans van de waterkering.

In het Achtergrondrapport bij de gedetailleerde toetsmethode NWO's (Deltares, 2012) en gedetailleerde toetsmethode NWO-bebouwing, Plan van Aanpak (Deltares, 2014) wordt een handreiking gegeven voor het uitvoeren van een geavanceerde analyse voor de beoordeling van bebouwing.

### 24.3 Begroeiing (NWObo)

#### 24.3.1 Eenvoudige toets begroeiing

De Eenvoudige toets van begroeiing vindt plaats volgens het toetschema uit Figuur 24.1.

##### Stap 1.1: Controle op toetsresultaten waterkering zonder NWO's.

Zoals in paragraaf 24.1 is aangegeven, wordt getoetst of het voor het toetsoordeel zinvol is om de NWO te beoordelen. Als het toetsoordeel zonder meenemen van de begroeiing voldoende is, dient verder te worden gegaan met Stap 1.2.

##### Stap 1.2: Eenvoudige toets op basis van algemene kenmerken.

De toets vindt plaats conform de stappen in Figuur 24.1.

Stap 1.2.1 Controle ligging verstoringszone binnen invloedszone waterkering.

Als de verstoringszone van de begroeiing buiten de invloedszone van de waterkering ligt, wordt het oordeel 'Voldoet' toegekend. Indien de verstoringszone van het NWO binnen de invloedszone van de waterkering ligt, gaat de toetsing verder met Stap 1.2.2. De verstoringszone wordt begrensd door een horizontale afstand van 4 m tot het hart van de begroeiing.

Stap 1.2.2: Compenserende voorziening aanwezig.

Indien er een compenserende voorziening aanwezig is, berekend volgens Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003), kan deze voorziening gezien worden als functiescheidend element tussen waterkering en begroeiing. Deze compenserende maatregelen werden voorheen benoemd als Bijzondere Waterkerende Constructies (BWC).

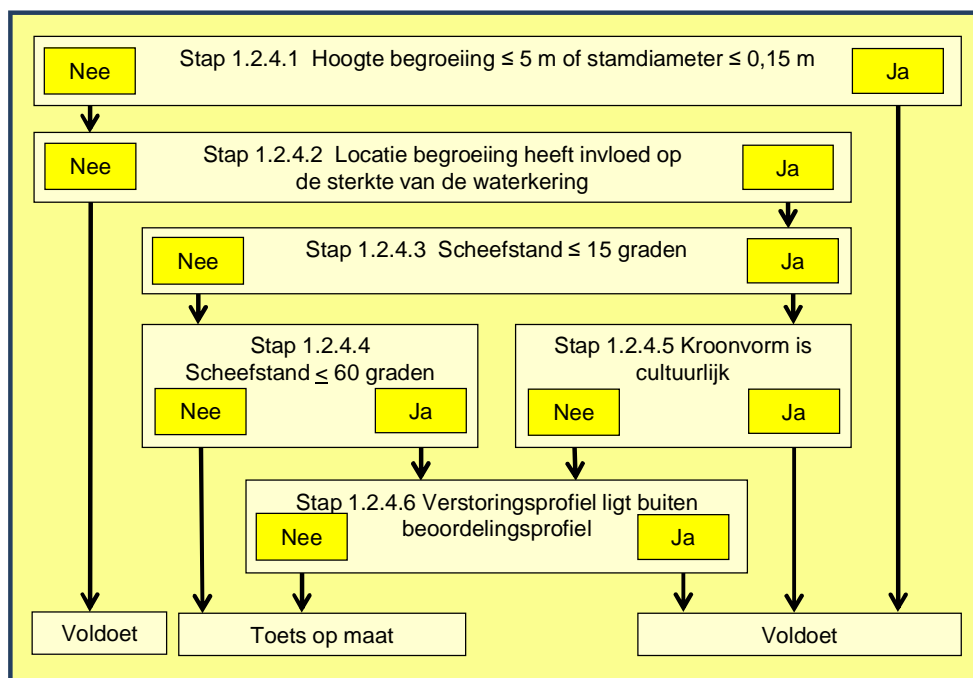
Indien een compenserende voorziening aanwezig is, gaat de toetsing verder met Stap 1.2.3. Indien dit niet het geval is, gaat de toetsing verder met Stap 1.2.4.

Stap 1.2.3: Compenserende voorziening voldoet.

De compenserende voorziening dient te worden getoetst als kunstwerk. Indien deze voorziening voldoet aan de voor een kunstwerk relevante toetssporen (conform de hoofdstukken 15 t/m 19), is het oordeel voor het toetsspoor NWObo gelijk aan 'Voldoet'. Indien dit niet het geval is, gaat de toetsing verder met Stap 1.2.4.

Stap 1.2.4 Voldoet op basis van schadelijkheids- en optredingscriterium.

In deze stap wordt op basis van kenmerken van de begroeiing (afmetingen, vorm, etc.) en de voor waterkering relevante begroeiing geselecteerd die de veiligheid van de waterkering mogelijk beïnvloedt. Begroeiing die voldoet aan de criteria hoeft niet te worden getoetst en krijgt het oordeel 'Voldoet'. De stappen voor de controle van het schadelijkheids- en optredingscriterium zijn weergegeven in Figuur 24.5. De eerste twee stappen kunnen in willekeurige volgorde worden doorlopen.



Figuur 24.5 Detaillering Stap 1.2.4 van Eenvoudige toets begroeiing (NWObo)

1.2.4.1: Controle kenmerken begroeiing.

Begroeiing met een hoogte gelijk aan of minder dan 5 m of een stamdiameter gelijk aan of minder dan 0,15 m heeft geen noemenswaardige nadelige invloed op de veiligheid van de waterkering. De begroeiing vangt gezien de geringe hoogte weinig wind of de begroeiing is gezien de stamdikte jong en flexibel en levert geen extra belasting op de waterkering via het wortelpakket. Meerstammige begroeiing wordt in Stap 1.2.4.1 omgerekend naar een equivalente enkelstammige begroeiing volgens Tabel 24.2.

Tabel 24.2 Omreken tabel meerstammige bomen naar enkelstammige bomen o.b.v. boomhoogte ( $B_h$ ) en gemiddelde kroondiameter ( $B_{krDgem}$ )

$B_h * B_{krDgem}$ [m*m]	Stamdiameter [cm]
20 – 40	20
40 – 70	30
70 – 100	40
100 – 135	50
135 – 170	60
170 – 200	70
200 – 250	80
250 - 300	90
300 – 350	100
350 – 450	110
450 - 550	120
550 - 650	130
650 -700	140
>700	150

Begroeiing met een hoogte gelijk aan of minder dan 5 m en een (equivalente) stamdiameter gelijk aan of minder dan 15 cm krijgt het eindoordeel 'Voldoet'. Bij grotere afmetingen van de begroeiing wordt de toets voortgezet met Stap 1.2.4.2.

Stap 1.2.4.2: Locatie boom heeft invloed op de de sterkte van de waterkering.

De begroeiing heeft geen noemenswaardige invloed op de sterkte van de waterkering als aan een van de volgende voorwaarden wordt voldaan:

1. De begroeiing staat op een stabiliteitsberm waarbij sprake is van een solitaire boom of een bomenrij (in de lengterichting van de dijk), die korter is dan 20 meter en waarbij de tussenruimte tussen de rijen in langsrichting meer dan 40 m bedraagt.
2. De begroeiing staat op een pipingberm met een overhoogte van 1,0 m.
3. De begroeiing staat op het binnentalud waarbij sprake is van een solitaire boom en een overslagdebiet  $q \leq 0,1$  l/s/m waarbij  $q$  is bepaald conform paragraaf 9.1.

Indien aan geen enkele van deze voorwaarden wordt voldaan, dan heeft de boom invloed op de sterkte van de waterkering en wordt de toets voortgezet met Stap 1.2.4.3. Als aan één van deze voorwaarden wordt voldaan, dan heeft de begroeiing geen noemenswaardige invloed op de sterkte en wordt het oordeel 'Voldoet' voor de NWObo.

Stap 1.2.4.3: De scheefstand is kleiner of gelijk aan 15 graden.

Bij begroeiing met een scheefstand minder dan of gelijk aan 15 graden t.o.v. de verticaal bij de voet van de boom wordt de toets voortgezet met Stap 1.2.4.4. Indien de scheefstand groter dan 15 graden moet de begroeiing als risicovol worden beschouwd en wordt de toetsing voortgezet met Stap 1.2.4.5.

Stap 1.2.4.4 De scheefstand is kleiner of gelijk aan 60 graden.

Bij begroeiing met een scheefstand minder dan of gelijk aan 60 graden t.o.v. de loodlijn op het maaiveld bij de voet van de boom wordt de toets voortgezet met Stap 1.2.4.6. Indien de scheefstand groter dan 60 graden is, dan is het niet mogelijk eenvoudig een verstoringsprofiel vast te stellen en wordt de toetsing voortgezet met Stap 3, Toets op maat.

Stap 1.2.4.5: De kroonvorm is cultuurlijk.

Als bomen zonder snoeien mogen uitgroeien, vormen ze onder invloed van de genetische eigenschappen en de groeiplaatsomstandigheden een bepaalde 'op natuurlijke wijze' ontstane kroon. Bomen die niet in hun natuurlijke kroonvorm groeien, worden regelmatig gesnoeid. Afhankelijk van de plaats van snoeien ontstaat een type cultuurvorm. Als er sprake is van een cultuurlijke kroonvorm en het snoeiregime behorend bij de kroonvorm wordt nageleefd (beheer), wordt het oordeel 'Voldoet' toegekend. Bij natuurlijke kroonvorm wordt de toets voortgezet met Stap 1.2.4.6.

Stap 1.2.4.6 Het verstoringsprofiel ligt buiten beoordelingsprofiel.

Als het beoordelingsprofiel niet wordt doorsneden door het verstoringsprofiel (ontgrondingskuil) van de begroeiing wordt het oordeel 'Voldoet' toegekend. Indien het beoordelingsprofiel wel wordt doorsneden door het verstoringsprofiel voldoet de begroeiing niet aan de eisen uit de Eenvoudige toets en dient de toets te worden voortgezet met Stap 3: Toets op maat.

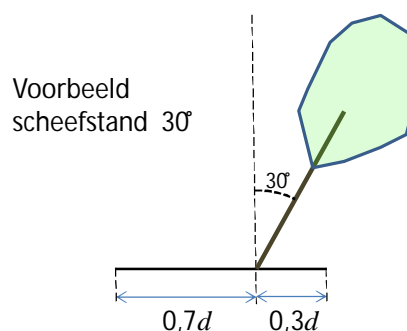
De omvang van de ontgrondingskuil is afhankelijk van de grondwaterstand (GRW) en wordt voor bomen met een scheefstand < 15 graden volgens Tabel 24.3 bepaald. De scheefstand wordt altijd gemeten ten opzichte van de verticaal, zie voorbeeld in Figuur 24.6.

Tabel 24.3 Ontgrondingskuil bij windworp als functie van de grondwaterstand en stamdiameter

Parameters	Omvang wortelkluit $d$ [m] bij stamdiameter [cm]			
	15 – 40 cm	41 – 80 cm	81 – 120 cm	>120 cm
<b>GRW = 0 – 0,5 m onder mv</b>				
Kluit diameter [m]	3,6	6,5	7,7	8,5
Kluit diepte (kruin, binnentalud en achterland) [m]	0,5	0,5	0,5	0,5
Kluit diepte (voorland en buitentalud) [m]	2 maal de stamdiameter			
<b>GRW &gt; – 0,5 m onder mv</b>	2,8	4,5	5,0	6,0
Kluit diameter [m]	2,8	5,6	7,2	6*stam diameter
Kluit diepte (kruin, binnentalud en achterland)[m]	0,8	1,0	1,2	1,4
Kluit diepte (voorland en buitentalud) [m]	2 maal de stamdiameter			

Bij een scheefstand van de boom van meer dan 15° en minder dan 60° is de wortelkluit asymmetrisch ontwikkeld en dienen de horizontale afmetingen van het verstoringsprofiel te worden gecorrigeerd aan de hand van Figuur 24.6.

Scheefstand (graden)	Asymmetrie in wortelkluit
0 – 15	0,5 $d$ / 0,5 $d$
15 – 30	0,7 $d$ / 0,3 $d$
30 – 45	0,8 $d$ / 0,2 $d$
45 – 60	0,9 $d$ / 0,1 $d$
60 – 90	n.v.t.



Figuur 24.6 ontgrondingskuil boom bij scheefstand

#### 24.3.2 Gedetailleerde toets begroeiing

Voor de beoordeling van begroeiing bestaat geen Gedetailleerde toets.

#### 24.3.3 Toets op maat begroeiing

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

- Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.
- Stap 2: beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).
- Stap 3: uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

In het geval van begroeiing kan wanneer windworp niet kan worden uitgesloten de ontgrondingskuil als scenario worden meegenomen in de modelschematisaties voor de verschillende directe faalmechanismen.

Hoe windworp kan worden uitgesloten, voor welke boomsoorten dit geldt en hoe de windbelasting op bomen kan worden geschematiseerd wordt weergegeven de Handleiding voor beplanting op en nabij primaire waterkeringen van STOWA (STOWA, 2000), de Handreiking Constructief Ontwerpen (TAW, 1994a), BomenT fase 3-gedetailleerde toets (DHV/Bomenwacht, 2012) en de review hierop (Witteveen en Bos, 2013).

### 24.4 Kabels en Leidingen (NWOkI)

Voor de beoordeling van leidingen zijn rekenmethoden en beoordelingsgrafieken voor leidingen te vinden in NEN 3651 (NEN, 2012). Daar waar nodig voor de Eenvoudige, de Gedetailleerde toets en de Toets op maat zijn dan ook verwijzingen opgenomen.

#### 24.4.1 Controle aanwezigheid van afsluiters

Voor de locatie en het functioneren van de aanwezige afsluiters wordt verwezen naar controle en de Tabel B7.1 van de LR Kunstwerken (TAW, 2003). In de veiligheidstoetsing is dit niet geregeld en is onderdeel van de zorgplicht.

#### 24.4.2 Eenvoudige toets kabels en leidingen

De Eenvoudige toets van kabels en leidingen vindt plaats volgens het toetschema uit Figuur 24.1. Een uitzondering wordt gemaakt voor:

- Kabels. De invloed van kabels op de veiligheid van waterkeringen wordt verwaarloosbaar geacht. Kabels hoeven daarom niet te worden getoetst. De mantelbuizen waarin de kabel of kabelbundels zijn gelegd, dienen wel te worden getoetst als leiding.
- Oude pijpleidingen die niet meer in gebruik zijn. Nagegaan moet worden of zij uit de waterkering zijn verwijderd, dan wel zijn dichtgezet met cement-klei of cement-bentoniet en niet meer van invloed zijn op het waterkerende vermogen. In dat geval kunnen zij

- buiten beschouwing worden gelaten. Indien zij nog aanwezig zijn en niet afgedicht, dan dienen zij wel te worden getoetst als leiding.
- Leidingen gelegd door horizontaal gestuurde boringen (HDD). De Eenvoudige toets van HDD leidingen gaat niet verder dan Stap 1.2.1. Daarbij moet worden nagegaan of het intree- en uitteerpunt buiten de invloedszone van de waterkering ligt. Als aan deze voorwaarde wordt voldaan is het toetsoordeel 'Voldoet'. Indien niet wordt voldaan dient verder te worden gegaan met Stap 3: de Toets op maat.
  - Hogedruk (>10 bar) leidingen. Stap 1.2.4 is niet van toepassing voor hoge druk leidingen. Hogedruk leidingen worden getoetst volgens Stap 2: de Gedetailleerde toets.

Indien de kabel of leiding niet bij de bovenstaande uitzonderingen staat en de waterkering zonder de aanwezigheid van kabels en leidingen voldoende wordt getoetst en er geen eerder uitgevoerde analyse is die aantoont dat wordt voldaan aan de veiligheidseisen, dan dient de toetsing te worden voortgezet met Stap 1.2.

#### Stap 1.2 Eenvoudige toets basis van algemene kenmerken.

De toets vindt plaats conform de stappen in Figuur 24.1.

##### Stap 1.2.1 Controle ligging verstoringszone binnen stabiliteitszone waterkering.

In afwijking van de in Figuur 24.1 genoemde invloedszone wordt voor leidingen alleen gekeken naar de stabiliteitszone. Met de stabiliteitszone wordt bedoeld de terreinstrook naast het waterstaatswerk die wordt bepaald door het faalmechanisme macro-instabiliteit van het waterstaatswerk. De invloedszone kan als gevolg van andere faalmechanismen groter zijn dan op basis van enkel het faalmechanisme macro-instabiliteit.

Voor een leiding die de waterkering kruist ligt de verstoringszone per definitie binnen de stabiliteitszone van de waterkering. Voor een niet-kruisende leiding wordt de verstoringszone bepaald met behulp van de formules uit Bijlage A.1 (gasleidingen) of A.2 (vloeistofleidingen) van de NEN 3651 (NEN, 2012). Indien de verstoringszone buiten de stabiliteitszone ligt, is het toetsoordeel 'Voldoet'. Indien de verstoringszone van het NWO binnen de stabiliteitszone van de waterkering ligt gaat de toetsing verder met Stap 1.2.2.

##### Stap 1.2.2 Compenserende voorziening aanwezig.

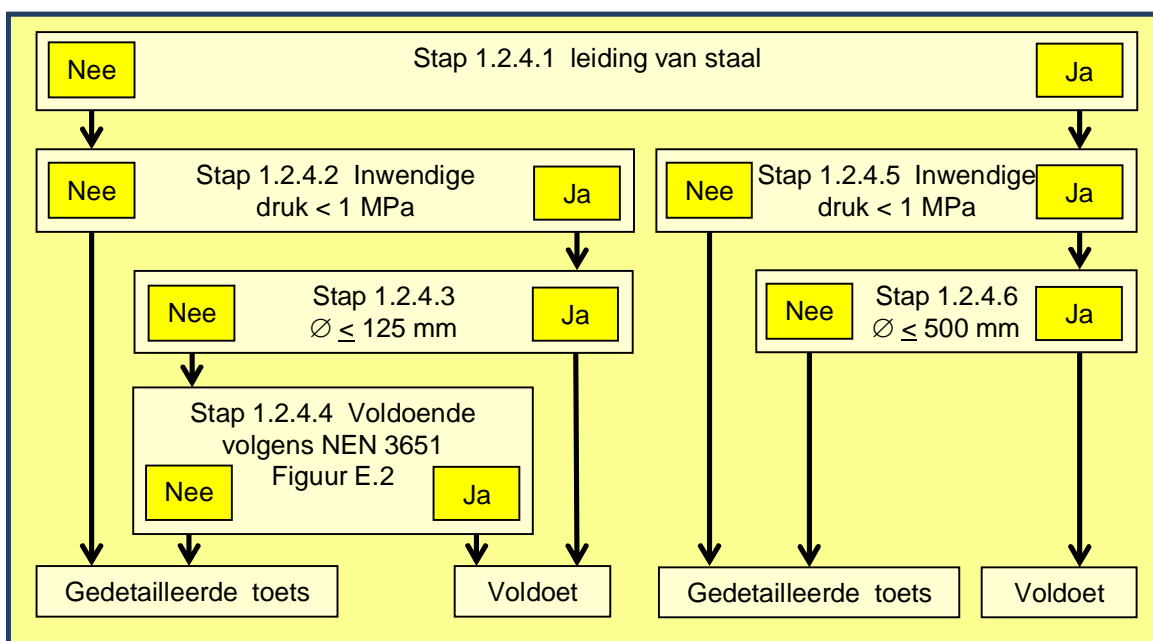
Indien er een compenserende voorziening aanwezig is, berekend met de Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003), kan deze voorziening gezien worden als functiescheidend element tussen de waterkering en de leidingen en gaat de toetsing verder met Stap 1.2.3. Zo niet, dient de toetsing door te gaan met Stap 1.2.4.

##### Stap 1.2.3: Compenserende voorziening voldoet.

De compenserende voorziening dient te worden getoetst als kunstwerk. Indien de constructie is ontworpen volgens CUR 166, Damwandconstructies (CUR, 2012), of de Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003) wordt dit als gelijkwaardig beschouwd. Indien de compenserende voorziening voldoet aan de voor een kunstwerk relevante toetssporen, is het oordeel voor het beoordelingsspoor NWOk1 gelijk aan 'Voldoet'. Indien dit niet het geval is, gaat de toetsing verder met Stap 1.2.4.

##### Stap 1.2.4 Voldoet op basis van schadelijkheids- en optredingscriterium.

Stap 1.2.4 wordt op basis van kernmerken van de leiding nagegaan of de leiding een significant risico oplevert, zie Figuur 24.7. De criteria die daarbij worden gehanteerd hebben betrekking op het leidingmateriaal, de leidingdiameter en de bedrijfsdruk van de leiding.



Figuur 24.7 Detaillering Stap 1.2.4 van Eenvoudige toets NWO kabels en leidingen (NWOKI)

#### Stap 1.2.4.1 Leiding van staal.

Als het leidingmateriaal staal is, dient de toetsing door te gaan met Stap 1.2.4.5. Als het een niet-stalen lagedruk leiding betreft, dient de toetsing door te gaan met Stap 1.2.4.2.

#### Stap 1.2.4.2 Niet-stalen lagedruk-leiding.

Als de leiding een lagedruk-leiding is, met andere woorden als de bedrijfsdruk kleiner is dan 1 MPa (=10 Bar), dan dient de toetsing door te gaan met Stap 1.2.4.3. Als het een hogedruk-leiding betreft, dient de toetsing door te gaan met de Gedetailleerde toets (Stap 2).

#### Stap 1.2.4.3 Leidingdiameter kleiner of gelijk aan 125 mm.

Als de lagedruk-leiding een diameter heeft kleiner of gelijk aan 125 mm, dan is het oordeel voor deze leiding 'Voldoet'. Als de leidingdiameter groter is dan 125 mm, dient de toetsing door te gaan met Stap 1.2.4.4.

#### Stap 1.2.4.4 Voldoende volgens NEN 3651 Figuur E.2.

Als de lagedruk-leiding met een diameter groter dan 125 mm voldoende scoort volgens figuur E.2 van 3651 (NEN, 2012), dan is het oordeel voor deze leiding 'Voldoet'. Anders dient de toetsing door te gaan met de Gedetailleerde toets (Stap 2).

#### Stap 1.2.4.5 Stalen lagedruk-leiding.

Als de stalen leiding een lagedruk-leiding is, met andere woorden als de bedrijfsdruk kleiner is dan 1 MPa (=10 Bar), dan dient de toetsing door te gaan met Stap 1.2.4.6. Als de stalen leiding een hogedruk-leiding betreft, dient de toetsing door te gaan met de Gedetailleerde toets (Stap 2).

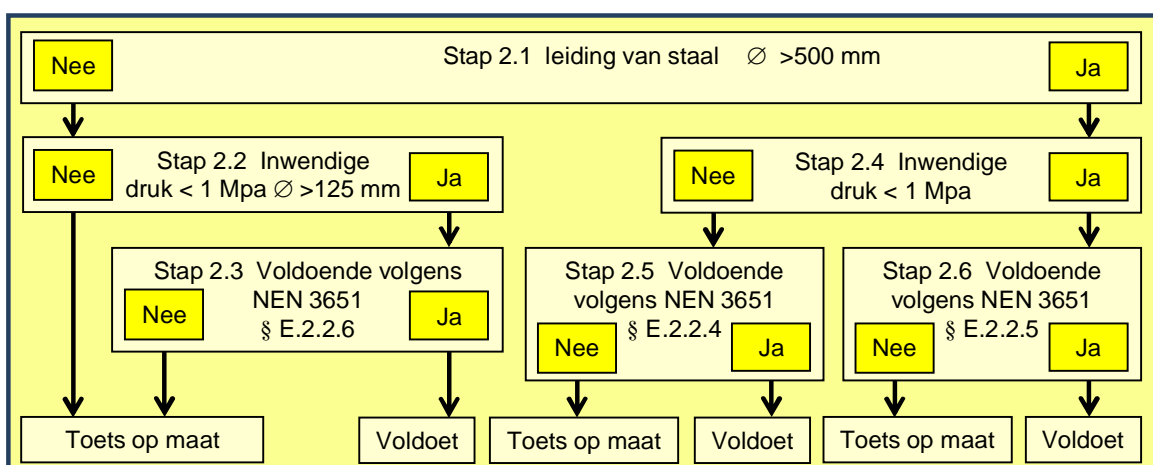
#### Stap 1.2.4.6 Leidingdiameter kleiner of gelijk aan 500 mm.

Als de stalen lagedruk-leiding een diameter heeft kleiner of gelijk aan 500 mm, dan is het oordeel voor deze leiding 'Voldoet'. Als de leidingdiameter groter is dan 500 mm, dient de toetsing door te gaan met de Gedetailleerde toets (Stap 2).

### 24.4.3 Gedetailleerde toets leidingen

Falen is voor de gedetailleerde toets leidingen gedefinieerd als het niet voldoen aan de sterkte eisen zoals gegeven door de van toepassing zijnde paragraaf uit NEN3651 (NEN, 2012). Het risico op versterking van het beoordelingsprofiel is dan te groot.

De Gedetailleerde toets die moet worden uitgevoerd is afhankelijk van de typering van leiding die ook al voor de Eenvoudige toets werd gehanteerd, zie Figuur 24.8. Voor de rekenregels die daarbij worden gehanteerd wordt verwezen naar verschillende paragrafen van bijlage E van de NEN 3651.



Figuur 24.8 Gedetailleerde toets NWO leidingen (NWOKI)

#### Stap 2.1 Leiding van staal met grote diameter.

Als het leidingmateriaal staal is en de leidingdiameter is groter dan 500 mm dient de toetsing door te gaan met Stap 2.4. Als het een niet-stalen leiding betreft en de leidingdiameter is groter dan 125 mm, dient de toetsing door te gaan met Stap 2.2.

#### Stap 2.2 Niet-stalen lagedruk-leiding.

Als de leiding een lagedruk-leiding is, met andere woorden als de bedrijfsdruk kleiner is dan 1 MPa (=10 Bar), dan dient de toetsing door te gaan met Stap 2.3. Als het een hogedruk-leiding betreft, dient de toetsing door te gaan met de Toets op maat (Stap 3).

#### Stap 2.3 Niet-stalen lagedruk-leiding voldoet volgens NEN 3651.

Als de leiding voldoende scoort volgens de procedure beschreven in paragraaf E.2.2.6, dan is het oordeel voor deze leiding 'Voldoet'. Leidingen van asbestcement moeten worden getoetst aan de criteria van paragraaf E.2.2.7. Als de leiding niet voldoende scoort volgens genoemde procedure, dan dient de toetsing door te gaan met de Toets op maat (Stap 3).

#### Stap 2.4 Stalen lagedruk-leiding.

Als de leiding een lagedruk-leiding is, met andere woorden als de bedrijfsdruk kleiner is dan 1 MPa (=10 Bar), dan dient de toetsing door te gaan met Stap 2.6. Als het een hogedruk-leiding betreft, dient de toetsing door te gaan met Stap 2.5.

#### Stap 2.5 Stalen hogedruk-leiding voldoet volgens NEN 3651.

Voor de toetsing van stalen hogedruk-leiding zijn de controles a) t/m c) beschreven in de paragrafen E.2.2.4 van de NEN 3651. Dit is echter een omissie, zodat voor deze toetsing moet worden aangetoond dat de leiding voldoet aan de ontwerpeisen van de NEN 3650 – serie.



Stap 2.6 Stalen lagedruk-leiding voldoet volgens NEN 3651.

Als de stalen lagedruk-leiding voldoet volgens de controles beschreven in paragraaf E.2.2.5 van de NEN 3651, dan is het oordeel voor deze leiding 'Voldoet'. Anders dient de toetsing door te gaan met de Toets op maat (Stap 3).

Voor een Gedetailleerde toets van stalen of niet-stalen HDD-leidingen kan gebruik worden gemaakt van de vigerende praktijkrichtlijn (NPR, 2006).

#### 24.4.4 Toets op maat leidingen

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

- Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.
- Stap 2: beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).
- Stap 3: uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Voor de beoordeling van de sterkte van bestaande stalen hogedruk-leidingen staat in paragrafen E.2.2.4 E.2.3 van bijlage E van NEN 3651 (NEN, 2012) een geavanceerde toets methode beschreven. Deze voorziet in het uitvoeren van een faalkans-/risicoanalyse en in situmetingen.

#### 24.5 Overige constructies (NWOoc)

Op, in en naast waterkeringen bevinden zich diverse grote en minder grote objecten. De beoordeling van grote objecten, zoals brugpijlers en aanlegsteigers geschiedt, waar mogelijk, volgens het beoordelingsspoor NWObe voor bebouwing, zie paragraaf 24.2.

Voor objecten, zoals windmolens, waarvoor geen toetsregels beschikbaar zijn, is de beoordeling maatwerk en dient een Toets op maat te worden uitgevoerd.

De kleine objecten zoals taludtrappen, banken, verkeersborden en verkeerslichten, afrasteringen, dijkpalen, lichtmasten en vuilnisbakken worden uitgezonderd van de toetsing. De invloed van deze objecten op de erosiebestendigheid van de grasbekleding wordt meegenomen in de toetssporen GEBU en GEKB.

Indien alle typen niet waterkerende objecten, die aanwezig zijn in het profiel van de waterkering, voldoen aan de Eenvoudige toets of Gedetailleerde toets van de voor de NWO relevante beoordelingsspoor (NWObe, NWObo of NWOkl) wordt aan de betreffende dijkvak het oordeel 'Voldoet' toegekend.

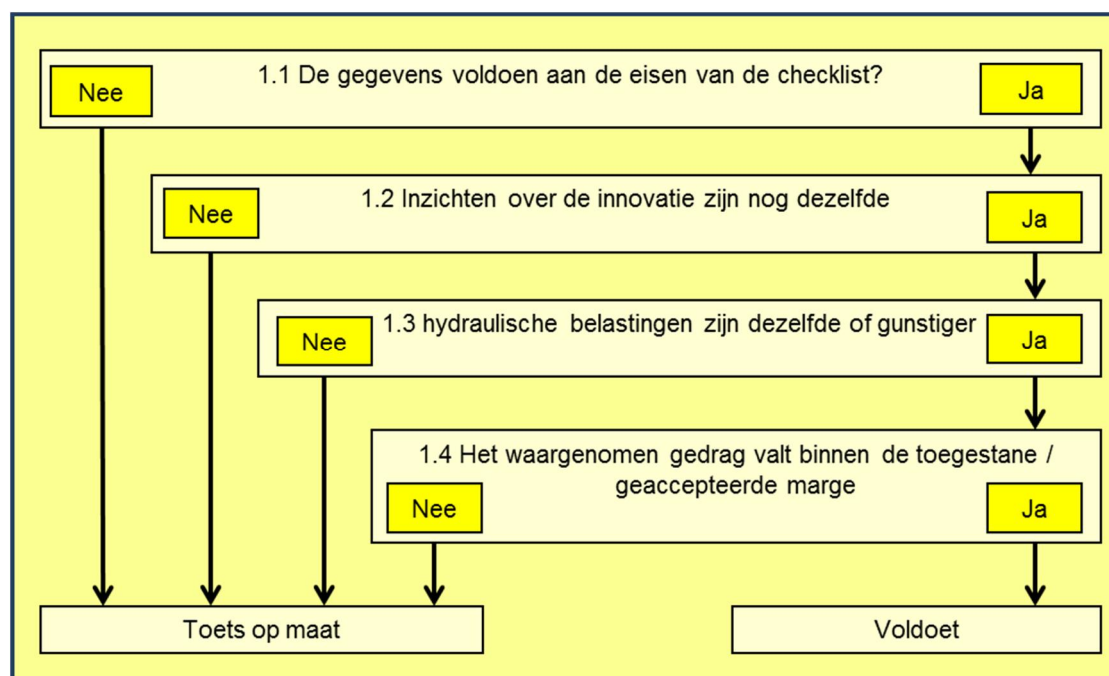
## 25 Toetsen van technische innovatie (INN)

Technische innovaties zijn bij recente dijkversterkingen toegepaste maatregelen ter verhoging van de veiligheid van de waterkering, maatregelen die niet eerder zijn toegepast. Er zijn daarom nog nauwelijks of geen ervaringen met deze maatregelen opgedaan. Voor deze technische innovaties zijn generieke toetsschema's en rekenmodellen danook nog niet beschikbaar. Voorliggend toetsschema geeft aan hoe een technische innovatie, verder kortweg 'innovatie' genoemd, kan worden getoetst. Meer informatie kan worden gevonden in de Handreiking Innovaties Waterkeringen, groene versie (Knoeff, et al., 2013).

### 25.1 Eenvoudige toets innovatie

De Eenvoudige toets van innovaties bestaat uit een toets op basis van eerder uitgevoerde analyses (Stap 1). De beoordeling is gebaseerd op aantonen van de waterkerendheid op basis van gedegen archiefvorming. De beoordeling kan alleen plaatsvinden indien voldoende documentatie aanwezig is van zowel de ontwikkeling, het ontwerp, de aanleg en het gebruik (beheer en onderhoud) inclusief monitoring van zowel de werking van de innovatie zelf als de invloed van de maatregel op haar omgeving en vice versa. Hiervoor dienen voorafgaand aan de aanleg in een monitoringsplan te zijn vastgelegd, welke aspecten voor monitoring van belang zijn.

Het schema voor de Eenvoudige toets op basis van eerder uitgevoerde analyses is weergegeven in Figuur 25.1.



Figuur 25.1 Toetsschema Eenvoudige toets innovaties

Stap 1.1 Voldoende gegevens.

In Stap 1.1 wordt geverifieerd of de actuele situatie in de gebruiksfase past binnen de berekende dimensies en marges die tijdens de eerdere fasen (ontwikkeling, ontwerp en aanleg) zijn bepaald. De beheerder dient daartoe de volgende vragen (checklist) onderbouwd te beantwoorden:

1. In het ontwerp dient aangetoond te zijn dat minimaal voldaan wordt aan de eis van waterkerendheid. Hiervoor dienen alle ontwerprandvoorwaarden volledig en herleidbaar te worden gedocumenteerd en is aan te tonen dat voldoende kwaliteitscontrole heeft plaatsgevonden. Is de veiligheidsfilosofie van het ontwerp conform de meest recente eis aan de waterkeringsveiligheid?
2. Van belang is dat de grens voor falen van de waterkering bekend is. Zijn er duidelijke criteria gegeven voor de uiterste grenstoestand (UGT) ten aanzien van waterkeringsveiligheid?
3. Is gespecificeerd welke marges en toleranties bij de aanleg en tijdens de inregelperiode gelden? Dit betreft toleranties ten aanzien van de afmetingen van het geheel, dan wel afzonderlijke onderdelen.
4. Is gespecificeerd welke marges en toleranties gelden in de gebruiksfase? Dit betreft de toleranties ten aanzien van optredende vervormingen, veroudering of andere specifieke werking van deze innovatie bepalende eigenschappen gedurende de levensduur.
5. Is de uitvoering uitgevoerd binnen de gestelde marges en toleranties van vraag 3? Zo niet, zijn de in de aanlegfase opgetreden afwijkingen verwerkt in de ontwerp- of beheersspecificaties (aanlegdocumentatie) zodat vastgesteld is dat de bestaande situatie (as-built) voldoet aan de eis van waterkeringsveiligheid?

Als alle vragen met 'ja' worden beantwoord, dient de Eenvoudige toets te worden voortgezet met Stap 1.2. Indien dit niet het geval is, is nader onderzoek noodzakelijk. De toetsing dient te worden voortgezet met de Toets op maat (toetslaag 3).

Stap 1.2 Inzichten over de innovatie zijn nog dezelfde.

In Stap 1.2 wordt gecontroleerd of nieuwe kennis aanwezig is waaruit blijkt dat de voor deze innovatie aangenomen veiligheid c.q. betrouwbaarheid wellicht onvoldoende conservatief is. Nieuwe inzichten kunnen ontstaan vanuit andere toepassingen van de innovatieve techniek of het materiaal, wijziging van de gehanteerde rekensystematiek, dan wel uit bijvoorbeeld ervaring met de aanleg van de innovatie zelf.

Indien het voldoende aannemelijk is dat er geen nieuwe inzichten zijn die tot aanpassing leiden van de betrouwbaarheid in ongunstige zin, wordt de toetsing voortgezet met Stap 1.3. Indien sprake is van nieuwe inzichten die leiden tot een conservatievere (strengere) aanpak, is nader onderzoek noodzakelijk. De toetsing dient te worden voortgezet met de Toets op maat (Stap 3).

Stap 1.3 Hydraulische belastingen en overige randvoorwaarden zijn dezelfde of gunstiger.

Als hydraulische belastingen of andere randvoorwaarden niet zijn veranderd in ongunstige zin ten opzichte van het ontwerp, kan de toetsing worden voortgezet met Stap 1.4. Indien randvoorwaarden in ongunstige zin zijn gewijzigd is nader onderzoek noodzakelijk. De toetsing dient te worden voortgezet met de Toets op maat (Stap 3).

Stap 1.4 Goed gedrag.

Het gedrag van de innovatie is zeer belangrijk omdat deze aangeeft of de innovatie aan de eisen ten aanzien van waterkerend vermogen voldoet. De uitkomsten van inspectie en

monitoring dienen daarom in Stap 1.4 te worden getoetst aan de verwachtingen zoals die in het ontwerpdocument zijn opgesteld (specificaties van veiligheid tijdens gebruik, inclusief goed- en afkeurgrenzen).

Indien het tijdens beheer & onderhoud waargenomen gedrag niet binnen de vereiste kaders valt - in ongunstige zin – is nader onderzoek noodzakelijk. De toetsing dient te worden voortgezet met de Toets op maat (Stap 3) Wanneer het gedrag binnen de vereiste kaders valt, 'Voldoet' de innovatie aan de Eenvoudige toets.

## **25.2 Gedetailleerde toets innovatie**

De toets van innovaties kent geen Gedetailleerde toets.

## **25.3 Toets op maat innovatie**

Een Toets op maat wordt uitgevoerd wanneer in de Eenvoudige toets geconstateerd is dat documentatie niet volledig is of wijzigingen in ongunstige zin zijn opgetreden. Een Toets op maat kan bestaan uit een of meer van de volgende acties:

- Het met terugwerkende kracht opstellen van de bij het ontwerp, uitvoering en monitoring behorende toetsdocumentatie indien niet wordt voldaan aan de voorwaarden van Stap 1.1.
- Het uitvoeren van een berekening op basis van nieuwe inzichten indien niet wordt voldaan aan de voorwaarden van Stap 1.2.
- Het bepalen of het ontwerp voldoet bij de uiterste grenstoestand, indien niet wordt voldaan aan de voorwaarden van Stap 1.3.
- Nader onderzoek van afwijkend gedrag en vaststelling of e.e.a. nog binnen de uiterste grenstoestand valt, indien niet wordt voldaan aan de voorwaarden van Stap 1.4. Wanneer het gedrag evenwel buiten de betrouwbaarheidseisen valt, is verbetering zeer waarschijnlijk noodzakelijk.

## 26 Begrippen

Opgemerkt wordt dat deze begrippenlijst uitgebreider is dan noodzakelijk voor voorliggend Voorschrift.

Begrip	Omschrijving
<b>Aanleghoogte</b>	Kruinhoogte van de waterkering onmiddellijk na het gereedkomen ervan.
<b>Aansluitings-constructie</b>	Aansluiting van twee typen waterkeringen, bijvoorbeeld een dijk, een duin, hybride kering, kunstwerken en hoge gronden.
<b>Aanverwant bekledingstype</b>	Niet-standaardsteenzetting of bekledingstype dat verwant is aan steenzettingen.
<b>Achterland</b>	Het gebied aansluitend aan de landzijde van de waterkering.
<b>Achterloopsheid (duinen)</b>	Proces waarbij water zijdelings achter een waterkering langs stroomt.
<b>Achterloopsheid (kunstwerken)</b>	Het ontstaan van holle ruimten aan de zijkant van een kunstwerk als gevolg van een geconcentreerde kwelstroom waarbij gronddeeltjes worden meegevoerd. Hierbij loopt de kwelstroom langs het kunstwerk op het grensvlak van een cohesieve laag en zand.
<b>Actuele sterkte</b>	Huidige werkelijke sterkte.
<b>Afdeklaag</b>	Ondoorlatende of slecht doorlatende laag op het zandpakket aan de binnendijkse zijde, bestaande uit klei of veen.
<b>Afschuiving</b>	Verplaatsen van een deel van een grondlichaam of bekleding door overschrijding van het evenwichtsdraagvermogen.
<b>Afslag</b>	Erosie van het duinprofiel tijdens storm.
<b>Afslaglijn</b>	Lijn in lengterichting van de kust die de afslagpunten verbindt.
<b>Afslagprofiel</b>	Profiel van duin of dijk met voorland waarbij tijdens storm afslag is opgetreden
<b>Afslagpunt</b>	Snijpunt van het afgeslagen duinfront met het Rekenpeil. Het kritieke afslagpunt geeft die mate van duinafslag aan waarbij nog juist geen doorbreken optreedt.
<b>Afslagzone</b>	Deel van een duingebied waar tijdens storm afslag optreedt
<b>Afsluitmiddel</b>	Beweegbaar onderdeel van een waterkerend kunstwerk waarmee de doorgang in de waterkering ten behoeve van goederen, voertuigen en/of personen waterkerend kan worden afgesloten. De functie kan door een afsluitmiddel op verschillende wijzen worden ingevuld: in beginsel gesloten, eventueel te openen op aanvraag, of in beginsel open en pas te sluiten bij sluitpeil of calamiteit
<b>Afstandhouder</b>	Kunststof of metalen element dat tussen toplaagelementen wordt aangebracht om het open-ruimtepercentage te vergroten.
<b>Afvoerdebiet</b>	De rivierafvoer.
<b>Afvoergolf</b>	Zie hoogwatergolf.

<b>Afvoerpiek</b>	Het grootste debiet in een gemodelleerde afvoergolf.
<b>Afvoerstochast</b>	Afvoer is het volume water die per seconde door een dwarsdoorsnede van bijvoorbeeld een rivier stroomt. In het rivierengebied is dit een basisstochast omdat de afvoer in grote mate bijdraagt aan de natuurlijke variabiliteit van de hydraulische belasting in dat gebied.
<b>Afvoerverloop</b>	Het verloop in de tijd van de rivierafvoer op een bepaalde locatie.
<b>Afzinktunnel</b>	Tunnel bestaande uit geprefabriceerde elementen, die in drijvende toestand worden verplaatst en in een vooraf gebaggerde sleuf worden afgezonken.
<b>Aggregaten</b>	Natuurlijk gevormde brokken grond met afmetingen van millimeters tot decimeters.
<b>Aquaduct</b>	Kunstwerk waarmee een waterloop in een open constructie over een weg of andere waterloop wordt gevoerd.
<b>Aquifer</b>	Watervoerend pakket. Grondlagen waarbinnen de relatief (ten opzichte van de omgeving) hoge doorlatendheid aanzienlijk transport van grondwater mogelijk maakt.
<b>Aquitard</b>	Grondlagen met een in vergelijking tot een aquifer lage doorlatendheid (bijvoorbeeld een kleipakket). De horizontale stroming in een aquitard is zeer gering, terwijl wel aanzienlijke verticale stroming mogelijk is.
<b>AQUO</b>	Aquo-standaard – de uniforme taal voor de uitwisseling van gegevens binnen de watersector. De Aquo-standaard maakt het mogelijk om op een uniforme manier gegevens uit te wisselen tussen partijen die betrokken zijn bij het waterbeheer en draagt daarmee bij aan een kwaliteitsverbetering van het waterbeheer.
<b>Artesisch water</b>	(Grond)water met een wateroverspanning ten opzichte van een hydrostatische waterspanningsverdeling, waarbij de wateroverspanning het gevolg is van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket.
<b>Artesisch watervoerend pakket</b>	Een afgesloten watervoerend pakket, waarin de stijghoogte van het grondwater boven het maaiveld uitkomt.
<b>Asfalt</b>	Een natuurlijk of kunstmatig mengsel van bitumen en minerale stoffen.
<b>Asfaltkleefmiddel</b>	Een dun vloeibaar mengsel van bitumen en een vluchtig oplosmiddel.
<b>Asfaltmastiek</b>	Warm bereid asfalt met een continu gegradeerd mengsel van zand en vulstof en een overmaat aan bitumen, dat nagenoeg geen holle ruimte heeft.
<b>Asfaltmortel</b>	Een mengsel van bitumen met zand en vulstof als component van een asfaltmengsel.
<b>Astronomisch getij</b>	Getijbeweging als gevolg van de veranderlijke resultante van de aantrekkingskracht van de maan en de zon op de watermassa's op aarde, niet gestoord door weerkundige omstandigheden.
<b>Autocorrelatiefunctie</b>	Functie die de mate van samenhang aangeeft tussen de waarde van een variabele op locatie x en de waarde van diezelfde variabele op naburige locaties

<b>Balgstuw</b>	Type stuw, die ook kan worden ingezet als keersluis. Bij dit type stuw wordt een rubber doek bevestigd aan constructies op de bodem van de watergang en de oevers. Als men wil dat de stuw het water tegenhoudt, pompt men de balg vol met water en lucht, waardoor de stuw omhoog komt. Afhankelijk van het gewenste waterpeil kan men in de stuw meer of minder water/lucht laten stromen.
<b>Bandijk</b>	Dijk die het winterbed omsluit.
<b>Basalton</b>	Type betonzuil.
<b>Basaltzuil</b>	Zuilvormig toplaagelement van basalt.
<b>Basisinstrumentarium</b>	Beoordelingsschema's, rekentechnieken en modellen, aangevuld met handleidingen en achtergronddocumenten.
<b>Basiskustlijn</b>	De kustlijn die in het kader van het kusthandhavingsbeleid als referentie dient. In het algemeen de positie van de 'gemiddelde' kustlijn op 1 januari 1990.
<b>Basismateriaal</b>	Bovenste laag van het grondlichaam onder de bekledingsconstructie.
<b>Basisstochasten</b>	Stochasten die de belangrijkste bedreigingen in het belastingmodel beschrijven: rivierafvoer, wind, zeewaterstand, meerpeil en golven op zee
<b>Basisveiligheid</b>	Minimale veiligheid tegen overstromingen voor iedereen achter de dijk.
<b>Beddingsconstante</b>	Coëfficiënt die de verhouding aangeeft tussen de door de grond geleverde tegendruk en de zakking van de grond ten gevolge van een bovenbelasting (een parameter die de stijfheid van de ondergrond uitdrukt).
<b>Beheer</b>	Geheel van activiteiten dat noodzakelijk is om te waarborgen dat de functies van de waterkering blijven voldoen aan de daarvoor vastgestelde eisen en normen.
<b>Beheerder</b>	Zie waterkeringbeheerder.
<b>Beheerdersoordeel</b>	Beoordeling van de veiligheid op basis van een onderbouwde inschatting van de beheerder.
<b>Beheersgebied</b>	In de legger gespecificeerd areaal, dat als waterkering wordt aangemerkt en door de waterkeringbeheerder wordt beheerd.
<b>Beheersplan</b>	Document waarin het geplande beheer van een kering is vastgelegd.
<b>Beheersregister</b>	Ook wel Technisch beheersregister. Document met de beschrijving van de voor het behoud van het waterkerend vermogen kenmerkende gegevens van de constructie en de feitelijke toestand van de waterkering.
<b>Bekkenpassage</b>	Vispassage bestaande uit een cascade van kleine bakken met stromend water, waarbij de vis steeds naar een hoger niveau moet zwemmen of springen om een waterbouwkundig kunstwerk te passeren.
<b>Bekleding</b>	Afdekking van de kern van een dijk ter bescherming tegen golfaanvallen, langsstromend water, golfoverslag en overloop.

<b>Bekledingsconstructie</b>	Geheel van lagen die tot doel hebben de dijk kern te beschermen tegen erosie door de waterbeweging, bestaande uit een toplaag met daaronder (eventueel) uitvul-, filter- en kleilagen.
<b>Belasting</b>	Op een constructie (een waterkering) uitgeoefende in- en uitwendige krachten, ofwel de mate waarin een constructie door in- en uitwendige krachten wordt aangesproken, uitgedrukt in een fysische grootheid.
<b>Beleid</b>	Het geheel van gemaakte bestuurlijke keuzen.
<b>Beleidsanalyse</b>	Methodiek waarmee systematisch alternatieve oplossingen worden ontwikkeld en afgewogen.
<b>Benedenbeloop</b>	Deel van het talud tussen teen en buitenberm.
<b>Benedenrivierengebied</b>	Rivierengebied ten westen van de lijn Schoonhoven -Werkendam Dongemond, inclusief Hollands Diep en Haringvliet, maar zonder de Hollandsche IJssel. De combinatie van waterstanden op zee en rivierafvoeren veroorzaakt in dit gebied de hoge waterstanden.
<b>Benedenstroms</b>	Stroomafwaarts.
<b>Benedenstroomse richting</b>	Voor het mechanisme piping: de richting waarheen het kwelwater stroomt.
<b>Beoordelingsfilter</b>	Criteria waarmee direct een Technisch oordeel aan de waterkering kan worden toegekend of waarmee direct een Toets op maat kan worden uitgevoerd.
<b>Beoordelingsmethode</b>	Wijze waarop de toetsing moet worden uitgevoerd. De beoordelingsmethoden in dit voorschrift betreffen het beoordelen op basis van een filter en het beoordelen op basis van toetsregels.
<b>Beoordelingsprofiel</b>	Denkbeeldig minimum profiel van gedefinieerde afmetingen waarbinnen zich geen objecten bevinden, dat binnen het werkelijk aanwezige profiel moet passen en dat de garantie moet bieden dat de waterkering voldoende sterk is.
<b>Beoordelingsschema</b>	Opeenvolging van stappen waarmee voor een beoordelingsspoor het toetsingsresultaat kan worden bepaald.
<b>Beoordelingsspoor</b>	Eén van de aspecten aan de hand waarvan de toetsing op veiligheid van de waterkering wordt uitgevoerd.
<b>Berm</b>	Extra verbreding aan de binnendijkse of buitendijkse zijde van de dijk om het dijklichaam extra steun te bieden, zandmeevoerende wellen te voorkomen en de golfslag en /of golfoverslag te reduceren.
<b>Bermfactor</b>	Factor bepaald door golfhoogte en waterdiepte boven de berm, benodigd voor ontwerp en toetsing op toplaaginstabiliteit van steenzettingen op een buitenberm.
<b>Beschermingsniveau</b>	Zie veiligheidsnorm.
<b>Beschermingszone</b>	In de keur beschreven zone ter weerszijden aan het waterstaatswerk waarbinnen een beperkt gebodsregime geldt met als doel aantasting van de waterkering door bijzondere belastingen (delfstofwinning, seismisch onderzoek, explosies van leidingen) te voorkomen.
<b>Beslisregel</b>	Regel aan de hand waarvan een beslissing moet worden genomen.
<b>Betonblok</b>	Blokvormig toplaagelement van beton.
<b>Betonpuin</b>	Restproduct dat wordt gebruikt als granulair materiaal.



<b>Betonzuil</b>	Zuilvormig toplaagelement van beton.
<b>Betrouwbaarheid sluiting van kunstwerken</b>	Betrouwbaarheid van de sluitingsoperatie van de hoogwaterkerende keermiddelen van een waterkerend kunstwerk.
<b>Betrouwbaarheidseis</b>	Eis die gesteld wordt aan de betrouwbaarheid (faalkans) van een constructie. De wettelijke toetsnorm is een voorbeeld van een betrouwbaarheidseis aan de waterkeringen.
<b>Betrouwbaarheidseis op doorsnedeniveau</b>	Eis die in de toetsing wordt gesteld aan de kans van falen van een dijkdoorsnede (faalkanseis).
<b>Betrouwbaarheidsindex</b>	Waarde die de mate van 'betrouwbaarheid' van een waterkering weergeeft. Een hoge betrouwbaarheid correspondeert met een kleine faalkans
<b>Bezwijken</b>	Het optreden van verlies van inwendig evenwicht (bijvoorbeeld afschuiven) en/of het optreden van verlies van samenhang in materiaal (bijvoorbeeld het verweken) en/of het optreden van ontoelaatbaar grote vervormingen van de waterkering.
<b>Bezwijkmechanisme</b>	Wijze waarop een constructie bezwijkt.
<b>Bijzonder waterkerend object</b>	Kering geplaatst en ontworpen ter bescherming van waterstaatswerken in oorlogstijd.
<b>Bijzondere waterkerende constructie</b>	Constructie om, in combinatie met een grondlichaam (dijk) of in plaats van een grondlichaam, water te keren, zoals muralt- of dijkmuuren, damwanden, kistdammen, keermuuren en kwelschermen.
<b>Binnenberm</b>	Extra verbreding aan de landzijde van de dijk om het dijklichaam extra steun te bieden en/of om zandmeevoerende wellen te voorkomen.
<b>Binnendijks</b>	Aan de kant van het land of het binnenwater.
<b>Binnendijks duingebied</b>	Duingebied waarvoor de primaire veiligheid volgens de Waterwet wordt geborgd.
<b>Binnenduin</b>	Duin die niet direct aan het strand grenzen.
<b>Binnenduinrand</b>	Overgang tussen een duingebied en het laaggelegen achterland.
<b>Binnenkruinlijn</b>	Lijn die de overgang markeert tussen de kruin en het binnentalud.
<b>Binnentalud</b>	Hellend vlak van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk.
<b>Binnenteen</b>	De onderrand van het dijklichaam aan de landzijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld).
<b>Bitumen</b>	Een zeer viskeuze vloeistof of vaste stof, in hoofdzaak bestaande uit koolwaterstoffen of hun derivaten, die vrijwel geheel oplosbaar is in zwavelkoolstof.
<b>Bitumenemulsie</b>	Een homogeen mengsel van bitumen en water waarbij bitumen in de vorm van zeer kleine bolletjes is gedispergeerd in water.
<b>Blok</b>	De rechthoekige vorm waarmee een tijdafhankelijk proces als bijvoorbeeld afvoer wordt geschematiseerd.
<b>Blokduur</b>	De representatieve duur van het tijdafhankelijke proces dat met een blok wordt geschematiseerd.
<b>Blokken</b>	Toplaagelementen die nauw op elkaar aansluiten en waarbij de spleetbreedte rondom elk element min of meer constant en meestal klein is.
<b>Blokkenmat</b>	Geprefabriceerde toplaagelementen die onderling door kabels of een geokunststof zijn verbonden tot een mat.

<b>BOA</b>	Beleids Ondersteunend Advies.
<b>BOA project</b>	Project dat betrekking heeft op beleidsondersteuning van het ministerie van Infrastructuur en Milieu
<b>Bochtwerking</b>	Waterstandsverhoging ter plaatse van de waterkering als gevolg van scheefstand van het wateroppervlak in een bocht van een rivier.
<b>Bodemligging</b>	Positie van de bodem ten opzichte van een referentievlak, dikwijls NAP.
<b>Boortunnel</b>	Ondergrondse tunnel die wordt samengesteld achter de boorinstallatie waarmee de grond aan de kop van deze installatie wordt verwijderd.
<b>Bovenbeloop</b>	Deel van het talud tussen buitenberm en kruin.
<b>Bovenrivierengebied</b>	Het door Rijn en Maas gevoede rivierengebied ten oosten van de lijn Schoonhoven - Werkendam – Dongemond. Hoge rivierafvoer veroorzaakt de hoge waterstanden in dit gebied.
<b>Bovenstrooms</b>	Stroomopwaarts.
<b>Bovenstroomse richting</b>	Hier m.b.t. de stroming van het kwelwater onder de dijk heen, vanuit de in-/toestromende zijde van de dijk.
<b>Boventafel</b>	Bovenste gedeelte van de taludbekleding (boven Gemiddeld Hoogwater of boven een overgangsconstructie).
<b>Brekerparameter</b>	Verhouding tussen de taludhelling en de (wortel uit) de golfsteilheid, die een indicatie is voor de wijze waarop golven op het talud breken.
<b>Bres</b>	Een gat in de waterkering.
<b>Bresvloeiing</b>	Bezwijken van een onderwatertalud door het gestaag wegstromen van zandlagen, gevoed door een steil taludopwaarts bewegende verstoring.
<b>Breuksteenoverlaging</b>	Constructie waarbij op een bestaande, te lichte steenzetting ter versterking een pakket breuksteen is aangebracht.
<b>Bui-oscillaties</b>	Onregelmatige schommelingen van het wateroppervlak met een wisselende periode die vooral bij zware storm optreden.
<b>Buistoot</b>	Afzonderlijk optredende vrij kort durende waterspiegelverheffing als gevolg van een zware bui.
<b>Buitenberm</b>	Extra verbreding aan de buitendijkse zijde van de dijk om het dijklichaam extra steun te bieden, om zandmeevoerende wellen te voorkomen en/of om de golfoploop te reduceren.
<b>Buitendijks</b>	Aan de kant van het te keren (buiten)water.
<b>Buitenknic</b>	Knik tussen de berm en het benedenbeloop.
<b>Buitenkruinlijn</b>	Lijn die de overgang markeert tussen de kruin en het buitentalud.
<b>Buitentalud</b>	Hellend vlak van het dijklichaam aan de kerende zijde.
<b>Buitenteen</b>	Onderrand van het dijklichaam aan de buitendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld en/of voorland).
<b>Buitenwater</b>	Oppervlaktewater waarvan de waterstand direct onder invloed staat van de waterstand op zee, de grote rivieren, het IJsselmeer of het Markermeer.

<b>Caisson</b>	Een betonnen rechthoekige bak die in de waterbouw over het algemeen dienst doet als golfbreker of als hulpconstructie bij de sluiting van dijken en/of dammen.
<b>Calamiteitenplan</b>	Een draaiboek waarin verschillende acties om de dijk te bewaken (in geval van calamiteit) staan vermeld. Volgens de Waterstaatswet 1900 zijn waterbeheerders verplicht dit op te stellen.
<b>Cascade-effect</b>	Het trapsgewijze verloop van water van hoog naar laag, vertraagd door obstakels in het landschap (zie ook systeemwerking).
<b>Cellenwand</b>	Gewichtsconstructie opgebouwd uit damwanden, die tot cirkelvormige of deels cirkelvormige cellen worden geconstrueerd en met grond of een ander materiaal worden gevuld om voldoende massa te krijgen. Door de cellen onderling te verbinden ontstaat een cellenwand.
<b>Cohesieve laag</b>	Zie afdeklaag.
<b>Combiwand</b>	Een constructie opgebouwd uit een combinatie van open buispaal-elementen (of H-profielen), die een hoge sterkte en stijfheid bezitten, en damwandelementen.
<b>Compartimentering</b>	Het opdelen van een grote dijkkring in (een aantal) kleinere compartimenten of dijkkringen, om de gevolgen van een overstroming te beperken tot een kleiner gebied.
<b>Constructieve functie (kunstwerken)</b>	Het bijdragen aan het in stand houden van de waterkering, door het afdragen naar de ondergrond van belastingen die niet direct gerelateerd zijn aan de waterkerende functie.
<b>Correlatie in de tijd</b>	Mate van samenhang tussen de waarde van een variabele op tijdstip $t$ en de waarde van diezelfde variabele op een ander tijdstip.
<b>Correlatiefuncties</b>	Statistische functies die de mate van samenhang tussen twee stochasten kwantificeren.
<b>Correlatielengte</b>	Lengte-maat die bepalend is voor de mate van ruimtelijke (auto-)correlatie van een parameter.
<b>Coupure</b>	Onderbreking in de waterkering voor de doorvoer van een (water)weg of spoorweg die bij hoge buitenwaterstanden afsluitbaar is.
<b>Cumulatieve kansverdeling</b>	Functie die de kans van onderschrijden beschrijft van alle (relevante) mogelijke uitkomsten van een stochastische variabele.
<b>Dam</b>	Waterbouwkundige constructie met aan twee zijden water. Kan zijn aangelegd om de golfhoogte er achter te reduceren, de havendam, of als primaire waterkering.
<b>Damwand</b>	Een damwand is een verticale grond- en/of waterkerende constructie, die bestaat uit een rij losse de grond in gedreven wandelementen (planken of panelen) die door middel van een gronddichte en in sommige gevallen ook waterdichte messing- en-groefverbinding (genoemd 'slot' bij stalen damwanden) met elkaar zijn verbonden.
<b>Debiet</b>	Het vloeistofvolume dat per tijdseenheid door een doorsnede stroomt.
<b>Decimeringshoogte</b>	Absoluut verschil in hoogte tussen het een waterstand met een bepaalde overschrijdingsfrequentie en een waterstand met een overschrijdingsfrequentie, die een factor 10 hoger of lager is.
<b>Deelfaalmechanisme</b>	Zie deelmechanisme.

<b>Deelmechanisme</b>	Deel van het faalproces dat voortkomt uit het falen van onderdelen van het systeem, maar waarbij nog geen sprake hoeft te zijn van volledig functieverlies.
<b>Deining</b>	Windgeïnduceerde watergolven, die niet meer onder invloed zijn van het windveld dat hen opwekte.
<b>Dekzand</b>	Door de wind afgezet zand, dat als een dek op oudere zanden of afzettingen ligt in een laag, variërend van enkele decimeters tot meerdere meters dikte.
<b>Delta</b>	Uitmonding van een rivier als een stelsel van aftakkingen.
<b>Deltaprogramma waterveiligheid</b>	Overheidsprogramma waarin plannen worden gemaakt om nu en in de toekomst Nederland te beschermen tegen hoogwater en te zorgen voor voldoende zoetwater onder leiding van de regeringscommissaris voor het Deltaprogramma (Deltacommissaris).
<b>Demontabele kering</b>	Mobiele kering waarvan een deel van de constructie alleen bij dreigend hoogwater wordt opgebouwd en waarvan onder normale omstandigheden slechts een beperkt deel van de constructie (zoals funderingsbalken, kwelschermen, of aansluitingen op bestaande constructies) achterblijft op het waterkeringtracé.
<b>Depositie</b>	Aanzanding van het afgeslagen duinzand.
<b>Deterministisch</b>	Hiermee wordt bedoeld dat tijdens het toetsen een parameter niet als stochast wordt gemodelleerd. De waarde van deze parameter wordt als "bekend" verondersteld.
<b>Deterministisch model</b>	Een model dat de invoer volgens een vaststaande wetmatigheid omzet in uitvoer, zonder rekening te houden met onzekerheden.
<b>Dicht steenasfalt</b>	Een licht overvuld mengsel met een gap-graded aggregaat, waardoor verdichting door eigen gewicht optreedt.
<b>Dichtheid</b>	Verhouding tussen massa en volume van het materiaal (volumieke massa, soortelijke massa).
<b>Dichtingslaag</b>	Een laag bindmiddel aangebracht op een oppervlak van waterbouwasfaltbeton.
<b>Diepwand</b>	Doorgaande (meestal onverankerde) wandconstructie, die is opgebouwd uit (trillingsvrij) in de grond vervaardigde betonnen panelen voorzien van wapening.
<b>DiffRACTIE</b>	Buiging van golf front/golfstraal in het schaduwgebied van een obstakel.
<b>Dijk</b>	Waterkerend grondlichaam.
<b>Dijkbasis</b>	De zich binnen de invloedssfeer van de dijk bevindende ondergrond.
<b>Dijkdeuvels</b>	Een van de INSIDE-technieken. Hierbij worden stalen buizen tot onder de teen van de dijk in de diepere zandlaag ingebracht. Om deze buizen zijn kousen van geotextiel aangebracht, die na installatie met cement-bentoniet worden volgepompt. Daardoor zet de kous uit als een langwerpige ballon, waarmee potentiële afschuifvlakken van de dijk worden gestabiliseerd.
<b>Dijk-in-duin</b>	Hybride kering waarbij een dijk wordt beschermd door een voorliggend volume zand.
<b>Dijkkern</b>	Grondlichaam van zand en/of klei in een dijk dat moet worden beschermd tegen de inwerking van de waterbeweging.
<b>Dijkmuur</b>	Constructie op een dijk aangebracht om golfoverslag over de dijk te beperken.

<b>Dijkringbenadering</b>	Rekenkundige benadering van de overstromingskans voor een dijkkring als geheel.
<b>Dijkringgebied</b>	Een gebied dat door een stelsel van waterkeringen, of hoge gronden beveiligd moet zijn tegen overstromingen.
<b>Dijkringgebied scheiding</b>	Zie scheidingsdijk.
<b>Dijkringlijn</b>	Lijn die de ligging van de primaire waterkering aangeeft.
<b>Dijktraject</b>	Zie waterkeringtraject.
<b>Dijkvak</b>	Een deel van een waterkering met uniforme eigenschappen en belasting.
<b>Dijkvernageling</b>	Een van de INSIDE-technieken. Hierbij worden nagels met een kern van staal of kunststof in de dijk geplaatst. De kern is omhuld met een schil van grout (cement en water) die zorgt voor een goede hechting tussen de nagels en de grond in de dijk. Hiermee worden potentiële afschuifvlakken van de dijk gestabiliseerd.
<b>Doorgaand kanaal</b>	Kanaal van de benedenstroomse naar de bovenstroomse zijde.
<b>Doorgroeisteen</b>	Platte betontegel of betonblok met gaten er in die begroeiing mogelijk maken (grasbetonstenen).
<b>Doorlatendheid</b>	Het vermogen van de grond om vloeistof door te laten. Verhouding tussen specifiek debiet en verhang. Darcy doorlatendheid, afhankelijk van de viscositeit van het water.
<b>Doornikse steen</b>	Blokvormig topplagelement van natuursteen uit de groeven van Doornik, België.
<b>Drukstaafmethode</b>	Methode om de stabiliteit van de dijk te benaderen onder inachtneming van de vervorming van het slappe grondpakket achter de dijk, dat hiertoe als een door druk belaste staaf wordt opgevat (opdrijven).
<b>Dubbele duinen</b>	Meerdere duinregels die samen een duinwaterkering vormen.
<b>Duin</b>	Min of meer aansluitende zandheuvelds langs de kust, al dan niet door de natuur gevormd, die het waterkerend vermogen ontleen aan de geometrie en de hoeveelheid zand binnen het dwarsprofiel.
<b>Duinafslag</b>	Faalmecanisme voor duinen dat betrekking heeft op de erosie van een duin onder stormcondities.
<b>Duinfront</b>	Zeezijde van het duinprofiel.
<b>Duinvak</b>	Zie dijkvak.
<b>Duinvoet</b>	Overgang van strand naar duin. De positie van de duinvoet in een dwarsprofiel wordt door veel beheerders gedefinieerd met behulp van een in de tijd constante hoogtelijn (bijvoorbeeld NAP +3 m).
<b>Duinvoetverdediging</b>	Harde waterkeringsconstructie die het achterliggend duin beschermt tegen duinafslag, gezamenlijk vormt dit een hybride kering.
<b>Duinwaterkering</b>	Deel van een duingebied dat aangemerkt is als primaire waterkering.
<b>Economische schade</b>	De schade die opgelopen is door ontwrichting van economische processen.
<b>Ecotop</b>	Ruw laagje op de bovenkant van topplagelementen ter bevordering van flora en fauna.

<b>Eenheid/Eenheden (van WTI-SOS)</b>	WTI-SOS verdeelt de ondergrond in eenheden, in totaal 43 (Bijlage B). Een WTI-SOS eenheid bestaat uit een grondlaag of grondlagen die relatief homogeen verdeelde eigenschappen hebben. De lithologie kan homogeen zijn, maar het is ook mogelijk dat de eenheid een homogene afwisseling bevat van verschillende lithologieën, bijvoorbeeld zand/klei afwisselingen. De eenheden zijn zo opgezet en beschreven dat ze herkend kunnen worden in boringen en sonderingen en dat ze relatief eenvoudig zijn te koppelen aan proevenverzamelingen.
<b>Eenvoudige toets</b>	De eerste stappen in een beoordelingsschema, met relatief gemakkelijk toepasbare regels, uitgewerkt in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid.
<b>Emulgator</b>	Een stof die een emulsie stabiel houdt (er voor zorgt dat de geëmulgeerde stof niet samenklontert).
<b>Erosie</b>	Het proces waarbij grond, gesteente en dergelijke verplaatst worden door c.q. wegspoelen onder invloed van wind, stromend water of bewegende ijsmassa's.
<b>Erosie van de onderlagen</b>	Faalmechanisme van bekledingen dat zich voordoet als de beschermende werking van de toplaag weggevallen is.
<b>Erosiescherm</b>	Een in het buitentalud aanwezige wandconstructie, die bij een geërodeerd buitentalud samen met het resterende deel van de dijk de waterkerende functie overneemt.
<b>Estuarium</b>	Wijde trechtervormige riviermond, waarin het getij zich sterk doet gevoelen.
<b>Evenstandslijn</b>	Lijn die weergeeft hoe plaatselijk een bepaalde waterstand kan ontstaan onder invloed van combinaties van de rivierafvoer en de hoogwaterstand te Hoek van Holland.
<b>Faaldefinitie</b>	(Praktische en juridisch relevante) afspraak over wat het VTV als falen beschouwt. De faaldefinitie beschrijft de situatie die in de Gedetailleerde toets voor falen van de waterkering wordt aangehouden.
<b>Faalkans</b>	Kans op falen.
<b>Faalkansenbudget</b>	Verdeling van de toegestane faalkans over de faalmechanismen. Wordt toegepast in toetslaag 2a: de toetsing per dijkvak met "vaste faalkansbegroting". In toetslaag 2b wordt de faalkansbegroting uitgerekend door de toetssoftware ("vrije faalkansbegroting")
<b>Faalkansruimteverdeling</b>	Zie Faalkansenbudget.
<b>Faalmechanisme</b>	De opeenvolging van gebeurtenissen die leidt tot falen.
<b>Faaltraject</b>	Geheel van (deel)processen en stadia die worden doorlopen alvorens daadwerkelijk falen optreedt
<b>Falen</b>	Falen van een technisch systeem houdt in dat het zich bevindt in een toestand waarbij een of meer functies daadwerkelijk niet meer (kunnen) worden vervuld.
<b>Fauna-uitstapplaats</b>	Een voorziening langs een steile oever van een waterweg, waar (te water geraakte) dieren aan land kunnen komen.
<b>Fictieve taludhelling</b>	Gewogen gemiddelde van de taludhelling onder en boven de buitenberm, benodigd voor ontwerp en toetsing op toplaaginstabiliteit van steenzettingen op de berm.
<b>Filter</b>	Tussenlaag in de taludbekleding die uitspoeling van fijnkorrelig materiaal uit de ondergrond door de bovenliggende laag van de bekleding voorkomt.

<b>Flexibiliteit</b>	Buigzaamheid, het vermogen om vervormingen te kunnen ondergaan waarbij het materiaal intact blijft.
<b>Fluctuatieschaal</b>	Lengte-maat die bepalend is voor de mate van ruimtelijke variabiliteit van een parameter.
<b>Fluïdisatie</b>	Proces waarbij fijne vaste deeltjes door een stromend gas of vloeistof in beweging worden gebracht.
<b>Foutenboom</b>	Schematische weergave van combinaties van oorzaken die tot een bepaalde ongewenste gebeurtenissen, topgebeurtenissen genoemd, aanleiding kunnen geven.
<b>Fractie</b>	Verzameling korrels die de grootste van twee nader aangeduide zeven (nominale fractiegrenzen) passeert en blijft liggen op de kleinste. De ondergrens kan daarbij ook nul zijn.
<b>Freatisch vlak</b>	Vlak in de grond waar de druk in het poriën water gelijk is aan nul.
<b>Freatische lijn</b>	Niveau van de grondwaterspiegel in een dijklichaam.
<b>Frequentielijn</b>	Het gemiddeld aantal keren per periode (jaar/seizoen) dat een betreffende stochastwaarde wordt overschreden.
<b>Functiescheidend scherm</b>	In de waterkering aanwezige wandconstructie om te voorkomen dat de onderdelen die gezamenlijk de waterkerende functie vervullen (i.e. grondlichaam, constructieve elementen) onder normale omstandigheden de aangrenzende niet-waterkerende functies (bv wonen, werken, recreatie) negatief beïnvloeden als gevolg van grondbelastingen en -vervormingen.
<b>Fysische model</b>	Een beschrijving van een grenstoestandfunctie die aangeeft wanneer sprake is van falen.
<b>Gap-graded</b>	Type korrelverdeling waarbij alleen grove en fijne korrels voorkomen, de tussenliggende maat ontbreekt (vrijwel) geheel.
<b>Geavanceerde toetsing</b>	De laatste stap in het toetsproces volgens het VTV2006, waarvoor geen uitgewerkte rekenregels bestaan, uit te voeren door specialisten.
<b>Gedetailleerde toets</b>	Tweede beoordelingsstap in het getrapte toetsproces die uitgaat van een voorgeschreven faaldefinitie en bijbehorend generiek rekenmodel
<b>Gedragmodellen</b>	Zie fysische modellen.
<b>Gegradeerde korrelverdeling</b>	Een monster korrels met een gelijk matig verdeelde diameter.
<b>Gelaagdheid</b>	Hiermee wordt aangegeven dat de oorspronkelijk gelaagde structuur t.g.v. de afzetting van de lagen nog aanwezig is.
<b>Geldigheidsgebied</b>	Het geheel van voorwaarden waaronder een model mag worden toegepast.
<b>Gemaal</b>	Kunstwerk om water van een laag peil naar een hoog peil te brengen, waarvan de noodzaak kan liggen in wateroverschot aan de lage kant (afvoer) of in waterbehoefte in het gebied aan de hoge kant (aanvoer). Een gemaal is een samenstel van verschillende onderdelen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• één of meerdere doorvoerleidingen of –kokers</li> <li>• één of meerdere afsluitmiddelen</li> <li>• een gebouw met installaties.</li> </ul>
<b>Gemiddeld hoog water</b>	De gemiddelde hoogte van hoogwater op een locatie over een periode van 19 jaar (in een getijdegebied).
<b>Geokunststof</b>	Kunststof doek dat bijvoorbeeld op zand of klei wordt toegepast om uitspoeling ervan te voorkomen.

<b>Geometrisch dicht</b>	Criterion voor gronddichtheid van een filter, waarbij materiaaltransport fysiek onmogelijk is doordat de openingen in het filter kleiner zijn dan de korrelafmetingen van het basismateriaal.
<b>Geotechnisch profiel</b>	De verticale opbouw in grondmechanische zin van een waterkering.
<b>Gepenetreerde steenzetting</b>	Steenzetting waarbij tussen de toplagelementen beton of asfalt is aangebracht om de sterkte te vergroten.
<b>Geschakelde steenzetting</b>	Blokkenmat of interlock-elementen.
<b>Geschiktheids-onderzoek</b>	Onderzoek waarbij een proefproductie (veelal een dagproductie, volgens de RAW-standaard: 40 ton van waterbouwasfaltbeton of 16 ton in geval van open steenasfalt) bereid en verwerkt wordt op de door de aannemer voorgestelde werkwijze, met als doel aan te tonen dat de beoogde werkwijze tot de vereiste kwaliteit leidt.
<b>Getijhoogwaterstijging</b>	De relatieve stijging van de gemiddelde hoogwaterstand (inclusief NAP-daling).
<b>Getijkans</b>	De kans dat gedurende een getijperiode een bepaalde windsnelheid een keer wordt overschreden.
<b>Getijperiode</b>	Tijdsduur van (ongeveer) 1 getij.
<b>Gewapende grond</b>	Bij kerende constructies met een steile of verticale begrenzing in gewapende grond wordt de inwendige stabiliteit verzekerd door meerdere lagen van wapening (strippen, roosters of grids) die, door interactie (wrijving) tussen grond en wapening trekkracht kunnen overdragen.
<b>Gewichtsmuur</b>	Op staal gefundeerde grondkerende constructie die zijn algehele stabiliteit ontleent aan zijn eigen gewicht (inclusief eventueel door de muur ondersteunde volumes aanvulling).
<b>Gietasfalt</b>	Warm bereid asfalt met een mengsel van gegradeerd grind (of steenslag) en een overmaat aan asfaltmestiek, dat nagenoeg geen holle ruimte heeft.
<b>Glijvlak</b>	Het vlak waarlangs een afschuivende grondmoot afschuift over het stabiele deel van een grondlichaam en waarlangs door de grond schuifsterkte wordt gemobiliseerd.
<b>Glijvlak model</b>	Rekenmodel waarmee de weerstand van een grondmoot tegen afschuiven langs een schuifvlak wordt berekend.
<b>Golfcondities</b>	Weergave van de toestand van een golfveld op een bepaald moment, veelal in termen van significante golfhoogte, (gemiddelde of piek)periode en gemiddelde golfrichting.
<b>Golfhoogte</b>	De verticale afstand tussen dal en top van een golf.
<b>Golfhoogte duinafslag</b>	Rekenwaarde voor de golfhoogte waarmee in Toetslaag 2A voor het faalmechanisme duinafslag dient te worden gerekend.
<b>Golfinvalshoek</b>	De hoek tussen de golfrichting en de normaal op de kering.
<b>Golfklap</b>	Korte drukstoot op het talud die ontstaat doordat de watermassa van een brekende golf het talud met grote snelheid treft.
<b>Golfklapzone</b>	Deel van het talud dat door golfklappen wordt belast, gelegen onder de stil waterstand.
<b>Golfoploop</b>	Het tegen het talud oplopen van golven.
<b>Golfoploophoogte</b>	Hoogste niveau ten opzichte van de stilwaterlijn tot waar een golf het talud nat maakt.
<b>Golfoploopzone</b>	Deel van het talud dat niet door golfklappen maar door golfoploop wordt belast, gelegen boven de stil waterstand.



<b>Golfoverslag</b>	Situatie waarbij de waterstand lager is dan de hoogte van de waterkering en waarbij golven over de waterkering heen slaan.
<b>Golfoverslagdebiet</b>	De hoeveelheid water die door golven per strekkende meter gemiddeld per tijdseenheid over de waterkering slaat.
<b>Golfoverslaghoogte</b>	De hoogte ten opzichte van de waterstand, waarbij een bepaald opgegeven debiet optreedt. Iets preciezer gezegd is de golfoverslaghoogte het verschil tussen het niveau van de buitenkruinlijn en de lokale waterstand in de situatie dat de buitenkruinlijn zó hoog ligt dat de overslag daarover precies gelijk is aan het opgegeven debiet.
<b>Golfperiode</b>	Tijdsduur tussen twee opeenvolgende neergaande passages van de middenstand van een golf.
<b>Golfrandvoorwaarden</b>	Golfcondities die worden gebruikt voor het toetsen en ontwerpen van de diverse faalmechanismen.
<b>Golfspectrum</b>	Verdeling van de golfenergiedichtheid als functie van de periode (bij een breed spectrum zijn de golfperioden van de windgolven onderling sterk verschillend).
<b>Golfsteilheid</b>	Verhouding tussen de hoogte en de lengte van een golf.
<b>Gradiënt</b>	Verloop van een grootte per eenheid van lengte. Zie: verhang.
<b>Granietblok</b>	Blokvormig toplaagelement van graniet.
<b>Granulaire laag</b>	Laag van korrelig materiaal van beperkte dikte die onder de toplaag kan liggen, fungerend als filterlaag en/of uitvullaag.
<b>Gras</b>	Individuele plantensoort (enkelvoud) of begroeiing met een grasachtig uiterlijk (meervoud; dan ook 'grasland', 'grasvegetatie'). Echte grassen (Poaceae) of verwante eenzaadlobbige soorten zijn dominant of beeldbepalend. In de meeste dijkgraslanden komen echter ook kruiden voor.
<b>Graszode</b>	Het intensief doorwortelde bovenste deel van de toplaag, bestaande uit substraat plus wortels. In de zode zijn de wortels van individuele spruiten meestal sterk vervlochten. De zode is gewoonlijk 5 tot 10 cm dik.
<b>Grenslaag</b>	Onderste deel van het afdekkende pakket. Bij hoogwater wordt de waterspanning in de grenslaag beïnvloed door de stijghoogte in de onderliggende aquifer.
<b>Grenspotential</b>	Stijghoogte in de aquifer die in evenwicht is met het gewicht van het afdekkende pakket.
<b>Grensprofiel</b>	Deel van de duinwaterkering landwaarts van de afslagzone dat bedoeld is om golfoverslag te voorkomen.
<b>Grenstoestand</b>	Toestand waarin de sterkte van een constructie of een onderdeel daarvan nog juist evenwicht maakt met de daarop werkende belastingen.
<b>Grenstoestandfunctie</b>	Wiskundige functie die voor alle mogelijke uitkomsten van de combinaties van betrokken stochastische variabelen beschrijft of de waterkering wel/niet faalt.
<b>Grindasfaltbeton</b>	Warm bereid asfalt met een continu gegradeerd mengsel van grind, zand en vulstof, dat een laag percentage holle ruimte heeft.
<b>Grof zand</b>	Aanduiding voor zanden met een gemiddelde korrelgrootte van de zandfractie tussen 210 en 2000 µm.
<b>Grondbreuk</b>	Zie hydraulische grondbreuk.
<b>Grondwaterstand</b>	Hoogteligging van het freatisch vlak.

<b>Haringmanblok Havendam</b>	Type betonblokken met inkeping ter beperking van golfoploop. Dam gelegen voor de primaire waterkering die zich uitstrekt vanaf de kust of oever het open water in, om de stroming en golven te beïnvloeden of om te voorkomen dat de toegang tot een haven of een rivier dichtslibt.
<b>Havenslingering Heave</b>	Zie seiche. Situatie waarbij verticale korrelspanningen in een zandlaag wegvallen onder invloed van een verticale grondwaterstroming; ook fluïdisatie of de vorming van drijfzand genoemd.
<b>Heterogeen</b>	Van punt tot punt belangrijke verschillen in eigenschappen bezittend.
<b>Hevel(pers)leiding</b>	Kokervormige constructie met een verhoogd middengedeelte, in de regel over waterkering of (stroom)scheiding heen, dat twee wederzijds gelegen wateren met elkaar verbindt. Het overbrengen van water via de hevel vindt plaats op basis van de principes van communicerende vaten en wordt in gang gebracht door het aanbrengen van een vacuüm in de leiding.
<b>Hoge drempel</b>	Een element in een niet hoogwaterkerend gesloten kunstwerk, dat zorgt voor een drempel waar het water via golfoverslag en/of overloop overheen moet stromen zonder dat het invloed van eventueel aanwezig binnenwater ondervindt.
<b>Hoge gronden</b>	De natuurlijke hoge delen van Nederland.
<b>Hogedrukleiding (vloeistof, gas)</b>	Leiding deel uitmakend van een systeem waarin een bedrijfsdruk groter dan of gelijk aan 1 MPa (10 bar) wordt aangehouden.
<b>Hoogwatergolf</b>	Tijdelijk verhoogde waterstanden in een rivier (met een golfvorm) door een vergrote rivierafvoer. De hoogwatergolf kan enkele uren tot enkele dagen aanblijven.
<b>Hybride kering</b>	Primaire kering, bestaande uit een combinatie van een zandlichaam (duin) en een harde waterkeringsconstructie.
<b>Hydraulisch belastingniveau</b>	De kruinhoogte waarbij de kans op het overschrijden van een kritiek golfoverslagdebiet gelijk is aan de normfrequentie van het dijktraject waar de waterkering onderdeel van uitmaakt.
<b>Hydraulisch dicht</b>	Criterium voor gronddichtheid van een filter, waarbij materiaaltransport onmogelijk is doordat de weerstand tegen uitspoeling voldoende groot is bij de maatgevende belasting.
<b>Hydraulisch materiaal</b>	Granulair materiaal dat kan samenkiten.
<b>Hydraulische belasting</b>	Belasting op de waterkering als gevolg van de lokale waterstand en bijbehorende golven.
<b>Hydraulische condities</b>	De condities die bepalend zijn voor de hydraulische belasting. Het betreft onder meer waterstanden, stroming, golfhoogten en golflengten.
<b>Hydraulische grondbreuk</b>	Verlies van korrelcontact in de grond als gevolg van te hoge wateroverspanningen; in geval van een cohesieve afdekkende grondlaag leidt dit tot opdrijven en opbarsten, in geval van een niet cohesieve grondlaag tot heave.
<b>Hydraulische waterspanning</b>	(Grond)waterspanning in een punt in de (onder)grond die overeenkomt met de waterspanning als gevolg van een kolom water vanaf dat punt tot aan de vrije grondwaterspiegel.

<b>Hydraulische weerstand</b>	Karakterisering van de doorlatendheid van grondlagen. Weerstand die een bepaalde laag biedt tegen (meestal verticale) grondwaterstroming. Bij een homogene laag is deze grootte gelijk te stellen aan het quotiënt van laagdikte $D$ en (verticale) doorlaatcoëfficiënt $k$ .
<b>Hydrodynamisch model</b>	Model waarmee de stroming in open en gesloten waterlopen berekend kan worden.
<b>Hydrostatische waterspanning</b>	(Grond-)waterspanning in een punt in de (onder-)grond die overeenkomt met de waterspanning als gevolg van een kolom water vanaf dat punt tot aan de vrije grondwaterspiegel.
<b>In de grond ingebedde grondkering</b>	Relatief dunne wanden van staal, gewapend beton of hout, ondersteund door ankers, stempels en/of passieve gronddruk. De buigweerstand van dergelijke wanden speelt een significante rol in de ondersteuning van het materiaal, terwijl het gewicht van de ingebedde wand zelf onbelangrijk is.
<b>Indirecte faalmechanisme</b>	Mechanisme dat niet direct tot falen van het systeem leidt maar de kans op falen door een vervolgmecanisme vergroot.
<b>Indringingslengte</b>	Verticale afstand aan de onderzijde van de slecht doorlatende deklaag waarover de waterspanning in de deklaag verandert bij waterspanningsvariaties in de watervoerende zandlaag.
<b>Infiltratie</b>	Indringen van water in de dijk of ondergrond.
<b>Infiltratiecapaciteit</b>	Het vermogen van de grond om water te laten indringen ( $m^3/s/m^2$ ).
<b>Infrastructuurle functie</b>	Het indirect mogelijk maken van (spoor)wegverkeer, scheepvaart en nutsvoorzieningen.
<b>Ingegoten steenzetting</b>	Steenzetting waarbij tussen de toplaagelementen van boven af tot meer dan de helft van de toplaagdikte beton of asfalt is aangebracht ("vol en zat" geperetreeerde steenzettingen).
<b>Inlaatduiker</b>	Kokervormige constructie door een grondconstructie, eventueel voorzien van keermiddelen, met als doel om onder vrij verval (via een vrij oppervlak) buitenwater in te laten.
<b>Inscharingslengte</b>	De lengte gerekend vanaf de geulrand waarover het voorland landinwaarts wordt aangetast.
<b>Interne instabiliteit</b>	Migratie van de fijne fractie van een filter door de poriën van het filter.
<b>Intreepunt</b>	(Theoretisch) punt waar het buitenwater tot de aquifer toetreedt, als gevolg van het verval over de waterkering.
<b>Intreeweerstand</b>	Weerstand veroorzaakt door een slecht-doorlatend sliblaagje ter plaatse van het intreepunt.
<b>Invloedscoëfficiënt</b>	Indicator voor het relatieve belang van een stochastische variabele in de faalkansberekening, d.w.z. in vergelijking met de andere stochastische variabelen.
<b>Invloedsgebied</b>	Gebied waarbinnen het bezwijken of falen van een waterkerend kunstwerk, bijzondere constructie of niet-waterkerend object merkbaar is. Denk hierbij aan de ontgrondingskuil rond een bezwijken leiding of een ontwortelde boom.
<b>Invloedslijn</b>	Uiterste lijn op het maaiveld waarvoor geldt dat als aan de dijkzijde van die lijn het maaiveld wordt verstoord de veiligheid van de waterkering zakt onder de (volgens de toetsing) vereiste veiligheid, gelet op alle directe faalmechanisme
<b>Invloedsstrook</b>	Strook, direct landwaarts van de reservestrook, waar aan gebruiksfuncties beperkingen worden gesteld teneinde de

waterkering in stand te houden.

<b>Invloedszone</b>	De zone waarbinnen de invloed van een bepaald faalmechanisme aanwezig is.
<b>Inwas materiaal</b>	Granulair materiaal dat in de spleten tussen de stenen wordt aangebracht om de interactiekrachten tussen de blokken te vergroten.
<b>Inwateringsssluis</b>	Waterstaatkundige constructie die in de waterkering is gelegen en bedoeld is om (vers) water in de polder te laten.
<b>Inwendige stabiliteit</b>	mate van weerstand van een asfaltmengsel tegen blijvende en ongewenste vervormingen ten gevolge van het eigen gewicht of externe belastingen (bijvoorbeeld walsen).
<b>Inzanding</b>	De ophoping van zand in de toplaag en de granulaire laag, afkomstig van bijvoorbeeld het voorland (zie ook inslibbing).
<b>JARKUS</b>	Landelijk databestand van jaarlijks diepte- en hoogtemetingen van de zandige kust (JAARlijkse KUSmetingen).
<b>Kade</b>	Kleine dijk.
<b>Kademuur</b>	Grondkerende constructie om schepen aan af te meren, opdat overslag van goederen mogelijk kan worden gemaakt.
<b>Kadewand</b>	In de grond ingebedde wandconstructie langs een oeverstrook waarlangs de schepen kunnen aanleggen, die de overslag en tijdelijke opslag van (bulk)goederen mogelijk maakt.
<b>Kalibratiecriterium</b>	Criterium op basis waarvan veiligheidsfactoren worden vastgesteld. Het criterium heeft in de regel de vorm van een faalkanseis voor een doorsnede van een waterkering.
<b>Kansdichtheidfunctie</b>	Functie die aangeeft welke mogelijke uitkomsten van een variabele de grootste kans van optreden heeft (formeel: de grootste kansdichtheid).
<b>Karakteristieke lijnen</b>	Lijn die de karakteristieke punten met elkaar verbindt.
<b>Karakteristieke waarde</b>	Waarde met een voorgeschreven onder- of overschrijdingskans, bepaald op grond van een statistische analyse van beschikbare gegevens.
<b>Keermuur (of keerwand)</b>	Muur die door vorm, gewicht en fundering zonder verankering de grond keert.
<b>Keersluis</b>	Een sluis die als voornaamste doel het keren van hoogwater heeft.
<b>Kerende hoogte</b>	Laagste punt van de bovenrand van de waterkering, het niveau waarbij overloop optreedt als de buitenwaterstand dit niveau overschrijdt.
<b>Kernzone</b>	Zie waterstaatswerk.
<b>Keur</b>	Verordening met strafbepaling van een waterschap.
<b>Keurgebied</b>	Gebied waarop de keur van toepassing is.
<b>Keurzone</b>	Zie keurgebied.
<b>Kistdam</b>	Set damwandschermen verbonden door één of meerdere ankers waarbij de ruimte tussen de schermen gevuld is met grond.
<b>Kleibekleding</b>	Laag klei, inclusief een eventueel aanwezig laagje teelaarde, die dient ter bescherming van het onderliggende kernmateriaal van een dijk of dam.
<b>Klemming</b>	Bijdrage aan de weerstand tegen toplaaginstabiliteit doordat naast elkaar liggende toplaagelementen onderlinge beweging onmogelijk maken.

<b>Klink</b>	Dikteafname van een grondconstructie of -laag ten gevolge van autonome verdichting van het materiaal.
<b>Klinker</b>	Toplaagtype.
<b>Kolk</b>	Ontgrondingskuil direct achter of voor een dijk die is ontstaan bij een oude dijkdoorbraak waar nu vaak de dijk in een kronkel omheen ligt. Het is dan een klein meertje geworden.
<b>Kombergend vermogen</b>	Het vermogen van het achterliggende watersysteem van een waterkerend kunstwerk om een bepaalde hoeveelheid instromend water te bergen, zonder dat dit in het achterland tot sterkte reducerende schade aan kades dan wel een substantiële hoeveelheid water op straat in bebouwd gebied leidt.
<b>Koperslakblok</b>	Blokvormig toplaagelement, gemaakt van het restmateriaal koperslakken.
<b>Kopsloot</b>	(Polder)sloot die dwars op de dijk of kade is gesitueerd.
<b>Korrelgroep</b>	Verzameling korrels die met uitzondering van geringe percentages boven- en ondermaat blijft liggen tussen twee nader aangeduide zeven.
<b>Korrelverdeling</b>	Verdeling van de korrels naar afmeting in de diverse fracties binnen een korrelgroep.
<b>Kosten-batenanalyse</b>	Een analyse waarbij men de voor- en nadelen van een project of maatregelen vergelijkt, uitgedrukt in geld. Als de baten groter zijn dan de kosten, is het project economisch rendabel.
<b>Kreukelberm</b>	Zie 'teenbestorting'.
<b>Kritiek grensprofiel</b>	Meest landwaarts gelegen grensprofiel.
<b>Kritiek verval</b>	Waarde van het verval, c.q. de lengte van de maatgevende kwelweg, waarbij juist geen piping of heave optreedt.
<b>Kritieke kwelweglengte</b>	De lengte van de maatgevende kwelweg waarbij wel zandtransport, maar juist geen piping of heave optreedt.
<b>Kruiden</b>	Tweezaadlobbige plantensoorten, vaak gekenmerkt door een weinig 'grasachtig' uiterlijk en – in vergelijking met grassen – veel opvallender bloemen. In natuurlijke graslanden en ook op de meeste dijkgraslanden komen naast grasachtigen ook kruiden voor.
<b>Kruin</b>	1. Strook tussen buitenkruinlijn en binnenkruinlijn; 2. Hoogste punt in het dwarsprofiel van het dijklichaam; 3. Buitenkruinlijn.
<b>Kruinhoogte</b>	Hoogte van de waterkering.
<b>Kruip</b>	In de tijd doorgaande vervorming van een materiaal ten gevolge van een belasting.
<b>Kunstwerk (Waterkerend)</b>	Constructie die onderdeel uitmaakt van een waterkering en over een beperkte lengte de waterkerende functie van het grondlichaam geheel of gedeeltelijk overneemt, maar is aangelegd ten behoeve van een andere (utilitaire) functie die de waterkering kruist (zoals schutten en spuien). In verband met deze utilitaire functie zijn deze waterbouwkundige constructies meestal voorzien van één of meer beweegbare afsluitmiddelen.
<b>Kustlijn</b>	Gemiddelde laagwaterlijn. Deze is aangegeven op de door de Minister van Verkeer en Waterstaat of haar opvolger vastgestelde peilkaart.
<b>Kwantiel</b>	Waarde die hoort bij een bepaalde kans. Bijvoorbeeld er is een kans van 10% dat een 'willekeurige' korreldiameter kleiner is dan het 10%-kwantiel

<b>Kwel</b>	Het uittreden van grondwater (water dat door of onderdoor een waterkering stroomt) als gevolg van het te keren verval over de waterkering (waterstandsverschil). Doorsijpeling van water onder de dijk door. In het algemeen: het diffuus uittreden van grondwater. In het bijzonder: het uittreden van grondwater onder invloed van grotere stijghoogten elders in het hydrologische systeem
<b>Kweldergebied</b>	Een begroeide buitendijkse landaanwas die alleen bij extreem hoge waterstanden blank komt te staan en bij een gemiddeld hoogwater niet meer onderloopt
<b>Kwelkade</b>	In het direct aan de dijk grenzende achterland aangebrachte kade om afstromen van kwelwater te verminderen waarmee wordt getracht het optreden van pipingverschijnselen te voorkomen alsmede wateroverlast binnendijs tijdens hoge rivierafvoeren te beperken.
<b>Kwelscherm</b>	Een ondoorlatende, in de regel verticale, constructie voor verlenging van de kwelweg.
<b>Kwelsloot</b>	Sloot aan de binnenzijde van de dijk die tot doel heeft kwelwater op te vangen en af te voeren.
<b>Kwelweg</b>	Mogelijk pad in de grond dat het kwelwater aflegt, van het intreepunt naar het uitreepunt.
<b>Kwelweglengte</b>	Lengte van de kwelweg, d.i. de afstand die het kwelwater ondergronds aflegt voordat het weer aan de oppervlakte komt.
<b>Laag duin</b>	Duin waarbij er sprake is van golfoverslag.
<b>Lage drempel</b>	Een element in een niet hoogwaterkerend gesloten kunstwerk, dat zorgt voor een drempel waarbij er na overstromen direct contact ontstaat tussen buiten- en binnenwater, zodat het debiet aan instromend water door de binnenwaterstand wordt beïnvloed.
<b>Lagedrukleiding (vloeistof, gas)</b>	Leiding deel uitmakend van een systeem waarin een bedrijfsdruk kleiner dan 1 MPa (10 bar) wordt aangehouden.
<b>Landwaartse grens waterstaatswerk</b>	Overgang tussen een duinwaterkering en het binnendijs duingebied
<b>Langsconstructie</b>	Type kunstwerk in een waterkering waarvoor geldt dat de onzekerheden gerelateerd aan de (relatief) grote lengte in de richting van de as van de waterkering (ten opzichte van de lengte loodrecht op de as van de waterkering) in de beoordeling moeten worden meegenomen zoals kademuren en stabiliteitschermen.
<b>Langsstroming</b>	Stroming van water over het talud evenwijdig aan de as van de dijk.
<b>Langsvoeg</b>	Spleet tussen blokvormige toplaagelementen aan de lange zijde van de blokken.
<b>Leendertse blokken Legger</b>	Type interlockelementen. Een kaart met juridische status die waterkeringbeheerders opstellen. Hierop staat de exacte ligging van de waterkering en de daarin te onderscheiden zones (waterstaatswerk, beschermingszone en buitenbeschermingszone).
<b>Leklengte</b>	Een lengtemaat voor de doorlaatcapaciteit van de watervoerende zandlaag. De doorlaatcapaciteit wordt bepaald door het doorlaatvermogen van de watervoerende zandlaag en door de weerstand van de slecht doorlatende toplaag.

<b>Lengte-effect</b>	Het relatieve verschil in de faalkans van een "uniform" dijksegment en de faalkans van een dwarsdoornede uit datzelfde segment
<b>Lessinese steen</b>	Blokvormig toplaagelement van natuursteen uit de groeven van Lessine, België.
<b>Levensduurfactor</b>	Factor om de invloed van het gecorreleerd zijn van faalkansen in afzonderlijke jaren binnen de levensduur op de faalkans voor de gehele levensduur in rekening te brengen.
<b>Life cycle analysis</b>	Beschouwing over één of meer aspecten van een product, proces, et cetera, waarbij de gehele levenscyclus van het onderzochte in de beschouwing voorkomt.
<b>Liquefactie</b>	Zie verweking.
<b>LNC- waarden</b>	Landschap, Natuur en Cultuurhistorische waarden.
<b>Lokale opstuwing</b>	lokale waterstandsverhoging ter plaatse van de waterkering als gevolg van obstakels in het rivierbed.
<b>Lokale opwaaiing</b>	Opwaaiing tussen de locatie waarvoor de hydraulische randvoorwaarde wordt gegeven en de waterkering.
<b>L-wand</b>	Al dan niet verankerde grondkerende constructie in de vorm van een L, waarvan de verticale wand primair is om de grond te keren en het horizontale deel om de stabiliteit van de constructie te waarborgen. Door het gewicht dat op de constructie rust ontstaat er een grote wrijving tussen de L-wand en de grond. Deze wrijving moet de horizontale belasting van dezelfde grondmassa en eventueel een externe horizontale last opvangen.
<b>Maatgevend afslagpunt</b>	Afslagpunt in een dwarsraai berekend tijdens de toetsing van een duinwaterkering.
<b>Maatgevende afslagzone</b>	Afslagzone berekend tijdens de toetsing van een duinwaterkering.
<b>Maatgevende afvoer</b>	De afvoer die bepalend is gesteld voor het ontwerp of een deel ervan.
<b>Maatgevende Hoogwaterstand</b>	De waterstand met een kans van voorkomen gelijk aan de normfrequentie van het dijktraject waar de waterkering onderdeel van uitmaakt.
<b>Maatgevende waterstand</b>	Waterstandsniveau waarbij de bekleding volgens de berekening zal bezwijken.
<b>Macro-instabiliteit</b>	Het afschuiven van grote delen van het grondlichaam van een dijk langs rechte of gebogen glijvlakken, dan wel het evenichtsverlies ten gevolge van het ontstaan van grote plastische zones.
<b>Macrostabiliteit</b>	Weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het talud en de ondergrond
<b>Mastiek</b>	Warm bereid asfalt met een continu gegradeerd mengsel van zand en vulstof en een overmaat aan bitumen, dat nagenoeg geen holle ruimte heeft (asfalmastiek).
<b>Materiaalfactoren</b>	Partiële factoren, die op de karakteristieke materiaalparameters worden toegepast om onzekerheden in de grondeigenschappen te verdisconteren
<b>Materiaaltransport</b>	Faalmechanisme waarbij uitspoeling vanuit onderlagen leidt tot ondermijning van de toplaag.
<b>Meerdijk</b>	Primaire waterkering, gelegen langs in het algemeen grote wateren, anders dan rivieren, zonder getijdenwerking.

<b>Meerpeil</b>	De waterstand op een bepaald moment gemiddeld over het beschouwde meer.
<b>Microstabiliteit</b>	Weerstand tegen erosie van het talud als gevolg van uittredend water.
<b>Middenkruinlijn</b>	Midden van buiten-en binnenkruinlijn.
<b>Mijnsteen</b>	Restproduct van mijnbouw bestaand uit breed gegradeerd granulair materiaal.
<b>Mineraal aggregaat</b>	Mengselcomponent in asfalt, bestaande uit grind of steenslag, zand en vulstof of een combinatie hiervan.
<b>Mixed In Place</b>	Een van de drie INSIDE-technieken. In dit geval een methode van grondverbetering waarbij met behulp van een mixer de grond in het dijklichaam wordt vermengd met bindmiddel, waardoor na verharding gestabiliseerde grondkolommen ontstaan.
<b>Mobiele kering</b>	Demontabele of tijdelijk keermiddel dat niet permanent aanwezig is en apart moet worden opgebouwd bij een (dreigend) hoogwater.
<b>Modelfactor</b>	Partiële factor waarin onzekerheden in de berekeningsmethodes zijn verdisconteerd.
<b>Modelonzekerheidsfactor</b>	Stochast die de modelonzekerheid beschrijft.
<b>Morfologie</b>	Leer en beschrijving van de bodemligging van zee, zeearmen, meren en rivieren
<b>Nat kunstwerk</b>	Civiel-bouwkundige constructie die onderdeel is van een vaarweg of waterweg met als doel regulering van de waterstanden, passage van schepen, hoogwaterbescherming, kruising van waterwegen of afvoer van water.
<b>Naviduct</b>	Combinatie van sluis en aquaduct die als constructie één geheel vormen.
<b>Niet waterkerend object</b>	Objecten op of in de dijk die geen waterkerende functie hebben, zoals leidingen, woningen, gemalen en bomen.
<b>Nominale waarde</b>	Gemiddelde waarde of mediane waarde.
<b>Noorse steen</b>	Verzamelnaam voor stenen die in de ijstijd door ijsmassa's zijn meegenomen en die in de 19e en begin 20e eeuw in Midden- en Noord-Nederland als bekleding op de dijk zijn aangebracht (Noordse steen, Drentse steen, Poolse steen, flinten).
<b>Norm</b>	Wettelijk vastgestelde eis aan de overstromingskans van een dijktraject.
<b>Normaal Amsterdams Peil</b>	Hoogte ten opzichte van het 'Amsterdams Peil', de gemiddelde zomervloedstand van het IJ voor Amsterdam toen dit nog in vrije verbinding stond met de Zuiderzee.
<b>Normaal onderhoud</b>	Vast en variabel onderhoud dat tijdig wordt uitgevoerd door de beheerder, waardoor het kwaliteitsniveau van de onderdelen van de kering boven het vastgestelde minimum blijft.
<b>Normfalen</b>	Normfalen van een technisch systeem houdt in dat het systeem rekenkundig voor een of meer functies niet aan de wettelijke of juridische kansnorm wordt voldaan.
<b>Normfrequentie</b>	Toelaatbare overstromingskans van een dijktraject.
<b>Normtraject</b>	Dijktraject waarvoor in de Waterwet een faalkanseis is gegeven (ook traject).
<b>Nulfractie</b>	Fractie van granulair materiaal met kleine diameter, globaal kleiner dan 10 mm (nulfractie).



<b>Numeriek model</b>	Model dat door middel van discretisatie de differentiaalvergelijkingen oplost, die de fysische processen beschrijven
<b>Object</b>	Een in of op de waterkering aanwezige constructie of aanwezig element (bv begroeiing, bebouwing, pijpleidingen of weg en dijkmeubilair) met of zonder waterkerende functie.
<b>Ondergrond</b>	Zand of klei onder de filterlaag.
<b>Ondergrondmodel</b>	Een ondergrondmodel geeft de ruimtelijke verdeling van geologische, geotechnische of hydrologische eenheden in de ondergrond, vaak in 3D.
<b>Ondergrondprofiel</b>	2D dwars- of langsprofiel waarin de opbouw van de ondergrond wordt weergegeven. Meestal grotendeels gebaseerd op een extrapolatie van informatie uit ondergrondgegevens.
<b>Ondergrondscenario</b>	De stapelingen van WTI-SOS eenheden die binnen segmenten kunnen voorkomen worden scenario's of WTI-SOS scenario's genoemd. Vanwege de onzekerheid over de werkelijke grondopbouw op elke locatie langs de dijk worden er meestal meerdere scenario's vastgesteld en wordt voor elk van die scenario's de kans van aantreffen gegeven. De WTI-SOS scenario's worden tijdens het toetsen lokaal verfijnd tot lokale scenario's.
<b>Ondergrond-schematisatie</b>	Een schematische weergave van (een deel) van de ondergrond voor een bepaald gebied.
<b>Onderlagen</b>	Alle lagen tussen de dijk kern en de toplaag.
<b>Onderloopsheid</b>	Lekstroom onder een constructie door.
<b>Onderloopsheid (faalmechanisme)</b>	Het ontstaan van holle ruimten onder een kunstwerk als gevolg van een geconcentreerde kwelstroom waarbij gronddeeltjes worden meegevoerd. Hierbij loopt de kwelstroom onder het kunstwerk door op het grensvlak van constructie en zand.
<b>Ondertafel</b>	Onderste gedeelte van de taludbekleding (onder Gemiddeld Hoogwater of onder een overgangsconstructie).
<b>Onderwateroever</b>	Zie vooroever.
<b>Ongesorteerd</b>	Aanduiding van granulair materiaal waaruit de nulfractie niet is uitgesorteerd.
<b>Ontgronding</b>	Erosie van de waterbodem of vooroever als gevolg van stroming en golfbeweging.
<b>Onvolkomen stroming</b>	De situatie waarin het benedenwater achter een (lange) overlaat wordt gestuwd door het water dat over de overlaat stroomt, waarbij zich benedenstrooms een bodemneer vormt.
<b>Opbarsten</b>	Scheuren (bezwijken) van de binnendijs gelegen afdekkende laag die is opgedreven als gevolg van een te grote wateroverspanning in de daaronder gelegen watervoerende laag. Algemeen: Bezwijken van de grond door het ontbreken van verticaal evenwicht in de grond, onder invloed van wateroverdrukken.
<b>opdrijfveiligheid</b>	Verhouding tussen het gewicht van het afdekkend pakket slecht doorlatende lagen (klei/veen) en de opwaartse waterdruk direct er onder, uitgedrukt in de parameter 'n'.
<b>Opdrijfzone</b>	Zone achter de dijk waar de grenspotentiaal wordt bereikt.

<b>Opdrijven (asfalt, bekledingen)</b>	Onder extreme omstandigheden optredende neiging tot oplichten van een bekleding langs het talud door een wateroverdruk onder de bekleding die groter is dan de component van het eigen gewicht loodrecht op het talud.
<b>Opdrijven (piping, macrostabiliteit)</b>	Vorm van hydraulische grondbreuk waarbij een cohesieve afdekkende laag wordt opgelicht ten gevolge van wateroverspanning in de onderliggende watervoerende laag. Opdrukken van het afdekkende pakket door het bereiken van de grenspotentiaal.
<b>Open keerhoogte</b>	1. De kerende hoogte van een waterkering met beweegbare afsluitmiddelen bij open afsluitmiddel; 2. De kerende hoogte van de kaden langs het achterliggende (binnen)watersysteem wanneer dit bij open afsluitmiddel in directe verbinding staat met het buitenwater.
<b>Open keerpeil</b>	Buitenwaterstand welke bij open afsluitmiddel nog juist niet tot een ontoelaatbaar instromend volume buitenwater leidt.
<b>Open ruimte</b>	Het deel van het oppervlak dat niet door de toplaagelementen wordt bedekt.
<b>Open steenasfalt</b>	warm bereid asfalt met een mengsel van grof en uniform gegradeerd steenslag en een ondermaat aan asfaltmastiek, dat een hoog percentage holle ruimte heeft.
<b>Open tunnelbak</b>	Weg in een constructie welke onder (grond)waterniveau ligt.
<b>Oppervlakbehandeling</b>	Een dichtingslaag en/of een slijtlaag op een bekleding van asfaltbeton.
<b>Oprollen</b>	Combineren van faalkansen van faalmechanismen en dijkvakken.
<b>Oscillatie</b>	Het rond een vast punt heen en weer gaan van massa of energie.
<b>Overgang</b>	Een ruimtelijke verandering (dus geen veranderingen in de tijd) in de bekleding of constructie in het vlak van de buitencontour van een primaire waterkering.
<b>Overgangsconstructie</b>	Aansluiting tussen twee wezenlijk verschillende type constructies. Het kan gaan om de aansluiting tussen een duin, dijk en/of kunstwerk, maar ook om een overgang tussen twee verschillende typen bekledingen.
<b>Overgoten steenzettingen</b>	Steenzettingen waarbij tussen de toplaagelementen van boven af tot minder dan de helft van de toplaagdikte beton of asfalt is aangebracht (oppervlakkig gepenetreerde steenzettingen).
<b>Overlaat</b>	Drempel waarover water van de ene naar de andere zijde stroomt.
<b>Overloop</b>	Het verschijnsel waarbij water over de (kruin van de) waterkering het achterland in loopt, omdat de waterstand in het buitenwater (rivier, zee, meer) hoger is dan de waterkering.
<b>Overloopdebiet</b>	De hoeveelheid water die door overloop per strekkende meter gemiddeld per tijdseenheid over de waterkering loopt.
<b>Overloopscherm</b>	Ondoorlatende wandconstructie ter vergroting van de kerende hoogte van een waterkering, die daarmee binnen de waterkerende functie een bijdrage levert aan de weerstand tegen overloop en golfoverslag.
<b>Overlopen</b>	Het over de waterkering heen stromen van water, als de waterstand hoger is dan de waterkering.
<b>Overslagdebiet</b>	Volume water dat per strekkende meter per seconde door de golfbeweging over de buitenkruinlijn slaat.

<b>Overstromingskans</b>	Voor bedijkt gebied: kans dat het gebied overstroomt doordat een waterkering die het gebied beschermt, faalt. Voor onbedijkt gebied: kans dat de waterstand hoger komt dan het maaiveldniveau.
<b>Overstromingskansbenadering</b>	De onzekerheden over de belastingen en sterkte-eigenschappen worden tot uitdrukking gebracht in de kans dat de belasting groter is dan de sterkte.
<b>Overstromingskansnorm</b>	De normspecificatie geldend voor een dijktraject.
<b>Pakking of pakkingsdichtheid</b>	Mate waarin korrels in een zandpakket dicht opeen gepakt zitten.
<b>Palenwand</b>	Een palenwand is opgebouwd uit een rij in de grond gevormde, overlappende palen van beton of cementgrout, eventueel gewapend om buigende momenten te kunnen opnemen.
<b>Partiële (veiligheids)factor</b>	Vermenigvuldigingsfactor die (mits >1) resulteert in een strengere betrouwbaarheidseis.
<b>Partiële factor</b>	Factor waarmee een representatieve waarde vermenigvuldigd (of gedeeld) wordt ter verkrijging van de rekenwaarde. De partiële factoren dienen om onzekerheden in belastingen, materiaaleigenschappen, rekenmethodes, gevolgen van falen en de overschrijdingskans van grenstoestanden in rekening te brengen.
<b>Patroonpenetratie</b>	Penetratie met asfalt of beton van een breuksteenbekleding over een deel van het oppervlak.
<b>Peil</b>	De hoogte van de waterstand.
<b>Peildatum</b>	Datum, vastgesteld door de Minister van Infrastructuur en Milieu, waarop de toetsing van de primaire waterkering betrekking heeft. De (verwachte) toestand op de peildatum wordt getoetst.
<b>Persleiding</b>	Leidingsysteem waar onder druk een vloeistof of een gas doorheen wordt gepompt.
<b>Piping</b>	Het verschijnsel dat onder een waterkering (dijk of kunstwerk) holle pijpvormige ruimte ontstaan, ten gevolge van een geconcentreerde kwelstroom waarbij gronddeeltjes worden meegevoerd; dit verschijnsel wordt ook onderloopsheid genoemd. In de feitelijke definitie is sprake van piping indien zich een doorgaand open kanaal heeft gevormd van intreepunt tot uitreepunt doordat het erosieproces van een zandmeevoerende wel niet stopt.
<b>Plaatbekleding</b>	Monoliete en waterdichte bekleding.
<b>Plasberm</b>	Zie teenbestorting.
<b>Plus/min-afweging</b>	Afweging waarbij de volgorde van geschiktheid van varianten wordt bepaald.
<b>Polder</b>	Op de boezem uitslaand of lozend gebied met geregelde waterstand.
<b>Polderpeil</b>	Peil van het oppervlaktewater binnen een beheersgebied.
<b>Porositeit</b>	Verhouding tussen de open ruimte tussen de korrels en het totale volume (open ruimte + korrels) van het granulaire materiaal.
<b>Potentiaal</b>	Stijghoogte ten opzichte van een referentievlak.
<b>Primaire waterkering</b>	Waterkering die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze behoort tot een dijktraject waarvoor een norm is opgenomen in de Waterwet.

<b>Probabilistische analyse/faalkans-berekening</b>	Analyse waarin de faalkans van een waterkering wordt bepaald, rekening houdend met alle relevante onzekerheden (natuurlijke variabiliteit en kennisonzekerheden).
<b>Probabilistische beoordeling</b>	Beoordeling of een waterkering voldoet, op basis van een probabilistische analyse.
<b>Probabilistische rekenhart</b>	Verzameling rekenmodules van de toetssoftware waarmee probabilistische berekeningen uitgevoerd worden.
<b>Probabilistische rekentechniek</b>	Rekenmethode om faalkansen te bepalen. Er zijn meerdere rekentechnieken beschikbaar in de toetssoftware.
<b>Probabilistische toets</b>	Toetsing op basis van probabilistische analyses.
<b>Proctordichtheid, maximum</b>	Hoogste dichtheid van grond die in een gestandaardiseerde proefprocedure wordt bereikt als het watergehalte wordt gevarieerd.
<b>Proevenverzameling</b>	Verzameling/steekproef van in het terrein gemeten of in het laboratorium bepaalde waarden van grondeigenschappen, ingedeeld naar geologische/geotechnische formatie.
<b>Project Zeeweringen</b>	Project van Rijkswaterstaat, Provincie Zeeland en de Zeeuwse waterschappen waarin de steenzettingen in Zeeland worden versterkt.
<b>Puntconstructie</b>	Type kunstwerk in een waterkering waarvoor geldt dat de onzekerheden gerelateerd aan de lengte in de richting van de as van de waterkering (relatief beperkt ten opzichte van de lengte loodrecht op de as van de waterkering) over het algemeen een ondergeschikte rol speelt, zoals sluizen en coupures.
<b>Randvoorwaarde-locatie</b>	Locatie waarvoor de hydraulische randvoorwaarden worden gegeven.
<b>Randvoorwaarden</b>	Beschrijving van de wijze waarop uitwisseling (massa, energie) van het gemodelleerde systeem met de omgeving plaatsvindt.
<b>Refractie</b>	Zwenking van golfkammen onder invloed van veranderende bodemdiepte of van stroomgradiënten.
<b>Regionale (water)kering</b>	Niet-primaire waterkering. Door Gedeputeerde Staten wordt vastgesteld welke niet-primaire waterkeringen worden aangemerkt als regionale kering en aan welke criteria de regionale keringen dienen te voldoen.
<b>Rekenwaarde</b>	Volgens de definitie in [CUR162 1992], de parameterwaarde die wordt berekend door de karakteristieke waarde te delen door of, in het geval dat dit ongunstiger is, te vermenigvuldigen met een partiële veiligheidsfactor.
<b>Relatieve dichtheid</b>	Relatief gewicht van materie onder water, gedefinieerd als het soortelijk gewicht van de materie minus het soortelijk gewicht van het water, gedeeld door het soortelijk gewicht van het water.
<b>Representatieve waarde</b>	De basiswaarde die de werkelijke waarde van een parameter met voldoende zekerheid representeert. De representatieve waarde is gelijk aan de karakteristieke waarde of een nominale waarde. Hieruit wordt met behulp van de partiële factor de rekenwaarde bepaald.
<b>Reserveringsstrook</b>	Strook (duin), direct landwaarts van het grensprofiel, deel uitmakend van de primaire waterkering, onder meer ten behoeve van de opvang van de effecten van de verwachte getijhoogwaterstijging over een periode van 200 jaar
<b>Reservestrook</b>	Zie 'Reserveringsstrook'.

<b>Restcorrelatie (rho_x)</b>	Ondergrens voor de mate van ruimtelijke (auto-)correlatie van een stochastische variabele.
<b>Restproduct</b>	Bijproduct van productieprocessen dat als constructiemateriaal wordt gebruikt.
<b>Ronaton</b>	Type betonzuil.
<b>Reststerkte</b>	Sterkte die kan worden ontleend aan het deel van het faaltraject dat na de toestand beschreven door de faaldefinitie moet worden doorlopen alvorens de waterkering daadwerkelijk faalt.
<b>Retentiegebied</b>	In dit gebied bergt men tijdelijk, bij hevige regenval, water. Dit opdat stroomafwaarts gelegen gebieden niet overstromen.
<b>Rijksstrandpalenlijn</b>	Langs de gehele kust gelegen referentielijn voor meetraaien (hoofdraai).
<b>Rijkszeeweringen-reglement</b>	Verordening met verbods- en gebodsbepalingen van het Rijk als beheerder van een zeewering. Vergelijkbaar met de Keur.
<b>Risicoanalyse</b>	Het nagaan van de kans op een ongewenste gebeurtenis en de gevolgen daarvan.
<b>Rivierdijk</b>	Dijk langs een rivier.
<b>Rolweerstandshoek</b>	Hoek in het krachterevenwicht die aangeeft hoeveel de korrels bieden tegen rollen.
<b>RSP-lijn</b>	Rijksstrandpalenlijn; de langs de gehele zandige kust gelegen referentielijn voor meetraaien (hoofdraai).
<b>Ruigte</b>	Begroeiing met doorgaans vrij forse en hoog opgaande plantensoorten. Dit kunnen forse grassen zijn, zoals Kropaar ( <i>Dactylis glomerata</i> ) of Kweek ( <i>Elytrigia repens</i> ). Echter, vaak domineren kruiden zoals Fluitenkruid ( <i>Anthriscus sylvestris</i> ), Gewone berenklauw ( <i>Heracleum sphondylium</i> ), Grote brandnetel ( <i>Urtica dioica</i> ) of Japanse duizendknoop ( <i>Fallopia japonica</i> ). Kenmerkend voor veel ruigtevegetaties is de relatief lage soortenrijkdom en de matig tot zeer slechte bedekkings- en doorwortelingsgraad.
<b>Ruimen</b>	Proces in het faaltraject Piping, dat volgt op terugschrijdende erosie, waarbij het kanaal van de bovenstroomse zijde naar de benedenstroomse zijde schoongedrukt (schoongespoeld en verbreed) wordt.
<b>Ruimtelijke (uit)middeling</b>	gemiddelde waarde van een stochastische variabele over een bepaalde ruimtelijke grootheid.
<b>Ruimtelijke correlatie</b>	Mate van samenhang tussen de waarde van een variabele op locatie x en de waarde van diezelfde variabele op naburige locaties.
<b>Ruimtelijke variabiliteit</b>	Variatie van een stochastische variabele over een waterkering, in dwarsrichting en/of lengterichting.
<b>Ruwheidselement</b>	Uitsteeksel op toplaagelementen met als functie het beperken van de golfoploop.
<b>Scenario (van WTI-SOS)</b>	De stapelingen van WTI-SOS eenheden die binnen segmenten kunnen voorkomen worden scenario's of WTI-SOS scenario's genoemd. Vanwege de onzekerheid over de werkelijke grondopbouw op elke locatie langs de dijk worden er meestal meerdere scenario's vastgesteld en wordt voor elk van die scenario's de kans van aantreffen gegeven.
<b>Schaardijk</b>	Dijk die onmiddellijk aan de rivier ligt en niet door uiterwaarden daarvan gescheiden is.

<b>Schadefactor</b>	Partiële veiligheidsfactor die verband houdt met schade, die in rekening brengen in welke mate de vereiste betrouwbaarheid afwijkt van het basisbetrouwbaarheidsniveau.
<b>Schadegetal</b>	Dimensieloze parameter die de schade aan een breuksteenverdediging beschrijft.
<b>Scheidingsdijk</b>	Primaire waterkering, die niet bestemd is tot directe kering van het buitenwater en niet langs oppervlakte water is gelegen, maar deel uitmaakt van een dijkkringgebied als gemeenschappelijke scheiding tussen twee aangrenzende dijkkringgebieden.
<b>Schematisch ondergrondmodel</b>	De stratigrafie waarop het model is gebaseerd.
<b>Schematisering</b>	Vereenvoudigde voorstelling van de ruimtelijke en temporele verdeling van systeemvariabelen en parameters.
<b>Schematiserings-handleiding</b>	Handleiding waarin voor een faalmechanisme waarop getoetst moet worden staat hoe de relevante aspecten geschematiseerd moeten worden.
<b>Scheve windopzet</b>	Het verschil tussen hoogwaterstand en astronomisch hoogwater, ongeacht een eventueel tijdsverschil tussen beide.
<b>Schrale klei</b>	Weinig erosiebestendige klei.
<b>Schroefstraal</b>	Beweging in het water achter de draaiende schroef van het schip.
<b>Schuifsterkte</b>	De sterkte die de grond kan mobiliseren langs het (potentiële) schuifvlak.
<b>Schutsluis</b>	Een kunstwerk waarmee het mogelijk is om schepen van het ene naar het andere waterpeil te brengen en die, indien gelegen in de primaire waterkering, tegelijkertijd buitenwater keert.
<b>Sedimentatie / resedimentatie</b>	(Opnieuw) bezinken van zandkorrels en/of slib in een stroming.
<b>Segment (van WTI-SOS)</b>	Bij het opstellen van WTI-SOS zijn de dijken opgedeeld in segmenten. Aan elk segment zijn scenario's van mogelijke grondopbouwen toegekend.
<b>Seiche</b>	Resonantieverschijnsel in bekkens (onder andere havens) als gevolg van laagfrequente variaties van de buitenwaterstand.
<b>Semi-probabilistische analyse</b>	Analyse of de kering voldoet aan een gestelde betrouwbaarheidseis op basis van karakteristieke waarden en veiligheidsfactoren.
<b>Semi-probabilistische beoordeling</b>	Toetsing op basis van een semi-probabilistische analyse.
<b>Sifon</b>	Een duikervormige constructie waarmee, bij een kruising van twee waterlopen, water van de ene waterloop onder een ander waterloop wordt geleid.
<b>Significante golfhoogte</b>	De gemiddelde golfhoogte van het hoogste één derde deel van de golven (op diep water is dat de golfhoogte die door ongeveer 13,5% van de golven wordt overschreden) gedurende een bepaalde periode, bijvoorbeeld een half uur.
<b>Sijpeloppervlak</b>	Deel van het dijktaalud waar grondwater uittreedt.
<b>Sijpelpunt</b>	Hoogste punt op het dijktaalud waar grondwater uittreedt.
<b>Silex</b>	Restproduct van de cementindustrie, bruikbaar als granulair materiaal.

<b>Slakken</b>	Restproduct, in bepaalde gevallen bruikbaar als granulair materiaal.
<b>Sluis</b>	Kunstmatige, beweegbare waterkering die de verbinding tussen twee wateren (met eventueel een verschillende waterpeil) kan afsluiten of openstellen (voor scheepvaart) en daartoe van deuren of schuiven is voorzien.
<b>Sluit proces</b>	De gehele procedure die nodig is om een kunstwerk hoogwaterkerend te sluiten dat bestaat uit de deelprocessen alarmering, mobilisatie, bediening en bedrijfszekerheid keermiddel(len) en eventueel het herstel van een falend sluitproces.
<b>Sluitpeil</b>	Waterstand waarbij de kering wordt gesloten.
<b>Spectrum</b>	Zie golfspectrum.
<b>Spindelschuif</b>	Een door middel van spindels verticaal beweegbare waterkerende schuif (afsluitmiddel) in een watervoerend element, waarmee dit element kan worden afgesloten.
<b>Spreidingslengte</b>	De wortel uit het product van het doorlaatvermogen $kD$ van een watervoerend pakket en de hydraulische weerstand $c$ van de onder- of bovenliggende slecht doorlatende laag.
<b>Squeezing</b>	Plotseling optredende grote horizontale, van de as van de grondconstructie af gerichte verplaatsingen in de ondergrond onder de grondconstructie.
<b>Stabiliteitsfactor</b>	De verhouding tussen sterkte en belasting.
<b>Stabiliteitsnorm</b>	De minimale waarde van de stabiliteitsfactor, waaraan een waterkering moet voldoen.
<b>Stabiliteitsschermb</b>	In de waterkering aanwezige al dan niet verankerde verticale wandconstructie die, in combinatie met het grondlichaam, de macrostabiliteit van de waterkering verhoogt en daarmee binnen de waterkerende functie mede de verantwoordelijkheid draagt voor de stabiliteit van de waterkering.
<b>Stabiliteitszone</b>	De terreinstrook naast het waterstaatswerk die wordt bepaald door het faalmechanisme macro-instabiliteit van het waterstaatswerk.
<b>Standaarddeviatie / standaardafwijking</b>	Maat voor de variatie van de waarde van een stochastische variabele.
<b>Standaardelement</b>	Toplaagelement van een standaardtype: niet onderling verbonden, zonder gaten, zonder grote uitsteeksels.
<b>Standaardsortering</b>	Sortering van granulair materiaal volgens erkende normen.
<b>Standaardsteen-zetting</b>	Steen-zetting met een toplaag van standaardelementen.
<b>Standtijd</b>	Tijdsduur van begin van belasting tot aan bezwijken van het betreffende onderdeel van de waterkering.
<b>State parameter</b>	Maat voor verwekingsgevoeligheid: verschil tussen poriëngetal van het zand en poriëngetal in critical state bij dezelfde spanning.
<b>Steenslag</b>	Procesmatig gebroken gesteente, waarbij onder gesteente wordt verstaan gesteente van natuurlijke oorsprong en kunstmatig gevormde gesteente zoals slakken, granulaten, gecalcineerd bauxiet, gecalcineerde vuursteen e.d..
<b>Steentoets</b>	Excel-programma voor de beoordeling van de stabiliteit van steen-zettingen.

<b>Steenzetting</b>	Bekleding waarvan de toplaag bestaat uit in verband geplaatste elementen.
<b>Stevige klei</b>	Klei die voldoet aan de voorwaarden van erosiebestendige klei.
<b>Stijghoogte</b>	Niveau tot waar het water zou stijgen in een peilbuis met filter ter plaatse van het punt; wordt uitgedrukt in meters waterkolom ten opzichte van een referentievlak.
<b>Slijtlaag</b>	Dunne laag vloeibitumen of bitumenemulsie die wordt aangebracht op een asfaltbetonbekleding om de bekleding te conserveren, afgestrooid met steenslag of grind om het aanzicht te verbeteren.
<b>Stochast / stochastische variabele</b>	Variabele die een onzeker proces beschrijft.
<b>Stochastische ondergrond (schematisatie)</b>	Met stochastisch wordt bedoeld dat een bepaald aspect, bij WTI-SOS de opbouw van de ondergrond, variabel is. Deze variabiliteit wordt bij WTI-SOS gevat in verschillende scenario's met kansen van aantreffen.
<b>Stoorlaag</b>	Dunnen klei-, leem-, of veenlaag in een overigens dik zand- of grindpakket.
<b>Stootvoeg</b>	Spleet tussen blokvormige toplaagelementen aan de korte zijde van de blokken.
<b>Stopwerk</b>	Voegvulling in de vorm van brokken en scherven van toplaagelementen die in de spleten zijn vastgezet.
<b>Stormduur</b>	Duur van de storm. Voor kunstwerken: de duur van de tot hoogwaterblok gemodelleerde piek van de storm waarmee het instromende volume van buitenwater kan worden bepaald.
<b>Stormopzet</b>	Zie windopzet.
<b>Stormseizoen</b>	Periode waarin geen werkzaamheden aan waterkeringen mogen worden uitgevoerd, meestal 15 oktober-15 april (gesloten seizoen).
<b>Stormvloed</b>	Hoogwaterperiode waarbij te Hoek van Holland het grenspeil (met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van 0,5 per jaar) wordt bereikt of overschreden (voor het grenspeil: zie getijtafels op <a href="http://www.getij.nl">www.getij.nl</a> ).
<b>Strandmuur</b>	Verticale muur die het achterliggend duin beschermt tegen duinafslag, gezamenlijk vormt dit een hybride kering.
<b>Strijklengte</b>	Lengte waarover de wind over het wateroppervlak strijkt.
<b>Stripping</b>	Het indringen van water tussen het mineraal en het bitumen waardoor de hechting wordt verbroken en de samenhang van het asfalt vermindert.
<b>Strook</b>	Een gedeelte van de bekleding tussen twee horizontale begrenzingen.
<b>Stuw</b>	Vaste of beweegbare keerconstructie voor het bovenstrooms van de constructie beheersen van het waterpeil, ten behoeve van scheepvaart, waterkwantiteit en/of waterkwaliteit.
<b>Superstorm</b>	Storm die de maatgevende omstandigheden langs de kust tot gevolg heeft.
<b>Suspensiestroming</b>	Stroming van een vloeistof met turbulent gesuspendeerd materiaal, bijvoorbeeld zand.
<b>Talud</b>	De schuin aflopende zijden aan de binnen- en buitenkant van een dijk of andere aardenbaan.



<b>Taludbekleding</b>	Afdekking van de kern van een dijk ter bescherming tegen golfaanvallen en langsstromend water. De taludbekleding bestaat uit een erosiebestendige toplaag, inclusief de onderliggende vlijlaag, filterlaag, kleilaag en/of geotextiel.
<b>Te toetsen kustlijn</b>	Gemiddelde ligging van de kustlijn in een willekeurig jaar na 1990. Het verschil in de posities van de TKL en de BKL is maatgevend in het beleid om de ligging van de kustlijn te handhaven.
<b>Technisch rapport</b>	Publicatie van ENW waarin een afzonderlijk deelaspect van waterkeringen wordt behandeld.
<b>Technische toepasbaarheid</b>	Mate waarin een bekleding sterk genoeg is om te worden toegepast in het projectgebied.
<b>Teenbescherming</b>	Constructie die het talud beschermt door ontgroning en/of afslag van de voorliggende oever te voorkomen.
<b>Teenbestorting</b>	Horizontaal gedeelte van een dijk, aan de buitenzijde gelegen, als overgang tussen de harde bekleding en de rest van het talud of de vooroever. Ook wel 'kreukelberm' (Zeeland) of 'plasberm' genoemd.
<b>Teenconstructie</b>	Constructie aan de onderzijde van het talud als overgang naar het voorland of de teenbestorting.
<b>Teer</b>	Een viskeuze zwarte vloeistof met hechtvermogen, verkregen door destructieve destillatie van steenkool, hout, leisteen e.d. Wanneer de oorsprong niet wordt vermeld, houdt dit in dat de teer is verkregen uit steenkool (steenkoolteer)
<b>Terp</b>	Kunstmatige heuvels die met name in Noord-Nederland werden opgeworpen om bij hoogwater een droge plek te hebben.
<b>Terugslagklep</b>	Een onder invloed van zwaartekracht (en waterdruk) sluitende waterkerende klep, waarmee een watervoerend element kan worden afgesloten (wat terugstromen van water voorkomt).
<b>Theoretische potentiaal</b>	Potentiaal in de aquifer indien deze niet wordt begrensd door bijvoorbeeld het gewicht van het afdekkende pakket.
<b>Tijdelijke kering</b>	Een mobiele waterkering waarvoor geen permanent op locatie achterblijvende voorzieningen zoals fundatiebalk, sponningen et cetera benodigd zijn. In de meeste gevallen wordt een tijdelijke kering vooral toegepast om golfoverslag te voorkomen. De kerende hoogte van de tijdelijke kering is dan ook beperkt.
<b>Toeslagvolume duinafslag</b>	Extra hoeveelheid duinafslag boven de waterstand waarmee Toetslaag 2A voor het faalmechanisme duinafslag is gekalibreerd.
<b>Toetsingsronde</b>	Cyclus van rapportage over de veiligheid van de waterkeringen.
<b>Toetsinstrumentarium</b>	Het vanuit de wetgever beschikbaar gestelde nadere regels over de beoordeling van de algemene waterstaatkundige toestand van de primaire waterkering.
<b>Toetslaag 1 (eenvoudig)</b>	Toets op basis van eenvoudig inwinbare informatie en eenvoudig toepasbare beslisregels.
<b>Toetslaag 2a (gedetailleerd, vakttoets)</b>	Toets gebaseerd op modelmatige analyses en generieke rekenregels met vaste faalkansverdeling op dijkvakniveau.
<b>Toetslaag 2b (gedetailleerd, trajectniveau)</b>	Toets gebaseerd op modelmatige analyses en generieke rekenregels op trajectniveau.

<b>Toetspeil</b>	Waterstand behorende bij de overschrijdingskans gelijk aan de normoverstromingskans conform Bijlage II en IIA van de Waterwet.
<b>Toetspeil Duinafslag</b>	Rekenwaarde voor het stormvloedpeil waarmee in Toetslaag 2A voor het faalmechanisme duinafslag dient te worden gerekend.
<b>Toetsproces</b>	De stappen die moeten worden doorlopen tijdens de uitvoering van de toetsing.
<b>Toetsregel</b>	De receptuur voor het bepalen van een toetsoordeel. De toetsregels in dit voorschrift betreffen de beoordeling per toetsspoor.
<b>Toetsschema</b>	Schema welke het toetsproces weergeven.
<b>Toetsspoor</b>	Een waterkering moet op verschillende aspecten of faalmechanismen worden beoordeeld. De toetsing voor een specifiek aspect of faalmechanisme wordt aangeduid als toetsspoor.
<b>Toetsvlak</b>	Een deel van de bekleding waarvoor geldt dat de randvoorwaarden en kenmerken voor de toetsing bij benadering constant zijn.
<b>Tonrondte</b>	De ronding in het oppervlak van de toplaag (in de verticale dwarsdoorsnede).
<b>Toplaag</b>	Buitenste verdedigingslaag van een taludbekleding.
<b>Toplaagdikte</b>	Het gemiddelde van de elementhoogte over het elementoppervlak (toplaagelementhoogte).
<b>Toplaaginstabiliteit</b>	Faalmechanisme waarbij één of meer toplaagelementen uit de zetting worden gedrukt door waterdruk onder de toplaag.
<b>Topvervlakking</b>	Het verschijnsel dat een hoogwatergolf benedenwaarts gaande afvlakt.
<b>Transmissiviteit</b>	Het gemak waarmee water door een granulaire laag kan stromen, gelijk aan het product van de waterdoorlatendheid en de laagdikte.
<b>Tunnel</b>	Ondergrondse of onder water gelegen civiel-bouwkundige constructie, die onderdeel is van een (auto-, spoor- of water)weg bij kruising met een andere weg of een terreinverdieping waarbij aan beide zijden grond en/of (grond)water moet worden gekeerd en/of een overdekt gedeelte van meer dan 80 m ontstaat voor de onderdoorgaande weg.
<b>Tussenlaag</b>	Constructielaag tussen toplaag en basismateriaal.
<b>Tussenraai</b>	Een extra raai tussen twee JARKUS-raaien waarvoor tijdens de toetsing een maatgevend afslagpunt wordt berekend
<b>Twijfelachtig</b>	Tussenresultaat van de toetsing volgens het VTV2006, als met de tot dan doorlopen stappen niet is aangetoond dat de waterkering op de peildatum 'goed', 'voldoende' of 'onvoldoende' is.
<b>Uiterwaard</b>	Zie 'winterbed'.
<b>Uitloggen</b>	Het proces waarbij water in een materiaal dringt en bepaalde stoffen oplost waardoor deze in de omgeving terecht komen.
<b>Uitspoeling</b>	Transport van materiaal vanuit tussenlaag of ondergrond door de toplaag naar buiten.
<b>Uittreepunt</b>	Locatie aan de landzijde waar kwelwater het eerst aan het oppervlak treedt
<b>Uittreeverhang</b>	Verhang in het grondwater ter plaatse van het uittreepunt.
<b>Uittreeweerstand</b>	Weerstand veroorzaakt door een slecht-doorlatend laagje ter plaatse van het uittre(d)epunt.

<b>Uitvullaag</b>	Dun laagje granulair materiaal, bedoeld om oneffenheden van het oppervlak van de laag eronder op te vullen, zodat een vlak oppervlak voor het plaatsen van de toplaagelementen wordt verkregen.
<b>Uitwateringsduiker</b>	Kokervormige constructie door een grondconstructie, eventueel voorzien van keermiddelen, met als doel om onder vrij verval (via een vrij wateroppervlak) overtollig binnenwater te lozen op het buitenwater.
<b>Uitwateringssluis</b>	Waterstaatkundige constructie die in de waterkering is gelegen en tot doel heeft overtollig binnenwater te spuien en buitenwater te keren.
<b>Vak</b>	Segment van het dijktraject waarvoor condities in of meer uniform zijn
<b>Variantie</b>	Maat voor de variatie van de waarde van een stochastische variabele. De variantie is het kwadraat van de standaarddeviatie.
<b>Variatiecoëfficiënt</b>	Quotiënt van de standaarddeviatie en de verwachtingswaarde.
<b>Vegetatie</b>	Begroeiing, in casu op dijken. Een voorbeeld van een dijkvegetatie is een 'grasmat' (bestaande uit grasachtigen en kruiden) of een ruigte.
<b>Veiligheidsfactor</b>	Zie partiële veiligheidsfactor.
<b>Veiligheidsmarge</b>	De mate waarin extra veiligheid aanwezig is.
<b>Veiligheidsnorm</b>	Eis waaraan een primaire waterkering moet voldoen, aangegeven als de gemiddelde overschrijdingskans -per jaar - van de hoogste hoogwaterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, mede gelet op overige het waterkerend vermogen bepalende factoren.
<b>Veiligheidstoeslag</b>	Toeslag op de in rekening te brengen hydraulische belasting bij kunstwerken om de onzekerheid in de bepaling van de hydraulische belasting te compenseren.
<b>Verborgene bekleding</b>	Bekleding die afgedekt is met grond.
<b>Verdelingstype</b>	Kansverdeling waarvan de parameters bepaald moeten worden uit meetgegevens. Voorbeelden: Gumbel, normale verdeling.
<b>Verdichtingsgraad (van grond)</b>	verhouding tussen de werkelijk bereikte dichtheid en een referentiedichtheid (bijvoorbeeld de maximum proctordichtheid).
<b>Verdronken koker</b>	Een geheel onder water gelegen buis of koker waardoor bij het niet hoogwaterkerend gesloten zijn van het kunstwerk water naar binnen stroomt, waarbij er direct contact is tussen binnen- en buitenwater.
<b>Verhang</b>	Verhouding tussen het verschil in stijghoogte tussen twee punten en de afstand tussen die punten; wordt ook gradiënt genoemd.
<b>Verhanglijn</b>	De waterspiegel volgens de stroomrichting in een waterloop bij een bepaalde afvoer of onder bepaalde omstandigheden.
<b>Vermoeiing</b>	Het veranderen van de mechanische eigenschappen van een materiaal ten gevolge van herhaalde belastingen.
<b>Veroudering</b>	Het veranderen van de materiaaleigenschappen onder invloed van licht, lucht en belastingen.
<b>Verstoringsprofiel</b>	2-dimensionale begrenzing van de verstoringszone in het dwarsprofiel.
<b>Verstoringszone</b>	Zone om een niet-waterkerend object, waarbinnen de invloed van de aanwezigheid, bezwijken of falen van het niet-waterkerende object in de grond merkbaar is.

<b>Verval</b>	Verskil in hoogte van de waterspiegel tussen twee plaatsen.
<b>Verwachtingswaarde</b>	Verwachte uitkomst van het gemiddelde.
<b>Verweking</b>	Verlies aan samenhang van het korrelskelet als gevolg van toename van de waterspanning (in de poriën).
<b>Verweking</b>	Verlies van korrelspanningen in een losgepakt zandpakket, waardoor dit dik-vloeibaar wordt en/of bezwijkt.
<b>Verwekingspunt ring en kogel (van bitumen)</b>	De temperatuur waarbij een schijfje van het materiaal, vastgehouden in een ring, onder standaard proefomstandigheden door het gewicht van een kogel een standaardvervorming ondergaat.
<b>Verwekingsvloeiing</b>	Bezijken van een onderwatertalud door het plotseling wegstromen van verweekt zand.
<b>Verzadigde doorlatendheid</b>	Doorlatendheid van verzadigde grond (m/s).
<b>Vilvoordse steen</b>	Toplaagelement van natuursteen uit de groeven van Vilvoorde, België.
<b>Viscositeit</b>	Een maat voor de weerstand tegen vervorming van een vloeistof onder invloed van een belasting (een maat voor de dikvloeibaarheid of stroperigheid).
<b>Vistrap</b>	Een waterbouwkundig kunstwerk waarmee vissen zich stapsgewijs van het enen naar het andere waterniveau kunnen verplaatsen, om zichzelf toegang te verschaffen tot een door een dijk, dam, stuw of sluis ontoegankelijk geworden gebied.
<b>Vlies</b>	Geokunststof van korte vezels die willekeurig georiënteerd aan elkaar zijn gehecht (non-woven).
<b>Vlijlaag</b>	Constructielaag met filterfunctie, bestaande uit één of meer lagen plat gelegde bakstenen die in verband zijn geplaatst.
<b>Vloedmerk (veek)</b>	Drijfvuil dat na hoge waterstanden op het buitenbeloop achterblijft.
<b>Vloeibitumen</b>	Een mengsel van een penetratiebitumen (zie NEN-EN 12591) en een aardoliedestillaat.
<b>Voegvulling</b>	Granulair materiaal dat in de spleten tussen de toplaagelementen wordt aangebracht om de wrijving en/of klemming te vergroten.
<b>Vol en zat penetratie</b>	Het volledig vullen van de holle ruimten in een laag breuksteen met gietasfalt of asfaltmastiek over de gehele dikte en over het gehele oppervlak van de laag, zodanig dat de steenstukken in de bovenste laag voor ten minste 50% zijn ingebed in het gietasfalt of asfaltmastiek.
<b>Voldoet</b>	Resultaat van de toetsing als de waterkering op de peildatum minimaal voldoet aan de veiligheidsnorm.
<b>Volkomen stroming</b>	De situatie waarin het benedenwater achter een (lange) overlaat niet wordt gestuwd door het water dat over de overlaat stroomt, waarbij zich benedenstrooms een watersprong vormt.
<b>Volumetrisch ontwerp</b>	Ontwerpmethode voor de mengselsamenstelling van open steenasfalt waarbij wordt berekend hoeveel mastiek nodig is, uitgaande van de gradering van de steen en een gewenste laagdikte van de mastiekhulling.
<b>Volumieke massa van droge korrels</b>	De massa per volume van het droge toeslagmateriaal met poriën.

<b>Voorland</b>	Buitendijks terrein tussen de dijk en de rivier, of ondiepe waterbodem voor de teen van de dijk.
<b>Vooroever</b>	Waterbodem in de zone voor de teen van een dijk, tot aan het diepste punt van de geul.
<b>Vooroeververdediging</b>	Lage dam op enige afstand van de primaire waterkering die een onder water gelegen ondiep deel van de oeverzone en waterkering beschermt, voornamelijk om mogelijkheden voor flora- en faunaontwikkeling te creëren of structurele kusterosie te bestrijden.
<b>Vooronderzoek</b>	Onderzoek waarin wordt vastgesteld of de te gebruiken bouwstoffen aan de eisen voldoen en in welke mengverhouding deze bouwstoffen moeten worden toegepast om te komen tot een stabiel, goed verwerkbaar en duurzaam asfaltmengsel.
<b>Vrij vervalleiding</b>	Een onder afschot aangelegd leidingstelsel waarbij, onder invloed van de zwaartekracht, water via natuurlijke stroming wordt afgevoerd.
<b>Vulstof voor bitumineuze mengsels</b>	Een homogeen poeder op basis van mineralen, bereid in een daartoe ingerichte installatie volgens een beheerst productieproces.
<b>Walsnelheid</b>	Snelheid waarmee een actieve bres of taludverstoring taludopwaarts terugschrijdt.
<b>Waterbouwasfaltbeton</b>	Warm bereid asfalt met een continu gegradeerd mengsel van steenslag (of grind), zand en vulstof, dat een laag percentage holle ruimte heeft.
<b>Waterkerend kunstwerk</b>	Constructie die onderdeel uitmaakt van een waterkering of de waterkering vervangt, maar is aangelegd ten behoeve van een andere functie, die de waterkering kruist (bv. schutten, spuien).
<b>Waterkerend object</b>	Object in of op de waterkering dat volledig zelfstandig of in combinatie met andere onderdelen waaruit de kering is opgebouwd, de waterkerende functie voor zijn rekening neemt.
<b>Waterkerende functie</b>	Het beveiligen tegen overstroming en scheiden van binnen- en buitenwater.
<b>Waterkering</b>	Kunstmatige hoogten en die (gedeelten van) natuurlijke hoogten of hooggelegen gronden, met inbegrip van daarin of daaraan aangebrachte werken, die een waterkerende of mede een waterkerende functie hebben, en die als zodanig in de legger zijn aangegeven.
<b>Waterkeringbeheerder</b>	Door de overheid aangewezen verantwoordelijke voor het beheren van de (primaire) waterkeringen.
<b>Waterkeringszone</b>	Zie keurgebied.
<b>Waterkeringtraject</b>	Een aan een gesloten stuk/lengte primaire keringen waarbij de gevolgen van een doorbraak of overstrooming (verlies van waterkerend vermogen) in termen van schade en/of het overstroomde gebied, onafhankelijk van de locatie van de doorbraak of overstroming min of meer vergelijkbaar zijn. Ook wel dijktraject genoemd.
<b>Waterkwaliteitsfunctie</b>	Het beheren van de waterkwaliteit van een bepaald gebied of watergang.

<b>Waterkwantiteits- functie</b>	Het reguleren van waterstanden middels het in- of uitlaten van water uit een bepaald gebied.
<b>Waterover- / onderspanning</b>	Verskil tussen de aanwezige waterspanning en de hydrostatische waterspanning.
<b>Wateroverdruk</b>	Waterdruk onder een gesloten bekleding ten gevolge van een waterstandsverschil binnen en buiten het dijklichaam.
<b>Waterreguleringswerk</b>	Stuwen, overlaten, doorlaatwerken, duikers.
<b>Waterspanning</b>	Druk van het grondwater in de grond, vooral van belang bij samendrukbare lagen. Bij watervoerende lagen is sprake van stijghoogte of van een freatische waterstand in deze laag.
<b>Waterstaatswerk</b>	Waterkering plus het gebied dat zich uitstrekt tot waar bezwijkmechanismen van de waterkering reiken. Denk hierbij aan het uittreepunt in het maaiveld van een glijcirkel.
<b>Waterstandsverloop</b>	Het verloop van de waterstand als functie van de tijd op een bepaalde locatie
<b>Waterwet</b>	De Waterwet regelt het beheer van oppervlaktewater en grondwater, en verbetert ook de samenhang tussen waterbeleid en ruimtelijke ordening.
<b>Weefsel</b>	Geokunststof van garens of bandjes met een geordende structuur (woven).
<b>Wel</b>	Geconcentreerde uitstroming van kwelwater, bijvoorbeeld door een opbarstkanaal of een gat in de afdekkende kleilaag of langs een object in de afdekkende laag.
<b>Werklijn</b>	De relatie tussen de daadwerkelijke rivierafvoer en de rekenkundig bepaalde overschrijdingsfrequentie van deze afvoer.
<b>Wettelijk Toetsinstrumentarium</b>	Zie Toetsinstrumentarium.
<b>Windgolven</b>	Golven, ontstaan door de wrijving van de lucht over het water.
<b>Windopzet</b>	Lokale waterstandverhoging als gevolg van de door de wind op een watermassa uitgeoefende kracht.
<b>Winterbed</b>	Deel van de rivierbedding tussen zomerbed en banddijk.
<b>Wrijving</b>	Bijdrage aan de weerstand tegen topplaaginstabiliteit doordat bij onderlinge beweging van naast elkaar liggende topplaagelementen een kracht wordt opgewekt.
<b>Zandasfalt</b>	Warm bereid asfalt met gegradeerd zand en een ondermaat aan bitumen, dat een hoog percentage holle ruimte heeft.
<b>Zandmeevoerende wel</b>	Wel, die zand meevoert uit de (onder)grond. Kan zo onbeheersbaar worden dat piping optreedt.
<b>Zandscheg</b>	Een insluiting van zand tussen de kleilaag van de bekleding en de kleikern.
<b>Zandverlies in langsrichting</b>	Situatie waarbij tijdens storm netto zandvolume uit een raai verdwijnt als gevolg van een langstransportgradiënt.
<b>Zeedijk</b>	Primaire waterkering van de categorie a, die zout water keert.
<b>Zeereep</b>	Eerste aaneengesloten duinenrij vanaf het strand.
<b>Zeespiegelstijging</b>	De stijging van de gemiddelde zeestand ten opzichte van NAP.
<b>Zetting</b>	Verticale verplaatsing als gevolg van volumeverkleining van samendrukbare lagen in de ondergrond, hoofdzakelijk ten gevolge van een bovenbelasting, de eigen massa en/of het uittreden van water.

<b>Zettingsvloeiing</b>	Een mechanisme waarbij zand in een onderwatertalud schijnbaar spontaan vervloeit, waardoor tot honderdduizenden kubieke meters zand over afstanden van soms honderden meters verplaatst kunnen worden
<b>Zode</b>	Zie graszode.
<b>Zomerbed</b>	Deel van de rivier waar bij normale en lagere waterstanden de rivierafvoer plaatsvindt.
<b>Zonnebrand</b>	Het verschijnsel van incidentele basaltzuilen die sterk verweren.
<b>Zorgplicht</b>	De wettelijke taak van de beheerder om de primaire kering aan de veiligheidseisen te laten voldoen en voor het noodzakelijke preventieve beheer en onderhoud te zorgen.
<b>Zuilen</b>	Veelhoekige toplaagelementen waarbij de spleetbreedte rondom elk element variabel is en meestal relatief groot.

## 27 Symbolen

Symbol	Begrip	Eenheid	Hoedanigheid
$a$	de verticaal gemeten afstand van de onderrand van de gesloten bekleding tot de theoretisch maatgevende buitenwaterstand	m	-
$a_l$	mechanismegevoelige fractie van de trajectlengte	-	-
$b$	dikte van de filterlagen	m	-
$B$	breedte van het voorland	m	-
$B_{dijk}$	breedte van de dijk op toetspeil	m	-
$Bh$	hoogte van de boom	m	-
$b_{klei}$	dikte van de kleilaag	m	-
$BkrD_{gem}$	gemiddelde kroondiameter van de boom	m	-
$b_l$	lengtemaat die de intensiteit van het lengte-effect weergeeft binnen de mechanismegevoelige lengte van het traject	m	-
$c$	reductiefactor om tot uitdrukking te brengen dat de faalkansen van kunstwerken niet allemaal precies even groot zijn (= 0,5)	-	-
$D$	dikte van de toplaag van gezette steen	m	-
$D$	dikte cohesieve lagen pakket	m	-
$D_{b15}$	korreldiameter van het zand	m	-
$D_c$	cumulatieve overbelasting	$m^2/s^2$	-
$D_{deklaag}$	laagdikte van de cohesieve deklaag op de pipinggevoelige zandlaag	m	-
$D_{N50}$	nominale steendiameter van breuksteensortering	m	-
$d$	diameter ontgrondingskuil bij windworp boom	m	-
$d_a$	laagdikte (samengestelde) asfaltlaag	m	-
$d_{klei}$	laagdikte klei	m	-
$d_{15,gemiddeld}$	over de laag gemiddelde $D_{15}$ -waarde	mm	-
$d_{15}$	15%-fractiel van de korreldiameter	mm	-
$d_{50,gemiddeld}$	over de laag gemiddelde $D_{50}$ -waarde	mm	-
$d_{50}$	50%-fractiel van de korreldiameter	mm	-
$F_{cohesivelayers}$	parameter gehanteerd bij zettingsvloeiingen, die de invloed van stoorlagen uitdrukt	-	-
$F_{d;i}$	rekenwaarde van de stabiliteitsfactor voor ondergrond-scenario $i$ , berekend met rekenwaarde voor de schuifsterkte (karakteristieke waarde gedeeld door materiaalfactor)	-	-
$F_h$	berekende stabiliteitsfactor voor heave	-	-
$F_p$	stabiliteitsfactor voor terugschrijdende erosie	-	-
$F_u$	berekende stabiliteitsfactor voor opbarsten	-	-
$f^I$	inverse van de gekalibreerde relatie tussen $\gamma_\beta$ en $P_{eis;dsn}$	-	-
$f_{MGWS}$	factor maatgevende grondwaterstand	-	-
$GRWS$	grondwaterstand in de dijk onder maatgevende omstandigheden (AGK)	m	NAP



Symbol	Begrip	Eenheid	Hoedanigheid
$GW$	gemiddelde waterstand	m	NAP
$GWS$	gemiddelde buitenwaterstand	m	NAP
$g$	zwaartekrachtversnelling	$m/s^2$	
$H_{geul}$	Geuldiepte. Bij zettingsvloeiingen: de verticale afstand tussen de geulrand en de geulbodem. Bij afschuiven voorland: de verticale afstand tussen de gemiddelde waterstand en de geulbodem	m	geulbodem
$H_{onbest}$	onbestorte deel van de geuldiepte	m	
$H_m$	toetswaterstand – maaiveldniveau	m	
$H_{m0}$	significante golfhoogte, gebaseerd op spectrum	m	
$H_R$	rekentaludhoogte voor zettingsvloeiingen	m	
$H_s$	significante golfhoogte	m	
$h$	niveau buitenwaterstand	m	NAP
$h_d$	dijkhoogte	m	boven maaiveld binnendijks
$h_{dijk}$	dijkhoogte	m	boven maaiveld <i>buitendijks</i>
$h_{exit}$	freatisch niveau, of hoogte van het maaiveld bij uittredepunt	m	NAP
$h_k$	kruinhoogte	m	NAP
$h_{k0,1}$	(kruin)hoogte waarbij een overslagdebiet van 0,1 l/s/m optreedt	m	NAP
$h_{Peis;dsn}$	waterstand behorende bij de doelkans plus toeslagen	m	NAP
$h_w$	hoogte buitenwaterstand	m	boven maaiveld binnendijks
$i$	ondergrond-scenario nummer (subscript)	-	-
$i_{c,h}$	berekende heave gradiënt	-	-
$L$	afstand tussen intrede- en uittredepunt	m	-
$L_{traject}$	lengte van het dijktraject zoals vastgelegd in Bijlage II van de Waterwet	m	-
$L_{vak}$	lengte van het beschouwde dijkvak	m	-
$M$	horizontale stuk van het signaleringsprofiel, de marge	m	-
$M_{bestorting}$	horizontale projectie van de bestorting	m	-
$MGWS$	maatgevende grondwaterstand (AWO)	m	NAP
$N$	aantal golven	-	-
$N_{dsn}$	lengte-effectfactor voor een doorsnede, afhankelijk van het toetsspoor	-	-
$N_{vak}$	lengte-effectfactor voor een dijkvak, afhankelijk van het toetsspoor	-	-
$n$	cotangens van helling	-	-
$n_{2a}$	aantal kunstwerken in het dijktraject waarvan de faalkans niet verwaarloosbaar klein is volgens de eenvoudige toets	-	-
$P_{eis}$	maximaal toelaatbare overstromingskans van het dijktraject volgend uit de normstelling	1/jaar	-
$P_{eis;dsn}$	faalkanseis die per doorsnede (=object in geval	1/jaar	-

Symbol	Begrip	Eenheid	Hoedanigheid
	van kunstwerk, puntconstructie) aan een faalmechanisme wordt gesteld		
$P_{eis;vak}$	faalkanseis die per dijkvak of kunstwerk aan een faalmechanisme wordt gesteld	1/jaar	-
$P_{f;dsn}^*$	berekende faalkans per doorsnede	1/jaar	-
$P_{f;h}^*$	benaderde faalkans voor het deelmechanisme heave	1/jaar	-
$P_{f;h;i}^*$	benaderde faalkans voor het deelmechanisme heave voor ondergrond-scenario $i$	1/jaar	-
$P_{f;i}^*$	benaderde faalkans voor ondergrond-scenario $i$	1/jaar	-
$P_{f;u}^*$	benaderde faalkans voor opbarsten	1/jaar	-
$P_{f;u;i}^*$	benaderde faalkans voor opbarsten voor ondergrond-scenario $i$	1/jaar	-
$P_{f;p}^*$	benaderde faalkans voor terugschrijdende erosie	1/jaar	-
$P_{f;p;i}^*$	benaderde faalkans voor terugschrijdende erosie voor ondergrond-scenario $i$	1/jaar	-
$P_{fjinst}$	kans op falen gegeven een instabiliteit	-	-
$P(S_i)$	kans van voorkomen van ondergrond-scenario $i$	-	-
$P(ZV)$	kans van voorkomen zettingsvloeiing voor het dijkvak	-	-
$P(ZV S_i)$	kans van voorkomen zettingsvloeiing voor het dijkvak, gegeven ondergrond-scenario $i$	-	-
$Q_n$	factor voor de taludhelling	-	-
$q$	gemiddeld overslagdebiet	l/s/m	-
$R_d$	rekenwaarde voor de sterkte	divers	-
$R_w$	reductiefactor voor lage ligging onderrand dichte bekleding	-	-
$r_c$	reductiefactor voor de weerstand bij het uittredepunt	-	-
$r_{exit}$	demping- of responsfactor bij uittredepunt	-	-
$S_d$	rekenwaarde voor de belasting	divers	-
$S_i$	ondergrondscenario $i$	-	-
<i>Toetspeil</i>	waterstand met een overschrijdingskans behorende bij normoverstromingskans voor het betreffende dijktraject	m	NAP
$U_c$	kritische stroomsnelheid, sterkte parameter van de graszode	m/s	-
$U_i$	frontsnelheid van de $i^{de}$ van $N$ olopende golven	m/s	-
$V$	breedte van het voorland	m	-
$V_{lokaal}$	maat voor beweeglijkheid van de vooroever	m/jaar	-
$V_{Zeeland}$	beweeglijkheid van een gemiddelde Zeeuwse vooroever	m/jaar	-
$V_{ab}$	variatiecoëfficiënt van de buigtreksterkte	-	-
$v$	de verticaal gemeten afstand van de maatgevende buitenwaterstand tot de maatgevende grondwaterstand	m	-
$W$	kruinbreedte	m	-
$z$	hoogteverschil tussen MGWS en onderrand gesloten bekleding = $a+v$	m	-

Symbol	Begrip	Eenheid	Hoedanigheid
Symbol	Begrip	Eenheid	Hoedanigheid
$\alpha$	taludhelling	°	horizontaal
$\alpha_m$	belastingverhogingsfactor in geval van een overgang	-	-
$\alpha_R$	rekentaludhelling voor zettingsvloeiingen	°	horizontaal
$\alpha_s$	sterkte reductiefactor in geval van een overgang	-	-
$\beta_{eis;dsn}$	betrouwbaarheidsindex van het representatieve dwarsprofiel per dijkvak	-	-
$\Delta$	relatieve dichtheid van de zetstenen	-	-
$\Delta_g$	relatieve dichtheid kleilaag $(\rho_g - \rho_w) / \rho_w$	-	-
$\Delta H$	verschil tussen maatgevende buitenwaterstand en waterstand bij uittredepunt	m	-
$\Delta H_c$	het kritieke verval over de kering	m	-
$\Delta h_{onder}$	Hoogte van de geulhelling die bij extreem laagwater boven water ligt	m	-
$\Delta L$	lengte van onafhankelijke dijkstrekkingen voor het mechanisme AGK (=1000)	m	-
$\Delta \phi$	optredend stijghoogteverschil over de deklaag (bij uittredepunt)	m	-
$\Delta \phi_{c,u}$	kritisch stijghoogteverschil over de deklaag (bij uittredepunt)	m	-
$\gamma_d$	modelfactor	-	-
$\gamma_{sat}$	verzadigd volumiek gewicht van de cohesieve deklaag	kN/m <sup>3</sup>	-
$\gamma_{water}$	volumiek gewicht van water	kN/m <sup>3</sup>	-
$\gamma_\beta$	$\beta$ -afhankelijke veiligheidsfactor	-	-
$\Phi()$	kansfunctie: standaard normale verdeling	1/jaar	-
$\phi_{exit}$	stijghoogte in de watervoerende laag bij uittredepunt	m	NAP
$\phi_{polder}$	stijghoogte in de watervoerende laag op grote afstand achter de dijk	m	NAP
$\lambda_0$	faalkansruimtefactor voor bekledingen (0,10)	-	-
$\lambda_1$	1 <sup>e</sup> faalkansruimtedeel voor type bekleding	-	-
$\lambda_2$	2 <sup>e</sup> faalkansruimtedeel	-	-
$\lambda_3$	3 <sup>e</sup> faalkansruimtedeel	-	-
$\rho_a$	soortelijke massa asfalt	kg/m <sup>3</sup>	-
$\rho_g$	soortelijke massa van de verzadigde kleilaag	kg/m <sup>3</sup>	-
$\rho_w$	soortelijke massa water	kg/m <sup>3</sup>	-
$\omega$	faalkansruimtefactor voor het betreffende faal-mechanisme, voorgeschreven voor toetslaag 2a	-	-
$\psi$	state parameter	-	-
$\psi_{5m}$	state parameter gemiddeld over een cumulatieve hoogte van 5 m aan zand- en siltlagen tussen de geulrand en 0,5 $H_R$ onder de geulbodem	-	-
$\psi_{5m, kar}$	karacteristieke waarde van $\psi_{5m}$	-	-

## 28 Afkortingen

AGK	Bezwijken asfaltbekleding door golfklappen
AWO	Bezwijken asfaltbekleding door wateroverdruk
BKL	Basiskustlijn
BSKW	Betrouwbaarheid sluiting van het kunstwerk
BWC	Bijzondere Waterkerende Constructie (achterhaald begrip)
CUR	Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving
DA	Duinafslag
ENW	Expertise Netwerk Waterveiligheid
GABI	Grasbekledingen afschuiven binnentalud
GABU	Grasbekleding afschuiven buitentalud
GEBU	Grasbekledingen erosie buitentalud
GEKB	Grasbekledingen erosie kruin en binnentalud
GRW	Grondwaterstand
GRWS	Grondwaterstand onder maatgevende omstandigheden (AGK)
GWS	Gemiddelde buitenwaterstand
HAV	Havendammen
HDD	Horizontaal gestuurde boring (Horizontal Directional Drilling)
HTKW	Overslag/overloop van het kunstwerk
LLWS	Het meerjarig gemiddelde van het laagste springlaagwater ten opzichte van NAP, geldig in het kustgebied en de estuaria
MGWS	Maatgevende grondwaterstand (AWO)
mv	Maaiveld
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NEN	Stichting Nederlands Normalisatie-instituut
NWO	Niet-waterkerende objecten
NWObe	bebouwing als niet-waterkerende object (onderdeel van NWO)
NWObo	begroeiing als niet-waterkerende object (onderdeel van NWO)
NWOkI	kabels en leidingen (onderdeel van NWO)
NWOoc	Overige constructies (onderdeel van NWO)
OLW	Overeengekomen Laag Water ten opzichte van NAP, geldig in het benedenrivierengebied (in Waal stroomafwaarts van Tiel)
OSA	Open steenasfalt
PKW	Achter- of onderloopsheid van het kunstwerk
RWS	Rijkswaterstaat
SOS	Stochastische OndergrondSchematisatie
STBI	Macrostabieliteit binnenwaarts
STBU	Macrostabieliteit buitenwaarts
STKWI	Sterke en stabiliteit van het kunstwerk: langsconstructie
STKWp	Sterke en stabiliteit van het kunstwerk: puntconstructie
STOWA	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
STPH	Opbarsten, heave en piping
STVL	Stabiliteit voorland
TAW	Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
TKL	Te toetsen kustlijn
TMWS	Maatgevende buitenwaterstand waarbij theoretisch de overdrukken onder de bekleding maximaal zijn
VLAF	Afschuiving van het voorland

VLGA	Golfafslag van het voorland
VLZV	Zettingsvloeiing van het voorland
VTV	Voorschrift toetsen op veiligheid (van de primaire waterkeringen)
V&ZG	Vol en zat gepenetreerd(e breuksteen)
WAB	Waterbouw asfaltbeton
WTI	Wettelijk Toets Instrumentarium
ZAF	Afschuiven steenzetting
ZEO	Erosie onderlaag van de steenzetting
ZMG	Materiaaltransport vanuit de granulaire laag van de steenzetting
ZMO	Materiaaltransport vanuit de ondergrond van de steenzetting
ZST	Stabiliteit steenzetting
ZTG	Toplaaginstabiliteit steenzetting bij golfaanval
ZTS	Toplaaginstabiliteit steenzetting bij langsstroming

## 29 Literatuur

- Arcadis. (2015). *Toetsen polyurethaan gebonden breuksteen bekledingen*. Hoofddorp: Arcadis Nederland.
- Bakker, H., Bredeveld, J., & Teunissen, H. (2011). *Analyse Macrostabieliteit Dijken met de Eindige Elementen Methode, rapportage 1202121-012*. Delft: RWS/Deltares.
- Bieman, J., & Smale, A. (2014). *Werkwijze bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden ten behoeve van nHWBP 2014 projecten, rapport nr. 1208992-000-HYE-008, Versie 4*. Delft: Deltares.
- Boers, M., den Bieman, J., & de Visser, M. (2015). *Schematiseringshandleiding Duinafslag WTI 2017, Rapport 1220085-003-HYE-0001, Versie 1.3*. Delft: Deltares.
- Breederveld, J., & Larsen, H. (2014). *ontwerp stabiliteitsschermen (type II) in primaire waterkeringen (groene versie)*. Delft: Deltares.
- Breedveld, J. (2014). *Handreiking keuze toetsaanpak per object, Heldere definiëring typen objecten, Toetsregels Kunstwerken. Rapport 1209438-006-GEO-0003 Versie vD1b*. Delft: Deltares.
- Calle, E. (1996). Characteristic values of geotechnical parameters. *Lecture notes PAO, Seminar on Soft Soil Engineering*.
- CROW. (2015). *Standaard RAW bepalingen 2015*.
- CUR. (2012). *Publicatie 166 Damwandconstructies*. Gouda: CUR.
- Davidse, R. (2015). *Werkwijzebeschrijving voor het uitvoeren van een geavanceerde toetsing op golfklappen op een bekleding van open steenasfalt*.
- de Waal, J., & de Visser, M. (2015). *Schematiseringshandleiding Hoogte. Rapport 1209432-006-GEO-0010, Versie 2*. Delft: Deltares.
- de Waal, J., & de Visser, M. (2015). *Schematiseringshandleiding Hydraulische condities bij de dijkteen. Rapport 1209432-006-GEO-0006, Versie 2*. Delft: Deltares.
- Delhez, R. (2015a). *Schematiseringshandleiding faalmechanisme niet sluiten, Toetsregels Kunstwerken. Rapport 1220087-002-GEO-0002, Versie D1*. Delft: Deltares.
- Delhez, R., & van Bree, B. (2015). *Schematiseringshandleiding Sterkte en stabiliteit puntconstructies. Rapport 1220087-004-GEO-0004, Versie D1*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2010c). *Studie voor Richtlijnen klei op dijktaluds in het rivierengebied*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2011). *Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken, rapportage 1001411-010-GEO-0007*.
- Deltares. (2012). *Gedetailleerde toetsmethode NWO's; achtergrondrapport*.
- Deltares. (2012a). *Technisch Rapport Voorland (concept)*.
- Deltares. (2012b). *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, rapportage 1202123-003-GEO-0002*.
- Deltares. (2012c). *SBW Slope Stability - Obtaining Strength Parameters from Penetration Tests, rapport nr. 1206015-001-GEO-0005*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2012d). *Achtergrondrapportage HR2011 voor zee en estuaria, WTI-HR2011*. Deltares rapport 1204143-002.
- Deltares. (2013a). *WTI Slope stability - Uncertainty quantification of undrained shear strength, rapport nr. 1207808-002-GEO-0003*.
- Deltares. (2013b). *Resultaten eerste ronde consequentieanalyse Dijken op Veen 2*. Delft.
- Deltares. (2013c). *Kalibratie van semi-probabilistische toetsvoorschriften. Algemeen gedeelte, rapport nr. 1207803-003-GEO-0002*.
- Deltares. (2013d). *Vergelijking resultaten SBW/WTI met DOV concept Rapport 1208254-042-GEO-0001, Versie 4*. Delft: Deltares.

- Deltares. (2013e). *Ontwerp stabiliteitsschermen (type II) in primaire waterkeringen (groene versie) – Ontwerprichtlijn voor WSRL, rapport 1205887-000-GEO-0016, v6*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2013f). *Ontwerp zelfstandig waterkerende constructies (type I) dijkversterking KIS, rapport 1205887-014-GEO-0002-jvm, v2*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2014). *gedetailleerde toetsmethode NWO-bebouwing, Plan van aanpak versie 2*.
- Deltares. (2014a). *Groningse kades en dijken bij geïnduceerde aardbevingen, Globale analyse van sterkte en benodigde maatregelen, rapport nr. 1208624-002-GEO-0003*.
- Deltares. (2014b). *Offerte “Aardbevingsbestendigheid kades noordzijde Eemskanaal”, kenmerk 1209319-000-GEO-0003*.
- Deltares. (2014c). *Technische uitgangspunten voorkeursalternatief koploperprojecten Rivierenland, rapport 1209137-000-GEO-0004*.
- Deltares. (2014d). *Dijken op Veen II Bouwsteen 5: Veiligheidsfilosofie*.
- Deltares. (2014e). *Erratum ontwerprichtlijn stabiliteitsschermen, rapport 1203849-080-GEO-0003, v1 concept*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2014f). *Ondergrondmodel Eemshaven-Delfzijl, Deltares memo 1210009-002-GEO-0001*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2014g). *Dijken op Veen II - Eindrapport Heterogeniteit, rapport nr 1208254-019-GEO-000*.
- Deltares. (2014h). *DOV werkwijze voor bepaling Macrostabieleit. Rapport 1208254-032-GEO-0001 v1 - Dijken op Veen II*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2014i). *Treatment of Schematisation uncertainties in WTI 2017*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2014j). *Dijken op Veen werkwijze voor bepaling Macrostabieleit Markermeerdijk. rapport 1208254-032-GEO-001*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2015). *WTI2017; Toetsregels Kunstwerken; Handreiking aansluitconstructies*.
- Deltares. (2015a). *Erosie van grasbekleding in golfploopzone Basis for safety assessment method*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2015b). *WTI 2017 product 5.12 Analyses grass erosion in wave overtopping conditions*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2015c). *Update detailed assessment on flow slides*.
- DHV/Bomenwacht. (2012). *BomenT fase 3 gedetailleerde toets*.
- ENW. (2007). *Technisch Rapport Duinafslag*.
- ENW. (2007a). *Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies*.
- ENW. (2008). *Addendum I bij de Leidraad Rivieren t.b.v. het ontwerpen van rivierdijken*.
- ENW. (2010). *Technisch Rapport Actuele sterkte van dijken*.
- ENW. (2012). *Technisch Rapport (TR) grondmechanisch schematiseren bij dijken*.
- EurOtop Team. (2007). *Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual*. Wallingford.
- Förster, U., de Visser, M., De Bruijn, H., Kruse, G., Hijma, M., & Vonhögen-Peeters, L. (2015). *Schematiseringshandleiding Faalmechanisme Piping bij dijken, WTI2017. Rapport 120084-006-geo-0001, Versie2*. Delft: Deltares.
- Fugro. (2008). *Achtergrond materiaalfactoren rivierdijken. Opdrachtnummer 1207-0055-000*.
- GeoDelft. (2000). *Microstabieleit: overzicht modelering, co 392440/81*.
- Hoven, A. v. (2015). *Schematiseringshandleiding voor toetsing grasbekledingen, rapport 1220086-003-HYE-002, Versie 2*. Delft: Deltares.
- Hoven, A. v. (2015a). *Schematiseringshandleiding voor toetsing microstabieleit WTI-2017 cluster 2, product 2.3B. rapport 1220083-009-GEO-0001, Versie 2*. Delft: Deltares.
- Hoven, A. v. (2015b). *Toetslaag 1 grasbekledingen WTI2017 product 5.3R 1209437-001-HEY-0001, versie 3*. Delft: Deltares.
- Hoven, A. v. (2015c). *Toetsschema's en foutenboom grasbekledingen, 1220086-001-HYE-0001 Versie 2*. Delft: Deltares.

- HWBP. (2014). *Handreiking Verkenning*.
- Jongejan, R., & Klein Breteler, M. (2015). *Semi-probabilistic assessments of the stability of block revetments under wave attack. Report nr. 1220080-004-ZWS-0002*. Delft: Deltares.
- Jongejan, R., van Duinen, T., Kuijper, B., & Vastenburg, E. (2014). *Beoordeling macrostabiliteit met ongedraineerd materiaalmodel definitief Probabilistische analyse en voorlopige veiligheidsfactoren. Rapport 1207808-001-GEO-0004, Versie 01*. Delft: Deltares.
- Klein Breteler, M. (2007). *Black box model voor afschuiving bij steenzettingen*. WL|Delft.
- Klein Breteler, M. (2015). *Residual strength of grass on clay in the wave impact zone, report 1209437-011-HYE-0004*. Delft: Deltares.
- Klein Breteler, M., & Mourik, G. (2015). *Schematiseringshandleiding voor toetsing steenzettingen WTI-2017, Cluster 5, product 5.35. rapport 1220086-013-HYE-0008, Versie 3*. Delft: Deltares.
- Knoeff, J., van der Meer, M., Woning, M., van Nieuwenhuijzen, L., Tromp, E., Leeuwdront, W., et al. (2013). *Handreiking Innovaties Waterkeringen Groene versie, rapportnr. 1207086-000-GEO-0008, versie 2*. Delft: Deltares.
- Kruse, G., & Hijma, M. (2015). *Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS, rapport 1209432-004-GEO-0002, versie 2*. Delft: Deltares.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2007). *Voorschrift toetsen op veiligheid primaire waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011*.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2008). *Aanpassing toetsmethodiek afschuiving bij steenzetting*.
- NEN. (2012). *NEN 3651:2012 nl Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken*.
- NPR. (2006). *NPR 3659 Ondergrondse pijpleidingen -grondslagen voor sterkteberekeningen*.
- Rijkswaterstaat. (2010). *Stappenplan Schematiseringsfactor*.
- Rijkswaterstaat. (2012). *Handreiking toetsen grasbekledingen op Dijken t.b.v het beheerdersoordeel*.
- Rijkswaterstaat. (2013). *Achtergrondrapport Ontwerpinstrumentarium 2014*.
- Rijkswaterstaat. (2014). *Werkwijzer Piping*.
- Rijkswaterstaat. (2014a). *Handreiking ontwerpen met overstromingskansen*.
- Rijkswaterstaat, Deltares. (2015). *Handreiking Dijkbekledingen, deel 4: Breuksteen*. Delft: Deltares.
- Rijkswaterstaat, Royal HaskoningDHV, Deltares. (2015). *Handreiking Dijkbekledingen, deel 1: Algemeen*. Delft: Deltares.
- Rijkswaterstaat, Royal HaskoningDHV, Deltares. (2015a). *Handreiking Dijkbekledingen, deel 2: Steenzettingen*. Delft: Deltares.
- Rijkswaterstaat, Royal HaskoningDHV, Deltares. (2015b). *Handreiking Dijkbekledingen, deel 3: Asfaltbekledingen*. Delft: Deltares.
- STOWA. (2000). *Handleiding voor beplanting op en nabij primaire waterkeringen*.
- STOWA. (2010). *State of the Art Asfaltdijkbekledingen*. Amersfoort: STOWA.
- STOWA/RWS. (verwacht 2016). *Handreiking Continu inzicht asfaltbekledingen*.
- 't Hart, R. (2015). *Schematiseringshandleiding toetsing asfaltbekledingen. rapport 1220086-013-HYE-0007-gbh*. Delft: Deltares.
- 't Hart, R., de Bruijn, H., & de Vries, G. (2016). *Fenomenologische beschrijving, Faalmechanismen WTI rapport 1220078-000-GEO-0010, Versie 2*. Delft: Deltares.
- TAW. (1985). *Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken. Deel 1 – Bovenrivierengebied*.
- TAW. (1989). *Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken. Deel 2 – Benedenrivierengebied*.
- TAW. (1994). *Handreiking Constructief Ontwerpen*.
- TAW. (1994a). *Handreiking Constructief Ontwerpen bijlagen 2-5*.



- TAW. (1999). *Leidraad Zee- en Meerdijken + basisrapport*.
- TAW. (1999a). *Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen*.
- TAW. (2001). *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies*.
- TAW. (2002). *Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren*.
- TAW. (2003). *Leidraad Kunstwerken*.
- TAW. (2003b). *Technisch Rapport Steenzettingen*.
- TAW. (2004). *Technisch Rapport Waterspanningen in Dijken*.
- TAW. (2009). *Technische Rapport Actuele sterkte van dijken*.
- van Bree, B. (2015). *Schematiseringshandleiding faalmechanisme onder- of achterloopsheid, Toetsregels Kunstwerken. Rapport 1220087-003-GEO-0003*. Delft: Deltares.
- van Bree, B. (2015). *Schematiseringshandleiding faalmechanisme overslag en/of overloop, Toetsregels Kunstwerken. Rapport 1220087-001-GEO-0001, Versie C1*. Delft: Deltares.
- van Deen, J. (2016). *Schematiseringshandleiding Afschuiving Voorland. Rapport 1220083-013-GEO*. Delft: Deltares.
- van Deen, J. (2016a). *Schematiseringshandleiding golfafslag voorland*. Delft: Deltares.
- Van Deen, J., & Van Duinen, A. (2015). *Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit. rapport 1220083-008-GEO-0003, Versie 05*. Delft: Deltares.
- van den Ham, G. (2015). *Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing. Rapport 1220078-007-GEO-0007, Versie 4*. Delft: Deltares.
- van der Meij, R., & Sellmeijer, J. (2010). A Genetic Algorithm for Solving Slope Stability Problems: from Bishop to a Free Slip Plane. *7th european conference on numerical methods in geotechnical engineering (NUMGE)*. Trondheim: Balkema.
- Vanmarcke, E. (1977). Probabilistic Modeling of Soil Profiles. *Journal of the Geotechnical Engineering Division (GT11)*, 1227–1247.
- Voortman, H., Vrouwenvelder, T., & Toorn, A. v. (2015). *Notitie over de definities van Falen-Normfalen-Bezwingen*.
- Witteveen en Bos. (2013). *Review notitie DHV/Bomenwacht*.

## A Zonering en profielen

In deze bijlage worden een aantal (kern)begrippen en definities gegeven die van belang zijn voor het doorlopen van een aantal toetsporen. Verder wordt een methodiek beschreven voor het bepalen van het beoordelingsprofiel.

### A.1 Kernbegrippen

Bij de navolgende begrippen wordt onderscheid gemaakt tussen:

Een lijn	Dit is een begrenzing langs de waterkering in een bovenaanzicht.
Een profiel	Dit is een geometrie in een dwarsdoorsnede.
Een zone	Dit is een strook langs de waterkering in een bovenaanzicht.
Invloedsprofiel	Een invloedsprofiel is het minimale dijkprofiel dat noodzakelijk is om voor een specifiek faalmechanisme juist aan de norm te voldoen.
Beoordelingsprofiel	Het beoordelingsprofiel is het minimale profiel dat noodzakelijk is om voor alle directe faalmechanismen juist aan de norm te voldoen. Het beoordelingsprofiel is een hulpmiddel bij het <i>toetsen</i> om de invloed van de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten (NWO's) op het waterkerend vermogen te kunnen beoordelen. De methodiek voor het bepalen van het beoordelingsprofiel wordt beschreven in paragraaf A.2.2.

In deze paragraaf wordt een toelichting gegeven op de volgende begrippen:

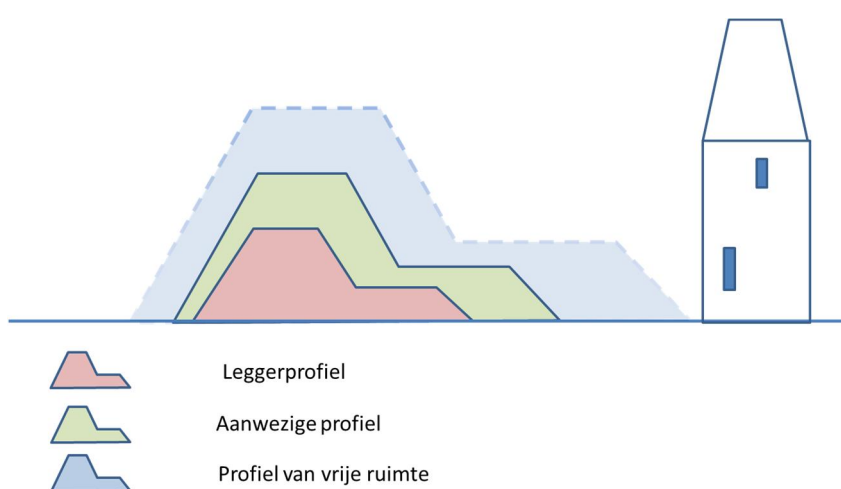
- Leggerprofiel.
- Profiel van vrije ruimte.
- Waterstaatswerk.
- Beschermingszone.
- Invloedszone.
- Verstoringzone, verstoringsgrens en verstoringprofiel.
- Signaleringsprofiel.

#### *Leggerprofiel*

In de legger is omschreven waaraan waterstaatswerken naar ligging, vorm, afmeting en constructie moeten voldoen. De ligging, vorm, afmeting en constructie die wordt opgenomen in de legger moet zodanig zijn dat deze minimaal in overeenstemming is met de wettelijke veiligheidsnorm. De legger bevat een overzichtskaart, waarop de ligging van de kering en de daaraan grenzende beschermingszones worden aangegeven. Met de overzichtskaart worden de verschillende verbods- en gebodsregimes van de keur ruimtelijk vertaald. De functie van de legger is om inzage te geven in de beheertaken en onderhoudsplichten van de in de legger opgenomen waterstaatswerken. Door vastlegging van een waterstaatswerk in de legger wordt duidelijk waar de plichten en voorschriften uit de Waterwet en Keur gelden.

### Profiel van vrije ruimte

De uitbreidbaarheid van de waterkering wordt in de regel door de dijkbeheerder gewaarborgd door toepassing van een profiel van vrije ruimte. Door het bepalen van een profiel van vrije ruimte kan de dijkbeheerder aangeven welke ruimte door een toekomstige dijkverzwaring binnen een aan te geven planperiode (bijvoorbeeld 100 of 200 jaar), in beslag zal worden genomen. Het profiel van vrije ruimte is, evenals de invloedzone, een toetsingskader van de beheerder bij het verlenen van vergunningen. De beheerder kan zo aan de hand van het aangeven van het profiel van vrije ruimte een op de toekomst gericht beleid voor een primaire waterkering ontwikkelen, waarbij ruimtelijke reserveringen of voorwaarden van belang voor toekomstige dijkverzwaringen mogelijk worden. In dit beleid wordt er dus rekening mee gehouden dat toekomstige dijkversterkingen nog mogelijk moeten zijn zonder dat tot het afbreken of verwijderen van bebouwing moet worden overgegaan.



Figuur A.1 Voorbeeld van verschillende profielen

### Waterstaatswerk en beschermingszones

In de keur van waterschappen en hoogheemraadschappen worden in het algemeen twee zones beschreven, die van belang zijn voor de veiligheid en het vergunningenbeleid van de waterkeringsbeheerder:

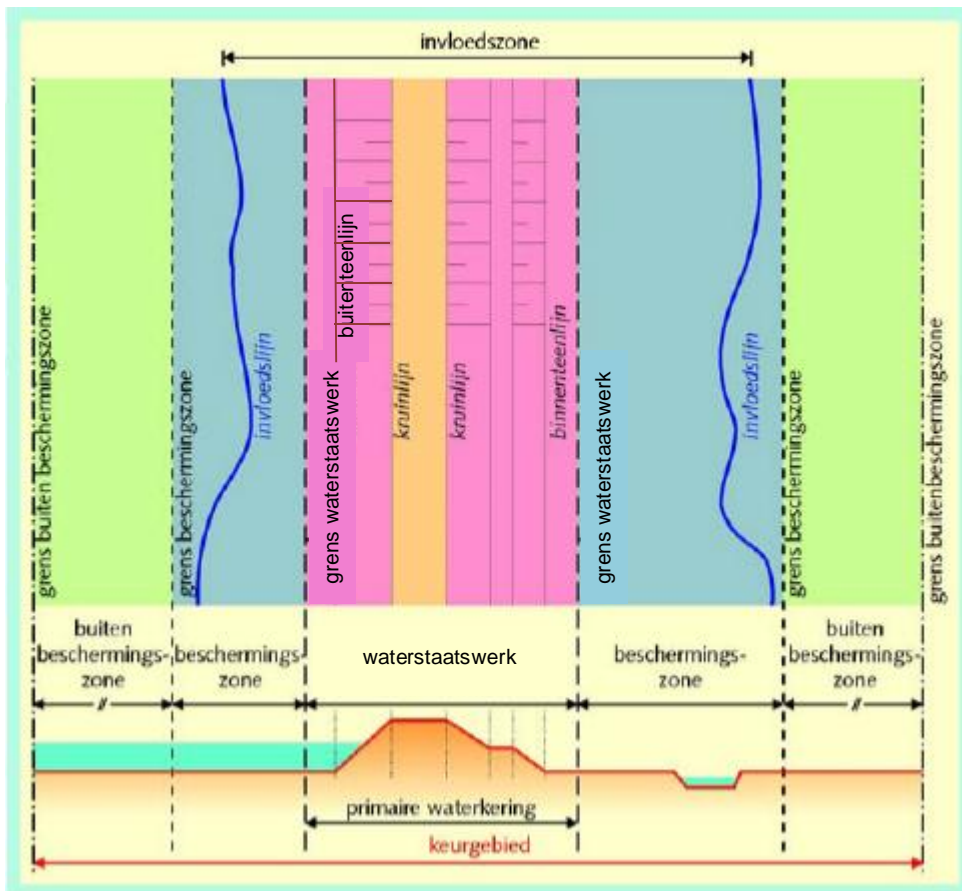
1. Waterstaatswerk,
2. Beschermingszone (zowel aan de binnen- als aan de buitenzijde),

#### *Waterstaatswerk*

Het waterstaatswerk bestaat uit het dijklichaam plus de stroken grond ter weerszijden, die de stabiliteit van de waterkering onder maatgevende omstandigheden waarborgen. De grens van het waterstaatswerk bestaat daarbij uit de omhullende van de invloedsgrenzen die voor de verschillende faalmechanismen van een waterkering kunnen worden opgesteld. Binnen het waterstaatswerk geldt het strengste gebodsregime.

#### *Beschermingszone en buitenbeschermingszone*

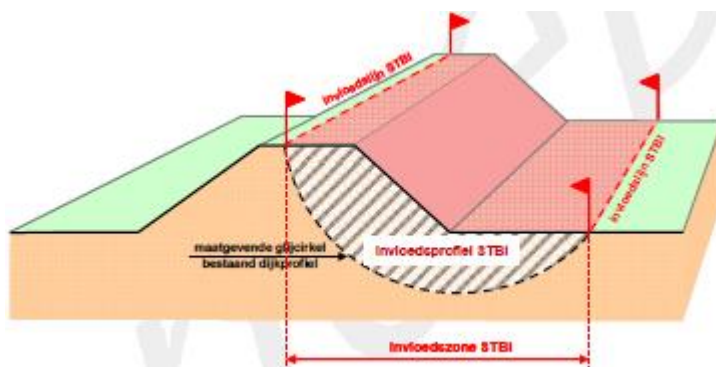
De beschermingszone betreft de stroken grond die ter weerszijden aansluiten aan het waterstaatswerk. De beschermingszone is nodig om aantasting van de waterkering door bijzondere belastingen (delfstofwinning, seismisch onderzoek, explosies van leidingen) te voorkomen. In de beschermingszone is er een beperkt gebodsregime.



Figuur A.2 Dwarsprofiel van een dijk met benamingen volgens de keur

### Invloedszone

De invloedszone van de waterkering is de zone waarbinnen de invloed van een bepaald faalmechanisme aanwezig is. Een voorbeeld daarvan is de stabiliteitszone, die representatief is voor het faalmechanisme macro-instabiliteit. De invloeds grenzen zijn de begrenzingen daarvan, terwijl het invloedsprofiel de oppervlakte in het dwarsprofiel is waarbinnen de invloed van een bepaald faalmechanisme zich doet gelden. In Figuur A-3 staat een voorbeeld van de invloedslijn, -zone en -profiel voor macro-instabiliteit (beoordelingssporen STBI).



Figuur A.3 Voorbeeld van invloedsgrens, -zone en -profiel voor macrostabiliteit binnenwaarts

Verstoringszone, verstoringsgrens en verstoringsprofiel

Door de aanwezigheid van of een calamiteit aan een niet-waterkerend object kan er sprake zijn van verstoring van de waterkerende functie in een bepaalde zone rondom het NWO, die verstoringszone wordt genoemd. De verstoringsgrens is de horizontale begrenzing daarvan op het maaiveld, terwijl de 2-dimensionale begrenzing daarvan in het dwarsprofiel het verstoringsprofiel wordt genoemd.

Signaleringsprofiel (voorland)

Het signaleringsprofiel is het profiel van het voorland dat minimaal aanwezig moet zijn om te voorkomen dat een eventuele golfafslag, afschuiving of zettingsvloeiing schadelijk kan zijn voor de waterkering. Voor de bepaling van het signaleringsprofiel, zie de Hoofdstukken 20, 21 en 22.

**A.2 Het beoordelingsprofiel****A.2.1 Inleiding**

In deze paragraaf wordt de bepaling van een beoordelingsprofiel voor de toetsing van niet-waterkerende objecten beschreven en wordt aangegeven welke stappen worden doorlopen om te komen tot een beoordelingsprofiel. Het beoordelingsprofiel is een hulpmiddel bij het toetsen van een waterkering. Bijvoorbeeld om de invloed van de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten op het waterkerend vermogen te kunnen beoordelen.

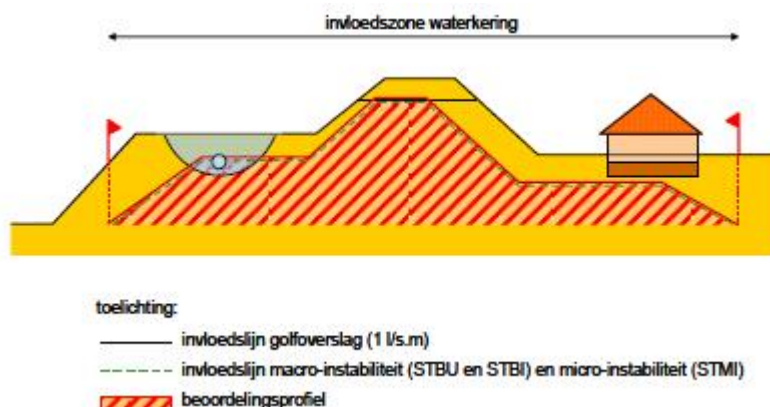
Er zijn verschillende werkwijzen mogelijk om te komen tot een beoordelingsprofiel dat aan alle beoordelingssporen voldoet. Deze werkwijzen variëren van eenvoudig en ruim tot gedetailleerd en daardoor meer maatwerk. Afhankelijk van het resultaat van een beoordeling voldoet een eenvoudige werkwijze of moet een meer gedetailleerde werkwijze worden toegepast, waarbij per faalmechanisme het restprofiel na bezwijken moet worden bepaald. De toetser bepaalt volgens welke werkwijze het beoordelingsprofiel wordt vastgesteld. De verschillende werkwijzen zijn:

Werkwijze 1	Bepaal het beoordelingsprofiel op basis van de veilige afmetingen die kunnen worden afgeleid uit de eisen aan de geometrische kenmerken die worden gesteld door de Eenvoudige toets;
Werkwijze 2	Bepaal het beoordelingsprofiel op basis van geotechnische berekeningen zoals zijn voorgeschreven in de verschillende gedetailleerde toetssporen. De rekenmethoden voor de verschillende mechanismen zoals gebruikt voor de Gedetailleerde toets kunnen hiervoor worden gebruikt.

**A.2.2 Bepaling beoordelingsprofiel**

Eerst moet worden nagegaan of het opstellen van een beoordelingsprofiel voor de specifieke situatie zinvol is. In enkele gevallen kan direct een eindscore worden toegekend. Vervolgens wordt per beoordelingsspoor het invloedsprofiel bepaald en worden begrenzingen aangegeven waarbinnen het te beoordelen faalmechanisme mogelijk nog van invloed is op het waterkerend vermogen van het beoordelingsprofiel. Uiteindelijk wordt het beoordelingsprofiel bepaald door het tekenen van de contourlijn voor de verzameling van alle invloedsprofielen per mechanisme. De begrenzingen van de invloedszone aan de binnen- en buitendijkse zijde van de waterkering worden zodanig vastgesteld dat de grond buiten de invloedszone niet meer noodzakelijk bijdraagt aan het waarborgen van het waterkerend vermogen. In Figuur A-4 is een voorbeeld gegeven van een beoordelingsprofiel. In deze figuur is het beoordelingsprofiel samengesteld uit verschillende invloedsprofielen voor de afzonderlijke beoordelingssporen Macrostabiel Buitenwaarts (STBU), Grasbekleding Erosie

Kruin en Binnentalud (GEKB), Macrostabieliteit Binnenwaarts (STBI) en Microstabieliteit (STMI) en Piping (STPH).



Figuur A.4 Voorbeeld van beoordelingsprofiel voor een overgedimensioneerde dijk met een breed en hoog voorland.

#### Bepalen van invloedsprofielen en invloedsgrenzen

Het beoordelingsprofiel wordt bepaald volgens de volgende stappen:

**Stap 1:** Bepaal invloedsprofielen voor de volgende beoordelingsprofielen:

- a) STBU/Bekledingen
- b) HT
- c) STBI
- d) STPH
- e) STMI

**Stap 2:** Bepaal beoordelingsprofiel

*Beoordelingsprofiel = contourlijn invloedsprofielen + begrenzingen*

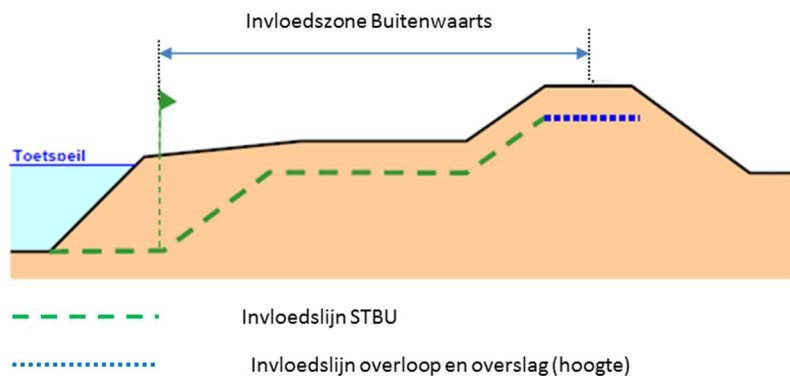
#### Stap 1: bepalen invloedsprofielen

##### *Invloedsprofiel Macrostabieliteit buitenwaarts STBU en Bekledingen*

Als het falen van een niet-waterkerend object op het voorland kan leiden tot onvoldoende veiligheid ten aanzien van erosie, is de invloedslijn voor Macrostabieliteit buitenwaarts gelijk aan het fysiek aanwezige maaiveld. In het andere geval kan een scherpere invloedslijn worden opgesteld. Eerst worden de voorwaarden ten aanzien van erosiebestendigheid van het voorland behandeld, daarna de regels voor de scherpere invloedslijn.

##### *Invloedsprofiel voor Macrostabieliteit buitenwaarts (STBU)*

Indien wordt voldaan aan de voorwaarden voor erosiebestendigheid kan een invloedsprofiel voor Macrostabieliteit buitenwaarts worden bepaald. Indien voor het buitentalud een ontwerpprofiel beschikbaar is, kan dit worden beschouwd als het invloedsprofiel.



Figuur A.5 Invloedsprofielen voor Macrostabieliteit buitenwaarts STBU en Erosie Kruijn en Binnentalud (GEKB)

#### Invloedsprofiel Hoogte HT

De hoogte van de kruijn van het beoordelingsprofiel wordt als volgt vastgelegd:

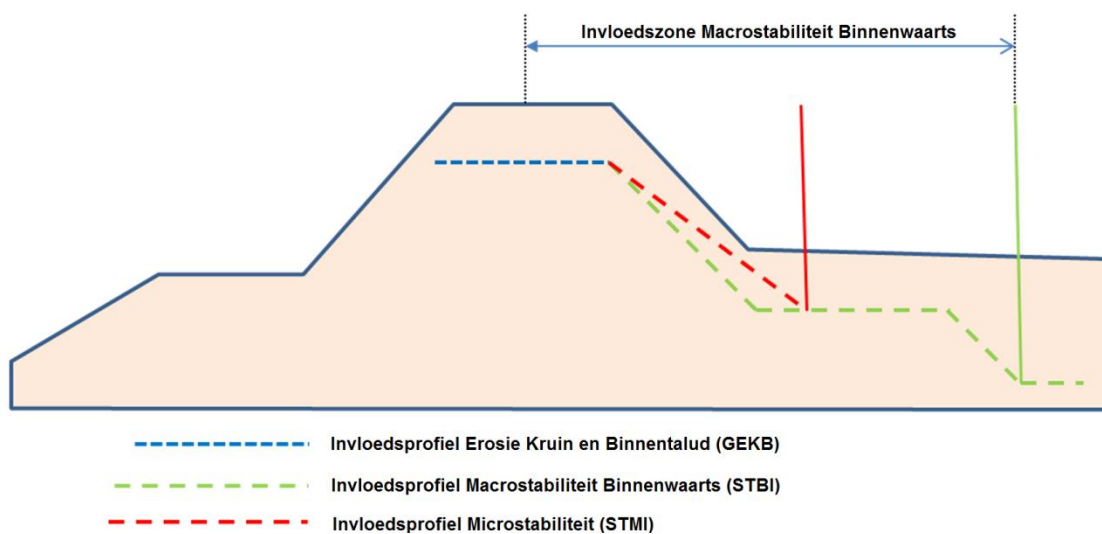
- De kruijnhogte wordt is de werkelijke aanwezige kruijnhogte welke over een afstand gerekend vanaf de buitenkruijnlijn over een afstand van 2 m of 3 m minimaal aanwezig moet zijn. De kruijnhogte moet zodanig bepaald zijn dat de bijbehorende hydraulische belasting het restprofiel na afschuiving voldoende stabiel is
- De kruijnbreedte is 2 m voor zee- en meerdijken en 3 m voor rivierdijken.
- De op deze wijze in hoogte en breedte vastgestelde invloedsprofiel moet passen binnen het fysiek aanwezige profiel.

De as van de kruijn van het beoordelingsprofiel valt samen met de as van de waterkering. Onder strikte voorwaarden kan worden besloten om de as van het beoordelingsprofiel te verschuiven ten opzichte van de as van de waterkering. Deze voorwaarden zijn:

- Het beoordelingsprofiel moet binnen het fysieke grondlichaam vallen.
- In lengterichting van de waterkering moet sprake zijn van een aaneengesloten kruijn van het beoordelingsprofiel.

#### Invloedsprofiel Macro-instabiliteit binnenwaarts STBI

Voor de beoordelingssporen Macrostabieliteit Binnenwaarts (STBI) is de ligging van de invloedsprofiel afhankelijk van het al dan niet gevoelig zijn voor opdrijven of opbarsten van het binnendijkse maaiveld. Opdrijven van het achterland heeft een grote invloed op de het mechanisme macro-instabiliteit. Indien voor deze specifieke situatie een ontwerpprofiel beschikbaar is, kan dit worden gebruikt als invloedsprofiel. Indien geen ontwerpprofiel beschikbaar is en opdrijven een rol kan spelen, is er geen globale toetsing mogelijk. Het invloedsprofiel ligt in dit geval op het fysieke binnentalud en achterliggende maaiveld. De invloedszone kan in dit geval worden bepaald op basis van geotechnische berekeningen volgens de drukstaafmethode. Indien opdrijven van het fysieke maaiveld kan deze methode niet worden toegepast. De invloedslijn moet dan worden bepaald op basis van een geotechnische berekening (werkwijze 2).



Figuur A.6 Invloedspromen voor Erosie Kruin en Binnentalud (GEKB), Binnenwaartse Macrostabiliteit (STBI) en Microstabiliteit (STMI)

#### Invloedslijn Piping/heave (STPH)

De invloedslijn voor piping/heave volgt uit piping berekeningen. De hoogteligging van de invloedslijn binnendijks wordt bepaald op basis van het opdrijf en heave criterium. De hoogte van de invloedslijn buitenwaarts wordt bepaald door de dikte van het waterremmende pakken in het voorland. Er moet in het voorland tenminste een waterremmende laag met een dikte van 1,5 m op de watervoerende zandlaag aanwezig zijn om deze lengte als kwelweglengte te mogen meetellen. De terugschrijdende erosie bepaald de benodigde kwelweglengte. Deze bevindt zich al veelal deel aan de buiten en deels aan de binnenzijde van de waterkering

#### Invloedslijn Microstabiliteit (STBI)

Het mechanisme micro-instabiliteit kan alleen een rol spelen indien er sprake is van een dijk met zandige kern, er water op het binnentalud kan uittreden of de kleibekleding op het binnentalud kan worden opgedrukt door hoge waterspanningen in de zandkern van de dijk en het binnentalud steiler is dan 1V:5H.

### **Stap 2: Opstellen beoordelingsprofiel**

Het beoordelingsprofiel is de contourlijn van alle invloedspromen samen. Het beoordelingsprofiel wordt aan binnen- en aan buitendijkse zijde begrensd; dit zijn de uiteindelijk aan te houden begrenzingen van de invloedzone. Deze begrenzing wordt bepaald door van de begrenzingslijnen per beoordelingsspoor de meest ver van de dijk gelegen begrenzing te nemen (zie Figuur 23-4). Buiten deze begrenzingslijnen vormen verstoringszones door niet-waterkerende objecten geen bedreiging ten aanzien van de beschouwde mechanismen. Opgemerkt wordt dat langsconstructies (STKWI) deel uit kunnen maken van het beoordelingsprofiel. Hierbij geldt steeds als algemene regel dat het beoordelingsprofiel (inclusief de langsconstructie) voldoet aan alle beoordelingssporen van de toetsing. Tevens dient hierbij te worden bedacht dat bij een dergelijke constructie de bepaling van de invloedslijnen en de begrenzing van de invloedzones kan afwijken van de in deze paragraaf beschreven methode.



## B Ondergrondscenario's

De opbouw van de ondergrond in, onder of naast de waterkering wordt gekarakteriseerd door lagen waarvan de eigenschappen tussen beperkte grenzen variëren. De grondeigenschappen, zoals de sterkte of de dichtheid worden bepaald door metingen, op grond waarvan de laageigenschappen worden gekarakteriseerd met een verwachtingswaarde en een spreiding.

Echter, niet alleen de grondeigenschappen zijn onzeker, maar ook de niveaus van de laagscheidingen zullen van plaats tot plaats verschillen. Informatie over de ligging en de variabiliteit daarin binnen een te beoordelen vak worden verkregen uit metingen zoals sonderingen en boringen. Omdat de ligging van de laagscheidingen variabel is, zijn ook de dikten van de onderscheiden lagen onzeker.

De onzekerheid in de laagopbouw is voor verschillende faalmechanismen van belang. Het gaat vooral om Macrostabieliteit, Piping en Voorlanden.

Voor een dijkvak kan als gevolg van de variabiliteit en de onzekerheid in de laagopbouw niet worden volstaan met een enkele geschematiseerde dwarsdoorsnede met een zekere laagopbouw. Daarom wordt in de Gedetailleerde toets voor de genoemde mechanismen rekening gehouden met verschillende scenario's van de grondopbouw. De bodemopbouw scenario's volgen uit de stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS). De scenario's waarmee wordt gerekend, bevatten ieder een specifieke bodemopbouw en vastlegging van de geo-hydrologie. Een scenario heeft geen effect op de hoeveelheid en kansverdelingstype van de onzekere grondeigenschappen (de stochasten), maar wel op de parameters van de kansverdelingen.

Aan elk scenario ( $i$ ) wordt een kans van optreden verbonden ( $P(S_i)$ ). De sommatie van deze kansen dient gelijk te zijn aan 1:

$$\sum_{i=1}^n P(S_i) = 1$$

Gegeven een specifiek ondergrondscenario kan vervolgens de faalkans voor het betreffende mechanisme, gegeven het scenario  $i$  worden bepaald ( $P_{f;i}$ ).

Om te komen tot de kans op falen van het dijkvak als gevolg van het beschouwde mechanisme moet de faalkans per scenario worden vermenigvuldigd met de kans op dat scenario en dat product moet voor alle scenario's worden gesommeerd:

$$P_{f;dsn} = \sum_{i=1}^n (P(S_i) \cdot P_{f;i})$$

Waarin:

$P(S_i)$	Kans van voorkomen van een scenario $i$ [-]
$P_{f;dsn}$	Berekende faalkans per doorsnede [1/jaar]
$P_{f;i}$	Berekende faalkans bij scenario $i$ [1/jaar]

Voor de semi-probabilistische beoordeling per dijkvak (toetslaag 2a) moet deze faalkans worden vergeleken met de faalkanseis op doorsnedeniveau ( $P_{eis;dsn}$ ):

$$P_{f;dsn} \leq P_{eis;dsn}$$

In paragraaf 2.2.2 is de wijze waarop de eis op doorsnedeniveau wordt afgeleid uit de norm beschreven voor de semi-probabilistische beoordeling.

De faalkans per scenario wordt gevonden op basis van de kalibratie tussen de  $\beta$ -afhankelijke veiligheidsfactoren en het vereiste niveau.

Deze gekalibreerde relatie wordt hiervoor omgekeerd toegepast waarmee een veilige inschatting, of benadering van de faalkans kan worden gevonden.

De faalkans per scenario is als volgt gedefinieerd:

$$P_{f;i} = 1 - \Phi\left\{f^{-1}\left(\gamma_{\beta^*}\right)\right\}$$

Waarin:

$P_{f;i}$	Faalkans van scenario $i$ [1/jaar]
$f^{-1}$	Inverse van de gekalibreerde relatie tussen $\gamma_{\beta}$ en $P_{eis;dsn}$
$\gamma_{\beta^*}$	Waarde van de $\beta$ -afhankelijke veiligheidsfactor waarvoor geldt dat $R_d = S_d$ .
$R_d$	Rekenwaarde voor de sterkte
$S_d$	Rekenwaarde voor de belasting

In de hoofdstukken betreffende macrostabiliteit, piping en voorland is de kalibratie en de inverse kalibratie weergegeven.

## C Rekenregels voor gedetailleerde toets op zettingsvloeiing

### C.1 Stap A - Bepaal optredingskans zettingsvloeiing per ondergrondscenario $P(ZV|S_i)$ voor het betreffende vak

Eerst wordt de frequentie van optreden  $F(ZV|S_i)$  berekend met:

$$F(ZV|S_i) = \left(\frac{5}{\cot\alpha_R}\right)^5 \left\{ 0.5 \cdot \left(\frac{H_R}{24}\right)^{2.5} \cdot \left(\frac{1}{10}\right)^{-10 \cdot (0.05 + \psi_{5m, kar})} + 0.5 \cdot \left(\frac{H}{24}\right)^5 \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^{-4}}{d_{50, gemiddeld, kar}}\right)^5 \cdot F_{cohesivelayers} \right\} \cdot L_{vak} \cdot \frac{V_{lokaal}}{V_{Zeeland}} \cdot 0.025 \cdot year^{-1} \quad \text{Vgl 29.1}$$

Waarin:

$L_{vak}$  de lengte van het dijkvak [km]

Vervolgens kan de frequentie omgerekend worden in een kans van optreden  $P(ZV|S_i)$  met:

$$P(ZV|S_i) = 1 - e^{-F(ZV|S_i)} \quad \text{Vgl 29.2}$$

De parameters zijn hieronder beknopt beschreven, waarbij de parameters zijn onderverdeeld in parameters die betrekking hebben op de geometrie, de grondeigenschappen en –toestand en de beweeglijkheid van de vooroever.

#### Geometrie:

De schematisatie van het meest ongunstige *rekentalud* in de beoordelingsperiode wordt gekarakteriseerd door een fictieve taludhoogte  $H_R$  [m] en een bijbehorende taludhelling  $\alpha_R$  [graden] (zie Figuur C.1 en paragraaf 6.2.2 uit (van den Ham, 2015)). De taludhelling  $\alpha_R$  volgt uit de schematisatie van het meest ongunstige dwarsprofiel in de beoordelingsperiode; de fictieve taludhoogte  $H_R$  wordt als volgt berekend:

$$H_R = H_{geul} + \Delta h_{onder} + 2 \cdot h_{dijk} \cdot \frac{\cot(\alpha_R)}{\cot(\alpha'_{boven})} \quad \text{Vgl 29.3}$$

Met:

$$\alpha'_{boven} = \arctan \left\{ \frac{2h_{dijk}}{B + 2h_{dijk} \cdot \cot(\alpha_{boven})} \right\}$$

Waarin:

$H_{geul}$  geuldiepte [m]

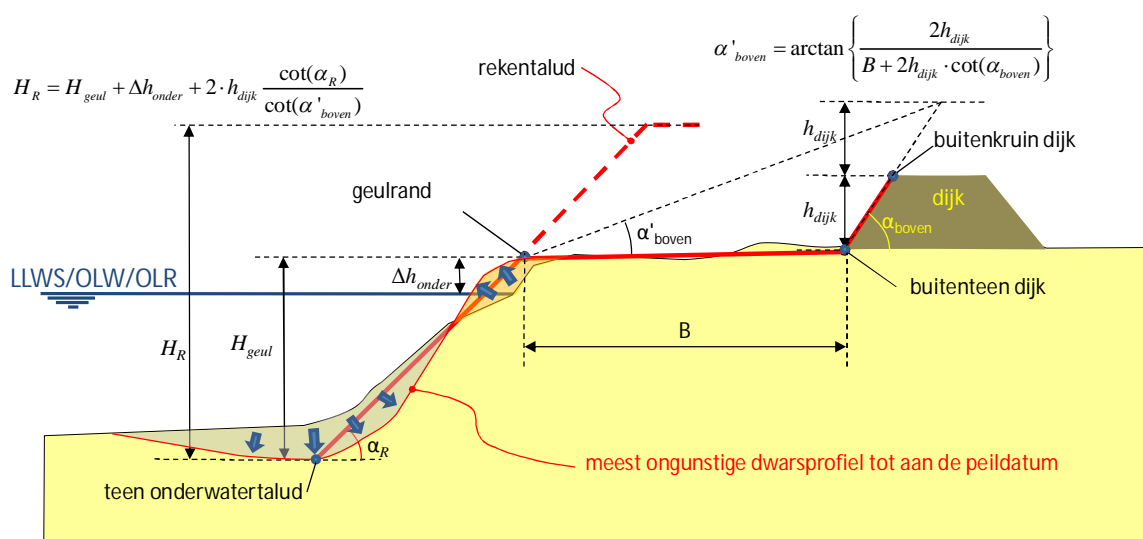
$\Delta h_{onder}$  hoogte van de geulhelling die bij extreem laagwater boven water ligt: “niveau van geulrand” – “niveau LLWS/OLW/OLR” [m]

$h_{dijk}$	hoogte van het waterkerend grondlichaam ten opzichte van de buitenteen van de dijk [m]
$B$	breedte van het voorland, voor een schaaldijk geldt $B = 0$ [m]
$\cot(\alpha)$	cotangens van de taludhelling $\alpha$ [-]
$\alpha_R$	rekenwaarde voor de taludhelling van het fictieve dwarsprofiel = taludhelling van het geschematiseerde onderwatertalud, ten opzichte van horizontaal [graden]
$\alpha_{boven}$	helling van het buitentalud van de buitenteen van de dijk naar de buitenkruinlijn, ten opzichte van horizontaal [graden]
$\alpha'_{boven}$	fictieve taludhelling van de rand van het voorland naar de fictieve buitenkruinlijn van de $2 \cdot h_{dijk}$ -hoge dijk, ten opzichte van horizontaal. Voor een schaaldijk geldt $\alpha'_{boven} = \alpha_{boven}$ [graden]

Verder is in onderstaande figuur:

- LLWS meerjarig gemiddelde van het laagste springlaagwater ten opzichte van NAP, geldig in het kustgebied en de estuaria.
- OLW Overeengekomen Laag Water ten opzichte van NAP, geldig in het benedenrivierengebied (in Waal stroomafwaarts van Tiel).
- OLR Overeengekomen Lage Rivierstand ten opzichte van NAP, geldig in het bovenrivierengebied (in Waal stroomopwaarts van Tiel), hetgeen overeenkomt met de Overeengekomen Lage Afvoer bij Lobith.

Hoe geulrand, teen onderwatertalud, buitenteen dijk en buitenkruinlijn dijk, bepaald moeten worden staat in meer detail beschreven in de schematiseringshandleiding.



Figuur C.1 Schematisatie van meest ongunstige geometrie in de beoordelingsperiode met bepaling van de rekentaludhoogte  $H_R$  en de rekentaludhelling  $\alpha_R$

#### Materiaalparameters:

- $\psi_{5m, kar}$  de karakteristieke waarde van  $\psi_{5m}$  [-].  $\psi_{5m}$  is het gemiddelde van de state parameter  $\psi$  over in totaal 5 m (verticaal) van de meest zettingsgevoelige (= hoge  $\psi$ -waarde) lagen gelegen tussen de geulrand en  $0,5 H_R$  onder de geulbodem.
- $d_{50, gemiddeld, kar}$  de karakteristieke waarde van  $d_{50, gemiddeld}$  [m].  $d_{50, gemiddeld}$  is de gemiddelde mediane korrel diameter is over alle zand- en siltlagen tussen geulrand en geulbodem.

$F_{cohesivelayers}$  is een parameter die de invloed van stoorlagen uitdrukt [-].

Hoe de waarde van bovenstaande parameters te bepalen, is beschreven in de schematiseringshandleiding.

#### Beweeglijkheid:

De beweeglijkheid van de voorlandgeometrie wordt gegeven door een lokaal bepaalde waarde  $V_{lokaal}$  en een referentiewaarde  $V_{zeeland}$ :

$V_{lokaal}$  een maat voor de beweeglijkheid van de vooroever [m/jaar]. Deze kan bepaald worden door de grootste waarde te nemen van:

- De snelheid van de terugschrijding of vooruitgang van de waterlijn.
- De terugschrijding of vooruitgang van het gemiddelde talud.
- De snelheid van de verdieping aan de teen maal  $\cot(\alpha_R)$ .

De minimale waarde die ingevuld moet worden voor  $V_{lokaal}$  is 0,01 m/jaar.

$V_{zeeland}$  de beweeglijkheid van een gemiddelde Zeeuwse vooroever, waarop de optredingskansformule in de Gedetailleerde toets gebaseerd is [m/jaar]. Voor  $V_{zeeland}$  kan 1 m/jaar gekozen worden.

### **C.2 Stap B - Bepaling optredingskans zettingsvloeiing voor alle grondopbouwscenario's P(ZV)**

Combineer de optredingskans per ondergrondscenario, zoals bepaald met *Vgl 29.2*, tot de totale optredingskans (zie (Deltares, 2014i) ):

$$P(ZV) = \sum_i P(ZV|S_i)P(S_i) \quad \text{Vgl } 29.4$$

waarin  $P(S_i)$  de kans van aantreffen op scenario  $S_i$  is. Hierbij geldt dat  $\sum_i P(S_i) = 1$ .

### **C.3 Stap C - Bepaal overschrijdingskans toelaatbare inscharingslengte gegeven een vloeiing $P(L > L_{toelaatbaar}|ZV)$**

Als een zettingsvloeiing plaatsvindt, zal een deel van het vervloeiide materiaal naar de zijanten afvloeien. Door dit tweedimensionale effect zal de oppervlakte van de verdwenen grond bovenin het dwarsprofiel (oppervlak 1 in Figuur C.2) ongeveer een factor 1,4 groter zijn dan de oppervlakte van de grond die er aan de onderkant (oppervlak 2) bijkomt. Het uitvloeiingsprofiel heeft ook niet één gelijkmatige taludgradiënt maar bestaat uit ruwweg twee delen; een zeer flauw ondergedeelte en een steiler bovengedeelte. Indien deze verhouding wordt meegenomen, luidt de formule<sup>3</sup>:

$$L = ax - Db \quad \text{Vgl } 29.5$$

Met:

<sup>3</sup> Formule geldt alleen als  $c \neq 1$ . Als  $c = 1$  geldt  $X = \frac{1}{2}H + \frac{1}{2} \frac{D^2}{H} \cdot \frac{b}{a}$

$$x = \frac{-cH + \sqrt{(cH)^2 + (1-c) \left( \frac{D^2 b}{a} + H^2 c \right)}}{(1-c)}$$

$$a = \cot \gamma - \cot \alpha$$

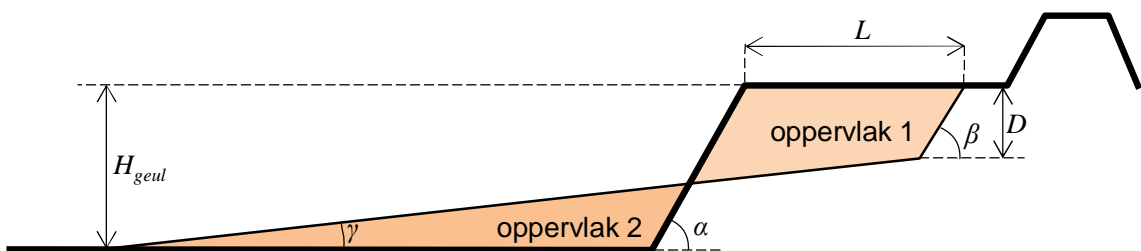
$$b = \cot \gamma - \cot \beta$$

Waarin:

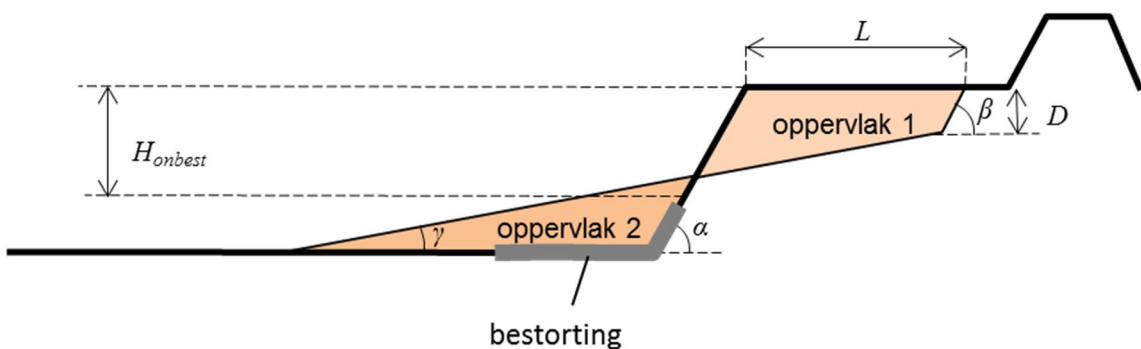
$c$  verhouding tussen oppervlak 1 en oppervlak 2 ( $A_1 = cA_2$ ) [-]

$H$  totale hoogte van het onderwatertalud, moet de werkelijke hoogte tot aan het voorland worden genomen (en dus niet fictieve rekenhoogte  $H_R$ ) [m]. In geval van een onbestort onder water talud of als sprake is van een bestorting op een gedeelte van het talud, dat niet doorloopt tot in het diepste punt van de geul, geldt:  $H = H_{geul}$ . Indien er gedeeltelijk bestorting aanwezig is die begint in het diepste punt van de geul, geldt  $H = H_{onbest}$

$D$  steile gedeelte van het uitvloeiingsprofiel [m]



Figuur C.2 Geschematiseerd restprofiel ten behoeve van gedetailleerde toets



Figuur C.3 Geschematiseerd restprofiel ten behoeve van gedetailleerde toets, voor situatie met gedeeltelijke bestorting die onderin de geul begint

De variabelen in bovenstaande formule zijn onzeker. Op basis van statistische analyse van de geometrische kenmerken van circa 140 vloeiingen in de Zuidwestelijke Delta is voor elke variabele de verwachtingswaarde, standaardafwijking en het type verdeling bepaald. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

X	$\mu(X)$	$\sigma(X)$	Type verdeling	Onderliggende normale verdeling	
				$\mu(Y)$	$\sigma(Y)$
$\cot(\gamma)$	16,8	7,1	Lognormaal	2,82	0,38
$\cot(\beta)$	2,9	1,7	Lognormaal	1,05	0,47
D/H	0,43	0,06	Normaal		
c	1,4	0,1	Normaal		
$\cot(\alpha)$		$0,05 \cdot E(X)$	Normaal		

Tabel C.1 Overzicht geometrische variabelen. Omrekening verwachtingswaarde en standaardafwijking vanuit het gemiddelde en standaardafwijking van de onderliggende lognormale verdeling  $\mu(X)=\exp(\mu(Y))$  en  $\sigma(X)=\exp(\mu(Y)+\sigma(Y))-\exp(\mu(Y))$ .

Voor bepaling van de kans op overschrijding van de toelaatbare inscharingslengte moet de volgende betrouwbaarheidsfunctie opgelost worden:

$$Z = L_{\text{toelaatbaar}} - L \quad \text{Vgl 29.6}$$

Deze functie kan exact opgelost worden door de kansdichtheidsfuncties van alle variabelen in bovenstaande tabel mee te nemen (probabilistische berekening op niveau III) of door de functie te lineariseren in het ontwerp punt, waarbij de kansverdeling van elke variabele wordt benaderd door een standaard normale verdeling (probabilistische berekening op niveau II). Dit laatste vindt plaats in een FORM analyse.

Navolgend worden twee methoden beschreven om de overschrijdingskans van de inscharingslengte te berekenen:

- Met de in het kader van WTI-2017 ter beschikking gestelde software wordt de betrouwbaarheidsfunctie met een FORM analyse, aangeropen uit de probabilistische bibliotheek, opgelost. Daarnaast wordt de volumebalans niet met Vgl 29.5 opgelost, maar numeriek. Daarmee kan rekening worden gehouden met beperkte berging, bijvoorbeeld in het geval van een smalle geul.
- In het geval de software niet gebruikt wordt is kan teruggevallen worden op een handmatige FORM berekening, waarin enige vereenvoudigingen worden aangenomen. Deze methode wordt navolgende beschreven.

Uit probabilistische berekeningen blijkt dat  $\cot \alpha$ ,  $\cot \beta$ , D/H en c een kleine invloed hebben op de overschrijdingskans (d.w.z. de invloedsfactor is klein). Daarom kan de FORM analyse vereenvoudigd worden door deze parameters deterministisch te nemen, dus uit te gaan van de verwachtingswaarden,  $\mu(X)$ , aangegeven in Tabel C.1

Met deze kentallen is het mogelijk de overschrijdingskans van  $L$  te bepalen en vervolgens de kans dat  $L$  groter is dan  $L_{\text{toelaatbaar}}$ . Als betrouwbaarheidsfunctie wordt Vgl 29.7 genomen. Hierin is  $L$  de optredende inscharingslengte die berekend wordt met Vgl 29.5 op basis van de verwachtingswaarde en de standaardafwijking van  $\cot \gamma$  en  $L_{\text{toelaatbaar}}$ .  $L_{\text{toelaatbaar}}$  is de aanwezige lengte van het voorland. In dit geval is  $\cot \gamma$  de enige stochast, dus kan de betrouwbaarheidsindex  $\beta$  worden bepaald door de volgende vergelijking op te lossen voor  $\cot \gamma$ , lognormaal verdeeld.

$$Z = L_{\text{toelaatbaar}} - L(\cot \gamma(\beta)) = 0 \quad \text{Vgl 29.7}$$

$$\cot \gamma = \exp(\mu_{\cot \gamma} + \beta \sigma_{\cot \gamma})$$

Oplossen van deze vergelijking kan door middel van iteratie. Hiervoor kan het volgende zoekalgoritme worden gebruikt:

- 1 Start met  $\beta_i = 1$  en bepaal  $L$  voor  $\cot \gamma = \exp(\mu_{\cot \gamma} + \beta_i \cdot \sigma_{\cot \gamma})$
- 2 Bepaal de waarde van de relatieve afstand<sup>4</sup>  $L_{\text{toelaatbaar}}/L$
- 3 Gebruik  $\beta_{i+1} = \beta_i + (L_{\text{toelaatbaar}}/L - 1)$  als nieuwe waarde voor  $\beta$  en bepaal  $L$  voor  $\cot \gamma = \exp(\mu_{\cot \gamma} + \beta_{i+1} \cdot \sigma_{\cot \gamma})$
- 4 Herhaal de stappen 1 tot 3 tot een stabiele waarde van  $\beta$  is gevonden, waarvoor  $Z = L_{\text{toelaatbaar}} - L(\cot \gamma(\beta)) = 0$

Om te compenseren voor de niet beschouwde stochastische variabelen  $\cot \alpha$ ,  $\cot \beta$ ,  $D/H$  en  $c$  moet de berekende betrouwbaarheidsindex gecorrigeerd worden. Op basis van een kalibratie, waarbij  $\beta$  is berekend in een FORM-analyse met alle parameters als stochast en een FORM-analyse waarbij alleen  $\cot \gamma$  als stochast is meegenomen, blijkt dat de  $\beta$ , berekend volgens de bovenstaande procedure, gedeeld moet worden door een factor 1,10.

Uitgaande van een Gauss-verdeling, wordt de overschrijdingskans van de toelaatbare inscharingslengte vervolgens berekend met:

$$P(L > L_{\text{toelaatbaar}} | ZV) = P(Z < 0) = \Phi(-\beta) \quad \text{Vgl 29.8}$$

#### C.4 Stap D - Bepaal de kans op overschrijding van toelaatbare inscharingslengte door een zettingsvloeiing per dijkvak per jaar $P(L > L_{\text{toelaatbaar}})_{\text{vak}}$

$$P(L > L_{\text{toelaatbaar}})_{\text{vak}} = P(ZV) \cdot P(L > L_{\text{toelaatbaar}} | ZV) \quad \text{Vgl 29.9}$$

<sup>4</sup> Een robuuster/stabieler algoritme is door  $\ln(L_{\text{toelaatbaar}}) / \ln(L)$  als relatieve afstand te gebruiken. Dit kost meer iteratiestappen, maar voorkomt wel dat de iteratie "uit de bocht schiet" bij hoge beta-waarden



## D $N_{dsn}$ -waarden voor erosie kruin en binnentalud

In deze bijlage is een overzicht opgenomen van de  $N_{dsn}$ -waarden voor de faalmechanismen “grasbekleding erosie kruin en binnentalud” en “kunstwerken overslag en overloop”.

Tabel D.1 Lengte-effectfactoren per dijktraject/kunstwerk

Dijktraject	Onderdeel van dijkkring	$N_{dsn}$ [-]
1-1	Schiermonnikoog (1)	3
1-2	Schiermonnikoog (1)	2
2-1	Ameland (2)	Duin
2-2	Ameland (2)	2
3-1	Terschelling (3)	Duin
3-2	Terschelling (3)	2
4-1	Vlieland (4)	Duin
4-2	Vlieland (4)	2
5-1	Texel (5)	Duin
5-2	Texel (5)	2
6-1	Friesland en Groningen (6)	3
6-2	Friesland en Groningen (6)	3
6-3	Friesland en Groningen (6)	3
6-4	Friesland en Groningen (6)	3
6-5	Friesland en Groningen (6)	3
6-6	Friesland en Groningen (6)	3
6-7	Friesland en Groningen (6)	3
7-1	Noordoostpolder (7)	3
7-2	Noordoostpolder (7)	3
8-1	Flevoland (8)	3
8-2	Flevoland (8)	3
8-3	Flevoland (8)	3
8-4	Flevoland (8)	3
9-1	Vollenhove (9)	2
9-2	Vollenhove (9)	2
10-1	Mastenbroek (10)	2
10-2	Mastenbroek (10)	2
10-3	Mastenbroek (10)	2
11-1	IJsseldelta (11)	2
11-2	IJsseldelta (11)	2
12-1	Wieringen (12)	3
12-2	Wieringen (12)	2
13a-1	IJburg (13-a)	2
13b-1	Marken (13-b)	2
13-1	Noord-Holland (13)	Duin

Dijktraject	Onderdeel van dijkkring	$N_{dsn}$ [-]
13-2	Noord-Holland (13)	3
13-3	Noord-Holland (13)	Duin
13-4	Noord-Holland (13)	3
13-5	Noord-Holland (13)	3
13-6	Noord-Holland (13)	2
13-7	Noord-Holland (13)	2
13-8	Noord-Holland (13)	2
13-9	Noord-Holland (13)	2
14-0	Zuid-Holland (14)	2
14-1	Zuid-Holland (14)	2
14-2	Zuid-Holland (14)	2
14-3	Zuid-Holland (14)	2
14-4	Zuid-Holland (14)	Duin
14-5	Zuid-Holland (14)	3
14-6	Zuid-Holland (14)	Duin
14-7	Zuid-Holland (14)	3
14-8	Zuid-Holland (14)	Duin
14-9	Zuid-Holland (14)	3
15-1	Lopiker- en Krimpenerwaard (15)	1
15-2	Lopiker- en Krimpenerwaard (15)	2
15-3	Lopiker- en Krimpenerwaard (15)	2
16-1	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	1
16-2	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	2
16-3	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	1
16-4	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	1
17-1	IJsselmonde (17)	2
17-2	IJsselmonde (17)	2
17-3	IJsselmonde (17)	2
18-1	Pernis (18)	2
19-1	Rozenburg (19)	2
20-1	Voorne-Putten (20)	Duin
20-2	Voorne-Putten (20)	2
20-3	Voorne-Putten (20)	2
20-4	Voorne-Putten (20)	2
21-1	Hoekse Waard (21)	2
21-2	Hoekse Waard (21)	2
22-1	Eiland van Dordrecht (22)	2
22-2	Eiland van Dordrecht (22)	2
23-1	Biesbosch (23)	n.v.t.
24-1	Land van Altena (24)	1
24-2	Land van Altena (24)	1
24-3	Land van Altena (24)	1

Dijktraject	Onderdeel van dijkkring	$N_{dsn}$ [-]
25-1	Goeree-Overflakkee (25)	Duin
25-2	Goeree-Overflakkee (25)	2
26-1	Schouwen Duiveland (26)	Duin
26-2	Schouwen Duiveland (26)	2
26-3	Schouwen Duiveland (26)	2
27-1	Tholen en St. Philipsland (27)	2
27-2	Tholen en St. Philipsland (27)	2
28-1	Noord-Beveland (28)	2
29-1	Walcheren (29)	Duin
29-2	Walcheren (29)	3
29-3	Walcheren (29)	3
30-1	Zuid-Beveland west (30)	2
30-2	Zuid-Beveland west (30)	2
30-3	Zuid-Beveland west (30)	2
30-4	Zuid-Beveland west (30)	2
31-1	Zuid-Beveland oost (31)	2
31-2	Zuid-Beveland oost (31)	2
32-1	Zeeuwsch Vlaanderen (32)	2
32-2	Zeeuwsch Vlaanderen (32)	2
32-3	Zeeuwsch Vlaanderen (32)	2
32-4	Zeeuwsch Vlaanderen (32)	2
34-1	West-Brabant (34)	2
34-2	West-Brabant (34)	2
34a-1	Geertruidenberg (34-a)	2
35-1	Donge (35)	2
35-2	Donge (35)	2
36-1	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36-2	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36-3	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36-4	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36-5	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36a-1	Keent (36-a)	1
37-1	Nederhemert (37)	1
38-1	Bommelerwaard (38)	1
38-2	Bommelerwaard (38)	1
39-1	Alem (39)	1
40-1	Heerewaarden (40)	1
40-2	Heerewaarden (40)	1
41-1	Land van Maas en Waal (41)	1
41-2	Land van Maas en Waal (41)	1
41-3	Land van Maas en Waal (41)	1
41-4	Land van Maas en Waal (41)	1

Dijktraject	Onderdeel van dijkkring	$N_{dsn}$ [-]
42-1	Ooij en Millingen (42)	1
43-1	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43-2	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43-3	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43-4	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43-5	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43-6	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
44-1	Kromme Rijn (44)	1
44-2	Kromme Rijn (44)	2
45-1	Gelderse Vallei (45)	1
45-2	Gelderse Vallei (45)	2
46-1	Eempolder (46)	2
47-1	Arnhemse- en Velpsebroek (47)	1
48-1	Rijn en IJssel (48)	1
48-2	Rijn en IJssel (48)	1
48-3	Rijn en IJssel (48)	1
49-1	IJsselland (49)	1
49-2	IJsselland (49)	1
50-1	Zutphen (50)	1
50-2	Zutphen (50)	1
51-1	Gorssel (51)	1
52-1	Oost Veluwe (52)	1
52-2	Oost Veluwe (52)	1
52-3	Oost Veluwe (52)	1
52-4	Oost Veluwe (52)	1
52a-1	Veessen-Wapenveld	1
53-1	Salland (53)	1
53-2	Salland (53)	1
53-3	Salland (53)	1
54-1	Ottersum-Mook (54)	1
55-1	Gennep (55)	1
56-1	Afferden (56)	1
57-1	Nieuw Bergen (57)	1
58-1	Groeningen (58)	1
59-1	Bergen (59)	1
60-1	Well (60)	1
61-1	Wanssum (61+62)	1
63-1	Blitterswijck (63)	1
64-1	Broekhuizenvorst (64)	1
65-1	Arcen (65)	1
66-1	Lottum (66)	1
67-1	Grubbenvorst (67)	1

Dijktraject	Onderdeel van dijkkring	$N_{dsn}$ [-]
68-1	Venlo-Velden (68)	1
68-2	Venlo-Velden (68)	1
69-1	Blerick (69)	1
70-1	Baarlo (70)	1
71-1	Belfeld (71)	1
72-1	Kessel (72)	1
73-1	Beesel (73)	1
74-1	Neer (74)	1
75-1	Buggenum (75)	1
76-1	Roermond (76)	1
76-2	Roermond (76)	1
76a-1	Roermond (76)	1
77-1	Roermond (77)	1
78-1	Heel (78)	1
79-1	Thorn-Wessem (79)	1
80-1	Maasbracht (80)	1
81-1	Stevensweert (81)	1
82-1	Aasterberg (82)	1
83-1	Grevenbicht_Visserweert (83+84)	1
85-1	Urmond (85)	1
86-1	Meers_Maasband (86+87)	1
87-1	Meers_Maasband (86+87)	1
88-1	Aan de Maas (88)	1
89-1	Voulwames (89)	1
90-1	Maastricht (90)	1
91-1	Itteren (91)	1
92-1	Borgharen (92)	1
93-1	Bossherveld (93)	1
94-1	Maastricht west (94)	1
95-1	Eijsden (95)	1

## E Voor eenvoudige toets piping (STPH) benodigde betrouwbaarheid per doorsnede: $\beta_{\text{eis, dsn}}$

In onderstaande tabel zijn de in de eenvoudige toets op piping te hanteren betrouwbaarheidsindices per dijktraject aangegeven.

Dijktraject	Lengte [m]	Terugkeer tijd, T [jaar]	$P_{\text{eis}}$	Traject betrouwbaarheid ( $\beta_{\text{eis}}$ )	$P_{\text{eis, dsn}}$	Doorsnede betrouwbaarheid ( $\beta_{\text{eis, dsn}}$ )
1-1	9160	1000	2,40E-04	3,49	1,00E-05	4,26
1-2	3915	1000	2,40E-04	3,49	2,22E-05	4,08
2-2	16538	1000	2,40E-04	3,49	5,67E-06	4,39
2-1	20306	1000	2,40E-04	3,49	4,64E-06	4,43
3-2	13859	1000	2,40E-04	3,49	6,73E-06	4,35
3-1	15819	3000	8,00E-05	3,78	1,97E-06	4,61
4-2	971	1000	2,40E-04	3,49	7,00E-05	3,81
4-1	7409	300	8,00E-04	3,16	4,10E-05	3,94
5-1	27380	3000	8,00E-05	3,78	1,15E-06	4,72
5-2	26984	3000	8,00E-05	3,78	1,17E-06	4,72
6-1	32570	3000	8,00E-05	3,78	9,71E-07	4,76
6-2	29533	3000	8,00E-05	3,78	1,07E-06	4,74
6-3	42432	3000	8,00E-05	3,78	7,47E-07	4,81
6-4	28961	3000	8,00E-05	3,78	1,09E-06	4,74
6-5	13394	3000	8,00E-05	3,78	2,32E-06	4,58
6-6	46143	3000	8,00E-05	3,78	6,88E-07	4,83
6-7	38554	10000	2,40E-05	4,07	2,46E-07	5,03
7-1	11505	3000	8,00E-05	3,78	2,69E-06	4,55
7-2	44341	3000	8,00E-05	3,78	7,15E-07	4,82
8-1	25489	30000	8,00E-06	4,31	1,24E-07	5,16
8-2	29231	30000	8,00E-06	4,31	1,08E-07	5,19
8-3	22765	30000	8,00E-06	4,31	1,38E-07	5,14
8-4	21763	30000	8,00E-06	4,31	1,44E-07	5,13
8-5	15850	3000	8,00E-05	3,78	1,97E-06	4,61
8-7	15333	3000	8,00E-05	3,78	2,03E-06	4,61
8-6	12956	3000	8,00E-05	3,78	2,40E-06	4,57
9-1	38988	1000	2,40E-04	3,49	2,44E-06	4,57
9-2	8134	3000	8,00E-05	3,78	3,75E-06	4,48
10-1	19190	3000	8,00E-05	3,78	1,63E-06	4,65
10-2	14230	3000	8,00E-05	3,78	2,19E-06	4,59
10-3	14848	10000	2,40E-05	4,07	6,30E-07	4,85
11-1	21147	3000	8,00E-05	3,78	1,49E-06	4,67
11-2	24832	3000	8,00E-05	3,78	1,27E-06	4,71
11-3	12941	300	8,00E-04	3,16	2,40E-05	4,07
11-3	15862	300	8,00E-04	3,16	1,97E-05	4,11
11-2	16755	3000	8,00E-05	3,78	1,87E-06	4,63
11-1	15484	3000	8,00E-05	3,78	2,01E-06	4,61
12-1	13947	1000	2,40E-04	3,49	6,69E-06	4,35
12-2	18614	3000	8,00E-05	3,78	1,68E-06	4,65
13-1	31671	3000	8,00E-05	3,78	9,98E-07	4,75
13-2	5705	3000	8,00E-05	3,78	5,24E-06	4,41
13-3	19744	3000	8,00E-05	3,78	1,59E-06	4,66

Dijktraject	Lengte [m]	Terugkeer tijd, T [jaar]	$P_{eis}$	Traject betrouwbaarheid ( $\beta_{eis}$ )	$P_{eis,dsn}$	Doorsnede betrouwbaarheid ( $\beta_{eis,dsn}$ )
13-4	9928	3000	8,00E-05	3,78	3,10E-06	4,52
13-5	10307	3000	8,00E-05	3,78	2,99E-06	4,53
13-6	26434	3000	8,00E-05	3,78	1,19E-06	4,72
13-7	29604	3000	8,00E-05	3,78	1,07E-06	4,74
13-8	11560	3000	8,00E-05	3,78	2,68E-06	4,55
13-9	28770	3000	8,00E-05	3,78	1,10E-06	4,73
14-3	16534	10000	2,40E-05	4,07	5,67E-07	4,87
14-4	4421	10000	2,40E-05	4,07	1,99E-06	4,61
14-5	17583	30000	8,00E-06	4,31	1,78E-07	5,09
14-6	5095	30000	8,00E-06	4,31	5,82E-07	4,86
14-7	11676	30000	8,00E-06	4,31	2,65E-07	5,02
14-9	5587	30000	8,00E-06	4,31	5,34E-07	4,88
14-10	30361	30000	8,00E-06	4,31	1,04E-07	5,19
14-2	19755	100000	2,40E-06	4,57	4,76E-08	5,34
14-1	20475	30000	8,00E-06	4,31	1,53E-07	5,12
14-8	2184	30000	8,00E-06	4,31	1,24E-06	4,71
15-3	19245	10000	2,40E-05	4,07	4,89E-07	4,90
15-2	24443	10000	2,40E-05	4,07	3,86E-07	4,94
15-1	23031	30000	8,00E-06	4,31	1,37E-07	5,14
16-1	15064	100000	2,40E-06	4,57	6,21E-08	5,29
16-2	31023	30000	8,00E-06	4,31	1,02E-07	5,20
16-3	19909	30000	8,00E-06	4,31	1,58E-07	5,11
16-4	19571	30000	8,00E-06	4,31	1,60E-07	5,11
16-5	24766	10	2,40E-02	1,98	3,81E-04	3,37
17-1	26759	3000	8,00E-05	3,78	1,18E-06	4,72
17-2	26553	3000	8,00E-05	3,78	1,19E-06	4,72
17-3	9397	100000	2,40E-06	4,57	9,80E-08	5,20
18-1	5233	10000	2,40E-05	4,07	1,70E-06	4,64
19-1	8122	100000	2,40E-06	4,57	1,13E-07	5,18
20-1	16012	30000	8,00E-06	4,31	1,95E-07	5,07
20-2	12958	10000	2,40E-05	4,07	7,19E-07	4,82
20-3	21911	30000	8,00E-06	4,31	1,43E-07	5,13
20-4	19780	1000	2,40E-04	3,49	4,76E-06	4,43
21-1	30202	3000	8,00E-05	3,78	1,05E-06	4,74
21-2	40323	300	8,00E-04	3,16	7,86E-06	4,32
22-1	17527	3000	8,00E-05	3,78	1,79E-06	4,63
22-2	20627	10000	2,40E-05	4,07	4,57E-07	4,91
23-1	2643	3000	8,00E-05	3,78	1,05E-05	4,25
24-1	18016	10000	2,40E-05	4,07	5,21E-07	4,88
24-2	12989	1000	2,40E-04	3,49	7,17E-06	4,34
24-3	15283	10000	2,40E-05	4,07	6,12E-07	4,85
25-1	16729	3000	8,00E-05	3,78	1,87E-06	4,63
25-2	26888	1000	2,40E-04	3,49	3,52E-06	4,49
25-4	32522	300	8,00E-04	3,16	9,72E-06	4,27
25-3	19736	300	8,00E-04	3,16	1,59E-05	4,16
26-1	17350	3000	8,00E-05	3,78	1,80E-06	4,63
26-2	20700	3000	8,00E-05	3,78	1,52E-06	4,67
26-3	21900	10000	2,40E-05	4,07	4,30E-07	4,92
26-4	25200	1000	2,40E-04	3,49	3,75E-06	4,48
27-1	16150	3000	8,00E-05	3,78	1,93E-06	4,62
27-2	36850	10000	2,40E-05	4,07	2,58E-07	5,02

Dijktraject	Lengte [m]	Terugkeer tijd, T [jaar]	$P_{eis}$	Traject betrouwbaarheid ( $\beta_{eis}$ )	$P_{eis,dsn}$	Doorsnede betrouwbaarheid ( $\beta_{eis,dsn}$ )
27-3	4600	1000	2,40E-04	3,49	1,92E-05	4,12
27-4	16000	3000	8,00E-05	3,78	1,95E-06	4,62
28-1	23900	1000	2,40E-04	3,49	3,95E-06	4,47
29-3	7103	100000	2,40E-06	4,57	1,28E-07	5,15
29-4	12455	1000	2,40E-04	3,49	7,47E-06	4,33
29-1	21846	3000	8,00E-05	3,78	1,44E-06	4,68
29-2	17070	10000	2,40E-05	4,07	5,50E-07	4,87
30-2	4507	100000	2,40E-06	4,57	1,96E-07	5,07
30-3	27523	3000	8,00E-05	3,78	1,15E-06	4,73
30-4	2068	1000000	2,40E-07	5,03	3,89E-08	5,37
30-1	22558	3000	8,00E-05	3,78	1,39E-06	4,69
31-1	19299	30000	8,00E-06	4,31	1,62E-07	5,11
31-2	28650	10000	2,40E-05	4,07	3,30E-07	4,97
31-3	4657	300	8,00E-04	3,16	6,33E-05	3,83
32-1	20769	1000	2,40E-04	3,49	4,53E-06	4,44
32-2	11594	1000	2,40E-04	3,49	8,00E-06	4,31
32-3	15286	1000	2,40E-04	3,49	6,12E-06	4,37
32-4	37900	3000	8,00E-05	3,78	8,36E-07	4,79
33-1	7374	300	8,00E-04	3,16	4,12E-05	3,94
34-1	24383	1000	2,40E-04	3,49	3,87E-06	4,47
34-2	23025	1000	2,40E-04	3,49	4,10E-06	4,46
34-3	4628	3000	8,00E-05	3,78	6,36E-06	4,36
34-4	10322	1000	2,40E-04	3,49	8,95E-06	4,29
34-5	31227	300	8,00E-04	3,16	1,01E-05	4,26
35-1	13815	10000	2,40E-05	4,07	6,75E-07	4,83
35-2	14666	3000	8,00E-05	3,78	2,12E-06	4,60
36-1	17678	10000	2,40E-05	4,07	5,31E-07	4,88
36-2	21020	30000	8,00E-06	4,31	1,49E-07	5,12
36-3	26552	30000	8,00E-06	4,31	1,19E-07	5,17
36-5	17001	10000	2,40E-05	4,07	5,52E-07	4,87
36-4	19970	10000	2,40E-05	4,07	4,71E-07	4,90
37-1	5040	10000	2,40E-05	4,07	1,76E-06	4,64
38-1	29587	30000	8,00E-06	4,31	1,07E-07	5,19
38-2	20212	10000	2,40E-05	4,07	4,66E-07	4,91
39-1	4702	3000	8,00E-05	3,78	6,27E-06	4,37
40-1	5284	30000	8,00E-06	4,31	5,63E-07	4,87
40-2	6375	10000	2,40E-05	4,07	1,42E-06	4,68
41-1	12635	30000	8,00E-06	4,31	2,45E-07	5,03
41-2	27598	10000	2,40E-05	4,07	3,43E-07	4,97
41-3	26989	3000	8,00E-05	3,78	1,17E-06	4,72
41-4	20064	10000	2,40E-05	4,07	4,69E-07	4,90
42-1	17399	10000	2,40E-05	4,07	5,39E-07	4,88
43-1	15878	30000	8,00E-06	4,31	1,97E-07	5,07
43-2	33950	10000	2,40E-05	4,07	2,79E-07	5,00
43-3	25363	30000	8,00E-06	4,31	1,24E-07	5,16
43-4	26415	30000	8,00E-06	4,31	1,19E-07	5,17
43-5	22526	30000	8,00E-06	4,31	1,40E-07	5,14
43-6	46859	30000	8,00E-06	4,31	6,77E-08	5,27
44-2	26213	300	8,00E-04	3,16	1,20E-05	4,22
44-3	4201	30000	8,00E-06	4,31	6,95E-07	4,83
44-1	32412	30000	8,00E-06	4,31	9,75E-08	5,20



Dijktraject	Lengte [m]	Terugkeer tijd, T [jaar]	$P_{eis}$	Traject betrouwbaarheid ( $\beta_{eis}$ )	$P_{eis,dsn}$	Doorsnede betrouwbaarheid ( $\beta_{eis,dsn}$ )
45-2	28353	300	8,00E-04	3,16	1,11E-05	4,24
45-3	4801	300	8,00E-04	3,16	6,15E-05	3,84
45-1	5354	100000	2,40E-06	4,57	1,67E-07	5,10
46-1	7207	300	8,00E-04	3,16	4,21E-05	3,93
47-1	15430	3000	8,00E-05	3,78	2,02E-06	4,61
48-1	26968	30000	8,00E-06	4,31	1,17E-07	5,17
48-2	12663	10000	2,40E-05	4,07	7,35E-07	4,82
48-3	13176	10000	2,40E-05	4,07	7,07E-07	4,82
49-1	12235	300	8,00E-04	3,16	2,53E-05	4,05
49-2	20824	10000	2,40E-05	4,07	4,52E-07	4,91
50-1	5322	30000	8,00E-06	4,31	5,59E-07	4,87
50-2	7722	3000	8,00E-05	3,78	3,94E-06	4,47
51-1	23674	1000	2,40E-04	3,49	3,99E-06	4,47
52-1	19915	3000	8,00E-05	3,78	1,58E-06	4,66
52-2	24361	3000	8,00E-05	3,78	1,29E-06	4,70
52-3	9292	3000	8,00E-05	3,78	3,30E-06	4,51
52-4	4488	3000	8,00E-05	3,78	6,55E-06	4,36
53-1	17723	3000	8,00E-05	3,78	1,77E-06	4,64
53-2	28880	10000	2,40E-05	4,07	3,28E-07	4,97
53-3	36675	10000	2,40E-05	4,07	2,59E-07	5,02
54-1	12209	1000	2,40E-04	3,49	7,61E-06	4,33
55-1	7923	1000	2,40E-04	3,49	1,15E-05	4,23
56-1	2920	300	8,00E-04	3,16	9,64E-05	3,73
57-1	1831	300	8,00E-04	3,16	1,43E-04	3,63
58-1	1734	300	8,00E-04	3,16	1,50E-04	3,62
59-1	6220	300	8,00E-04	3,16	4,83E-05	3,90
60-1	5664	300	8,00E-04	3,16	5,28E-05	3,88
61-1	7105	300	8,00E-04	3,16	4,26E-05	3,93
63-1	4392	300	8,00E-04	3,16	6,68E-05	3,82
63-1	625	300	8,00E-04	3,16	3,12E-04	3,42
63-1	471	300	8,00E-04	3,16	3,68E-04	3,38
64-1	1788	300	8,00E-04	3,16	1,46E-04	3,62
65-1	5103	300	8,00E-04	3,16	5,82E-05	3,85
66-1	1261	300	8,00E-04	3,16	1,93E-04	3,55
67-1	693	300	8,00E-04	3,16	2,93E-04	3,44
68-1	10042	1000	2,40E-04	3,49	9,19E-06	4,28
68-2	4808	300	8,00E-04	3,16	6,14E-05	3,84
69-1	4567	1000	2,40E-04	3,49	1,93E-05	4,12
70-1	4789	300	8,00E-04	3,16	6,17E-05	3,84
71-1	964	300	8,00E-04	3,16	2,35E-04	3,50
72-1	147	300	8,00E-04	3,16	5,85E-04	3,25
73-1	1185	300	8,00E-04	3,16	2,02E-04	3,54
74-1	2170	300	8,00E-04	3,16	1,24E-04	3,66
75-1	1270	300	8,00E-04	3,16	1,92E-04	3,55
76-1	2741	300	8,00E-04	3,16	1,02E-04	3,71
76-2	1540	300	8,00E-04	3,16	1,65E-04	3,59
77-1	8415	300	8,00E-04	3,16	3,63E-05	3,97
78-1	9337	300	8,00E-04	3,16	3,29E-05	3,99
79-1	7876	300	8,00E-04	3,16	3,87E-05	3,95
80-1	1387	300	8,00E-04	3,16	1,79E-04	3,57
81-1	13925	300	8,00E-04	3,16	2,23E-05	4,08

Dijktraject	Lengte [m]	Terugkeer tijd, T [jaar]	$P_{eis}$	Traject betrouwbaarheid ( $\beta_{eis}$ )	$P_{eis,dsn}$	Doorsnede betrouwbaarheid ( $\beta_{eis,dsn}$ )
82-1	811	300	8,00E-04	3,16	2,64E-04	3,47
83-1	15921	300	8,00E-04	3,16	1,96E-05	4,11
85-1	271	300	8,00E-04	3,16	4,77E-04	3,30
86-1	1562	300	8,00E-04	3,16	1,63E-04	3,59
87-1	5473	300	8,00E-04	3,16	5,45E-05	3,87
88-1	2689	300	8,00E-04	3,16	1,04E-04	3,71
89-1	693	300	8,00E-04	3,16	2,93E-04	3,44
90-1	6598	3000	8,00E-05	3,78	4,57E-06	4,44
91-1	3484	300	8,00E-04	3,16	8,24E-05	3,77
92-1	3381	300	8,00E-04	3,16	8,46E-05	3,76
93-1	2599	1000	2,40E-04	3,49	3,20E-05	4,00
94-1	888	300	8,00E-04	3,16	2,48E-04	3,48
95-1	1079	300	8,00E-04	3,16	2,16E-04	3,52
201	31152	10000	2,40E-05	4,07	3,04E-07	4,99
202	109	10000	2,40E-05	4,07	1,89E-05	4,12
205	786	3000	8,00E-05	3,78	2,70E-05	4,04
206	73	10000	2,40E-05	4,07	2,03E-05	4,10
208	7334	100000	2,40E-06	4,57	1,24E-07	5,16
209	6738	100000	2,40E-06	4,57	1,34E-07	5,14
210	281	100000	2,40E-06	4,57	1,41E-06	4,68
211	3636	3000	8,00E-05	3,78	7,93E-06	4,32
213	653	10000	2,40E-05	4,07	9,11E-06	4,29
214	6629	3000	8,00E-05	3,78	4,55E-06	4,44
215	6411	30000	8,00E-06	4,31	4,70E-07	4,90
216	6050	3000	8,00E-05	3,78	4,96E-06	4,42
217	7800	30000	8,00E-06	4,31	3,90E-07	4,94
218	8467	30000	8,00E-06	4,31	3,61E-07	4,96
219	11450	30000	8,00E-06	4,31	2,70E-07	5,01
221	850	10000	2,40E-05	4,07	7,68E-06	4,32
222	120	30000	8,00E-06	4,31	6,15E-06	4,37
223	4157	30000	8,00E-06	4,31	7,02E-07	4,82
224	1593	30000	8,00E-06	4,31	1,61E-06	4,66
225	9976	30000	8,00E-06	4,31	3,08E-07	4,99
226	346	3000	8,00E-05	3,78	4,29E-05	3,93
227	801	30000	8,00E-06	4,31	2,66E-06	4,55
13a-1	8971	300	8,00E-04	3,16	3,41E-05	3,98
13a-1	3296	300	8,00E-04	3,16	8,66E-05	3,76
13b-1	8634	300	8,00E-04	3,16	3,54E-05	3,97
204a	27032	10000	2,40E-05	4,07	3,50E-07	4,96
34a-1	9937	3000	8,00E-05	3,78	3,10E-06	4,52
36a-1	4383	3000	8,00E-05	3,78	6,69E-06	4,35
52a-1	17852	3000	8,00E-05	3,78	1,75E-06	4,64
76a-1	1741	300	8,00E-04	3,16	1,49E-04	3,62

## F Formules beoordeling geotechnische stabiliteit binnentalud

De formules voor de controle van de stabiliteit van het binnentalud zijn grotendeels ontleend aan Technisch rapport Waterkerende grondconstructies (TAW, 2001)]. Enkele fouten hieruit zijn verbeterd en er zijn figuren toegevoegd ter verduidelijking van de formules. De formules zijn relevant voor de mechanismen mirco-instabiliteit (STMI) en afschuiven van met gras bekleed binnentalud (GABI). Het gaat dus om de mechanismen waarbij ondiepe schuifvlakken (orde 1 m beneden maiveld) en het uitspoelen van zand het talud aantasten. Diepere schuifvlakken worden bij macrostabiliteit beoordeeld.

Voor de beoordeling van de stabiliteit van een kleilaag kan ook gebruik worden gemaakt van de methode Spencer – Van der Meij (van der Meij & Sellmeijer, 2010). Omdat deze software geen deel uitmaakt van het WTI2017 vindt deze analyse plaats in Toetslaag 3.

### F.1 Kleidijk

De formule voor de controle op afschuiven van de kleibekleding (zogenaamd Edelman en Joustra criterium):

$$\tan \phi' \geq \frac{\gamma_d \cdot \gamma_{m,\phi} \cdot \gamma_n \cdot \rho_g \cdot g \cdot \sin \alpha - \gamma_{m,\phi} \cdot \gamma_{m,\rho} \cdot \frac{c'}{\gamma_{m,c} \cdot d}}{\rho_g \cdot g \cdot \cos \alpha - \rho_w \cdot g \cos \alpha}$$

Waarin:

$\tan \phi'$	tangens van de effectieve hoek van inwendige wrijving [°]
$\gamma_{m,\phi}$	partiële veiligheidsfactor op $\tan \phi'$ (=1,1) [-]
$c'$	effectieve cohesie [Pa]
$\gamma_{m,c}$	partiële veiligheidsfactor op $c'$ (=1,25) [-]
$\rho_g$	volumieke massa natte grond [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	volumieke massa water [kg/m <sup>3</sup> ]
$\gamma_{m,\rho}$	partiële veiligheidsfactor op volumieke massa (=1,0) [-]
$\alpha$	taludhelling [°]
$g$	zwaartekrachtversnelling [m/s <sup>2</sup> ]
$d$	laagdikte [m]
$\gamma_d$	modelfactor (=1,1) [-]
$\gamma_n$	schadefactor (=1,1) [-]

In termen van een safety factor (sterkte / belasting), inclusief partiële factoren wordt de formule:

$$SF_{EJ} = \frac{R}{S} = \left[ \frac{1}{\gamma_d \cdot \gamma_n} \right] \cdot \frac{\tan \phi' \left( \frac{\rho_g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot g \cdot \cos \alpha - \frac{\rho_w}{\gamma_{m,\rho}} \cdot g \cos \alpha \right) + \frac{c'}{\gamma_{m,c} \cdot d}}{\frac{\rho_g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot g \cdot \sin \alpha}$$

De factor  $1/\gamma_d^* \gamma_n$  hoort niet bij de sterkte en niet bij de belasting en is daarom los van de breuk geschreven. De safety factor  $SF_{EJ}$  wordt getoetst aan 1,0 (groter of gelijk is 'voldoet', kleiner is 'voldoet niet').

En als Z-functie, inclusief partiële factoren:

$$Z = R - S = \left[ \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}} \left( \frac{\rho_g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot g \cdot \cos \alpha - \frac{\rho_w}{\gamma_{m,\rho}} \cdot g \cos \alpha \right) + \frac{c'}{\gamma_{m,c} \cdot d} \right] - \gamma_d \cdot \gamma_n \cdot \left[ \frac{\rho_g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot g \cdot \sin \alpha \right]$$

De Z functie wordt getoetst aan 0 (groter of gelijk aan 0 is 'voldoet', kleiner is 'voldoet niet').

## F.2 Zanddijk met kleibekleding

Een kleibekleding kan als gevolg van een hoog freatisch vlak in de dijk:

- Opdrukken.
- Uitspoeling van zand optreden.
- Of afschuiven.

Afwijkend van Technisch rapport Waterkerende grondconstructies (TAW, 2001) wordt gedifferentieerd naar enerzijds het mechanisme opdrukken en anderzijds het uitspoelen van zand door een kleibekleding. Hierbij hoort ook het naar beneden bijstellen van de gecombineerde partiële veiligheidsfactor voor opdrukken  $\gamma_n^* \gamma_d$  van 2,0 Technisch rapport Waterkerende grondconstructies naar 1,21.

De factor 2 dekte naast het opdrukken van de bekleding ook andere mechanismen, zoals het uitspoelen van zand door scheuren en of gaten door graverij. Als echter kan worden aangetoond dat de kleilaag geen gaten of scheuren heeft, voordat opdrukken van de kleilaag optreedt, dan kan de factor worden bijgesteld naar 1,21 voor alleen het opdrukken van de laag. Indien gaten in de bekleding niet met voldoende zekerheid kunnen worden uitgesloten, dan moet de (strengere) toets op uitspoelen van zand worden uitgevoerd.

Kleilagen aan het maaiveld zijn altijd onderhevig aan bodemstructuurvormende processen, waardoor ze nagenoeg altijd enige mate van scheuren bevatten. Echter, alleen in gevallen waarbij ook onder natte omstandigheden openstaande scheuren aanwezig zijn kan uitspoelen van zand optreden. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen indien bij aanleg de klei veel te nat is verwerkt. In dat geval zullen de scheuren zodanig breed zijn dat ze bij inspecties, zeker bij droogte, opvallen en vervolgens kunnen worden gedicht. Het risico dat zulke scheuren tijdens extreme omstandigheden nog aanwezig zijn is daarom beperkt.

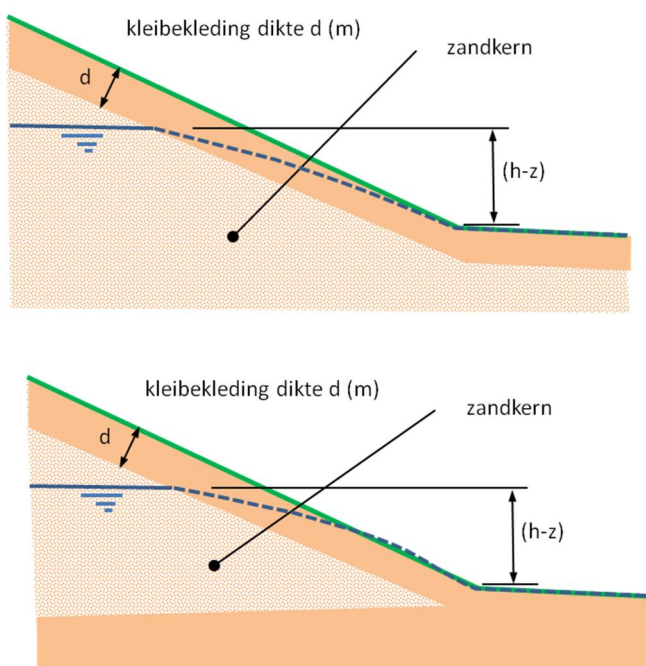
Graverij ter plaatse van de binnenteen van de dijk of onderaan het talud kunnen eveneens leiden tot gaten in de kleibekleding waardoor zand kan uitspoelen. Risicovol zijn gaten die bij inspecties niet opvallen, maar wel kunnen leiden tot uitspoelen van zand. Konijnen en vossenholen tot in de zandkern vallen op. Bij graverij door kleinere beesten kan het echter onopvallend zijn of deze ook door de kleilaag heen zijn gegaan. Graverij door bijvoorbeeld muizen en mollen zijn minder bedreigend door de kleinere diameter van de gangen en doordat ze minder diep gaan. Uit golfoverslagproeven en overloopproeven op echte dijken, met veel muizen en mollengangen, is gebleken dat bij kleilagen van 60 à 70 cm dikte er geen gangen of nestholtes waren die doordrongen tot de zandkern. Bij een kleilaag van enkele

decimeters bleek dit echter wel het geval en leverde dit in combinatie met een slechte graszode al snel uitspoeling op.

Verwacht wordt dat een kleibekledingslaag, inclusief een eventueel aanwezig laagje teelaarde, van 0,8 m of dikker een acceptabel klein risico zal hebben op scheuren of graverij die leiden tot gevaar voor uitspoelen. Bij dunnere kleilagen zal ofwel specifiek moeten worden gelet op de aanwezigheid van dergelijke gangen, zodat deze vanuit inspecties kunnen worden uitgesloten, of moet worden gecontroleerd op uitspoelen van zand.

Voor de mechanismen opdrukken en afschuiven is een eenvoudige formule beschikbaar en een meer gedetailleerde formule die ook rekening houdt met de sterkte van de kleilaag zelf.

De aandrijvende kracht achter alle mechanismen is de grondwaterstand in de kern van de dijk, onder de bekleding, ten opzichte van het niveau van de teen van het talud (Figuur F.1). In de figuur zijn twee situaties gegeven, bovenaan een zanddijk met een zandberm en onderaan een zanddijk op een ondoorlatende ondergrond. Een zanddijk met een zandberm zal in veel gevallen weer op een ondoorlatende ondergrond zijn opgebouwd.



Figuur F.1 Schematische weergave zanddijk met kleibekleding, ligging freatisch vlak in de zandkern en definities van kleilaagdikte en parameter  $(h-z)$

Het freatisch vlak ligt onder dagelijkse omstandigheden in de meeste gevallen onder het teenniveau. Als gevolg van een hoge buitenwaterstand en infiltratie in de golfoploopzone en, in geval van overslag, ook op de kruin en het binnentalud zal het freatisch vlak in de dijk stijgen. De stijging en uiteindelijk de maximale hoogte van het freatisch vlak onder het binnentalud tijdens een hoogwater is afhankelijk van veel factoren:

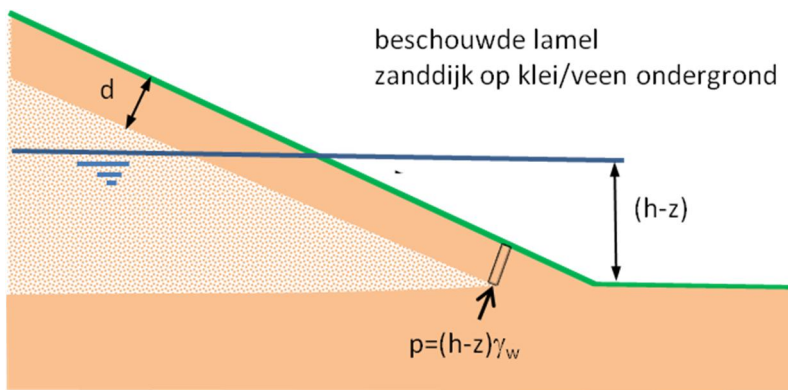
- De ligging van het freatisch vlak aan het begin van het hoogwater.
- Het waterstandverloop in de tijd en eventueel golven en golfoverslag.
- De opbouw van de dijk en de ondergrond, de doorlatendheid en het bergend vermogen van de diverse grondlagen en bekledingen. Met het bergend vermogen wordt bedoeld,

de hoeveelheid water die door de grond wordt opgenomen in de poriën om te komen van het initiële vochtgehalte tot volledige verzadiging.

Met inschattingen of bepalingen van deze parameters en invloedfactoren kan een grondwaterstromingsberekening worden gemaakt naar de maximale  $h$  tijdens een hoogwater. De stabiliteit van de bekleding kan vervolgens worden gecontroleerd met de onderstaande formules.

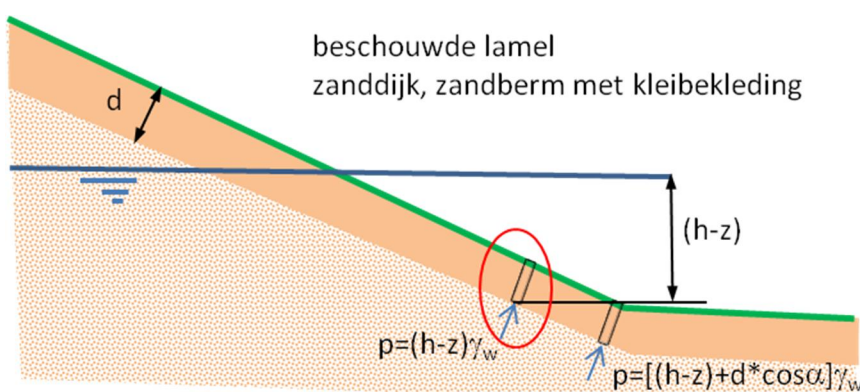
#### F.2.1 Opdrukken van de kleibekleding

De eenvoudige formule beschouwt het loodrecht evenwicht van een lamel kleibekleding, waarvan de onderkant op het niveau  $z$  ligt. Hierbij is uitgegaan van de situatie waarbij de zanddijk op een slecht doorlatende laag ligt. (Figuur F.2).



Figuur F.2 Beschouwde lamel loodrecht evenwicht (opdrukken)

In de praktijk hebben zanddijken vaak ook een zandberm met daarop een kleibekleding (Figuur F.3).



Figuur F.3 Beschouwde lamel loodrecht evenwicht (opdrukken)

In dit laatste geval van een zanddijk met zandberm kan de opdruk stabiliteit ongunstiger worden, omdat de waterdruk onder een dieper gelegen lamel, zoals aangegeven in Figuur F.3,  $d \cdot \cos \alpha \cdot \gamma_w$  hoger kan zijn. Deze waterdruk kan hier echter alleen optreden als er helemaal geen polderwaartse afstroming van water door de berm mogelijk is, wat in de praktijk onwaarschijnlijk is. Zowel de plaats van de meest ongunstige lamel en de waterdruk zijn onzeker. In de formule uit [8] wordt uitgegaan van de situatie in Figuur F.3. Verondersteld wordt dat onzekerheden worden afgedekt door de modelfactor.

De wrijving langs de wanden van de lamel worden in de formule verwaarloosd, hetgeen leidt tot:

$$\cos \alpha \geq \frac{\gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{m,\rho} \cdot \rho_w (h-z)}{\rho_g \cdot d}$$

Waarin:

$\rho_g$  volumieke massa natte grond [ $\text{kg/m}^3$ ]

$\rho_w$  volumieke massa water [ $\text{kg/m}^3$ ]

$\gamma_{m,\rho}$  partiële veiligheidsfactor op volumieke massa grond (=1,0) [-]

$\alpha$  taludhelling [ $^\circ$ ]

$d$  laagdikte [m]

$(h-z)$  ligging van het freatisch vlak onder het binnentalud ten opzichte van een niveau [m]

$\gamma_d \cdot \gamma_n$  modelfactor x schadefactor (=1,1x1,1=1,21) [-]

In safety-factor vorm:

$$\text{SF} = \frac{R}{S} = \frac{1}{\gamma_n \cdot \gamma_d} \frac{\cos \alpha \cdot d \cdot \frac{\rho_g}{\gamma_{m,\rho}}}{(h-z) \rho_w}$$

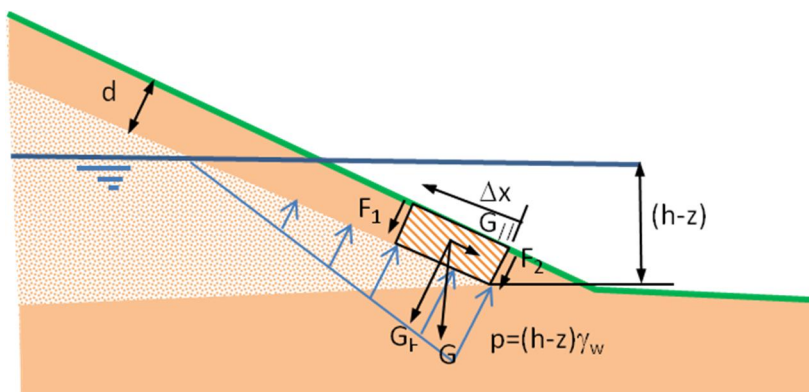
Net als bij de eerder formule in safety-factor vorm wordt getoets aan 1.

De formule als Z-functie:

$$Z = R - S = \left[ \cos \alpha \cdot d \cdot \frac{\rho_g}{\gamma_{m,\rho}} \right] - \gamma_n \cdot \gamma_d [(h-z) \rho_w]$$

Net als bij de eerdere Z-functie wordt getoetst aan 0.

Een meer gedetailleerde formule houdt wel rekening met de wrijving langs de randen van de opgedrukte grondmoot (Figuur F.4).



Figuur F.4 Schematische weergave loodrecht evenwicht grondmoot met diverse krachten

De krachten  $F_1$  en  $F_2$  werken langs de randen van de beschouwde grondmoot. Aangenomen wordt dat  $F_1$  gelijk is aan de cohesie  $c'$  keer de dikte en dat bij  $F_2$  naast het effect van de

cohesie ook de parallelle component van het gewicht keer de wrijvingshoek wordt opgeteld  $G/\tan\phi'$ .

In formulevorm met partiële veiligheidsfactoren wordt de formule dan als volgt:

$$\frac{2c' \cdot d}{\gamma_{m,c}} + \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \Delta x \cdot d \cdot \cos \alpha + \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \Delta x \cdot d \cdot \sin \alpha \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}} \geq \gamma_n \cdot \gamma_d \left( \Delta h - \frac{1}{2} \Delta x \cdot \sin \alpha \right) \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \Delta x$$

Waarin:

$\tan \phi'$	tangens van de effectieve hoek van inwendige wrijving [°]
$\gamma_{m,\phi}$	partiële veiligheidsfactor op $\tan \phi'$ (=1,1) [-]
$c'$	effectieve cohesie [Pa]
$\gamma_{m,c}$	partiële veiligheidsfactor op $c'$ (=1,25) [-]
$\rho_g$	volumieke massa natte grond [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	volumieke massa water [kg/m <sup>3</sup> ]
$\gamma_{m,\rho}$	partiële veiligheidsfactor op volumieke massa (=1,0) [-]
$\alpha$	taludhelling [°]
$g$	zwaartekrachtversnelling [m/s <sup>2</sup> ]
$d$	laagdikte [m]
$\Delta h$	= $(h-z)$ ligging van het freatisch vlak ten opzichte van een niveau [m]
$\Delta x$	kritische lengtemaat langs het talud [m]
$\gamma_d \cdot \gamma_n$	modelfactor x schadefactor (=1,1x1,1=1,21) [-]

In safety-factor vorm:

$$SF = \frac{R}{S} = \frac{1}{\gamma_n \cdot \gamma_d} \cdot \frac{\frac{2c' \cdot d}{\gamma_{m,c}} + \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \Delta x \cdot d \cdot \cos \alpha + \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \Delta x \cdot d \cdot \sin \alpha \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}}}{\left( \Delta h - \frac{1}{2} \Delta x \cdot \sin \alpha \right) \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \Delta x}$$

In de vorm van een Z-functie:

$$Z = R - S = \frac{2c' \cdot d}{\gamma_{m,c}} + \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \Delta x \cdot d \cdot \cos \alpha + \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \Delta x \cdot d \cdot \sin \alpha \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}} - \gamma_n \cdot \gamma_d \left( \Delta h - \frac{1}{2} \Delta x \cdot \sin \alpha \right) \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \Delta x$$

In [8] wordt  $\Delta x$  gevarieerd om de kritische waarde te vinden. Dit kan vrij eenvoudig met behulp van een spreadsheet.

Bij een gegeven  $\Delta h$  ( $=h-z$ ) kan de kritische waarde van  $\Delta x$ , waarbij de SF minimaal is, echter ook analytisch worden gevonden.  $\Delta x$  varieert tussen 0 en de maximale waarde  $\Delta h/\sin\alpha$ . Het minimum op dit interval kan worden gevonden door de afgeleide  $dSF/d\Delta x$  gelijk te stellen aan 0 en hieruit  $\Delta x$  op te lossen. Dit leidt tot:



$$\Delta x = \frac{-2AD \pm \sqrt{4A^2D^2 - 4ABCD}}{2BD} \quad \text{waarin:}$$

$$A = \frac{2c \cdot d}{\gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{m,c}}$$

$$B = \frac{\rho_g \cdot g \cdot d}{\gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{m,\rho}} \left( \cos \alpha + \sin \alpha \frac{\tan \phi}{\gamma_{m,\phi}} \right)$$

$$C = \Delta h \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,\rho}}$$

$$D = -\frac{1}{2} \cdot \sin \alpha \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,\rho}}$$

Invullen van deze  $\Delta x$  in:  $SF = \frac{A + B\Delta x}{C\Delta x + D\Delta x^2}$  geeft vervolgens de minimale SafetyFactor.

#### F.2.2 Uitspoelen van zand door een kleibekleding

Er bestaat weinig validatiemateriaal voor het mechanisme. Bij een overloopproef op een steile dijk bij Wissenkerke in 1993 trad water dat infiltreerde in het talud geconcentreerd uit onderaan het talud. Hierbij werd grond/zand meegevoerd en bezweek het binnentalud binnen een uur bij een overstromedebiet in de orde van 1 l/s/m. Bij een overslagproef op Tholen gebeurde eenzelfde soort mechanisme bij een talud van 1:2,4 en een overslagdebet van 5 l/s/m. De dikte van de kleibekleding was hier zeer variabel en soms zeer dun (plaatselijk hooguit enkele decimeters). Een geconcentreerde stroming uit een mollengang voerde zand mee en ondermijnde in korte tijd het talud, waarna de golfoverslag verder afrekende met de bekleding. De waarnemingen tonen aan dat sommige dijken gevoelig kunnen zijn voor het uitspoelen van zand door een kleibekleding, zeker indien dit optreedt in combinatie met overloop of overslag.



*Figuur F.5 Uitspoelen van zand door een molgang onderaan het talud, gevolgd door ondermijning van de kleilaag en falen van de bekleding (Golfoverslagproef Tholen).*

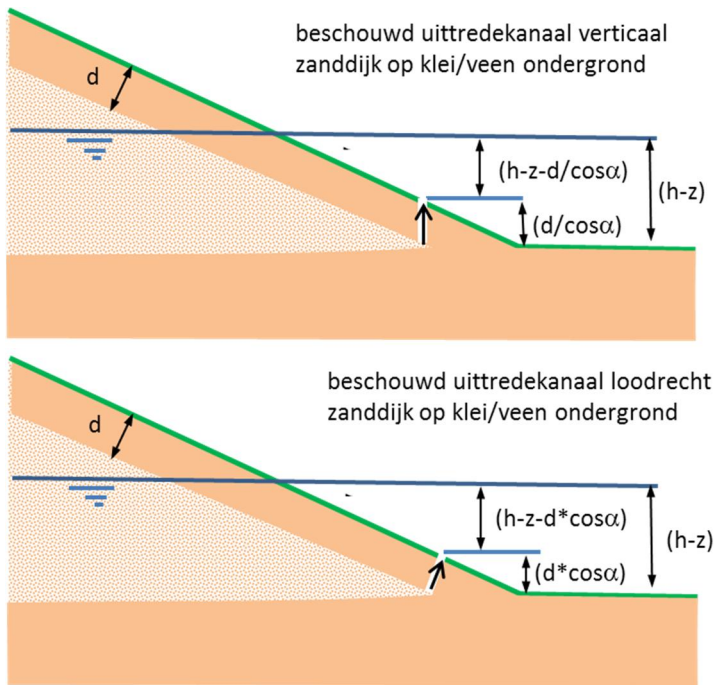
Het uitspoelen van zand uit de kleilaag kan worden gemodelleerd door het optredende verhang te vergelijken met een kritisch verhang. Het optredend verhang kan worden geschat door het verschil tussen de grondwaterstand in de zandkern en de ligging van de bovenkant van het uittredekanaal, gedeeld door de lengte van het uittredekanaal. Hierbij heeft de oriëntatie van het uittredenkanaal een zekere invloed.

*Opgemerkt wordt dat voeding van water vanuit een verzadigd medium (zandkern) anders, langzamer, werkt dan vanuit vrij buitenwater. Dit zou met behulp van grondwaterstromingsberekeningen en eventueel experimenteel onderzoek kunnen worden onderzocht.*

Het kritisch verhang is het verhang waarbij zandtransport optreedt. In theorie zal bij een verticaal gericht verhang in een zandpakket gelijk aan  $(\rho_g - \rho_w) / \rho_w$  drijfzand ontstaan. Voor normaal gepakt zand met  $\rho_g = 2000 \text{ kg/m}^3$  levert dit een kritisch verhang van 1 [-]. De korrelspanning is in deze situatie 0 [Pa], het korrelskelet zweeft als het ware in het water. Bij het opbarsten van een horizontaal klei- en of veenpakket kan in de praktijk eerder zandtransport optreden, namelijk bij een verhang van ca. 0,8-1 [-]. Een tot nu toe geaccepteerd veilig criterium voor verticaal zandtransport is 0,5 [-] (TAW, 1985).

Als het uittredekanaal een gevolg is van opdrukken of opbarsten van de kleilaag of het gevolg van een scheur door te nat aangebracht materiaal, dan is het waarschijnlijk dat het uittredekanaal een oriëntatie heeft die loodrecht op het talud tot verticaal is. Alleen als het uittredekanaal een gevolg is van graverij, of een slechte inkassing van de kleilaag op de ondergrond dan kan de oriëntatie flauwer worden. Voor sterk van verticaal afwijkende oriëntaties van het uittredekanaal is onbekend in hoeverre het kritisch verhang afneemt. Het verdient de aanbeveling om de kans op voorkomen van deze situaties en de gevolgen voor de veiligheid te onderzoeken. Op dit moment wordt het echter buiten beschouwing gelaten.

Bij een kleine afwijking van de verticaal is een correctie met een  $\cos\alpha$  denkbaar, zonder dat hiervoor overigens een goede onderbouwing is.



Figuur F.6 Schematische weergave oriëntatie uittredekanal met verval gegeven een grondwaterstand  $(h-z)$  in de zandkern

Het verhang over het uittredekanal voor de drie bovenstaande gevallen is gelijk aan:

$$i_{\text{vertikaal}} = \frac{h-z-\frac{d}{\cos\alpha}}{\frac{d}{\cos\alpha}} = \frac{(h-z)}{d} \cos\alpha - 1$$

$$i_{\text{loodrecht}} = \frac{h-z-d\cos\alpha}{d} = \frac{h-z}{d} - \cos\alpha$$

Voor het kritisch verhang kan bijvoorbeeld, zonder verdere onderbouwing of onderzoek, bij benadering worden uitgegaan van:

$$i_{k,\text{vertikaal}} = 0.5$$

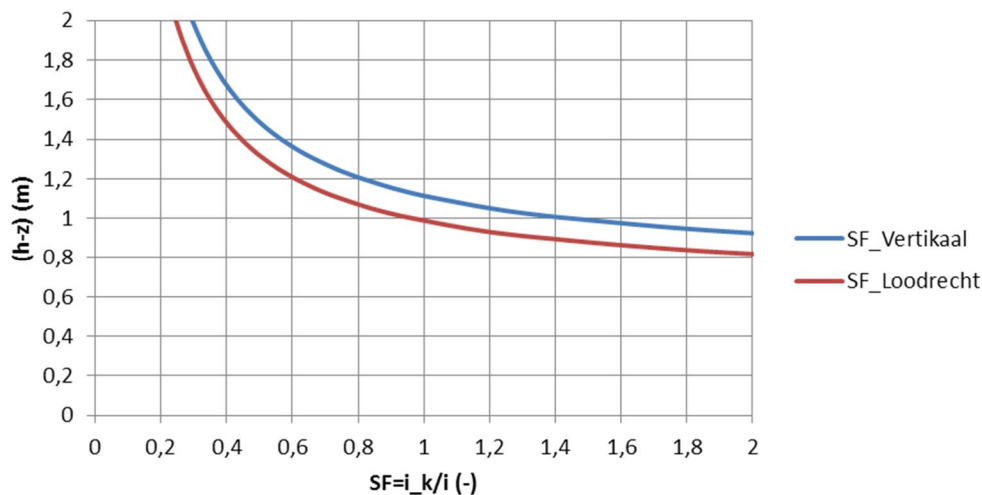
$$i_{k,\text{loodrecht}} = \cos\alpha \cdot 0.5$$

Door het kritische verhang te delen door het optredende verhang kan een veiligheidsfactor (SF; safety factor) worden berekend. Dit leidt tot de volgende formules:

$$SF_{\text{vertikaal}} = \frac{i_{k,\text{vertikaal}}}{i_{\text{vertikaal}}} = \frac{0.5}{\frac{(h-z)}{d} \cos \alpha - 1} = \frac{0.5d}{(h-z) \cos \alpha - d}$$

$$SF_{\text{loodrecht}} = \frac{i_{k,\text{loodrecht}}}{i_{\text{loodrecht}}} = \frac{0.5 \cos \alpha}{\frac{h-z}{d} - \cos \alpha} = \frac{0.5 \cdot d \cdot \cos \alpha}{(h-z) - d \cdot \cos \alpha}$$

Het effect van deze formules is inzichtelijk gemaakt voor een gangbaar talud 1:2,8 van een zanddijk met een kleibekleding van 0,7 m dikte. Voor de twee scenario's is de veiligheidsfactor (SF) uitgezet tegen de belasting ( $h-z$ ) (Figuur F.7).

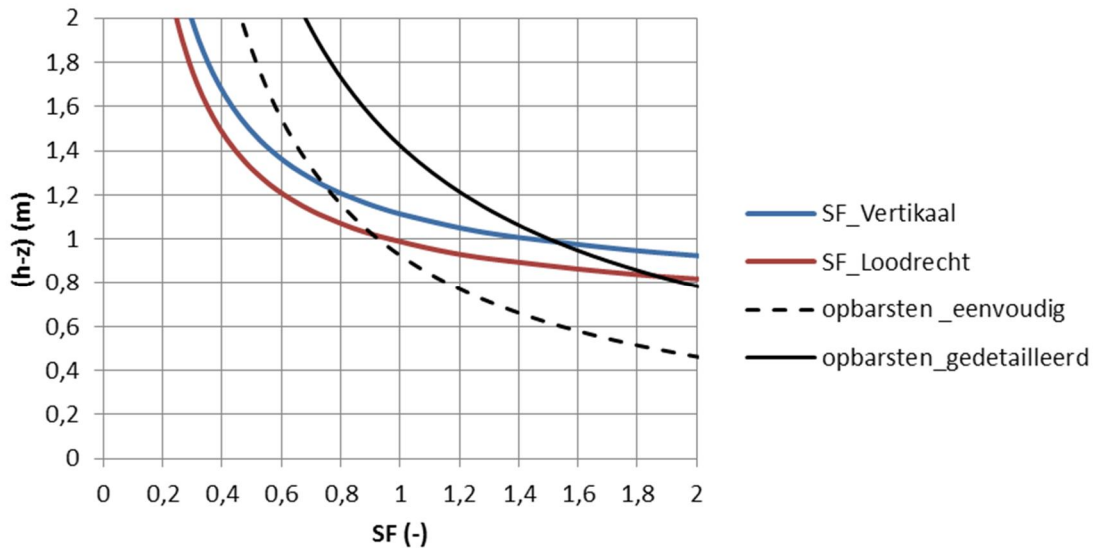


Figuur F.7 SF tegen ( $h-z$ ) voor twee scenario's: verticaal uittredkanaal, loodrecht uittredkanaal en een horizontaal uittredkanaal

De kritische stijghoogte ( $h-z$ ) in de zandkern bij verticaal uittreden is gelijk aan 1,1 m en bij loodrecht uittreden 1,0 m. De verschillen tussen 'verticaal' en 'loodrecht' zijn gering. Voor de toetsing moet gebruik worden gemaakt van de formule voor 'loodrecht'.

Boven de kritische waarden van ( $h-z$ ) zal uitspoelen van zand mogelijk zijn, mits er een scheur of gat aanwezig is in de bekleding, ofwel door bodemstructuurvormende processen en graverij, ofwel als gevolg van opbarsten. Opgemerkt wordt dat dat voor het kritische verhang de veilige waarde van 0,5 [-] is aangehouden.

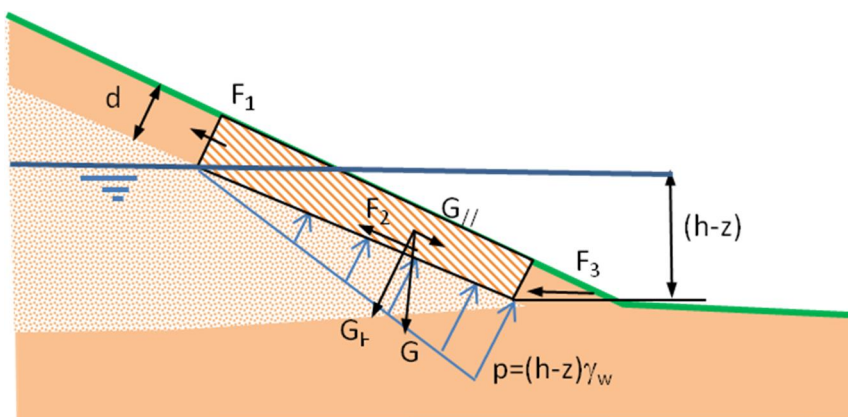
Indien kan worden aangetoond dat de kleibekleding aanvankelijk geen gaten of scheuren in de teen van de dijk heeft (zie inleidende tekst bij par.C.2), dan zal eerst opdrukken van de kleilaag moeten optreden voordat uitspoeling van zand mogelijk is. Hiervoor gelden de formules zoals beschreven in paragraaf C.2.1. Voor de gedetailleerde formule moet ook de sterkte van de grond, te weten door een  $c$  en  $\phi$ , worden ingevuld. Uitgaande van  $c=2$  kPa en  $\phi=25^\circ$ , redelijk gangbare parameters, kunnen de onderstaande SF-lijnen worden berekend (Figuur F.8), afhankelijk van de belasting ( $h-z$ ). Bij de formules uit C.2.1 is gebruik gemaakt van de naar beneden bijgestelde veiligheidsfactor van 1,21 in plaats van 2,0 uit [8].



Figuur F.8 SF voor uitspoelen en opbarsten tegen belasting  $(h-z)$  in één grafiek (opdrukken  $\gamma_d \cdot \gamma_n = 2,0$ )

De eenvoudige formule voor opdrukken (lamel zonder wrijving) geeft een kritische  $(h-z)$  van 0,9 m, de gedetailleerde formule geeft 1,4 m. Indien de kleilaag geen gaten en scheuren heeft, dan kan dus een extra verval van 0,4 m worden toegelaten over de kleilaag. Indien er bij een verval van 1,4 m werkelijk opbarsten van de laag optreedt, dan is het verhang over de laag ook gelijk groot genoeg om uitspoeling van zand te geven.

### F.2.3 Afschuiven van de kleibekleding



Figuur F.9 Schematische weergave krachten op een grondmoot voor beschrijving evenwicht parallel aan het talud

In [9] wordt als eerste stap voor de controle op afschuiven gekeken of krachten  $F_1$  en  $F_2$  voldoende zijn om het gewicht  $G_{//}$  te weerstaan (Figuur F.9). Hierin wordt gesteld dat kracht  $F_1$  gelijk is aan de cohesie  $c'$  keer de dikte  $d$ .  $F_2$  is een resultaat van de wrijving tussen de beschouwde kleibekleding en de zandkern.

$$F_1 = \frac{c' d}{\gamma_{m,c}}$$

$$F_2 = \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} + \left( \cos \alpha \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} - \frac{1}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \Delta h^2 \right) \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}}$$

$$G_{//} = \sin \alpha \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} = \Delta h \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}}$$

De overweging of  $F_1$  en  $F_2$  voldoende zijn om  $G_{//}$  te weerstaan leidt hiermee tot de formule:

$$F_1 + F_2 \geq G_{//}$$

$$\frac{c' d}{\gamma_{m,c}} + \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} + \left( \cos \alpha \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} - \frac{1}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \Delta h^2 \right) \tan \phi' \geq \Delta h \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}}$$

Kanttekeningen die bij de bovenstaande beredenering uit [9] kunnen worden geplaatst zijn dat er in het algemeen geen trekkracht aan grond wordt toegekend, waardoor  $F_1$  gelijk aan 0 moet zijn. Tevens zou bij de bepaling van  $F_2$  twee berekeningen moeten worden gemaakt, één met de wrijvingseigenschappen van het zand ( $c'=0$ ) en één met de wrijvingseigenschappen van de klei. De laagste is maatgevend.

Volgens [9] is een tweede stap om te kijken of het eventuele tekort aan reactiekracht kan worden gecompenseerd met  $F_3$ , de reactiekracht die de teen kan leveren. In [9] wordt dat als volgt geformuleerd, de resterende kracht is  $F_{res}=G_{//}-F_1-F_2$ . Deze kracht moet kleiner of gelijk zijn aan  $F_3$ , ofwel  $G_{//}-F_1-F_2 \leq F_3$ . De kracht  $F_3$  is gelijk aan:

$$F_3 = \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{d}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}}$$

Hierbij gelden een paar opmerkingen:

- Impliciet wordt bij het uitrekenen van de wrijvingskracht uitgegaan van droge grond op het vlakje waarlangs  $F_3$  werkt, wat in de meeste gevallen optimistisch zal zijn.
- De drukkracht vanuit de afschuivende grondmoot  $F_{res}$  wordt niet meegenomen bij de bepaling van reactiekracht door wrijving, wat juist weer pessimistisch zal zijn.
- De krachten  $F_{res}$  en  $F_3$  werken niet in dezelfde richting, maar worden toch niet ontbonden wat leidt tot een optimistische uitkomst.
- Het gewicht van het grondmootje bij de teen wordt niet correct berekend ( $0.5 \cdot d^2 / \sin \alpha$  in plaats van  $0.5 \cdot d^2 / \tan \alpha$ ). Voor flauwe hoeken is het verschil gering, voor grotere hoeken neemt het verschil toe. De fout leidt tot een optimistische schatting van de reactiekracht.

Er wordt vanuit gegaan dat de optimistische en pessimistische effecten ongeveer tegen elkaar zullen wegvallen en als geheel niet veel invloed zullen hebben op het toetsresultaat.

Toevoeging van de kracht  $F_3$  en een model schadefactor en het verwijderen van  $F_1$  (grond heeft geen treksterkte) levert de formule voor afschuiven van de bekleding in toetslaag 2. Dit is dezelfde formule als in het Technische rapport Waterkerende grondconstructies (TAW, 2001) echter zonder  $F_1$ .

$$\gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \left( \Delta h \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} - \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} - \left( \cos \alpha \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} - \frac{1}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \Delta h^2 \right) \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}} \right)$$

$$\leq \frac{c}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{d}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \frac{\tan \phi}{\gamma_{m,\phi}}$$

Het is zuiverder om de belasting en de sterkte te scheiden voor vermenigvuldiging met de schadefactor en modelfactor. In verdere afwijking van [8] wordt de toets dus:

$$\gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \left( \Delta h \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \right)$$

$$\leq \frac{c}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{d}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \frac{\tan \phi}{\gamma_{m,\phi}} + \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} + \left( \cos \alpha \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} - \frac{1}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \Delta h^2 \right) \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}}$$

In Z-functie vorm wordt dit:

$$Z = R - S = \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{d}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}}$$

$$+ \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} + \left( \cos \alpha \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} - \frac{1}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \Delta h^2 \right) \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}} - \gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \left( \Delta h \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \right)$$

En in SF-vorm:

$$SF = \frac{R}{S} = \frac{1}{\gamma_n \cdot \gamma_d}$$

$$\frac{\frac{c}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{d}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \frac{\tan \phi}{\gamma_{m,\phi}} + \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} + \left( \cos \alpha \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} - \frac{1}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \Delta h^2 \right) \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}}}{\left( \Delta h \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \right)}$$

### F.3 Zanddijk talud boven water

Zanddijken, zonder kleibekleding, worden in het Technische rapport Waterkerende grondconstructies (TAW, 2001) getoetst aan uitspoelen van korrels en aan afschuiven. Er wordt uitgegaan van horizontaal uit het talud tredend grondwater.

Uitspoelen wordt gecontroleerd met de formule:

$$\tan \alpha \leq \sqrt{\frac{\rho_g - \rho_w}{\rho_w \cdot \gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{m,\rho}}}$$

Waarin:

$\rho_g$	volumieke massa natte grond [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	volumieke massa water [kg/m <sup>3</sup> ]
$\gamma_{m,\rho}$	partiële veiligheidsfactor op volumieke massa grond (=1,0) [-]
$\alpha$	taludhelling [°]
$\gamma_d \cdot \gamma_n$	modelfactor x schadefactor (=2) [-]

Bij een volumieke massa van de grond van 2000 kg/m<sup>3</sup> (gangbaar voor verzadigd zand), is de maximaal toegelaten taludhelling iets steiler dan 1:1,5. Omdat taludhellingen steiler dan dit in de praktijk zelden voorkomen zal zelden een dijk worden afgekeurd op dit mechanisme.

Afschuiven van een zandtalud boven water, bij horizontaal uittredend grondwater wordt gecontroleerd met de formule:

$$\tan \phi' \geq \frac{\gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{m,\phi} \cdot \rho_g \cdot g \cdot \sin \alpha}{\rho_g \cdot g \cdot \cos \alpha - \frac{\rho_w \cdot g}{\cos \alpha}}$$

Waarin:

$\phi'$	hoek van inwendige wrijving [°]
$\gamma_{m,\phi}$	=1,1 (let op deze gaat over $\tan \phi'$ , niet over $\phi'$ ) [-]
$\rho_g$	volumieke massa natte grond [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	volumieke massa water [kg/m <sup>3</sup> ]
$\alpha$	taludhelling [°]
$g$	zwaartekrachtsversnelling [m/s <sup>2</sup> ]
$\gamma_d \cdot \gamma_n$	modelfactor x schadefactor (=1,1x1,1=1,21) [-]

Bij een volumieke massa van de grond van 2000 kg/m<sup>3</sup> (gangbaar voor verzadigd zand), en  $\phi'=35^\circ$  is de maximaal toegelaten taludhelling iets flauwer dan 1:4. Afschuiven is veruit maatgevend boven uitspoelen.

In Z-functie vorm:

$$Z = R - S = \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}} - \gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \frac{\rho_g \cdot \sin \alpha}{\rho_g \cdot \cos \alpha - \frac{\rho_w}{\cos \alpha}}$$

En in SF-vorm:

$$SF = \frac{R}{S} = \frac{1}{\gamma_n \cdot \gamma_d} \cdot \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}} \cdot \left( \frac{\rho_g \cdot \cos \alpha - \frac{\rho_w}{\cos \alpha}}{\rho_g \cdot \sin \alpha} \right)$$

#### F.4 Zanddijk talud onder water

Ook voor een zandtalud onder water met een uittredend verhang worden in het Technische rapport Waterkerende grondconstructies (TAW, 2001) formules afgegeven. Deze zijn typisch bedoeld voor micro-instabiliteit, een grondwaterstroming door de dijk. Deze wordt waarschijnlijk veel minder beïnvloed door infiltratie door overslag (de taluds bevinden zich al



onder water). Deze formules worden voor het toetsspoor GABI buiten beschouwing gelaten. Voor de volledigheid worden ze toch gegeven.

De aandrijvende kracht voor het uitspoelen van zandkorrels uit een onderwatertalud en het afschuiven van een zandtalud onder water is het buitenwaarts gerichte verhang  $i$  [-]. Bij een talud onder water zal het grondwater loodrecht uitreden. De grootte van het verhang moet worden bepaald met een grondwaterstromingsberekening.

De controle op uitspoelen van zandkorrels gebeurt met de formule:

$$\cos \alpha \geq \frac{\gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{m,\rho} \cdot i_{\perp} \rho_w}{\rho_g - \rho_w}$$

Waarin:

$\rho_g$	volumieke massa natte grond [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	volumieke massa water [kg/m <sup>3</sup> ]
$\gamma_{m,\rho}$	partiële veiligheidsfactor op volumieke massa grond (=1,0) [-]
$\alpha$	taludhelling onderwatertalud [°]
$i_{\perp}$	buitenwaarts gericht verhang [-]
$\gamma_d \cdot \gamma_n$	modelfactor x schadefactor (=2 voor loodrecht evenwicht)

Let op, in het Technische rapport Waterkerende grondconstructies (TAW, 2001) staat ten onrechte  $\gamma_{m,\phi}$  in plaats van  $\gamma_{m,\rho}$ .

Voor een talud van 1V:3H en  $\rho_g=2000$  kg/m<sup>3</sup> leidt dit tot een kritisch verhang  $i_{\perp} = 0,78$  [m/m], wat onder normale condities groot is en vaak zal leiden tot 'voldoet'.

De controle op afschuiven van een zandtalud ( $c'=0$  Pa) onder water gaat met de formule:

$$\tan \phi' \geq \frac{\gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{m,\phi} (\rho_g - \rho_w) \cdot \sin \alpha}{\rho_g \cdot \cos \alpha - \rho_w (\cos \alpha + i_{\perp})}$$

$\rho_g$	volumieke massa natte grond [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	volumieke massa water [kg/m <sup>3</sup> ]
$\phi'$	hoek van inwendige wrijving [°]
$\gamma_{m,\phi}$	partiële veiligheidsfactor op $\tan \phi'$ (=1,1) [-]
$\alpha$	taludhelling onderwatertalud [°]
$i_{\perp}$	buitenwaarts gericht verhang [-]
$\gamma_d \cdot \gamma_n$	modelfactor x schadefactor (=1,1x1,1=1,21 voor evenwijdig evenwicht) [-]

Voor een talud van 1V:3H,  $\rho_g=2000$  kg/m<sup>3</sup> en  $\phi'=35^\circ$  leidt dit tot een kritisch verhang  $i_{\perp} = 0,34758$  [m/m].

## **G Indeling objecten / kunstwerken**

Deze bijlage is eerder verschenen als Bijlage D van het rapport (Breedeveld, 2014). De verwijzingen in deze bijlage naar andere bijlagen hebben betrekking op onderdelen uit dat betreffende rapport.

**STROOMSCHEMA BEORDEELINGSAANPAK NIET-WATERKERENDE (rood vlak) en WATERKERENDE OBJECTEN (blauw vlak) inclusief daarin aanwezige keer- en afsluutmiddelen**  
 ZIE BIJLAGE C van 1209438-006-GEO-0003 (versie D1b definitief van oktober 2014) VOOR DEFINITIES VAN VERMIELDE OBJECTCLUSTERS, OBJECTTYPEN, VERSCHIJNINGSVORMEN, FUNCTIES  
 VOORWAARDE VOOR GEBRUIK STROOMSCHEMA BIJ NIET-WATERKERENDE OBJECTEN: er dient sprake te zijn van overlap tussen verstoringsgebied NWO en invoeds-, veiligheids- of stabiliteitsgebied direct(e) faalmechanisme(n), zie toelichting bijlage A en bijlage B

OBJECTCLUSTER (zie bijlage C.2)	OBJECTTYPE (zie bijlage C.3) onderscheid in objecttype wordt bepaald door verschillen in functie en/of wijze van krachtsafdracht	VERSCHIJNINGSVORMEN (zie bijlage C.4) één objecttype kan (qua vorm en materiaalgebruik) in meerdere verschijningsvormen worden uitgevoerd	FUNCTIES (zie bijlage C.5)				LANGS-CONSTRUCTIE door de relatief kleine objectlengte parallel aan de as van de waterkering is het lengte-effect (dat betrekking heeft op de constructie) waarschijnlijk meegenomen	PUNTCONSTRUCTIE door de relatief kleine objectlengte parallel aan de lengte-effect (dat betrekking heeft op de constructie) waarschijnlijk te verwaarlozen	OBJECT-SPECIEKE HANDLEIDING <sup>1</sup>
			waterkerende (waterstaatkundige) functie	waterkwantiteits-beheer	waterkwaliteits-beheer	infrastructurele functie			
Leidingen	→ hogedrukleiding vloeistof (≥ 1,0 MPa)	niet-staal D <sub>i</sub> ≥ Ø125 mm						→ 1A	
	→ hogedrukleiding gas (≥ 1,0 MPa)	staal D <sub>i</sub> ≥ Ø500 mm, niet-staal D <sub>i</sub> ≥ Ø125 mm	X	X	X			→ 1B	
	→ lage drukleiding	persleiding, hevelleiding, vrij vervallende	X					→ 1C	
Bebouwing	→ niet waterstaatkundige bebouwing	woonhuis, bedrijfsgebouw, naast waterkering						→ 2A	
	Begroeiing	→ begroeiing						→ 3	
Waterreguleringswerken	→ stuw	balgstuw, klepstuw, vzierstuw	X					→ 4A	
	→ inlaatduiker (vrij wateroppervlak)	inlaatduiker of -leiding	X	X				→ 4B	
	→ uitwateringsduiker (vrij wateroppervlak)	uitwateringsduiker of -leiding	X	X				→ 4C	
	→ doorvoer zonder vrij wateroppervlak	sifon, hevel(pers)leiding	X	X				→ 4D	
	→ overlaat	overlaat	X					→ 4E	
Passages	→ rianduct	rianduct						→ 5A	
	→ aquaduct (voorzien van kanteldijken)	aquaduct (voorzien van kanteldijken)						→ 5B	
In de grond ingebedde grondkeringen	→ tunnel (voorzien van kanteldijken)	tunnel (voorzien van kanteldijken)						→ 5C	
	→ vistrap (of vispassage)	vistrap (of vispassage)						→ 5D	
	→ functiescheidend scherm	functiescheidend scherm	(X)	X				→ 6A	
	→ erosiescherm	erosiescherm	X					→ 6B	
	→ kwelscherm	kwelscherm	X					→ 6C	
	→ stabiliteitsscherm	stabiliteitsscherm	X					→ 6D	
	→ overloproverslagsscherm	overloproverslagsscherm	X					→ 6E	
	→ kadewand	kadewand	X	X				→ 6F	
	→ gewichtsmuur	gewichtsmuur	X	X	X			→ 7A	
	→ kademuur	kademuur	X	X	X			→ 7B	
Vrijstaande grondkeringen	→ keermuur (of keervand)	keermuur (of keervand)	X	X	X			→ 7C	
	→ coupure	coupure	X					→ 8A	
Mobiele kerings (incl. Keermiddel <sup>2</sup> )	→ demontabele kerings	demontabele kerings	X					→ 8B	
	→ tunnel zonder kanteldijken	tunnel zonder kanteldijken	(X)	X				→ 8C	
Innovaties	→ tijdelijke kerings <sup>3</sup>	tijdelijke kerings <sup>3</sup>	(X)	X				→ 8D	
	→ gevapende grond	gevapende grond	X					→ 9A	
	→ Mixed in Place (INSIDE-techniek)	Mixed in Place (INSIDE-techniek)	X	X	X			→ 9B	
Sluizen (incl. keermiddelen <sup>4</sup> en kwelschermen)	→ Dijkvermaging (INSIDE-techniek)	Dijkvermaging (INSIDE-techniek)	X	X	X			→ 9C	
	→ Dijkdeuvals (INSIDE-techniek)	Dijkdeuvals (INSIDE-techniek)	X	X	X			→ 9D	
	→ schuilsluis	schuilsluis	X					→ 10A	
	→ keersluis	keersluis	X	X	X			→ 10B	
	→ stormvloedkering	stormvloedkering	X	X	X			→ 10C	
Gemalen	→ uitwateringsluis (of spuisluis)	uitwateringsluis (of spuisluis)	X	X	X			→ 10D	
	→ inwateringsluis (of inlaatluis)	inwateringsluis (of inlaatluis)	X	X	X			→ 10E	
	→ gemaal (incl. afsluutmiddelen <sup>5</sup> en pompen)	gemaal (incl. afsluutmiddelen <sup>5</sup> en pompen)	X	X	(X)			→ 11	
Aansluitingsconstructies	→ aansluitingsconstructie kunstwerk-duin	aansluitingsconstructie kunstwerk-duin	X					→ 12A	
	→ aansluitingsconstructie kunstwerk-dijk-dam	aansluitingsconstructie kunstwerk-dijk-dam	X					→ 12B	
	→ aansluitingsconstructie kunstwerk-hoog grond	aansluitingsconstructie kunstwerk-hoog grond	X					→ 12C	

<sup>1</sup> er is sprake van een grote overlap tussen de gewenste invulling van deze toekomstige object-specifieke handleidingen – zie bijlage E voor een voorbeeld – en de door WTI 2017 op te leveren schematiseringsinstructies per beoordelingspoor;  
<sup>2</sup> keermiddelen in coupures kunnen in verschillende verschijningsvormen (zoals schotbalken, opklapdeuren, schuifdeuren, draaldeuren, roldeuren, etc.);  
<sup>3</sup> tijdelijke kerings worden over het algemeen niet als primaire waterkering toegepast;  
<sup>4</sup> keermiddelen in sluizen kunnen in verschillende verschijningsvormen (zoals rotdouren, schuifdeuren, puntdeuren, hetschuiven, etc.) worden uitgevoerd;  
<sup>5</sup> afsluutmiddelen in een koker of leiding kunnen verschillende verschijningsvormen (terugslagklep, vlinderklep, tolklep, schuiven, spindelschuiven, etc.) worden uitgevoerd;