



RWS INFORMATIE

Schematiseringshandleiding grasbekleding

WBI 2017

Datum	31 maart 2022
Status	Definitief

Colofon

Uitgegeven door	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Informatie	Helpdesk Water, www.helpdeskwater.nl
Contact	helpdeskwater@rws.nl
Uitgevoerd door	Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving
Datum	31 maart 2022
Status	Definitief
Versienummer	6.0

Ten opzichte van de vorige versie van de schematiseringshandleiding zijn enkele tekstuele aanpassingen gedaan en is:

- een fout ten aanzien van de voor het toetsspoor GEBU te gebruiken categorie voor de hydraulische belasting hersteld;
- het standaard waterstandsverloop voor het watersysteem Oosterschelde aangepast (zie paragraaf 0);
- een nieuw inzicht inclusief voorbeeld toegevoegd over hoe bij het toetsspoor GEBU om te gaan met een afnemende golfhoogte bij toenemende waterstand (zie paragraaf 7.4 en Bijlage K);
- en de grenswaarde voor schrale klei is aangepast (zie Figuur 6.4).

De release notes behorende bij de laatste release van het instrumentarium zijn te vinden op de website van de Helpdesk Water. In deze release notes zijn de belangrijkste wijzigingen voor de verschillende onderdelen van de release (software, hydraulische databases en documenten).

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



Inhoud

1	Schematiseringshandleidingen en WBI 7
1.1	Schematiseringshandleidingen en WBI generiek 7
1.2	Uitgangspunten Schematiseringshandleiding grasbekleding 10
1.3	Opbouw 11
2	Stappenplan 12
3	Belastinggevallen 15
3.1	Afschuiven bekleding buitentalud 15
3.2	Erosie buitentalud 15
3.3	Afschuiven bekleding binnentalud 16
3.4	Erosie kruin en binnentalud 17
4	Vakindeling 19
4.1	Inleiding 19
4.2	Afschuiven bekleding buitentalud 19
4.3	Erosie buitentalud 20
4.4	Afschuiven bekleding binnentalud 21
4.5	Erosie kruin en binnentalud 21
5	Schematisering per vak 23
5.1	Afschuiven bekleding buitentalud 23
5.2	Erosie buitentalud 24
5.3	Afschuiven bekleding binnentalud 25
5.3.1	Karakterisering van de dijkopbouw en ondergrond 25
5.3.2	Geohydrologische karakterisering 26
5.3.3	Geotechnische schematisering 28
5.4	Erosie kruin en binnentalud 29
6	Parameters 30
6.1	Inleiding 30
6.2	Veiligheidseisen 30
6.3	Geometrie van de dijk 30
6.4	Afschuiven bekleding buitentalud 32
6.4.1	Kernmateriaal 32
6.4.2	Dikte en onderwatergewicht kleibekleding buitentalud 32
6.4.3	Significante golfhoogte 33
6.5	Erosie buitentalud 33
6.5.1	Graskwaliteit 36
6.5.2	Significante golfhoogte 39
6.5.3	Waterstand 39
6.5.4	Waterstandsverloop 40
6.5.5	Golfcondities 44
6.5.6	Zandgehalte in kleilaag 45
6.5.7	Dikte kleilaag 45
6.6	Afschuiven bekleding binnentalud 46
6.6.1	Golfoverslagdebiet 46
6.6.2	Type dijk 46
6.6.3	Kleikwaliteit 47
6.6.4	Dikte en gewicht kleibekleding binnentalud 48

- 6.6.5 Doorlatendheid kleibekleding 49
- 6.6.6 Doorlatendheid zandkern 50
- 6.6.7 Doorlatendheid ondergrond 51
- 6.6.8 Grondwaterstand binnenteen ten opzichte van teenniveau (h-z)52
- 6.6.9 Wrijvingseigenschappen klei en zand 55
- 6.7 Erosie kruin en binnentalud 56
 - 6.7.1 Kleilaagdikte 57
 - 6.7.2 Significante golfhoogte 57
 - 6.7.3 Graskwaliteit58
 - 6.7.4 Parameters kritisch overslagdebiet 58

7 Nieuwe inzichten 59

- 7.1 Toets op maat GEBU: kansverdeling golfhoogte gras golfploopzone 59
- 7.2 Toets op maat GEBU: Scheef invallende golven gras golfklapzone 59
- 7.3 Toets op maat GEKB: invloed overgangen en objecten 60
- 7.4 Toets op maat GEBU: Afnemende golfhoogte bij toenemende waterstand 62

8 Verantwoording 64

A Literatuur65

B Voorbeeldfoto's graszode 67

- B.1 Gesloten zode 67
- B.2 Open zode 68
- B.3 Fragmentarische zode 69
- B.4 Steken van een plag70

C N_{dsn} -waarden voor de toetssporen GEKB en GEBU. 72

D Formules voor het toetsspoor grasbekleding afschuiven binnentalud 79

- D.1 Kleidijk 79
- D.2 Zanddijk met kleibekleding 80
 - D.2.1 Opdrukken van de kleibekleding 82
 - D.2.2 Uitspoelen van zand door een kleibekleding 85
 - D.2.3 Afschuiven van de kleibekleding 89
- D.3 Zanddijk talud boven water 91
- D.4 Zanddijk talud onder water 92
- D.5 Literatuur 93

E Schema werkwijze beoordeling grasbekleding 95

- E.1 Toelichting op het schema werkwijze beoordeling 95
- E.2 Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU) 96
- E.3 Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU) 96
 - E.3.1 Activiteit 'data verzamelen' 96
 - E.3.2 Activiteit 'schematiseren' 96
 - E.3.3 Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen' 97
 - E.3.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel' 97
 - E.3.5 Activiteit 'analyseren' 97
 - E.3.6 Toelichting bij de referenties 97
- E.4 Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU) 98
- E.5 Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU) 98
 - E.5.1 Activiteit 'data verzamelen' 98
 - E.5.2 Activiteit 'schematiseren' 98



E.5.3	Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen' 98
E.5.4	Activiteit 'berekenen toetsoordeel' 99
E.5.5	Activiteit 'analyseren' 99
E.5.6	Toelichting bij de referenties 99
E.6	Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB) 100
E.7	Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB) 100
E.7.1	Activiteit 'data verzamelen' 100
E.7.2	Activiteit 'schematiseren' 100
E.7.3	Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen' 101
E.7.4	Activiteit 'berekenen toetsoordeel' 101
E.7.5	Activiteit 'analyseren' 101
E.7.6	Toelichting bij de referenties 101
E.8	Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI) 102
E.9	Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI) 102
E.9.1	Activiteit 'data verzamelen' 102
E.9.2	Activiteit 'schematiseren' 102
E.9.3	Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen' 103
E.9.4	Activiteit 'berekenen toetsoordeel' 103
E.9.5	Activiteit 'analyseren' 103
E.9.6	Toelichting bij de referenties 103

F Casus GEBU en GEKB Waddenzeedijk104

F.1	Algemene informatie 104
F.2	Beoordeling GEKB Grasbekleding Erosie Kruin en Binnentalud 106
F.2.1	Stap G.1 gedetailleerde toets GEKB. 106
F.2.2	Stap G.2 gedetailleerde toets GEKB111
F.2.3	Toets op maat bij golfhoogte hoger dan 3 m 111
F.2.4	Toets op maat voor 'nette' overgangen 112
F.3	Beoordeling GEBU 112
F.3.1	Eenvoudige toets GEBU 113
F.3.2	Gedetailleerde toets GEBU 113
F.4	Literatuur 119

G Casus GEBU IJsseldelta120

G.1	Algemene informatie 120
G.2	Beoordeling GEKB 121
G.2.1	Stap G.1 121
G.2.2	Stap G.2 125
G.2.3	Toets op maat voor 'nette' overgangen 126
G.3	Beoordeling GEBU 126
G.3.1	Eenvoudige toets 126
G.3.2	Gedetailleerde toets 127
G.4	Literatuur 132

H Casus GABI Waddenzee 133

H.1	Dijkopbouw en geometrie 133
H.2	De eenvoudige toets133
H.3	De gedetailleerde toets 134
H.3.1	Geohydrologische schematisering 134
H.3.2	Verhoging freatisch vlak door hoge buitenwaterstand 135
H.3.3	Verhoging freatisch vlak door golfoverslag 136
H.4	Literatuur 138

I Voorbeeld workaround bepalen golfcondities met Hydra-Ring 139

- I.1 Introductie 139
- I.2 Voorbeeld 139
 - I.2.1 Stap 1: verzamelen benodigde gegevens en applicaties 139
 - I.2.2 Stap 2: voorbereiding 140
 - I.2.3 Stap 3: berekenen golfcondities voor bekledingen 140

J Casus scheef invallende golven gras golfklapzone 147

- J.1 Beschrijving casus 147
- J.2 Invoer golfklapberekening 147
- J.3 Gedetailleerde toets 149
- J.4 Toets op maat 149
- J.5 Literatuur 150

K Casus afnemende golfhoogte bij toenemende waterstand 151

- K.1 Beschrijving casus 151
- K.2 Invoer BM – Gras Buitentalud 152
- K.3 Resultaten analyse 153

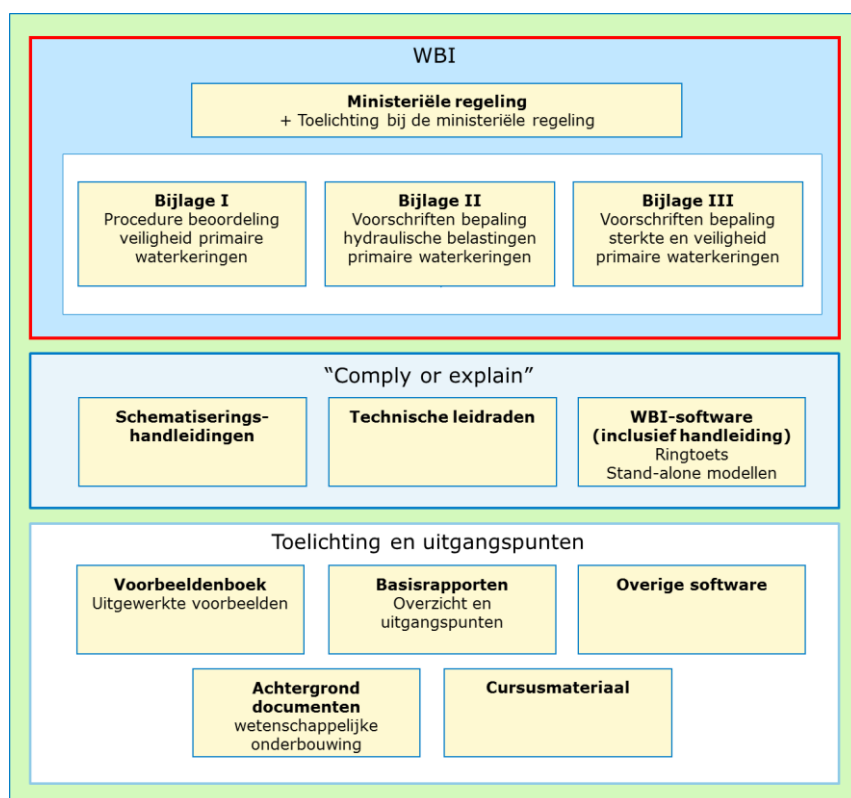
1 Schematiseringshandleidingen en WBI

1.1 Schematiseringshandleidingen en WBI generiek

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

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

Het WBI bevat de voorschriften voor het uitvoeren van de beoordeling. In deze voorschriften wordt verwezen naar een aantal documenten en applicaties die de beheerder *ondersteunen* bij het uitvoeren van de beoordeling, waaronder de schematiseringshandleidingen en de WBI software. Een overzicht van de structuur van het WBI en de daaraan gerelateerde documenten staat in Figuur 1.1 Binnen het rode kader staan de formele WBI documenten, daarbuiten de ondersteunende documenten en applicaties.



Figuur 1.1 Het WBI 2017 en daaraan gerelateerde documenten

WBI software

Er zijn meerdere 'WBI applicaties'. Ringtoets is feitelijk het 'beoordelings-platform' en staat daarom ook wel bekend als dé WBI software. De stand-alone modellen, zoals BM - Gras Buitentalud, BM - Asphalt Golfklap en Steentoets maken echter ook nadrukkelijk deel uit van de WBI software-familie.

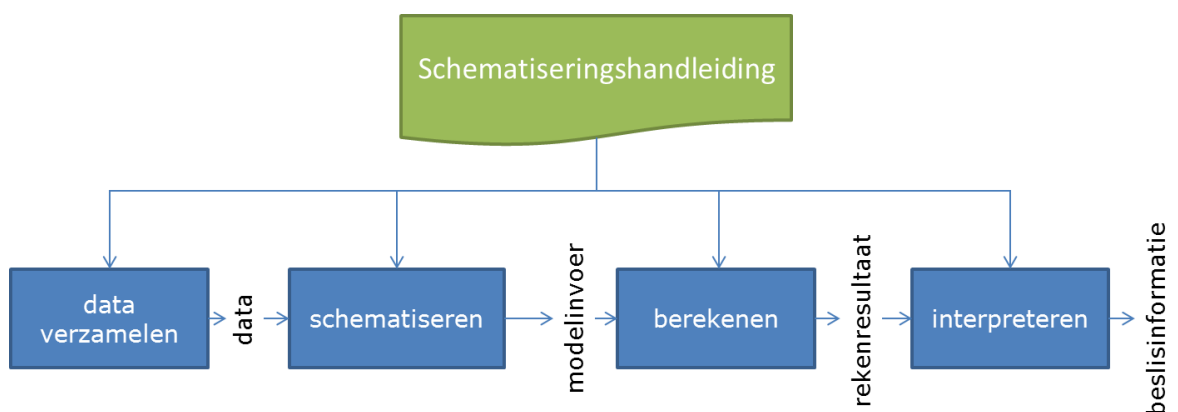
Ringtoets of Riskeer?

Ringtoets is de applicatie waarbinnen voor een aantal toetssporen de berekeningen en analyses kunnen worden uitgevoerd en de resultaten geassembleerd tot op het niveau van een oordeel per traject. Ringtoets versie 18.1.1 blijft de versie die primair bedoeld is voor de eenvoudige en de gedetailleerde toets. Vanaf november 2019 is ook Riskeer beschikbaar, een doorontwikkelde versie van Ringtoets. Er is bewust gekozen voor de naamswijziging om het verschil tussen de applicatie t.b.v. de beoordeling (eenvoudig, gedetailleerd conform de regeling) te scheiden van de applicatie die ook kan worden ingezet voor enkele specifieke Toetsen op Maat en verificatie van overstromingskansen bij het ontwerp. Vanaf Riskeer 19.1.1 zijn namelijk nieuwe functionaliteiten beschikbaar (onder andere een nieuwe rekenoptie voor het afleiden van hydraulische belastingen voor een grasbekleding in de golfoploopzone) en is ook nieuwe kennis toegepast. Wanneer overigens in Riskeer 19.1.1 (of latere versies) met dezelfde instellingen wordt gerekend als in Ringtoets 18.1.1 leidt dat tot hetzelfde resultaat.

Vanaf Riskeer versie 21.1.1 zijn er nieuwe rekenopties voor het afleiden van hydraulische belastingen voor een grasbekleding in de golfklapzone waarbij in een toets op maat rekening wordt gehouden met scheef invallende golven.

Doel schematiseringshandleiding

Het uitvoeren van een toets (*eenvoudige toets, gedetailleerde toets of toets op maat*) voor het beoordelen van primaire waterkeringen bestaat op hoofdlijnen uit vier activiteiten, zie Figuur 1.2. In een schematiseringshandleiding wordt, gegeven een rekenmethode of model, de samenhang aangegeven tussen deze vier activiteiten: welke data benodigd is, hoe moet worden geschematiseerd, welke software hiervoor beschikbaar is en in sommige gevallen hoe de resultaten kunnen worden geïnterpreteerd.



Figuur 1.2 Activiteiten verbonden met een toets

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

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

Het doorlopen van de vier activiteiten uit figuur 1.2 is in veel gevallen een iteratief proces. Zeker als ervoor wordt gekozen om te starten met een grove schematisering. In de vierde activiteit wordt bekeken of door het inwinnen van extra gegevens en/of het verfijnen van de schematisering, het resultaat van de derde activiteiten kan worden aangescherpt. Het is uiteraard ook mogelijk om meteen te kiezen voor een gedetailleerde schematisering.

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

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

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

Uitgangspunten

Voor alle schematiseringshandleidingen gelden de volgende uitgangspunten:

- Voor de gegevens die in het rekenmodel voor het toetsspoor worden ingevoerd wordt een format voorgeschreven. Het format sluit aan bij de Aquo standaard. Verdere informatie hierover is te vinden in de Handleiding datamanagement¹ WBI [4].
- Deze schematiseringshandleiding *ondersteunt* gebruikers in het omzetten van (veld)gegevens naar de juiste rekenparameters en goede schematiseringen die in de beoordelingsmethoden kunnen worden toegepast.
- Deze schematiseringshandleiding geeft tevens *aanwijzingen* voor de waarden die voor parameters aangehouden kunnen worden. In [4] (paragraaf 4.1) zijn vier typen waarden benoemd, die ook in deze schematiseringshandleiding worden gehanteerd:

¹ <https://www.helpdeskwater.nl/algemene-onderdelen/structuur-pagina/zoeken-site/@205764/handleiding>

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

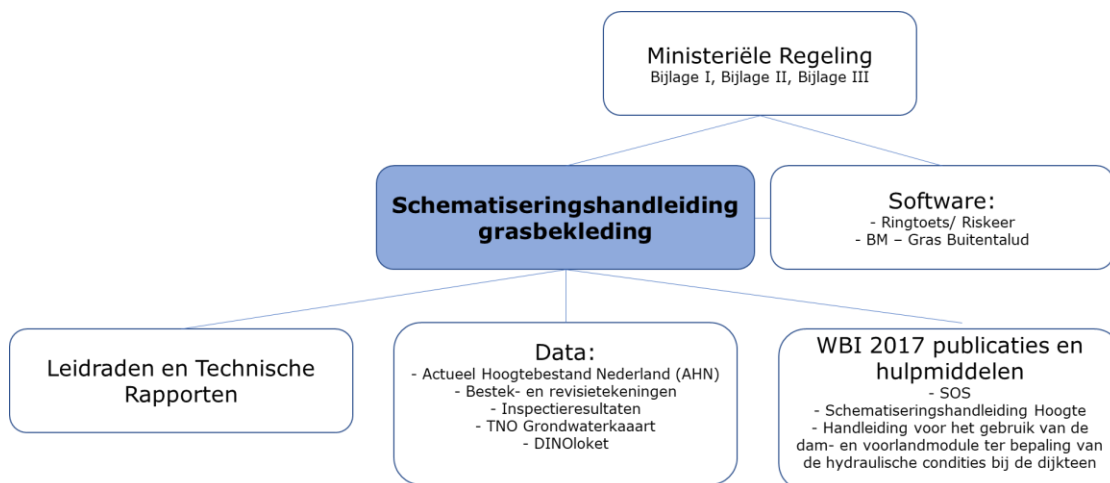
Doelgroep

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

1.2

Uitgangspunten Schematiseringshandleiding grasbekleding

Deze schematiseringshandleiding geeft een gedetailleerde omschrijving van de wijze waarop de benodigde gegevens kunnen worden vergaard voor de beoordeling van grasbekledingen. De positie van deze schematiseringshandleiding ten opzichte van de overige bouwstenen is in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 1.3 De positie van de *Schematiseringshandleiding grasbekleding* ten opzichte van de overige bouwstenen

Voor deze schematiseringshandleiding geldt tevens dat de toetssporen *Grasbekleding afschuiven binnentalud* (GABI) en *Microstabiliteit* (STMI) nauw aan elkaar verwant zijn. Indien er geen overslag van betekenis is (rekenwaarde bij de signaleringswaarde is kleiner of gelijk aan 0,1 l/s per m ($1 \cdot 10^{-4}$ m³/s per m in SI eenheden)) dan worden beide toetssporen beoordeeld, waarbij uit de *eenvoudige toets* van het toetsspoor GABI overigens direct volgt dat de faalkans verwaarloosbaar is. Wanneer de rekenwaarde van het golfoverslagdebiet bij de signaleringswaarde groter is dan 0,1 l/s per m ($1 \cdot 10^{-4}$ m³/s per m in SI eenheden) wordt alleen het toetsspoor GABI doorlopen.

Opbouw

De algemene opbouw is als volgt:

Onderwerp	Locatie
Stappenplan	Hoofdstuk 2
Belastinggevallen	Hoofdstuk 3
Vakindeling	Hoofdstuk 4
Schematisering per vak	Hoofdstuk 5
Parameters	Hoofdstuk 6
Nieuwe inzichten	Hoofdstuk 7

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

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

In Appendix F, G en H zijn voorbeelden voor verschillende toetssporen gegeven.

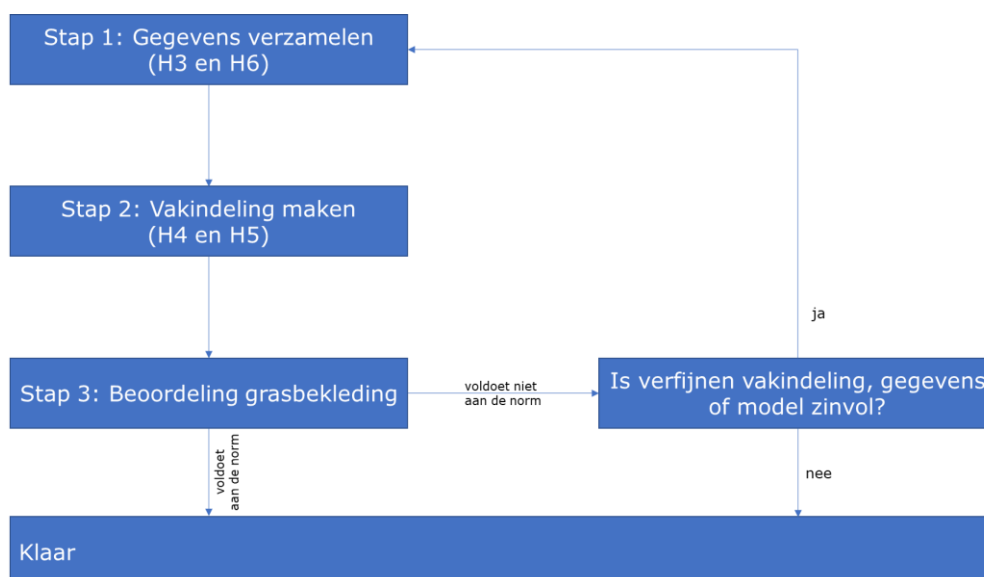
Stappenplan

De beoordeling van de grasbekleding omvat vier toetssporen:

- *Grasbekleding afschuiven buitentalud* (GABU);
- *Grasbekleding erosie buitentalud* (GEBU);
- *Grasbekleding afschuiven binnentalud* (GABI); en
- *Grasbekleding erosie kruin en binnentalud* (GEKB).

Het is ook van belang te onderkennen dat indien er geen golfoverslag van betekenis is het toetsspoor *Microstabiliteit* uitgevoerd moet worden (zie ook Schematiseringshandleiding Microstabiliteit).

Voor elk van de toetssporen wordt het volgende cyclische stappenschema gevolgd, zie Figuur 2.1.



Figuur 2.1 Schema voor cyclisch proces per toetsspoor

De eerste stap bestaat uit het verzamelen van gegevens. In een eerste cyclus, werkend van grof naar fijn, zijn dit minimaal de benodigde gegevens voor de *eenvoudige toets*. In latere cycli kunnen eventueel meer gegevens worden verzameld. Vaak zal het aantrekkelijk zijn om te starten met het inwinnen van archiefgegevens, gegevens van eerdere beoordelingen, bestek- en revisietekeningen, et cetera, en pas in een tweede cyclus ook veldmetingen en laboratoriumonderzoek uit te voeren.

In de tweede stap moet op basis van de ingewonnen gegevens een vakindeling worden gemaakt (zie Hoofdstuk 4 voor criteria en overwegingen bij de vakindeling). In de eerste cyclus zal dit minimaal gebeuren op basis van parameters die nodig zijn voor de *eenvoudige toets*. In latere cycli kan het van nut zijn om vakken te verfijnen aan de hand van nader ingewonnen gegevens.

In stap drie wordt met de verzamelde gegevens voor elk dijkvak een modelschematisering gemaakt, waarmee elk dijkvak wordt beoordeeld. In de eerste cyclus kan dit alleen bestaan uit

een *eenvoudige toets* op basis van eenvoudige criteria, in vervolg cycli zullen meer gedetailleerde modellen worden gebruikt.

Indien een dijkvak niet voldoet aan de gestelde eisen, dan wordt de beoordeling verfijnd, waarbij zowel sterkte- als belastingaspecten relevant zijn. Hierbij kan worden gedacht aan het in rekening brengen van de invloed van eventueel aanwezig voorland en/of havendammen, het verzamelen van meer gegevens, het verfijnen van de dijkvakindeling en het gebruik van meer geavanceerde rekenmodellen, zowel binnen de *gedetailleerde toets* als later in een *toets op maat*. Hieraan voorafgaand dient men zich af te vragen of de inspanning voor verfijning in verhouding staat tot de kans dat hiermee alsnog wordt voldaan aan de norm. De cyclus wordt doorlopen totdat er geen dijkvak meer is waarvoor geldt dat a) het dijkvak niet aan de norm voldoet én dat b) verfijningen voor het dijkvak tot een ander oordeel zouden kunnen leiden.

3 Belastinggevallen

3.1 Afschuiven bekleding buitentalud

Het afschuiven van de bekleding met kleilaag van het buitentalud kan plaatsvinden als gevolg van golfwerking in combinatie met een hoge grondwaterstand in het zand onder de kleilaag. Op het moment van maximale golfterugtrekking heerst er een ongunstig buitenwaarts gericht verhang over de kleilaag, waardoor deze kan opdrukken en/of afschuiven. Het taluddeel tussen de waterstand bij de signaleringswaarden en het waterstandsniveau met een kans van overschrijden van 1/10 per jaar kan daarbij afschuiven. Dit laatst genoemde waterstandsniveau wordt onder andere via de [website van Rijkswaterstaat](#) beschikbaar gesteld. Een alternatieve methode is om deze waterstand af te leiden met Hydra-NL, Ringtoets of Riskeer.

Het rekenmodel voor de *gedetailleerde toets* is een empirische rekenregel, waarin de dikte en het gewicht van de kleilaag, de taludhelling en de significante golfhoogte staan. De beoordeling wordt semi-probabilistisch uitgevoerd. De rekenwaarde van de significante golfhoogte wordt beschikbaar gesteld via Ringtoets².

Andere belastingen worden niet beschouwd. Aangenomen wordt dat andere belastingen geen significante bijdrage leveren aan de kans op overstromen van het achterland en/of worden gedekt door de 30% faalkansruimte voor overige toetssporen.

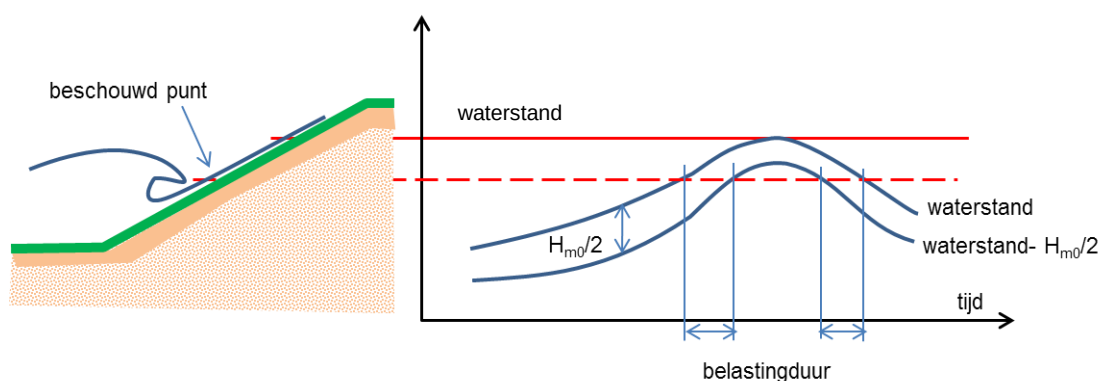
3.2 Erosie buitentalud

Erosie van de grasbekleding op het buitentalud kan optreden als gevolg van golfklappen of als gevolg van golfploop. Voor een dijk met een grasbekleding in zowel de golfklap- als golfploopzone zal de belasting als gevolg van golfklap in de meeste gevallen eerst tot falen van de bekleding leiden. Omdat in specifieke situaties de belasting als gevolg van oploop maatgevend kan zijn dient voor dijken met en grasbekleding in beide zones de grasbekleding zowel op golfklap als -oploop beoordeeld te worden. Voor dijken waarbij in de golfklapzone een harde bekleding aanwezig is wordt de hierboven aanwezige grasbekleding alleen beoordeeld op golfploop.

In de golfklapzone bestaat de belasting uit een combinatie van een golfhoogte en een belastingduur. De golfklappen treden hoofdzakelijk op in de zone tussen het waterpeil en een halve golfhoogte onder dit peil. De belastingduur wordt gedefinieerd als de tijd waarin het beschouwde punt van de grasbekleding in deze zone ligt, zie Figuur 3.1. Opgemerkt wordt dat het meest aangevallen punt op het talud niet op voorhand is aan te wijzen. Voor de beoordeling van grasbekledingen op golfklappen is het mogelijk om de invloed van scheef

² De in november 2019 beschikbaar gekomen nieuwe versie van Ringtoets is aangeboden voor het beoordelen en het ontwerpen van waterkeringen in het kader van het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI). Om het verschil met het WBI 2017 te benadrukken wordt in plaats van Ringtoets gesproken over Riskeer. Voor de beoordeling van de grasbekleding kan met Riskeer voor de *gedetailleerde toets* van het toetsspoor GEBU de hydraulische belasting voor zowel gras in de golfklap- als golfploopzone bepaald worden (met Ringtoets is dit alleen voor gras in de golfklapzone mogelijk). Voor de *gedetailleerde toets* van het toetsspoor GEBU dient dan ook gebruik te worden gemaakt van Riskeer. Omdat voor de *eenvoudige toets* van het toetsspoor GEBU en de toetssporen GABU, GEKB en GABI met zowel Ringtoets als Riskeer dezelfde resultaten worden verkregen, wordt aanbevolen om Riskeer v19.1 of hoger te gebruiken. Desalniettemin wordt in dit document, tenzij expliciet anders vermeld, gesproken over Ringtoets.

invallende golven mee te nemen in de software BM - Gras Buitentalud vanaf versie 19.2.1 in de vorm van een *toets op maat*. De benodigde Hydraulische Belastingen kunnen worden bepaald met Riskeer vanaf versie 21.1.1.



Figuur 3.1 Belastingduur golfklapbelasting, voor H_{m0} zie paragraaf 6.5.2. De waterstand is voor het faalmechanisme GEBU de waterstand met een jaarlijkse overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de faalkanseis behorend bij de voor de beoordeling te gebruiken categorie.

De belasting bij erosie in de golfoploopzone bestaat uit de frontsnellheid van de oplopende golftong. In de modellering worden alle golfoplopen in een storm meegenomen die het te beoordelen punt bereiken. Voor de berekening van de golfoploop wordt naast de waterstand en de golfhoogte ook de golfperiode en de hoek van inval gebruikt.

De rekenwaarden van de belastingen worden via Riskeer beschikbaar gesteld³. De *gedetailleerde toets* op erosie door golfklappen of golfoploop worden semi-probabilistisch uitgevoerd. Bij de bepaling van de hydraulische belasting voor de *gedetailleerde toets* moet rekening worden gehouden met de eventuele aanwezigheid van een voorland en/of een dam.

Andere belastingen, zoals ijsgang, aanvaringen, de extra erosieve werking van drijvend materiaal et cetera worden bij de beoordeling niet beschouwd. Bekend is dat drijvend materiaal een extra erosieve werking kan hebben bij een golfklapaanval, maar hiervan is onvoldoende bekend om het in rekening te brengen. Aangenomen wordt dat andere belastingen dan de beschouwde geen significante extra bijdrage leveren aan de kans op overstroom van het achterland en/of deze worden gedekt door de 30% faalkansruimte voor overige toetssporen.

3.3

Afschuiven bekleding binnentalud

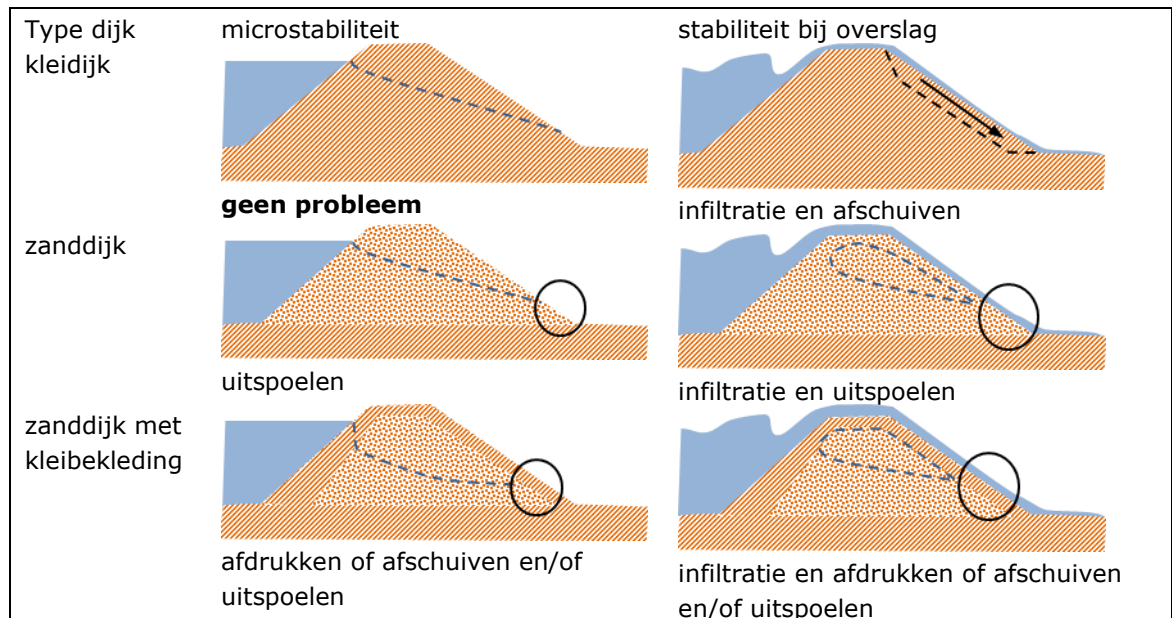
De belasting wordt gevormd door een hoge waterdruk ter plaatse van het binnentalud en de binnenteen van de dijk. Dit kan zorgen voor het opdrukken of afschuiven van een kleibekleding en/of het uitspoelen van zand. De hoge waterdruk wordt veroorzaakt door een hoge buitenwaterstand in combinatie een verhoogde freatische lijn als gevolg van onder andere infiltratie van overslaand water. Als er geen sprake is van golfoverslag, dan wordt de stabiliteit van de bekleding beoordeeld onder het spoor microstabiliteit, zie

Figuur 3.2.

De belasting is afhankelijk van de ligging van het freatisch vlak. Deze is afhankelijk van de buitenwaterstand en het golfoverslagdebiet bij de signaleringswaarde.

³ Bijlage III en II bevatten een tegenstrijdigheid. Bij de *eenvoudige toets* GEBU dient gebruik te worden gemaakt van de waterstand en golfhoogte bij doorsnede eis zoals beschreven in Bijlage II van de *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017* en niet bij de norm zoals beschreven in Bijlage III van deze regeling.

Andere belastingen, zoals aardbevingen, externe belastingen (bijvoorbeeld door verkeer) en neerslag worden niet als aparte te beoordelen belastingsscenario's beschouwd.



Figuur 3.2 Schematische weergave verschillen en overeenkomsten microstabiliteit en stabiliteit van de bekleding bij golfoverslag

Bij deze figuur wordt opgemerkt dat de geschetste ligging van het freatisch vlak puur illustratief is. Vooral bij infiltratie door golfoverslag bij een zanddijk en een zanddijk met een kleibekleding is de ligging van het freatisch vlak boven in de dijk onzeker en situatie afhankelijk. Het is mogelijk dat infiltratie van water op de kruin en de bovenzijde van het talud alleen via onverzadigde stroming in de dijk zakt en daar het freatisch vlak verhoogt. De geschetste bovenste freatische lijn is in dat geval niet aanwezig.

3.4

Erosie kruin en binnentalud

De belasting wordt gevormd door over de dijk slaande golven of door overloop. Bij golfoverslag geeft elk golfvolume dat over de kruin slaat gedurende een korte tijd een stroomsnelheid en een waterlaagdikte op het talud. De frontsnelheid van het overslaande golfvolume wordt gebruikt als karakterisering van de belasting bij golfoverslag. Bij overloop, bij een waterstand hoger dan de kruin, wordt niet gekeken naar de optredende stroomsnelheid. In Ringtoets wordt overloop beschouwd als falen van de waterkering.

Bij golfoverslag hebben de overslagvolumes een statistische verdeling die afhankelijk is van het overslagdebiet en de bijbehorende golfcondities. Een golfoverslagdebiet van bijvoorbeeld 10 l/s per m bij een hoge waterstand en kleine golven geeft een heel andere verdeling van overslagvolumes dan 10 l/s per m bij een lage waterstand en hoge golven. In het laatste geval is het aantal over de dijk slaande golven veel kleiner, maar zijn de volumes per overslaande golf veel groter. Gebleken is dat erosie vooral wordt veroorzaakt door de grote overslagvolumes. De belasting is dus afhankelijk van zowel het overslagdebiet als de golfhoogte.

De beoordeling wordt volledig probabilistisch uitgevoerd. Voor deze berekening moet een schematisering worden gemaakt van het buitentalud, met ruwheden. Ook moet hierbij rekening worden gehouden met de eventuele aanwezigheid van een voorland en/of een dam.

Andere belastingen dan golfoverslag en overloop worden niet beschouwd. Aangenomen wordt dat andere belastingen geen significante extra bijdrage leveren aan de kans op overstromen van het achterland en/of deze worden gedekt door de 30% faalkansruimte voor overige toetssporen.

4 Vakindeling

4.1 Inleiding

In een dijkvak zijn de geschematiseerde sterkte en belasting constant. Indien er variatie aanwezig is binnen een vak, dan moet óf het meest ongunstige profiel worden gekozen voor het uitvoeren van de beoordeling óf het vak worden onderverdeeld in meerdere vakken. Indien de beoordeling van het meest ongunstige profiel niet leidt tot een acceptabele faalkans, ofwel een oordeel 'voldoet', dan wordt het dijkvak indien mogelijk opgesplitst.

De beoordeling van de vier toetssporen is verschillend, waardoor ook de criteria om dijkvakgrenzen te leggen verschillen. De dijkvakindelingen voor de verschillende sporen hoeven dan ook niet overeen te komen. Daarnaast kunnen beheedersgrenzen en trajectgrenzen ook reden zijn om een vak te begrenzen. In de navolgende paragrafen wordt per toetsspoor aandacht besteed aan het maken van een dijkvakindeling.

Bij het opstellen van een dijkvakindeling wordt gewerkt van grof naar fijn, beginnend bij eenvoudige criteria om de grenzen te stellen (uit de *eenvoudige toets*), naar meer gedetailleerde criteria.

4.2 Afschuiven bekleding buitentalud

Met de kleibekleding wordt in dit geval het geheel van graszode en kleilaag bedoeld. Criteria waarmee dijkvakgrenzen worden gekozen zijn afgeleid van de toetsregels en de modellen waarmee optreden van het mechanisme wordt gecontroleerd:

- Licht de kleibekleding op een zandkern of zandscheg.
- Dikte van de kleibekleding, indien deze op zand ligt.
- Significante golfhoogte.
- Taludhelling.

Bij het maken van een dijkvakindeling wordt van grof naar fijn gewerkt. Een eerste stap is om met de criteria uit de *eenvoudige toets* dijkvakgrenzen te stellen. Dit is ten eerste de voorwaarde of de kleibekleding op zand ligt of dat het een kleidijk betreft. In het laatste geval volgt direct het oordeel 'voldoet'. De tweede voorwaarde, aan de ongunstige kant, is de aanwezigheid van een zandscheg onder de bekleding. Dat geval kan alleen in een *toets op maat* worden beoordeeld. Overige dijkvakken betreffen aldus zanddijken met een kleibekleding.

Een van de onderscheidende criteria bij zanddijken met een kleibekleding is de significante golfhoogte ten opzichte van de kleilaagdikte. Met de significante golfhoogte wordt bedoeld de golfhoogte met een overschrijdingskans gelijk aan de norm, welke via Ringtoets beschikbaar wordt gesteld. Als de kleilaagdikte groter is dan de significante golfhoogte dan volgt het oordeel 'voldoet'. Overgangen tussen strekkingen met een significante golfhoogte kleiner dan, min of meer gelijk aan, of groter dan de aanwezige kleilaagdikte zijn daarom handige grenzen voor de dijkvakindeling.

Voorbeeld: Volgens bestektekeningen is de kleilaagdikte op het buitentalud 0,8 m. Vanuit lokale ervaring is bekend dat deze varieert tussen 0,7 en 0,9 m. Via Ringtoets kan voor de uitvoerpunten langs de dijk golfhoogte worden opgevraagd. Voor een eerste dijkvakindeling kan dan onderscheid worden gemaakt tussen **1)** vakken met een golfhoogte kleiner dan 0,7 m, **2)** dijkvakken met een golfhoogte tussen 0,7 en 0,9 m en **3)** dijkvakken waar de golfhoogte groter is dan 0,9 m. De eerste vakken krijgen in de *eenvoudige toets* gelijk het oordeel

'voldoet'. De laatste vakken moeten gedetailleerd worden beoordeeld en voor de vakken in de middencategorie kan ofwel beter worden gekeken naar de aanwezige kleilaagdikte door bijvoorbeeld boringen, of kan worden gekeken of met een lage schatting van de kleilaagdikte van 0,7 m een oordeel 'voldoet' kan worden gekregen in de *gedetailleerde toets*.

Daarnaast is ook de taludhelling van belang. Dijkvakken waarbij de golfhoogte groter is dan de kleilaagdikte, worden gedetailleerd getoetst, maar alleen als de taludhelling flauwer is dan 1:2,5. Steilere taluds kunnen niet worden beoordeeld in de *gedetailleerde toets*. Deze taludhelling is dus een handig criterium bij het vaststellen van dijkvakgrenzen. Voor de overige dijkvakken, met een helling flauwer dan 1:2,5, kan eventueel op basis van taludhelling verder worden verfijnd.

4.3

Erosie buitentalud

Aandachtspunten waarmee op een efficiënte manier dijkvakgrenzen kunnen worden gesteld voor het toetsspoor *grasbekleding erosie buitentalud* zijn:

- Zodekwaliteit (gesloten, open of fragmentarisch).
- Aanwezigheid grasbekleding in golfklap- en/of golfoploopzone.
- Significante golfhoogte
- Taludhelling
- Ondergrond zand of klei

Deze aandachtspunten zijn onderstaand nader toegelicht.

De aanwezigheid van een fragmentarische zode wil zeggen dat er geen grasbekleding met een sterkte van betekenis aanwezig is. Dijkvakken met een fragmentarische zode kunnen alleen in een *toets op maat* worden beoordeeld.

Een derde aandachtspunt is de golfhoogte die via Riskeer beschikbaar wordt gesteld. De weerstand van de grasbekleding tegen erosie, uitgedrukt in een standtijd, is bij een significante golfhoogte van 0,25 m of kleiner veel langer dan de belastingduur. Bij een golfhoogte van 0,7 à 1 m neemt de standtijd van de bekleding in de golfklapzone snel af. Ook een golfhoogtecriterium van 0,25 m, 0,7 m en 1 m zijn efficiënt bij het maken van een vakindeling voor de beoordeling van grasbekledingen in de golfklapzone. Vermijd hierbij teveel detail. Langs een dijkstrekking met min of meer dezelfde oriëntatie en geometrie zal wellicht weinig variatie in de golfhoogte zijn. Indien de golfhoogte bijvoorbeeld varieert tussen de 0,2 en 0,3 m over een lange dijkstrekking dan kan hiervoor in eerste instantie beter een lang dijkvak worden gedefinieerd waarbij het profiel met de grootste golfhoogte van 0,3 m als maatgevend wordt beschouwd. De kans is groot dat dan het hele dijkvak met één berekening het oordeel 'voldoet' kan krijgen.

Dijkvakken met een grasbekleding in de golfklapzone worden beoordeeld met een erosiemodel dat alleen mag worden toegepast als de taludhelling ten hoogste gelijk is aan 1:2,5. Steilere taluds kunnen alleen in een *toets op maat* worden beoordeeld. Dijkvakken met alleen een grasbekleding in de golfoploopzone hebben geen modeltoepasbaarheidsrestrictie ten aanzien van de taludhelling, maar de taludhelling is wel een belangrijke parameter in het model.

Aan de sterktekant wordt nog onderscheid gemaakt tussen de open zode en de gesloten zode. Veruit het meest voorkomend is de gesloten zode. Alleen op problematische plekken waar bijvoorbeeld onvoldoende mogelijkheden zijn om een effectief beheer uit te voeren, of door andere invloeden zoals weinig zon op noordhellingen of natte plekken, kan ook een 'open zode'

voorkomen. Zowel bij de beoordeling op golfklappen als golfoploop is er een aanzienlijk verschil in standtijd tussen de open zode en de gesloten zode.

Voor grasbekledingen op zand is géén *gedetailleerde toets* beschikbaar en is, als bij de *eenvoudige toets* geen oordeel kan worden geveld, een *toets op maat* noodzakelijk.

4.4

Afschuiven bekleding binnentalud

Met de bekleding wordt het geheel van de graszode en, indien aanwezig, de kleilaag bedoeld. Er zijn veel overeenkomsten met het faalmechanisme micro-instabiliteit. Het kan daarom efficiënt zijn om de dijkvakindeling gecombineerd te maken. Aandachtspunten voor het maken van een vakindeling voor het mechanisme afschuiven van de bekleding van het binnentalud zijn:

- Taludhelling.
- Overslagdebiet.
- Dijktype (zanddijk, zanddijk met een kleibekleding, kleidijk).
- Kleilaagdikte op het binnentalud.
- Aanwezigheid van een goedwerkende drainage.

De bekleding kan alleen afschuiven als gevolg van golfoverslag als de taludhelling steiler is dan 1:4 of, als het een kleidijk betreft gemaakt van een 'stevige klei' een talud dat steiler is dan 1:3. Bij het maken van een dijkvakindeling kan van deze grenzen gebruik worden gemaakt. Omdat de helling ook als parameter in de *gedetailleerde* beoordeling van belang is kan de dijkvakindeling hiermee later, binnen de *gedetailleerde toets*, indien nodig verder worden verfijnd.

Een overslagdebiet van 0,1 l/s per m ($1 \cdot 10^{-4}$ m³/s per m in SI eenheden) is een grenswaarde bij de beoordeling van dit toetsspoor. Voor het maken van de dijkvakindeling moeten op representatieve plekken, afhankelijk van dijkoriëntatie, geometrie van het buitentalud en de dijkhoogte berekeningen worden gemaakt van het overslagdebiet bij de signaleringswaarde. Let op dat bij de bepaling van de kruinhoogte rekening wordt gehouden met kruindaling gedurende de toetsperiode (paragraaf 6.3). De resultaten worden gebruikt bij het bepalen van dijkvakgrenzen.

Voor de *gedetailleerde toets* is het dijktype van belang. Kleidijken worden beoordeeld op afschuiven van de bekleding volgens het zogenaamde Edelman – Joustra criterium. Voor de beoordeling van zanddijken en zanddijken met een kleibekleding zijn andere formules beschikbaar die ook het uitspoelen van zand en het opdrukken van een kleilaag beschouwen (zie [9] en bijlage D). De kleilaagdikte kan binnen de *gedetailleerde toets* eveneens worden gebruikt voor het maken van een verfijndere indeling van dijkvakken.

Voor de dijkvakken bestaande uit zanddijken en zanddijken met een kleibekleding is het van belang of er een goed werkende drainage aanwezig is. Deze zal ervoor zorgen dat er geen problematisch hoge waterdruk kan ontstaan onder het binnentalud van de dijk. De grenzen van de aanwezigheid van een drainage zijn daarmee ook effectieve dijkvakgrenzen.

4.5

Erosie kruin en binnentalud

Aandachtspunten bij het opstellen van een vakindeling zijn significante veranderingen in:

- Parameters bepalend voor de hoeveelheid overslag, zoals oriëntatie, kruinhoogte, geometrie buitentalud (aanwezigheid berm), de eventuele aanwezigheid van voorland en/of voorliggende dam(men) en beschikbare strijklengte.

- Zodekwaliteit (gesloten, open of fragmentarisch).
- Taludhelling en kleilaagdikte binnentalud.

De aanwezigheid van een fragmentarische zode op een dijkstrekking wil zeggen dat er geen grasbekleding met een sterkte van betekenis aanwezig is. Dijkvakken met een fragmentarische zode kunnen alleen nog het oordeel 'voldoet' krijgen via de *toets op maat*.

Zanddijken en zanddijken met een heel dunne kleibekleding, dunner dan 0,4 m, zijn gevoeliger voor erosie dan kleidijken en zanddijken met een dikkere kleibekleding, ondanks de aanwezigheid van een graszode. Ook de taludhelling is hierbij van belang. Zanddijken met een binnentalud steiler dan 1:4 en zanddijken met een kleibekleding dunner dan 0,4 m en steiler dan 1:4 kunnen alleen in een *toets op maat* worden beoordeeld. Deze eigenschappen kunnen aldus dienen als grenzen voor dijkvakken.

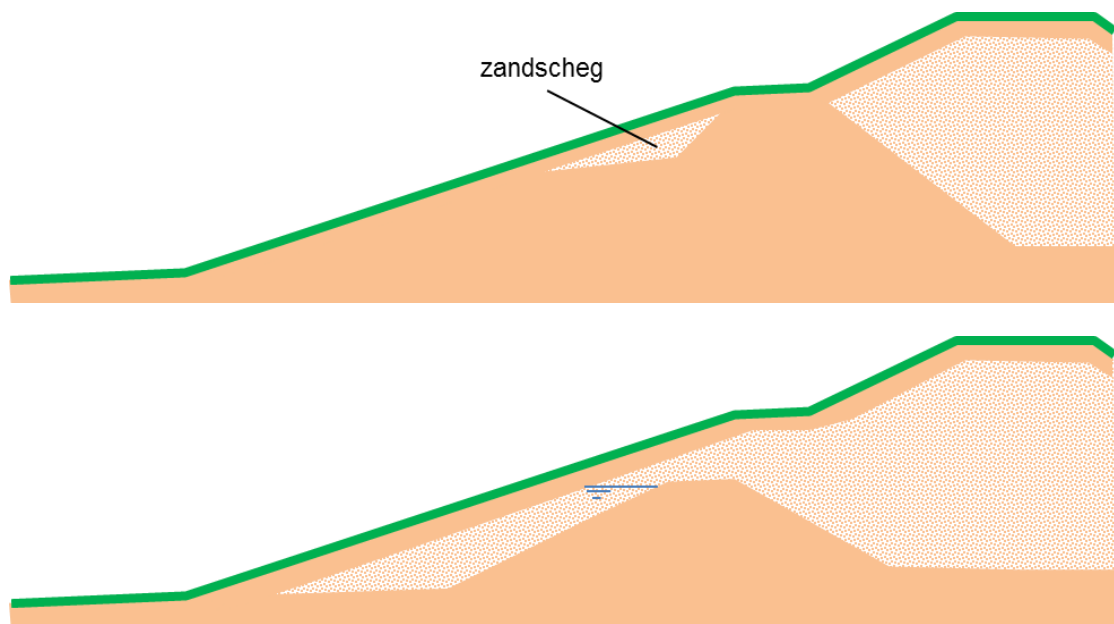
5 Schematisering per vak

Dit hoofdstuk geeft aandachtspunten bij het opstellen van een schematisering per dijkvak en per toetsspoor.

5.1 Afschuiven bekleding buitentalud

Voor de *eenvoudige toets* is voor de schematisering alleen het onderkennen van een zandscheg of zandinsluiting van belang. Die kan voorkomen als bij een versterking een oude kleidijk is overlaagd door een zandlichaam met kleibekleding (

Figuur 5.1).



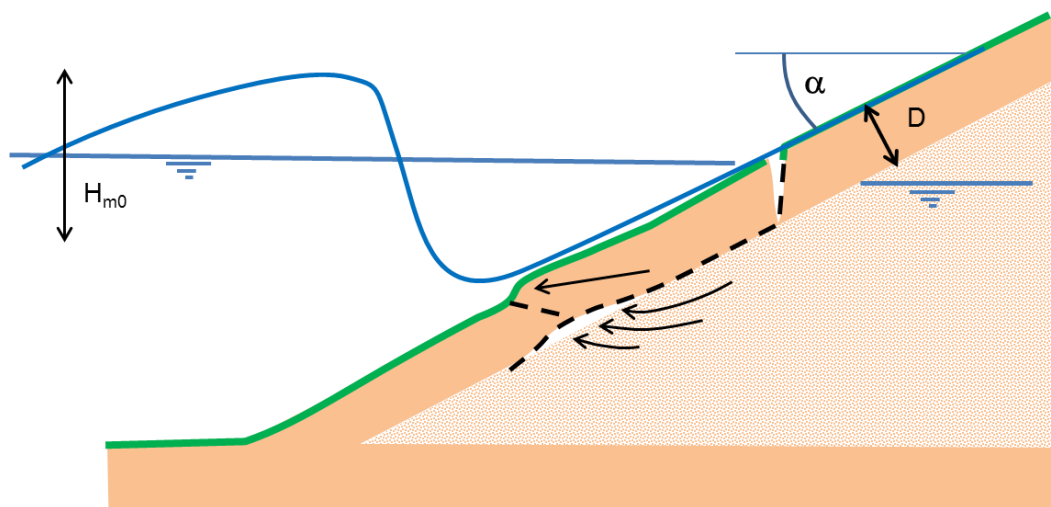
Figuur 5.1 Zandscheg en zandinsluiting onder talud

Het gevaar van een zandscheg of zandinsluiting is dat het een relatief klein volume ingesloten zand is, waardoor het relatief snel kan vollopen met water. Van belang zijn dus de twee factoren: relatief klein volume en geen drainage mogelijkheid binnenwaarts.

Voor de *gedetailleerde toets* zijn alleen de kleilaagdikte, het gewicht van de kleilaag, de taludhelling en de golfhoogte van belang, zie

Figuur 5.2.

Alleen het bekledingsdeel onder de waterstand bij de signaleringswaarde is gevoelig voor afschuiven. De parameters taludhelling, kleilaagdikte en gewicht moeten dus afkomstig zijn van dat taluddeel. Er hoeft niet te worden gekeken naar minimale puntwaarden van de parameters in een dwarsdoorsnede, maar naar het gemiddelde over circa 2 meter of meer in taludrichting. Een eventueel aanwezige berm zal vaak rondom de waterstand bij de signaleringswaarde liggen, in dat geval moet het taluddeel onder de berm worden geschematiseerd.

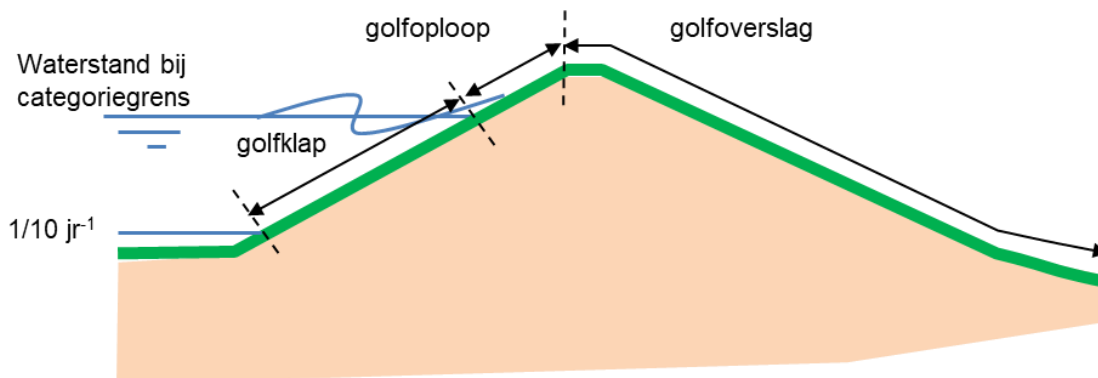


Figuur 5.2 Schematisering afschuiving bekleding buitentalud

5.2

Erosie buitentalud

Erosie van de grasbekleding op het buitentalud kan worden veroorzaakt door golfklappen en door golfoploop. Bij de toets worden de golfklapzone en de golfoploopzone onderscheiden, zie Figuur 5.3. Het waterstandsniveau in deze figuur correspondeert met de waterstand behorende bij de categorie⁴ waarvoor het oordeel wordt bepaald, zie ook paragraaf 6.5.3.



Figuur 5.3 Schematische weergave dijkprofiel met verschillende belastingzones

De toepassingsvoorwaarde voor de rekenregel die wordt gebruikt in de *gedetailleerde toets* van de golfklapzone, is een flauwere helling dan 1:2,5. Deze helling heeft alleen betrekking op het taluddeel in de golfklapzone en betreft de taludhelling over circa 2 meter of meer in taludrichting. Er hoeft dus niet te worden gekeken naar lokale punt maxima van de helling. Een eventueel aanwezige berm wordt bij het bepalen van deze taludhelling niet meegenomen.

Dijken waar in de golfklapzone een harde bekleding ligt en in de golfoploopzone een grasbekleding worden beoordeeld op erosie door golfoploop. Voor deze berekening worden oploophoogtes gebruikt, die afhankelijk zijn van de hydraulische condities en de geometrie van

⁴ In Bijlage III wordt gesproken over de doorsnede-eis. Bij het uitvoeren van een beoordeling wordt de afstand tot de norm bepaald. Hiertoe worden analyses met verschillende belastingen uitgevoerd. Deze belastingen worden bepaald voor verschillende categorieën. In dit document wordt daarom gesproken over categorieën in plaats van de doorsnede-eis.

het talud. Voor de schematisering van het talud voor deze berekeningen wordt verwezen naar [12].

In zowel de golfklap- als golfoploopzone wordt de erosiebestendigheid van de grasbekleding geschematiseerd door deze in te delen in één van de drie categorieën: gesloten zode, open zode en fragmentarische zode. De indeling wordt gemaakt op basis van visuele kenmerken eventueel gecombineerd met het steken van een zodeplag, zie daarvoor par. 6.5.1. Afhankelijk van kwaliteit krijgt de zode een vaste rekenwaarde van de parameter die in het betreffende model de erosiebestendigheid voorstelt.

5.3 Afschuiven bekleding binnentalud

Deze paragraaf richt zich op de schematisering van kleidijken en zanddijken, al dan niet voorzien van een kleibekleding, waarvoor een grondwaterstromingsberekening en/of een stabiliteitsberekening moet worden uitgevoerd in de *gedetailleerde toets*. Opgemerkt wordt dat de schematisering voor dit toetsspoor grote overeenkomsten heeft met die voor het toetsspoor microstabiliteit, maar bij de schematisering van de waterspanningen zijn er belangrijke verschillen.

Globale werkwijze bij schematiseren betreft vier stappen, om te komen tot één te beoordelen dwarsprofiel per dijkvak:

- Karakterisering van de dijkopbouw en ondergrond.
- Geohydrologische karakterisering.
- Geotechnische schematisering.
- Keuze te beoordelen dwarsprofielen.

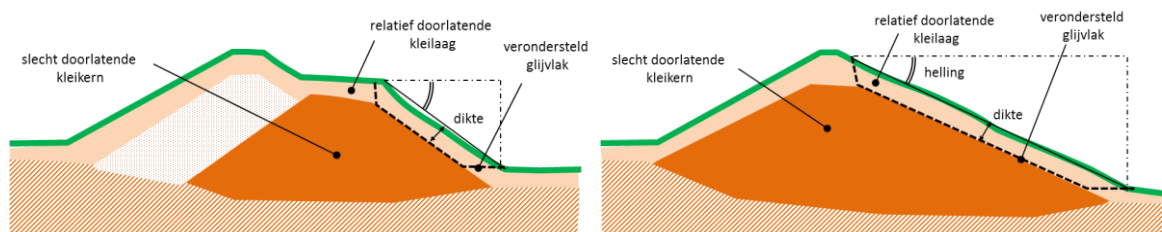
Er wordt steeds onderscheid gemaakt tussen kleidijken en zanddijken, al dan niet met een kleibekleding.

5.3.1 Karakterisering van de dijkopbouw en ondergrond

Kleidijken

Voor de schematisering van kleidijken is naast de taludhelling hoofdzakelijk de dikte van de afschuivende laag van belang. De buitenste laag klei met bodemstructuur met een dikte van circa 1 m kan afschuiven over een kleikern. Dit kan ook een kleikern zijn van een oude dijk, die later buitenwaarts is versterkt met zand. Zie

Figuur 5.4.



Figuur 5.4 Schematische weergave van verondersteld glijvlak grasbekleding bij kleidijken

De buitenste kleilaag is vanwege de bodemstructuur relatief doorlatend ten opzichte van de kleikern, waardoor deze laag als gevolg van golfoverslag snel kan verzadigen en er een voor de stabiliteit ongunstige grondwaterstroming op gang kan komen die min of meer parallel aan het talud loopt. De dikte van de afschuivende grondlaag is een invoerparameter in de formule waarmee de stabiliteit wordt bepaald, echter de dikte van de afschuivende grondmoot zou eigenlijk de uitkomst moeten zijn van de stabiliteitsberekening. Hiertoe zou de variatie van de sterkte van de grond in de diepte op een goede manier moeten worden geschematiseerd, wat

uitermate lastig is. Om praktische redenen wordt daarom een dikte gekozen en worden voor de hele laag rekenwaarden van de wrijvingsparameters bepaald waarmee de stabiliteitsanalyse wordt uitgevoerd. In navolging van [9] wordt in de *gedetailleerde toets* standaard uitgegaan van een dikte van 1 m, tenzij er vanuit ervaring of vanuit aanleg/ontwerp aanwijzingen zijn dat er overgangen in de grond zijn op een andere diepte. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn indien er voor de bekledingslaag een ander type klei is gebruikt dan voor de kern. Eventueel kan de dikte van de afschuivende laag in een meer gedetailleerde studie nader worden bepaald met behulp van veldonderzoek. Duidelijke overgangen in bodemstructuur en/of samenstelling van de klei zijn een reden om af te wijken van 1 m. De ondergrond, waarop de kleidijk is opgebouwd is voor dit mechanisme nauwelijks van belang. Uit praktijkwaarnemingen en berekeningen blijkt dat het afschuifvlak onderaan het talud horizontaal uittreedt.

Zanddijken

Voor de stabiliteit van een kleibekleding op een zanddijk bij golfoverslag is de dijkopbouw belangrijk. De ondergrond is vaak orden minder doorlatend dan de zandkern van de dijk, waardoor deze in de schematisering voor de grondwaterstroming als ondoorlatend kan worden aangenomen. Dit is het geval als de zandkern op klei of veenlagen is aangelegd, maar ook als deze bijvoorbeeld op een voormalige wadbodem is aangelegd waarbij een sliblaag is blijven zitten. Alleen als de zandkern direct op een zandondergrond ligt, dan moet de ondergrond worden meegenomen in de schematisering.

Ook de schematisering van de bekleding is van belang. Asfaltbekledingen of dikke kleibekledingen, dikker dan 1 à 1,5 m zijn orden minder doorlatend dan de zandkern en kunnen dus ook als dicht worden geschematiseerd. Steenzettingen en dunnere kleibekledingen hebben een doorlatendheid die vergelijkbaar is met de zandkern en moeten dus wel worden meegenomen in de schematisering van de dijkopbouw. Werkend van grof naar fijn kunnen de bekledingen op het buitentalud in eerste instantie als goed doorlatend worden geschematiseerd om eventueel later, na onderzoek naar de werkelijke doorlatendheid, een wellicht beperkte doorlatendheid in rekening te brengen.

De bekleding op de kruin en het binnentalud bestaat vaak uit een kleilaag die dunner is dan circa 0,8 m. Deze kleilagen blijken in de praktijk relatief doorlatend te zijn als gevolg van bodemstructuur, waardoor deze moeten worden meegenomen bij de schematisering voor grondwaterstromingsberekeningen.

5.3.2 *Geohydrologische karakterisering*

Kleidijken

De geohydrologische schematisering van een kleidijk met een kleibekleding is relatief eenvoudig. Bij een golfoverslagdebiet van meer dan 0,1 l/s per m ($1 \cdot 10^{-4}$ m³/s per m in SI eenheden), zullen de macroporiën in de bekleding snel verzadigen [5], waarna het water parallel aan het talud door de macroporiën naar beneden begint te stromen. De waterspanningsopbouw die hierbij ontstaat, maakt deel uit van de analytische formule waarmee wordt gerekend in de *gedetailleerde toets* (Edelman Joustra criterium). Indien in de *toets op maat* gebruik wordt gemaakt van de methode Spencer – Van der Meij [1], zoals geprogrammeerd in D-Stability, dan moet het freatisch vlak op het maaiveld worden geschematiseerd en moet het gewicht van het water worden vermenigvuldigd met de cosinus van de taludhelling.

Zanddijken

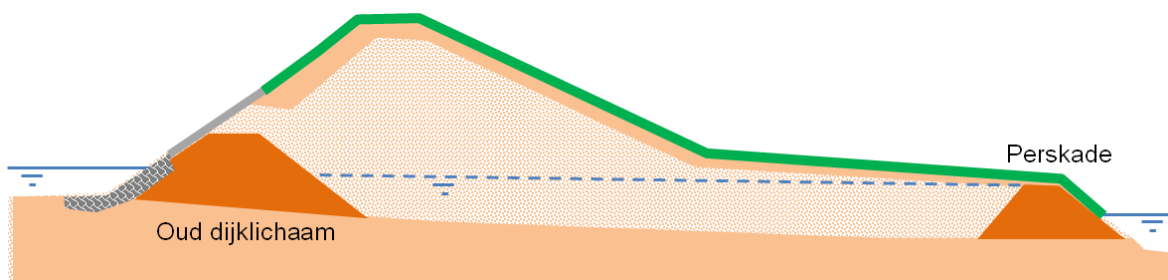
De schematisering van een zanddijk met of zonder kleibekleding is anders dan voor een kleidijk. Voor zanddijken is de grondwaterstand in de zandkern onder het binnentalud belangrijk. Meer uitgebreide informatie over geohydrologisch schematiseren is te vinden in [10]. Onderstaand worden enkele aandachtspunten gegeven toegespitst op het mechanisme afschuiven van de bekleding bij golfoverslag. Opgemerkt wordt dat in [10] de effecten van hevige of extreme neerslag worden beschouwd, terwijl deze in het kader van de beoordeling van de veiligheid juist niet worden meegenomen. Ook in [6] staan diverse handreikingen voor het geohydrologisch schematiseren en wordt de achtergrond gegeven van de analytische modellen die in de *gedetailleerde toets* worden gebruikt.

Voor de geohydrologische schematisering, zowel in de *gedetailleerde toets* als in de *toets op maat*, zijn de belastingen van belang. Binnendijks is dit het polderpeil, mits het de inschatting is dat dit tijdens maatgevende omstandigheden is te handhaven. Een goede grens van de schematisering voor een grondwaterstromingsberekening is in dat geval een eventuele binnendijkse teensloot. Indien deze niet aanwezig is, dan wordt op het binnendijks maaiveld de stijghoogte gelijk aan maaiveld geschematiseerd. Ook indien het de inschatting is dat tijdens maatgevende omstandigheden het polderpeil niet is te handhaven, dan kan ondanks de aanwezigheid van een teensloot een stijghoogte worden aangenomen gelijk aan het binnendijks maaiveld.

Buitendijks wordt de waterstand bij de signaleringswaarde opgelegd. Vaak liggen zanddijken op een relatief ondoorlatende ondergrond van klei en of veen, in welk geval de belasting alleen tegen het buitentalud hoeft te worden opgelegd. Indien de zanddijk direct op een zandondergrond ligt, dan moet de dikte van het onderliggende zandpakket worden meegenomen in de schematisering.

Zanddijken hebben vaak niet of nauwelijks een opbolling van betekenis als gevolg van (normale) neerslag. In dit geval wordt de beginsituatie bij een tijdsafhankelijke berekening redelijk geschat op basis van de stationaire situatie met de belastingen binnen- en buitendijks. Echter, door een specifieke dijkopbouw kan het voorkomen dat het freatisch vlak in de dijk onder dagelijkse omstandigheden al vrij hoog is. Dit kan gebeuren als gevolg van de aanwezigheid van perskaden en of oude dijklichamen die relatief ondoorlatend zijn, zie

Figuur 5.5, waardoor regenwater dat in het dijklichaam infiltreert wordt opgesloten.



Figuur 5.5 Schematische weergave van dijkopbouw waarbij het freatisch vlak onder dagelijkse omstandigheden hoger is dan op basis van polderpeil en gemiddeld buitenpeil mag worden verwacht

Een dergelijke opbouw kan bekend zijn vanuit bestek en revisietekeningen, maar ook waarnemingen vanuit beheer; natte plekken, uittredend grondwater en afwijkende begroeiing van waterminnende planten kunnen een belangrijke aanwijzing zijn voor een relatief hoge grondwaterstand in een zanddijk. Het verdient de aanbeveling op dergelijke locaties de stijghoogte in de zandkern te onderzoeken met peilbuizen.

Specifiek voor golfoverslag moet ook infiltratie van water in de golfoploopzone, de kruin en het binnentalud in rekening worden gebracht. Eventueel aanwezige kleibekledingen in de oploopzone, op de kruin en het binnentalud worden meegenomen in de schematisering. Werkend van grof naar fijn kan er in eerste instantie vanuit worden gegaan dat de doorlatendheid van deze kleibekledingen even groot is als die van de zandkern, om dit alleen indien nodig later te optimaliseren. De toename van de waterspanning als gevolg van infiltratie door golfoverslag kan voor de *gedetailleerde toets* in rekening worden gebracht volgens [5] en in de *toets op maat* door middel van een grondwaterstromingsberekening met software.

5.3.3 Geotechnische schematisering

Kleidijken

Voor kleidijken wordt de stabiliteit van de bekledingslaag bij golfoverslag gecontroleerd met een analytische formule (Edelman-Joustra criterium) zie ook bijlage D, eventueel gecorrigeerd voor het effect van de teen. De positieve invloed van de teen kan onder voorwaarden in rekening worden gebracht door de veiligheidsfactor uit het Edelman-Joustra criterium; te weten de factor R/S in bijlage D.1; te vermenigvuldigen met een correctiefactor C_r [3]. De formule voor deze correctiefactor is:

$$C_r = d^{\frac{D}{L}}$$

Waarin:

- L Lengte van het talud (zie paragraaf 6.3) [m].
- D Dikte van de afschuivende laag [m].
- d constante = 4,451 [-].

De voorwaarden waaraan moet worden voldaan zijn:

- 1) De helling moet flauwer zijn dan 1V:1.5H.
- 2) Cohesie moet voor 50% of meer bijdragen aan de schuifsterkte, ofwel $c' \geq (\gamma_n - \gamma_w) \cdot D \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi'$, waarin:

c' Effectieve cohesie [kPa].

ϕ' Effectieve hoek van inwendige wrijving [°].

γ_n Verzadigd gewicht van de afschuivende grondlaag [kN/m³].

γ_w Gewicht water [kN/m³].

De schematisering van de geotechnische parameters (gewicht en wrijvingseigenschappen) richt zich alleen op de afschuivende kleilaag. De kern van de dijk wordt daarmee impliciet als relatief sterk en ondoorlatend geschematiseerd. Glijvlakken die dieper door de kern van de dijk gaan worden gecontroleerd bij het toetsspoor *macrostabiliteit*.

Zanddijken

Voor de stabiliteitsberekeningen is een set analytische formules beschikbaar (zie bijlage D) waarmee de stabiliteit van de kleilaag op een zandkern en uitspoelen van zand onder invloed van een uittredeverhang op een eenvoudige manier kan worden beoordeeld. Voor deze analytische berekeningen zijn schematiseringen van de volgende parameters nodig:

- Taludhelling.
- Dikte kleibekleding.
- Gewicht en wrijvingseigenschappen van de kleibekleding.
- Gewicht en wrijvingseigenschappen van het zand.

Aandachtspunt bij het schematiseren: Van belang is de helling van het talud tot de hoogte van het freatisch vlak in de dijk, dus het onderste deel van het talud. Vermijd details, maar ga uit van de gemiddelde taludhelling over een lengte van circa 2 m of meer.

5.4 **Erosie kruin en binnentalud**

Bij de beoordeling van de erosie van de grasbekleding op de kruin en het binnentalud wordt gebruik gemaakt van golfoverslagberekeningen. Hiervoor moet de geometrie van het buitentalud en eventueel voorland en/of dam worden geschematiseerd (zie hiervoor [12] en [13]).

De sterkte van de grasbekleding wordt gekarakteriseerd door een kansverdeling van het kritisch overslagdebiet. De verwachtingswaarde en de standaardafwijking van deze kansverdeling zijn afhankelijk van de kwaliteit van de zode (open zode of gesloten zode) en van de golfhoogteklasse waar de dijk in valt (zie verder paragraaf 6.7).

6 Parameters

6.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft aanwijzingen voor de waardebepaling van de relevante parameters. Per parameter wordt aangegeven: wat de parameter inhoudt, hoe de waarde kan worden bepaald en wat eventueel aandachtspunten zijn. De parameter 'geometrie' is voor elk van de toetssporen van belang, voor de rest zijn de parameters geclusterd per toetsspoor.

6.2 Veiligheidseisen

De norm van een dijktraject wordt verdeeld over de toetssporen (faalkansbegroting) en daarna per toetsspoor over de bijbehorende vakken door het in rekening brengen van een lengte-effect. De faalkanseis per vak (doorsnede) die aan een toetsspoor wordt gesteld luidt:

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

Waarin:

$P_{eis,dsn}$ Faalkanseis per doorsnede [1/jaar]

P_{eis} Faalkanseis behorende bij de norm van het dijktraject [1/jaar]

ω Faalkansruimte voor het betreffende toetsspoor [-]

N_{dsn} Lengte-effectfactor voor een doorsnede [-]

Voor de toetssporen GEBU en GEKB geldt een faalkansruimte van respectievelijk 0,05 en 0,24. De waarden voor de lengte-effectfactor het toetsspoor GEKB en GEBU zijn opgenomen in bijlage C.

Voor de toetssporen GABU en GABI wordt niet gerekend met een faalkanseis per doorsnede en worden de faalkansbegroting en het lengte-effect niet expliciet in rekening gebracht.

6.3 Geometrie van de dijk

Wat is het

De geometrie van een dijklichaam is een beschrijving van het dwarsprofiel door middel van punten die verbonden zijn door rechte lijnstukken. Eventuele onzekerheid in de geometrie wordt niet in rekening gebracht.

Extra aandacht is nodig voor de schematisering van het dwarsprofiel aan de buitenzijde van de dijk inclusief de kruinhoogte. Dit deel van de geometrie wordt gebruikt voor de golfoploopberekeningen waarvoor wordt verwezen naar [12] en [13].

Het gaat bij het geschematiseerde profiel in principe om een zo accuraat mogelijke weergave van de ongunstigste te verwachten situatie binnen de tijdspanne van de beoordelingsperiode gebaseerd op recente metingen. Als binnen deze periode een significante verandering verwacht wordt (door bijvoorbeeld zetting of klink, zoals het geval kan zijn bij een zeer recent gebouwde dijk) dan moet hiermee bij het schematiseren rekening worden gehouden. Bij een recent aangelegde dijk die nog onderhevig is aan klink en consolidatie van de ondergrond kan gebruik worden gemaakt van zettingsprognoses die in het kader van het ontwerp zijn uitgevoerd. Het kan hierbij nodig zijn het hele profiel aan te passen naar een 'gezet' profiel.

Naast de genoemde zetting en klink van recent aangelegde dijken zijn dijken ook door andere fenomenen onderhevig aan daling (of stijging), zoals zetting als gevolg van peilveranderingen, kruip van veen en kleilagen onder een dijk, winning van gas en zout en tektonische effecten.

Deze fenomenen zijn gebiedsafhankelijk en bedragen totaal in de orde van 0 tot 1 cm per jaar, met soms uitschieters erboven. Deze vrij langzame daling van de dijk wordt geschat door extrapolatie van opvolgende reeksen van hoogtemetingen van de dijk die in het kader van eerdere toetsronden zijn uitgevoerd naar het einde van de beoordelingsperiode. Omdat het in het algemeen slechts om een geringe daling gaat van 0-15 cm kan worden volstaan met het aanpassen van alleen de kruinhoogte in het hoogste profieldeel, zie verder de [12].

Uit de geometrie worden verder de volgende parameters bepaald:

- Helling van het binnentalud.
- Niveau van de binnenteen.
- Helling van het buitentalud.
- Niveau buitenteen.

Deze parameters zijn noodzakelijk voor de beoordeling van afschuiven van de bekleding van het binnentalud, afschuiven van het buitentalud en erosie van het buitentalud.

Hoe te bepalen

De geometrie van een dijklichaam is op verschillende manieren te bepalen. Dit kan bijvoorbeeld door veldmetingen of door het inmeten met behulp van laseraltimetrie (bijvoorbeeld het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)).

Aandachtspunten

- Het dwarsprofiel moet 'lang' genoeg zijn om de schematisering voor de verschillende mechanismen te bevatten. Binnendijks is een profiel tot en met de teensloot voldoende indien er een teensloot aanwezig is, anders vraagt dit nadere aandacht. Buitendijks moet het dwarsprofiel voldoende lang zijn om tegemoet te komen aan de profielvereisten voor het uitvoeren van een golfploopberekening, zie [12]. Wanneer het dwarsprofiel is gebaseerd op laseraltimetrie is het van belang dat zaken die niet tot de geometrie van de waterkering behoren (begroeiing) uit de geometrie zijn gefilterd.
- Wanneer de geometrie wordt ontleend aan laseraltimetrie moet er op worden toegezien dat de representatieve dwarsprofielen worden geselecteerd voor de analyse van de stabiliteit van de bekleding. Het selecteren van dwarsprofielen met een vaste tussenafstand kan er toe leiden dat ongunstige profielen worden gemist.
- Voor de beoordeling van het toetsspoor GABU moet een representatieve helling worden bepaald. Vermijd het kijken naar kleine details in het talud. De gemiddelde helling over een taludlengte van circa 2 m of meer in de golfklapzone is voldoende. Een eventuele berm wordt buiten beschouwing gelaten bij het bepalen van de representatieve taludhelling. Het eventueel afschuiven vindt plaats over een hoogte die ongeveer gelijk zal zijn aan de golfhoogte. Het mechanisme is daarmee zodanig beperkt van omvang dat het heel onwaarschijnlijk is dat een berm ook afschuift.
- Voor de beoordeling volgens het toetsspoor GABI moet uit de geometrie de taludhelling worden bepaald.
 - Voor kleidijken moet hiervoor de gemiddelde taludhelling in een dwarsprofiel worden genomen die over het grootste deel van het talud aanwezig is. In de praktijk blijkt de overgang kruin–talud en talud–binnenteen (of berm) in meer of mindere mate geleidelijk. Deze overgangszone wordt bij de bepaling van de taludhelling buiten beschouwing gelaten. Bij de aanwezigheid van een berm is in de *eenvoudige toets* het steilste taluddeel, boven of onder bermniveau, maatgevend. In de *gedetailleerde toets* wordt ook de lengte van het talud meegenomen en dient het langste steilste taluddeel

te worden beoordeeld. Indien het langste taluddeel niet het steilste taluddeel is, dan dienen beide taluddelen te worden beoordeeld.

- Voor zanddijken, al dan niet met een kleibekleding, is het taluddeel van belang tussen de grondwaterstand in de zandkern ter plaatse van het binnentalud en de binnenteen. Eenvoudigheidshalve kan worden uitgegaan van de helling van het taluddeel tussen het niveau van de waterstand bij de signaleringswaarde en de binnenteen, waarbij een eventuele geleidelijke overgang tussen binnenteen en talud buiten beschouwing wordt gelaten. Indien de grondwaterstand beter wordt bepaald, dan kan de helling worden aangepast naar het taluddeel tussen de bepaalde grondwaterstand en de binnenteen.

6.4

Afschuiven bekleding buitentalud

In deze paragraaf worden de parameters beschreven voor de beoordeling van het toetsspoor GABU. Voor dit toetsspoor is geen probabilistische berekening of semi-probabilistische berekening met voor WBI 2017 afgeleide veiligheidsfactoren beschikbaar. Het toetsspoor valt om die reden in groep 4 [17].

6.4.1 Kernmateriaal

Wat is het

De grondsoort, klei, zand of veen, waaruit de kern van de dijk is opgebouwd. De parameter is een voorwaarde in de *eenvoudige toets*. Indien er onder de kleibekleding een kleikern ligt, dan volgt direct het oordeel 'voldoet'. De parameter wordt ook gebruikt in de eenvoudige beoordeling voor gras erosie buitentalud, waar aan een kleikern reststerkte wordt toegekend.

Hoe te bepalen

Het kernmateriaal onder het buitentalud kan bekend zijn uit archiefgegevens, bestektekeningen of revisietekeningen. Indien de dijkopbouw onbekend is of er wordt getwijfeld over de opbouw, dan wordt deze bepaald met behulp van (hand)boringen en sonderingen. In eerste instantie kan gedacht kan worden aan een raai van handboringen of sonderingen om de honderd meter, drie verspreid over de hoogte van het talud, waarvan twee in de golfklapzone.

Aandachtspunten

- In de praktijk is gebleken dat grote variaties in dijkopbouw - en daarmee het kernmateriaal - mogelijk zijn, onder meer bij oude dijkdoorbraken. Deze plekken verdienen extra aandacht bij het plannen van grondonderzoek, zodat de afwijkende dijkopbouw in kaart kan worden gebracht.
- De inspanning van een grondonderzoek is aanzienlijk, dus het is aan te bevelen om het onderzoek naar het kernmateriaal te combineren met gevraagde informatie over de dijkopbouw en bodemopbouw die nodig is voor de andere toetssporen.

6.4.2 Dikte en onderwatergewicht kleibekleding buitentalud

Wat is het

Zandkernen worden beschermd tegen erosie door het aanbrengen van een kleilaag. Deze heeft een dikte d [m] loodrecht op het talud en een onderwatergewicht (Δd) [m]. Hierin is Δ de relatieve dichtheid van de kleilaag die gelijk is aan $(\rho_g - \rho_w) / \rho_w$ waarin ρ_g de soortelijke massa van de verzadigde kleilaag [kg/m³] en ρ_w de soortelijke massa van het water [kg/m³].

Hoe te bepalen

De kleilaagdikte zou beschikbaar kunnen zijn uit de revisie of 'as built'-tekeningen of metingen die uitgevoerd zijn tijdens de aanleg van de bekleding. Als de kleilaagdikte niet bekend is, zal deze gemeten moeten worden op een aantal locaties. Gedacht kan worden aan om de honderd meter op 2 niveaus op het talud, halverwege en onderaan het talud, ervan uitgaande dat ook onderaan het talud een grasbekleding aanwezig is.

De soortelijke massa van de kleilaag ρ_g kan in het laboratorium worden bepaald op monsters die met behulp van steekbussen uit de bekleding worden gehaald (NEN-EN-ISO 17892-3).

Aandachtspunten

- De kleilaagdikte is loodrecht op het talud gedefinieerd, terwijl boringen vaak verticaal worden gemaakt. De laagdikte uit de boring moet in dat geval met de cosinus van de taludhelling worden vermenigvuldigd om de benodigde laagdikte in het stabiliteitsmodel te krijgen.

6.4.3 *Significante golfhoogte*

Wat is het

Dit is de gemiddelde golfhoogte van het hoogste 1/3 deel van de golven in een beschouwde periode van een storm. Opgemerkt wordt dat sommige modellen H_{m0} gebruiken en andere modellen H_s . In de praktijk worden de twee vaak aan elkaar gelijk gesteld. Deze golfhoogte karakteriseert de belasting op de kleilaag.

Hoe te bepalen

De significante golfhoogte kan per categorie met Ringtoets/Riskeer worden bepaald. Voor de beoordeling wordt de significante golfhoogte gebruikt waarvan de jaarlijkse overschrijdingskans getalsmatig gelijk is aan de signaleringswaarde (categorie A).

6.5

Erosie buitentalud

In deze paragraaf worden de parameters beschreven voor de beoordeling van het toetsspoor GEBU. Voor dit toetsspoor is voor de analyse van belasting en sterkte geen probabilistische berekening beschikbaar; uitgezonderd voor een *toets op maat*⁵. Omdat wel een semi-probabilistische berekening met voor WBI 2017 afgeleide veiligheidsfactoren beschikbaar is, valt het toetsspoor in groep 3.

Om voor dit toetsspoor de afstand tot de norm te bepalen worden bij de *gedetailleerde toets* verschillende berekeningen met hydraulische belastingen uitgevoerd. Deze belastingen worden afgeleid bij verschillende categorieën die zijn gebaseerd op basis van de faalkanseis op doorsnedeniveau. In onderstaande tabel zijn de eisen weergegeven waarbij voor dit toetsspoor de hydraulische belastingen moeten worden afgeleid.

⁵ Er is voor berekeningen van erosie van het buitentalud tot aan bezwijken (gegeven een bezwijkcriterium); nadat de grasbekleding is gefaald; een probabilistisch model beschikbaar wat al enige malen is toegepast bij projecten. Dit hoort niet tot het instrumentarium. Meer informatie kan worden verkregen via de Helpdesk Water.

Tabel 6.1 De eisen per categorie waarbij voor het toetsspoor GEBU de hydraulische belastingen moeten worden afgeleid

Categorie	Eis waarbij hydraulische belasting moet worden afgeleid
Iv	$1/30P_{eis;sig;dsn}$
IIv	$P_{eis;sig;dsn}$
IIIv	$P_{eis;ond;dsn}$
IVv	$P_{eis;ond}$
Vv	$30P_{eis;ond}$

In Tabel 6.2 zijn alle voor de eenvoudige toets en gedetailleerde toets benodigde parameters weergegeven. Voor een aantal parameters geldt een vaste waarde. In een *toets op maat* kan van deze waarden worden afgeweken.

Tabel 6.2 Parameterlijst erosie buitentalud

Parameter	Symbool	Eenheid	Bron
Eenvoudige toets			
Significante golfhoogte	H_{m0}	[m]	Paragraaf 6.5.2
Waterstand	-	[m+NAP]	Paragraaf 6.5.3
Niveau bovenzijde kleikern	-	[m+NAP]	Paragraaf 6.4.1
Graskwaliteit	-	-	Paragraaf 6.5.1
Helling buitentalud	α	[°]	Paragraaf 6.3
Gedetailleerde toets (golfploopberekening)			
Niveau onderzijde grasbekleding in de golfploopzone (evaluatiehoogte)	Z_{eval}	[m+NAP]	
Coëfficiënt voor berekening oploopsnelheid en oploophoogte van de golven	C_u	[-]	Vaste waarde (1,1)
Valversnelling	g	[m/s ²]	Vaste waarde (9,81)
Optie 'Gebruik schaling'	-	-	Vaste waarde (true) Schaling zorgt voor een nauwkeurig en herhaalbaar resultaat, ook als het aantal golven in een beschouwd tijdsinterval relatief klein is
Aantal golven bij schaling	N_{fixed}	[-]	Vaste waarde (10.000) Default wordt een groot aantal golven gebruikt. Meer golven leiden niet tot een significant nauwkeuriger antwoord. Minder golven daarentegen leidt niet tot een veel korte rekentijd.
Kritische stroomsnelheid	U_c	[m/s]	Paragraaf 6.5.1
Kritische cumulatieve overbelasting	D_{crit}	[m ² /s ²]	Vaste waarde (7.000)
Coëfficiënt voor verhogen belasting bij overgangen en objecten	α_M	[-]	Vaste waarde (1) Overgangen en objecten worden niet meegenomen.
Coëfficiënt voor verlagen sterkte bij overgangen en objecten	α_S	[-]	Vaste waarde (1) Overgangen en objecten worden niet meegenomen.

Coëfficiënt voor versnelling afhankelijk van positie op kruin of talud (en taludhelling)	Alpha A	[-]	Vaste waarde (1)
Dijknormaal	-	[° t.o.v. Noord]	[12]
Geometrie lijnstukken voor schematisering oplooptberekening	X begin Y begin X eind Y eind	[m] [m+NAP] [m] [m+NAP]	Paragraaf 6.3 en [12]
Ruwheid lijnstuk voor oplooptberekening	-	[-]	Paragraaf 6.3 en [12]
Hydraulische belastingtype	-	-	Vaste waarde (synthetische storm) Een 'synthetische storm' bestaat uit een combinatie van waterstand tegen tijd en golfcondities tegen waterstand. Hiermee wordt een verloop van waterstand en golfcondities tegen tijd geconstrueerd, Omdat de golfcondities eigenlijk niet bij het waterstandsverloop horen spreekt men van een 'synthetische', niet natuurlijke, storm.
Tijdstap	Delta T	[u]	Vaste waarde (0,25)
Coëfficiënt omrekening gemiddelde golfperiode uit de spectrale golfperiode	C _{tm-tm10}	[-]	Vaste waarde (0,92)
Waterstandsverloop – tijdstappen	Tijd	[u]	Paragraaf 0
Waterstandsverloop – buitenwaterstand per tijdstap	Z _{swl}	[m+NAP]	Paragraaf 0
Belasting bekledingen – buitenwaterstand	Z _{swl}	[m+NAP]	Paragraaf 6.5.5
Belasting bekledingen – Significante golfhoogte per waterstand	H _{m0}	[m]	Paragraaf 6.5.5
Belasting bekledingen – Spectrale golfperiode per waterstand	T _{m-1,0}	[s]	Paragraaf 6.5.5 Ringtoets levert de piekperiode. De benodigde T _{m-1,0} wordt verkregen door de piekperiode te delen door een vaste waarde van 1,1.
Belasting bekledingen – Golfrichting bij waterstand	θ	[° t.o.v. Noord]	Paragraaf 6.5.5
Gedetailleerde toets (golfklapberekeningen)			
Verticale stapgrootte te beoordelen punten op het buitentalud	Delta Z	[m]	Vaste waarde (0,1)
Ondergrens significante golfhoogte in de standtijdlijn voor golfklapbeoordeling	Min. significante golfhoogte	[m+NAP]	Vaste waarde (waarde coëfficiënt c)
Bovengrens significante golfhoogte in de standtijdlijn voor golfklapbeoordeling	Max. significante golfhoogte	[m+NAP]	Vaste waarde (waarde coëfficiënt a+c)
Ondergrens waterstand waarvoor de beoordeling wordt uitgevoerd	Min. waterstand	[m+NAP]	Laagste waterstand uit waterstandsverloop
Bovengrens waterstand waarvoor de beoordeling wordt uitgevoerd	Max. waterstand	[m+NAP]	Hoogste waterstand uit waterstandsverloop

Standtijdlijn coëfficiënt a	a	[m]	Paragraaf 6.5.1
Standtijdlijn coëfficiënt b	b	[1/u]	Paragraaf 6.5.1
Standtijdlijn coëfficiënt c	c	[m]	Paragraaf 6.5.1
Zandgehalte kleilaag onder de zode	-	[-]	Paragraaf 6.5.6
Dikte kleilaag + gras	Dcombined	[m]	Paragraaf 6.5.7
Laagste punt van de grasbekleding waarvoor de beoordeling wordt uitgevoerd	Zgrass,min	[m+NAP]	Hoogste punt: - Buitenteen (paragraaf 6.3). - Overgang harde bekleding – grasbekleding voor zover gelegen onder de waterstand behorende bij de voor de beoordeling te gebruiken categorie - Waterstand bij 1/10 jr⁻¹
Hoogste punt van de grasbekleding waarvoor de beoordeling wordt uitgevoerd	Zgrass,max	[m+NAP]	Bovenzijde grasbekleding begrensd door de waterstand behorende bij de voor de beoordeling te gebruiken categorie (paragraaf 6.5.3)
Hydraulische belastingtype	-	-	Vaste waarde (synthetische storm)
Tijdstap	Delta T	[u]	Vaste waarde (0,25)
Waterstandsverloop – tijdstappen	Tijd	[u]	Paragraaf 0
Waterstandsverloop – buitenwaterstand per tijdstap	Zswl	[m+NAP]	Paragraaf 0
Belasting bekledingen – buitenwaterstand bij golfcondities	Zswl	[m+NAP]	Paragraaf 6.5.5
Belasting bekledingen – Significante golfhoogte bij waterstand	H _{m0}	[m]	Paragraaf 6.5.5

6.5.1 Graskwaliteit

Wat is het

De kwaliteit van de graszode is fragmentarisch, open of gesloten. De kwaliteit betreft de erosiebestendigheid van de zode onder golfwerking. De erosiebestendigheid wordt hoofdzakelijk bepaald door de dichtheid van het wortelnet in de toplaag.

Voor de golfoploopzone is de graskwaliteit open en gesloten zode gekoppeld aan de kritische stroomsnelheid U_c [m/s] die wordt gebruikt in het erosiemodel. De volgende rekenwaarden moeten bij de *gedetailleerde toets* worden gebruikt (Tabel 6.3). Bij deze rekenwaarden wordt uitgegaan van een substraat van klei. Aan het zandgehalte van de klei worden geen eisen gesteld. Gras op zand kan alleen worden beoordeeld in een *toets op maat*.

Tabel 6.3 Rekenwaarden U_c in gedetailleerde toets oploopzone (gras op klei)

	Gesloten zode	Open zode
U_c [m/s]	6,6	4,3

Voor de golfklapzone is de graskwaliteit gekoppeld aan de parameters a, b en c die worden gebruikt in het erosiemodel. De onderstaande rekenwaarden moeten bij de *gedetailleerde toets* worden gebruikt (

Tabel 6.4). Ook hiervoor geldt dat voor deze waarden wordt uitgegaan van een substraat van klei. Aan het zandgehalte van de klei worden geen eisen gesteld. Gras op zand kan alleen worden beoordeeld in een *toets op maat*.

Tabel 6.4 Rekenwaarden a, b en c in gedetailleerde toets golfklapzone (gras op klei)

	Gesloten zode	Open zode
a	1	0,8
b	-0,035	-0,07
c	0,25	0,25

Bij een fragmentarische zode kan niet worden uitgegaan van een noemenswaardige erosiebestendigheid. Plaatsen waar eigenlijk geen sprake is van een zode, bijvoorbeeld tuinen, parken, struiken of ruigtebegroeiing vallen in de categorie 'fragmentarische zode'. Een gesloten zode is de meest erosiebestendige zode en deze komt op de primaire keringen het meeste voor. De open zode is een tussencategorie die grofweg 10 à 20% minder erosiebestendig is dan een gesloten zode.

De kwaliteit van de zode is effectief te beïnvloeden door het (veranderen van het) beheer. Over het beheer van grasbekleding is veel literatuur te vinden, bijvoorbeeld via [5]. Gelet op de veiligheid van de kering, zou het beheer moeten worden gericht op het verkrijgen van een dicht wortelnet, ofwel een gesloten zode.

Het is mogelijk dat aan het binnen- en het buitentalud verschillende graskwaliteiten worden toegekend.

Hoe te bepalen

Graskwaliteit bepalen door visuele inspectie

De drie categorieën zodekwaliteit kunnen worden herkend met visuele inspectie. De inspectie omvat het schatten van de bedekking van een recentelijk gemaaid talud bij het lopen over de grasbekleding. Regelmatig, vooral als het gras hoger is dan ca. 0,1 m, moet in meer detail de dichtheid van de begroeiing aan het grondoppervlak na worden gegaan. De representatieve grootte van open plekken tussen de planten wordt hier als criterium gehanteerd voor de mate van openheid van de begroeiing. De representatieve plantafstand is het visueel globaal geschatte gemiddelde (voor een stuk van zo'n $0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$) van de afstand tussen planten waar deze uit de grond komen.

De begroeiing die karakteristiek is voor deze drie graszodecategorieën is als volgt beschreven:

- gesloten zode: Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar globale visuele inspectie, een representatieve grootte van open plekken tussen de planten minder dan ongeveer 0,1 m, welke in niet meer dan 10 % van het oppervlak tot 0,2 m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1 m) beschadigingen per vierkante meter van de grasmat groter dan $0,15 \times 0,15 \text{ m}^2$ zijn en gemiddeld over 25 m^2 niet meer dan 5 van zulke beschadigingen.
- open zode: Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar visuele inspectie, een representatieve grootte van open plekken tussen de planten minder dan ongeveer 0,1 m, welke in niet meer dan 25 % van het oppervlak tot 0,25 m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1 m) beschadigingen per vierkante meter

van de grasmatten groter dan $0,15 \times 0,15 \text{ m}^2$ zijn en gemiddeld over 25 m^2 niet meer dan 5 van zulke gaten.

- fragmentarische zode: Talusbegroeiing met meer dan 25 % van het oppervlak plantafstanden groter dan 0,25 m. Dit betreft veelal slechts individuele, losstaande planten, of pollen waartussen eventueel bodembedekkende kleinere planten die geen gesloten grasmatten vormen.

Het beheer is een dominante factor voor de mate van ruwheid van een dijkwal met grasbekleding. Een gesloten graszode vormt zich niet als het microreliëf (binnen $1/10$ de m^2) meer dan ongeveer 0,1 m is. Een op het oog voldoende glad talud is daarom een voorwaarde voor een gesloten graszode.

Graskwaliteit bepalen door steken van een plag

De kwaliteit van de wortelmat kan bij twijfel gecontroleerd worden door in representatieve strekkingen met dezelfde aanblik een plag van de graszode los te steken. Deze controle kan nodig zijn omdat de bovengrondse plantendelen niet altijd eenduidig de doorworteling representeren. De controle verschaft daarnaast informatie over eventuele afwijkingen in de opbouw van de zode en aard van de grond in de zode die, waar nodig geacht, genoteerd kunnen worden voor gebruik bij beheer. Er wordt met een spade een stuk zode van ongeveer $0,25 \times 0,3 \text{ m}$ gestoken, die als plag van circa 7 à 10 cm dikte wordt losgemaakt van de ondergrond (door spade onder plag te steken), de kwalificatie van de doorworteling is als volgt:

- Dicht wortelnet (gesloten zode): Het vergt enige moeite om een intacte plag (ca. $0,25 \times 0,3 \text{ m}^2$) uiteen te trekken. De los gestoken plag van een dichte zode zal grotendeels intact blijven.
- Open wortelnet (open zode): Slechts met de nodige voorzichtigheid kan een intacte plag (ca. $0,25 \times 0,3 \text{ m}^2$) van de graszode los gestoken worden met een spade (behalve als het vochtige kleiige grond betreft die is verdicht bij betreden of het steken zelf).
- Fragmentarisch wortelnet (fragmentarische zode): Het is bijna niet mogelijk een intacte plag (ca. $0,25 \times 0,3 \text{ m}^2$) van de graszode los te steken (behalve als het vochtige kleiige grond betreft die is verdicht bij betreden of het steken zelf).

Het spreekt vanzelf dat de zode na beoordeling teruggeplaatst en aangedrukt wordt.

In bijlage B staan enkele voorbeeldfoto's van de verschillende zode kwaliteiten en van het steken van een plag.

Aandachtspunten

- Voor het steken van een plag is het belangrijk dat de grond vochtig is. Het is uitermate lastig om in een uitgedroogde kleigrond een plag te steken.
- Let op het geluid bij het steken van de plag. Het doorsteken van de wortels geeft een specifiek geluid dat al een indicatie geeft van de dichtheid van het wortelnet.
- Let bij het breken of scheuren van de plag specifiek op de weerstand die het wortelnetwerk biedt. De neiging zal zijn om de plag om te draaien met het gras naar beneden en de grond naar boven, waardoor de plag juist aan de minder doorwortelde onderkant scheurt en breekt. Dit is niet de bedoeling. Het is namelijk juist de bovenkant waar de meeste wortels zitten die belangrijk zijn voor de erosiebestendigheid en waar dus treksterkte aanwezig is.
- Een gestoken plag met een paar penwortelplanten (bijvoorbeeld paardenbloemen) zal gemakkelijk langs de penwortelplanten scheuren. Dit is echter niet representatief voor de kwaliteit van de zode. Uit veel golfoverslagproeven is gebleken dat het her en der

voorkomen van paardenbloemen en andere penwortelplanten niet leidt tot een fragmentarische zode. Beoordeel daarom ook het deel van de plag naast de penwortelplanten.

- Het uitvoeren van een visuele inspectie kan het beste gebeuren op een recentelijk gemaaide zode.
- Het is bijna onvermijdelijk dat beschadigingen aan de grasbekleding worden aangetroffen. Dit kunnen bijvoorbeeld rijsporen zijn, schade als gevolg van graafwerk of plukken met brandnetels en/of distels (pioniersplanten die als eerste weer groeien op plekken waar de zode beschadigd is). Dit zijn zwakke plekken in de bekleding, waar bij het optreden van extreme condities als eerste schade zal optreden. Deze plekken moeten door middel van een ingreep in het beheer (zorgplicht) worden verholpen en dit is daarom niet direct een reden om de graszode in een dijkvak in te delen in de categorie 'fragmentarisch'. Bij de beoordeling wordt vooruit gekeken naar het einde van de beoordelingsperiode. Bij deze vooruitblik vormt een goed beheer en onderhoud, gericht op een gesloten zode, het uitgangspunt. Alleen als de beschadigingen structureel zijn en het er zodanig veel zijn dat het niet beheersbaar is, dan volgt het oordeel fragmentarische zode.
- Door jaarlijks gezamenlijk en ook met collega's van andere waterschappen een beoordeling uit te voeren wordt de methode consistent. De kennis over de beoordeling wordt op elkaar geijkt. Oefening baart kunst.
- Veruit de meeste grasbekledingen liggen op een kleilaag, echter er zijn in Nederland ook grasbekledingen op primaire waterkeringen op een zandondergrond. Voor deze grasbekledingen zijn binnen de gedetailleerde beoordeling geen rekenwaarden van de sterkte beschikbaar. Deze grasbekledingen kunnen in een *toets op maat* worden beoordeeld.

6.5.2 *Significante golfhoogte*

Wat is het

De voor de *eenvoudige toets* te gebruiken significantie golfhoogte H_s is de golfhoogte met een jaarlijkse overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de faalkanseis behorend bij de voor de beoordeling te gebruiken categorie.

Opgemerkt wordt dat sommige modellen H_{m0} gebruiken en andere modellen H_s . In de praktijk worden de twee vaak aan elkaar gelijk gesteld.

Hoe te bepalen

De significante golfhoogte kan per categorie met Ringtoets/Riskeer worden bepaald.

6.5.3 *Waterstand*

Wat is het

De voor zowel de *eenvoudige toets* als *gedetailleerde toets* te gebruiken waterstand is de waterstand met een jaarlijkse overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de faalkanseis behorend bij de voor de beoordeling te gebruiken categorie.

Bij de *gedetailleerde toets* wordt deze waterstand ook gebruikt om onderscheid tussen de golfklap- en golfoploopzone te maken. De waterstand wordt tevens gebruikt bij het bepalen van de bovengrens waarvoor de hydraulische belasting op de bekleding moet worden bepaald (zie paragraaf 6.5.6).

Hoe te bepalen

De waterstand kan per categorie met Ringtoets/Riskeer worden bepaald.

6.5.4 Waterstandsverloop

Wat is het

Het waterstandsverloop is het verloop van de buitenwaterstand tegen de tijd welke wordt gebruikt bij de *gedetailleerde toets*. Het voor de *gedetailleerde toets* te gebruiken standaard waterstandsverloop verschilt per (deelgebied binnen een) watersysteem en dient, omdat deze niet in de software is opgenomen, door de gebruiker zelf bepaald en in BM – Gras Buitentalud ingevoerd te worden.

Merk op dat in een *toets op maat*, mits goed gemotiveerd en onderbouwd, een afwijkende keuze voor het te gebruiken waterstandsverloop gemaakt kan worden.

Hoe te bepalen

Hieronder is voor de verschillende watersystemen een beschrijving van het standaard verloop van de waterstand gegeven:

- Westerschelde;
- Oosterschelde;
- IJsselmeer;
- Markermeer;
- Randmeren;
- Noordzee;
- Waddenzee;
- Bovenrivieren;
- Benedenrivieren; enen
- Anders⁶

Merk op dat voor deelgebieden in een watersysteem waar sprake is van meerpeildominantie het standaard waterstandsverloop mogelijk niet realistisch is. Voor dergelijke gevallen wordt verwezen naar paragraaf **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**

Westerschelde, IJsselmeer, Markermeer, Randmeren, Noordzee, Waddenzee, Anders

Voor deze watersystemen bestaat het waterstandsverloop uit een combinatie van de volgende drie onderdelen:

1. de gemiddelde buitenwaterstand;
2. het stormopzetverloop; en
3. het getijverloop (als hiervan sprake is)

Ad1. Gemiddelde buitenwaterstand

De gemiddelde buitenwaterstand (GWS) vormt de basis van het waterstandsverloop waarop het verloop van de stormopzet (en het getijverloop) word(t)(en) gesuperponeerd. Voor watersystemen met getij is de representatieve waarde voor de GWS gelijk aan een NAP-hoogte van 0 m. Voor meren kan als representatieve waarde voor de GWS gebruik worden gemaakt van het winterstreefpeil.

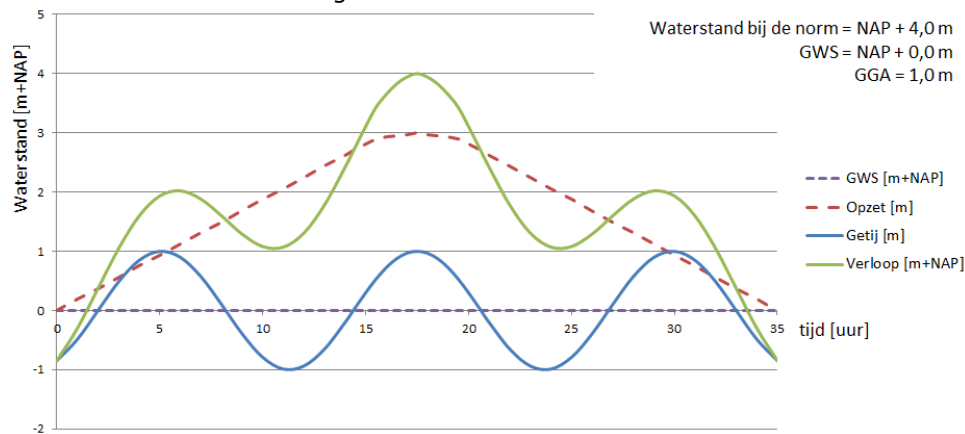
⁶ Met 'Anders' wordt bedoeld andere gebieden dan hier genoemd. Denk bijvoorbeeld aan de Vecht- en IJssel Delta.

Ad2. Stormopzetverloop

Het standaard verloop van de stormopzet is, zoals voor steenzettingen en asfaltbekledingen, gebaseerd op de HR2006 [22] en bestaat uit vier lineaire op elkaar aansluitende takken:

- Van de GWS aan het begin van de storm tot de maximale opzet (= waterstand behorend bij de beoordeling te gebruiken categorie) minus 0,1 m op 2 uur voor het tijdstip halverwege de storm.
- Van de maximale opzet minus 0,1 m op 2 uur voor het tijdstip halverwege de storm tot de maximale opzet op het tijdstip halverwege de storm.
- Van de maximale opzet op het tijdstip halverwege de storm tot de maximale opzet minus 0,1 m op 2 uur ná het tijdstip halverwege de storm.
- Van de maximale opzet minus 0,1 m op 2 uur ná het tijdstip halverwege de storm tot de GWS aan het eind van de storm.

Zie ook het voorbeeld in Figuur 6.1.



Figuur 6.1 Voorbeeld van een waterstandsverloop voor het watersysteem Kust opgebouwd uit de gemiddelde buitenwaterstand (GWS), het stormopzetverloop en het getijverloop.

Voor de *gedetailleerde toets* wordt dus een stormopzetverloop met een topduur van 4 uur gehanteerd. Er is bewust afgeweken van het waterstandsverloop in de waterstandsverlooptool van WBI, omdat die enkel ontwikkeld is voor grondmechanische faalmechanismen.

De stormopzetduur [uur] die hoort bij het stormopzetverloop is voor al deze watersystemen, met uitzondering van de Waddenzee, 35 uur. Voor de Waddenzee geldt een stormopzetduur van 45 uur.

Merk op dat beide stormopzetduren zijn gebaseerd op de HR2006 [22] en afwijken van de stormduur waarmee de productieberekeningen voor de verschillende hydraulische databases zijn gemaakt. Omdat op dit moment niet duidelijk is of de voor de productieberekeningen gebruikte stormduur ook de beste keuze is voor het beoordelen van de dijkbekleding, wordt vastgehouden aan de stormopzetduren van de HR2006.

Ad3. Getijverloop

Voor de watersystemen waar er sprake is van getij, wordt het getijverloop beschreven met een getijamplitude [m] die gelijk is aan de helft van (gemiddeld hoogwater – gemiddeld laagwater). Verder geldt dat hoogwater van het getij samenvalt met het tijdstip halverwege de stormopzet en wel zodanig dat de maximale opzet + de getijamplitude overeenkomt met de waterstand behorend bij de beoordeling te gebruiken categorie.

Gemiddeld hoog- en laagwater worden via de [website van Rijkswaterstaat](#) beschikbaar gesteld. De representatieve waarden voor *GLW* en *GHW* kunnen voor de zoutwaterlocaties worden gebaseerd op het langjarig gemiddelde. Voor de rivieren kan worden uitgegaan van de waterstand bij de gemiddelde afvoer gebaseerd op het langjarig gemiddelde.

Oosterschelde

Voor dit watersysteem wordt voorgesteld om bij de analyse van de belasting en sterkte twee op het sluitregime van de Oosterscheldekering gebaseerde waterstandsverlopen te gebruiken. Het waterstandsverloop dat met de analyse tot de kleinste veiligheidsfactor leidt, is maatgevend. De te gebruiken waterstandsverlopen bevatten beide periodes waarvoor gedurende een bepaalde duur de waterstand en de hierbij behorende golfcondities constant zijn. De waterstandsverlopen zijn als volgt:

- *Waterstandsverloop 1 (standaard sluiting)*

Waterstand [m+NAP]	Belastingduur [uur]
GWS + 1 m	10
GWS + 2 m	25

- *Waterstandsverloop 2 (noodsluiting)*

Waterstand [m+NAP]	Belastingduur [uur]
GWS + 3,5 m	5
GWS + 1 m	20
GWS + 2 m	10

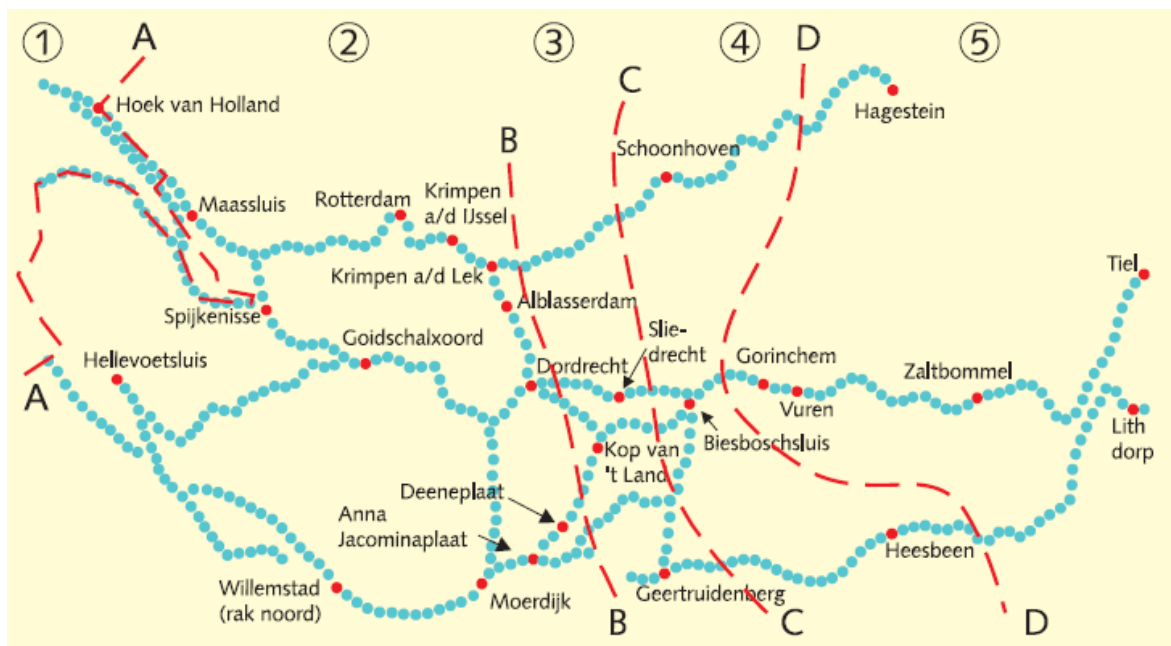
Merk op dat het te hanteren waterstandsverloop voor de analyse van de belasting en sterkte voor de grasbekleding afwijkt van het voor een steenzetting gebruikte waterstandsverloop.

Bovenrivieren

Voor het waterstandsverloop van het watersysteem Bovenrivieren wordt aangenomen dat gedurende een periode van 12 uur de waterstand en de hierbij behorende golfcondities constant zijn. Omdat voor elke golfconditie van 12 uur een stagnant peil wordt aangehouden is de waterstand met de hoogste golfhoogte in de zone waar daadwerkelijk gras ligt maatgevend.

Benedenrivieren

Het watersysteem Benedenrivieren kan worden onderverdeeld in vijf deelgebieden, zie Figuur 6.2. Deelgebieden 1 en 2 van dit watersysteem zijn storm gedomineerd. Voor deelgebieden 3, 4 en 5 geldt dat dat de afvoer dominant is.



Figuur 6.2 Deelgebieden watersysteem Benedenrivieren [22]. Deelgebieden 1 en 2 liggen benedenstrooms van lijnen A en B. Bovenstrooms van lijnen B, C en D liggen deelgebieden 3, 4 en 5.

Voor deelgebieden 1 en 2 wordt het volgende waterstandsverloop, gebaseerd op een vereenvoudiging van het waterstandsverloop in deelgebied 1, gehanteerd:

$$h = \max \left(h_{toets} + \frac{R_{tij}}{2} \left(\cos \left(\frac{2\pi t}{12,42} \right) - 1 \right) - \frac{3,97 |t|}{\frac{t_{storm}}{2}}; -\frac{R_{tij}}{2} \right) \quad (5.1)$$

Met:

h = waterstand ten opzichte van NAP (m)

h_{toets} = waterstand met een jaarlijkse overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de faalkanseis behorend bij de voor de beoordeling te gebruiken categorie (m+NAP)

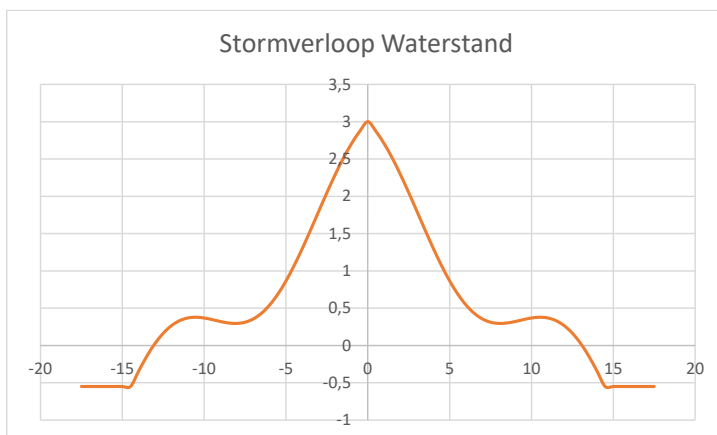
R_{tij} = getijrange = verschil tussen gemiddeld hoogwater en laagwater (m)

t = tijd ten opzichte van de top van de opzet (uur)

t_{storm} = stormduur (uur)

Het verloop is symmetrisch ten opzichte van het moment $t = 0$, het moment waarop de bij de beoordeling te hanteren waterstand bereikt wordt. Dit wordt in de formule aangegeven met $|t|$. De stormduur is 35 uur.

In onderstaand figuur is een voorbeeld gegeven van deze formule. De situatie voor $t < 0$ is gelijk aan die voor $t > 0$.



Figuur 6.3 Voorbeeld van een stormverloop Benedenrivieren (deelgebieden 1-2) voor $h_{toets} = \text{NAP} + 3,0 \text{ m}$, $R_{tij} = 1,1 \text{ m}$ en $t_{storm} = 35 \text{ uur}$. Let op dat er een faseverschuiving is van $-t_{storm}/2$ uur tov Figuur 6.1.

Voor deelgebieden 3, 4 en 5 geldt hetzelfde waterstandsverloop als voor het watersysteem Bovenrivieren.

6.5.5 Golfcondities

Wat is het

Per waterstandsniveau worden de golfcondities (golfhoogte, -periode en -richting) bepaald met een jaarlijkse overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de faalkanseis behorend bij de voor de beoordeling te gebruiken categorie. Samen met het waterstandsverloop (paragraaf 0) vormen deze golfcondities de zogenaamde 'synthetische storm' welke bij de *gedetailleerde toets* wordt gebruikt. De golfcondities worden, zoals het waterstandsverloop, ingevoerd in BM – Gras Buitentalud.

Hoe te bepalen

De golfcondities worden bepaald met Riskeer⁷. Voor het bepalen van deze condities dienen in Riskeer een aantal parameters opgegeven te worden. Deze parameters verschillen enigszins voor gras in de golfoploopzone enerzijds en gras in de golfklapzone anderzijds.

Voor de *gedetailleerde toets* van gras in de oploopzone geldt dat de benodigde parameters als volgt worden ingevuld:

- Categorie: de categorie waarvoor de golfcondities voor het gras in de oploopzone bepaald moeten worden.
- Bovengrens bekleding: neem hiervoor dezelfde waarde als bij 'Bovengrens waterstanden' (NB: onder deze waterstand ligt de grasbekleding in de golfklapzone en voor hogere waterstanden kunnen geen golfcondities worden bepaald)
- Ondergrens bekleding: neem hiervoor dezelfde waarde als bij 'Ondergrens waterstanden'. Hier dient niet het niveau van de ondergrens van de grasbekleding gebruikt te worden.
- Bovengrens waterstanden: waterstand behorende bij de categorie waarvoor de golfcondities worden bepaald.
- Ondergrens waterstanden: waterstand met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan 1/10 per jaar.

⁷ Met Ringtoets is het niet mogelijk om voor gras in de oploopzone golfcondities te bepalen. Met Riskeer is dit wel mogelijk. Voor het afleiden van de golfcondities dient dan ook Riskeer gebruikt te worden.

- Stapgrootte: hier dient 0,5 m aangehouden te worden.
- Type bekleding: Gras (golfoploop).
- Oriëntatie: hier dient de dijknormaal van het vak te worden ingevoerd. De hoek van golfval heeft invloed op de bepaling van de golfcondities voor golfoploop.

Voor de *gedetailleerde toets* van gras in de golfklapzone geldt dat de benodigde parameters als volgt worden ingevuld:

- Categorie: de categorie waarvoor de golfcondities voor het gras in de golfklapzone bepaald moeten worden.
- Bovengrens bekleding: de de bovengrens van de grasbekleding.
- Ondergrens bekleding: hoogste van onderstaande punten:
 - ondergrens bekleding voor zover gelegen onder de bij de beoordeling te gebruiken waterstand.
 - buitenteen van de dijk.
 - waterstand met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan 1/10 per jaar. Niveaus onder deze waterstand vallen niet meer onder de beoordeling op veiligheid.
- Bovengrens waterstanden: waterstand behorende bij de categorie waarvoor de golfcondities worden bepaald
- Ondergrens waterstanden: waterstand met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan 1/10 per jaar.
- Stapgrootte: hier dient 0,5 m aangehouden te worden.
- Type bekleding: Gras (golfklap).
- Oriëntatie: hier dient de dijknormaal van het vak te worden ingevoerd. Opgemerkt wordt echter dat de hoek van golfval geen invloed op de bepaling van de golfcondities voor golfklappen in de gedetailleerde toets. In de *toets op maat* (vanaf Riskeer versie 19.1) is het meenemen van de hoek van golfaanval bij golfklap echter wel mogelijk. Dit geeft een scherper oordeel.

Een eventuele voorliggende dam en/of voorland kan, indien stabiel, invloed hebben op de met Riskeer te bepalen golfcondities. Om de invloed van deze voorliggende dam en/of voorland mee te kunnen nemen, dient een schematisering van de betreffende dam en/of voorlandgeometrie in een profielbestand (.prfl) gespecificeerd te worden. Dit profielbestand kan worden geïmporteerd in Riskeer. Voor meer informatie over het profielbestand wordt verwezen naar de gebruikershandleiding van de software.

6.5.6 *Zandgehalte in kleilaag*

Wat is het

Het zandgehalte is het massapercentage van korrels groter dan 63 µm ten opzichte van de totale massa korrels. Het zandgehalte van de kleilaag is van belang voor de berekening van reststerkte in de golfklapzone.

Hoe te bepalen

Het zandgehalte wordt in het laboratorium bepaald op een geroerd monster uit de kleilaag. De scheiding van de fractie groter en kleiner dan 63 µm vindt plaats door middel van zeven.

6.5.7 *Dikte kleilaag*

De dikte van de kleilaag wordt gebruikt bij de *gedetailleerde toets* van een grasbekleding in de golfklapzone. De dikte wordt gerekend loodrecht op het talud en is de afstand tussen het maaiveld en de onderkant van de kleilaag, dus inclusief de sterk doorwortelde toplaag. In de

gedetailleerde beoordeling wordt de laagdikte tot en met 0,5 m beschouwd. Dikkere kleilagen kunnen eventueel in het kader van een *toets op maat* worden meegenomen in de veiligheidsbeoordeling. Voor de verdere beschrijving wordt verwezen naar paragraaf 6.4.2.

6.6

Afschuiven bekleding binnentalud

In deze paragraaf worden de parameters beschreven voor de beoordeling van het toetsspoor GABI. Voor dit toetsspoor is geen probabilistische berekening of semi-probabilistische berekening met voor WBI 2017 afgeleide veiligheidsfactoren beschikbaar. Het toetsspoor valt in groep 4.

6.6.1 *Golfoverslagdebiet*

Wat is het

Als de waterstand lager is dan de kruin en golven slaan over de kruin dan is er sprake van golfoverslag. De overslaande golven geven een tijdsgemiddeld debiet dat over de kruin van de dijk stroomt. Het symbool is q . Het debiet wordt uitgedrukt in l/s per m ($1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ per m in SI eenheden).

Hoe te bepalen

Het overslagdebiet waarvan de jaarlijkse overschrijdingskans getalsmatig gelijk is aan de signaleringswaarde (categorie A) wordt bepaald met Ringtoets. Bij een ingewikkelde geometrie van het buitentalud kan (in een *toets op maat*) deze berekening worden aangescherpt door het uitvoeren van een berekening met de golfoverslagmodule in Hydra-NL, waarbij gebruik wordt gemaakt van de hydraulische belastingen uit het illustratiepunt van de probabilistische berekening.

Aandachtspunten

- Hetzelfde overslagdebiet is ook nodig in de beoordeling van het faalmechanisme micro-instabiliteit.
- Het gemiddeld overslagdebiet is de maat van een tijdgemiddeld debiet. De verdeling van overslagvolumes is sterk afhankelijk van de golfhoogte. Een overslagdebiet van 1 l/s per m bij een lage waterstand en een golfhoogte van 2 m geeft enkele grote overslagvolumes, terwijl hetzelfde overslagdebiet van 1 l/s per m bij een hoge waterstand en een golfhoogte van 0,5 m veel kleine overslagvolumes geeft. Voor het mechanisme afschuiven van de bekleding op het binnentalud is dat laatste ongunstiger, omdat het talud dan continu nat is en er infiltratie optreedt. Dit komt later aan bod in paragraaf 6.6.8 bij de bepaling van de grondwaterstand in de dijk onder invloed van infiltratie.

6.6.2 *Type dijk*

Wat is het

Met het dijkttype wordt bedoeld 'zanddijk', 'zanddijk met kleibekleding' of een 'kleidijk'. Mengvormen zijn in de praktijk ook mogelijk, bijvoorbeeld als een oude kleidijk is verbeterd door er een zandlichaam met kleibekleding tegenaan te leggen. Voor het mechanisme afschuiven van de bekleding bij golfoverslag is het van belang wat het dijkmateriaal aan de binnenzijde van de dijk, onder het binnentalud, is.

Hoe te bepalen

Het dijkttype kan bekend zijn uit archiefgegevens, bestektekeningen of revisietekeningen. Indien de dijkopbouw onbekend is of er wordt getwijfeld over de opbouw, dan wordt deze bepaald met behulp van (hand)boringen en sonderingen. Gedacht kan worden aan onderzoek om de honderd meter op drie locaties, bovenaan, halverwege en onderaan het talud.

Aandachtspunten

- In de praktijk is gebleken dat grote variaties in dijkopbouw mogelijk zijn, onder meer bij oude dijkdoorbraken. Deze plekken verdienen extra aandacht bij het plannen van grondonderzoek, zodat de afwijkende opbouw in kaart kan worden gebracht.
- De inspanning van grondonderzoek is aanzienlijk, dus het is aan te bevelen om het onderzoek naar het dijktype te combineren met grondonderzoek voor het verkrijgen van informatie over de dijkopbouw en bodemopbouw die nodig is voor de andere toetssporen.
- Bij het uitvoeren van grondonderzoek naar het dijktype moet tevens worden gedacht aan de andere eventueel benodigde parameters, zoals de volumieke massa van de kleibekleding, de schuifsterke van de kleibekleding (ongeroerde monsternamen) en de doorlatendheid van de zandkern. Dit laatste kan worden geschat op basis van korrelverdelingen of door infiltratieproeven in het boorgat. Boorgaten kunnen ook worden afgewerkt met een peilbuis wat waardevolle informatie kan geven over het freatisch vlak in de zandkern onder dagelijkse omstandigheden en eventueel de correlatie met neerslag en of een wisselend buitenwaterpeil of polderpeil.

6.6.3 Kleikwaliteit

Wat is het

De kleikwaliteit is een maat voor de plasticiteit of affiniteit met water van de klei. Deze parameter wordt gebruikt in de *eenvoudige toets*. Indien een kleidijk is opgetrokken uit stevige klei en de helling is 1:3 of flauwer, dan volgt direct het oordeel 'voldoet'.

Hoe te bepalen

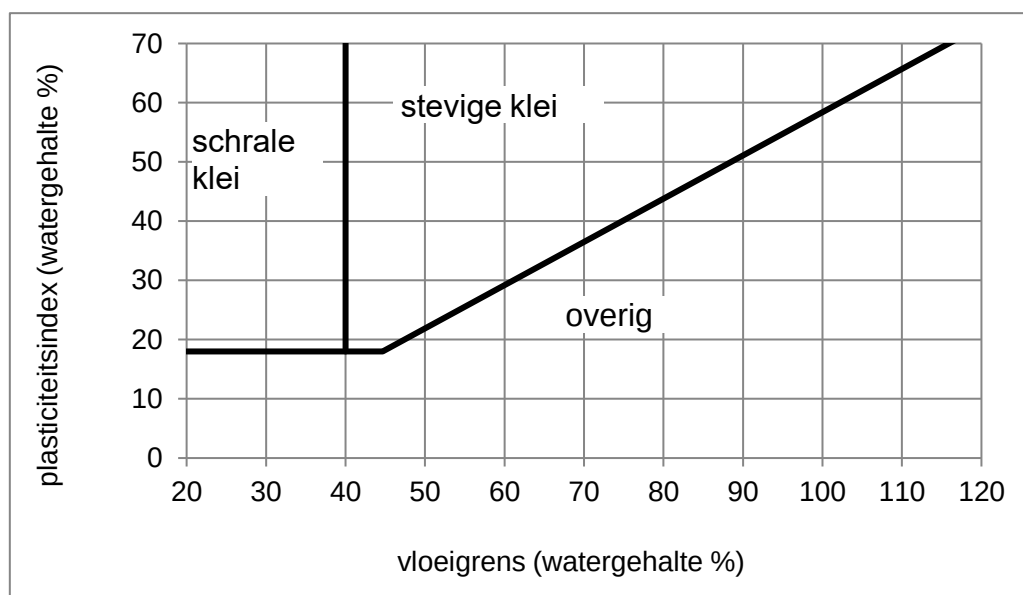
Er worden drie categorieën klei onderscheiden (

Figuur 6.4):

I. Stevige klei

II. Schrale klei

III. Overig



Figuur 6.4 Atterberg diagram met daarin de indeling in stevige klei, schrale klei en overige grond⁸

⁸ In

De grenswaarde tussen de categorieën in erosiebestendigheid met betrekking tot de Atterbergse grenzen zijn als volgt:

- Een vloeigrens van 40 % en
- een plasticiteitsindex van $0,73 \times (\text{Vloeigrens} - 20)$ met een minimum van 18%.

Verder geldt voor een stevige klei:

- Het is afkomstig van een op natuurlijke wijze afgezet materiaal.
- Het zandgehalte ($> 63 \mu\text{m}$) is maximaal 40%.
- Er is minder dan 5% organisch materiaal volgens de waterstofperoxidebehandeling methode (Proef 124 RAW Bepalingen 2005).
- Er is minder dan 25% gewichtsverlies bij de HCl-behandeling (Proef 124 RAW Bepalingen 2005).
- Er zijn geen significante bijmengingen van puin, grind en dergelijke en het heeft weinig heldere (rode, bruine en gele, soms blauwe) verkleuringen.

De kleikwaliteit kan beschikbaar zijn uit kleikeuringen die zijn uitgevoerd bij de aanleg of verbetering van de dijk. Als dit niet het geval is, dan kan deze in het laboratorium worden bepaald op geroerde kleimonsters die met behulp van (hand) boringen uit de dijk worden gewonnen. Gedacht kan worden aan (hand)boringen om de honderd meter ter plaatse van de kruin en in het binnentalud. Vaak kan in het laboratorium een indeling van de kleimonsters worden gemaakt in groepen van vergelijkbare eigenschappen. Op deze manier kunnen selectief, per groep, een paar bepalingen worden uitgevoerd om te kijken of de groep in één van de drie categorieën is te plaatsen.

Aandachtspunten

- De in Nederland voorkomende klei ligt vaak boven de A-lijn: $0,73 \times (\text{Vloeigrens} - 20)$. In de praktijk komt het voor dat 'stevige klei' toch in de categorie 'overig' komt. Mogelijk komt dit door afwijkingen bij het volgens de norm bepalen van de Atterbergse grenzen. Enkele aandachtspunten bij de bepaling zijn:
 - Verwijderen van eventueel aanwezige wortels. Een hoog organische stof gehalte leidt tot een hoge schatting van de vloeigrens, waardoor de klei onder de A-lijn komt.
 - Het schaalpje van Cassagrande (of vloeigrens apparaat) moet worden schoongemaakt met water en daarna gedroogd.
 - Bepaling van de Atterbergse grenzen start bij veld-vochtig materiaal, niet zoals in sommige literatuur aanbevolen, oven-droog materiaal.
 - Bij het bepalen van de uitrolgrenzen is het van belang dat er geen grove korrels meer in de klei zitten.

6.6.4 *Dikte en gewicht kleibekleding binnentalud*

Wat is het

Bij zanddijken wordt vaak een kleibekleding op het binnentalud aangelegd om de zandkern te beschermen tegen erosie en om er een goede graszode op te kunnen laten groeien. De kleilaagdikte d [m] en het natte gewicht van de grond γ_g [kN/m³] zijn belangrijke parameters

Figuur 6.4 is ten opzichte van de vorige versie van de schematiseringshandleiding een wijziging aangebracht, zodanig dat de figuur consistent is met de RAW 2015, **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** en [19]. De wijziging betreft het feit dat de plasticiteitsindex van schrale klei minimaal 18% bedraagt. Merk op dat voor het gebied linksonder in het figuur de keringbeheerder op basis van [19] gemotiveerd kan worden afgeweken.

bij de bepaling van de stabiliteit van deze laag indien er als gevolg van hoogwater en golfoverslag een hoge grondwaterstand in de zandkern optreedt.

Hoe te bepalen

De kleilaagdikte zou beschikbaar kunnen zijn uit de revisie of 'as built'-tekeningen of metingen die uitgevoerd zijn tijdens de aanleg van de bekleding. Als de kleilaagdikte niet bekend is, zal deze gemeten moeten worden op een aantal locaties. Gedacht kan worden aan om de honderd meter op 3 niveaus op het talud, bovenaan, halverwege en onderaan.

De soortelijke massa van de verzadigde kleilaag ρ_g kan in het laboratorium worden bepaald op monsters die met behulp van steekbussen uit de bekleding worden gehaald (NEN-EN-ISO 17892-3). Het gewicht wordt verkregen door de massa te vermenigvuldigen met de zwaartekrachtversnelling. De invloed van de massa is relatief klein, maar hoe zwaarder de grond des te stabielere de kleilaag. Voor het gewicht wordt het gemiddelde van de waarnemingen aangehouden.

Aandachtspunten

- Bij berekeningen naar de stabiliteit van de kleilaag wordt de laagdikte loodrecht op het talud gedefinieerd, terwijl boringen vaak verticaal worden gemaakt. De laagdikte uit de boring moet in dat geval met de cosinus van de taludhelling worden vermenigvuldigd om de laagdikte voor de stabiliteitsberekening te krijgen.
- Het verdient de aanbeveling om te kijken of het veldwerk kan worden gecombineerd door ook andere parameters te verzamelen, zoals het steken van monsterbussen klei voor laboratoriumonderzoek naar de volumieke massa en eventueel wrijvings-eigenschappen. Het steken van monsterbussen moet uiteraard gebeuren op het moment dat de klei zacht genoeg is om te steken (dus niet als de dijk is uitgedroogd).

6.6.5 *Doorlatendheid kleibekleding*

Wat is het

Zanddijken zijn vaak voorzien van een kleibekleding op zowel het buitentalud als het binnentalud. De doorlatendheid van de bekleding is van belang bij grondwaterstromingsberekeningen om de stijghoogte in zandkern onder het binnentalud te bepalen.

De doorlatendheid van een kleibekleding wordt grotendeels bepaald door de mate van vorming van bodemstructuur. Onder invloed van verschillende bodemstructuur vormende processen (wisselingen in watergehalte door uitdroging en neerslag, vorst, flora en fauna activiteiten) wordt een kleibekleding relatief doorlatend ten opzichte van natuurlijk afgezette kleilagen onder de grondwaterstand en goed verdicht aangebrachte kleilagen die zich buiten de invloedssfeer van deze processen bevinden. Natuurlijk afgezette kleilagen onder het freatisch vlak kunnen bijvoorbeeld een doorlatendheid hebben in de orde van 10^{-8} m/s, een kleikern in een dijk, ook boven het freatisch vlak, kan een doorlatendheid hebben van orde 10^{-6} m/s, maar een kleibekleding kan een doorlatendheid hebben van 10^{-4} à 10^{-5} m/s. Dit is dezelfde orde van grootte als de doorlatendheid van een zandkern. Meer informatie hierover is te vinden in [5] en [8].

Hoe te bepalen

Van belang is de bulk doorlatendheid van de klei met bodemstructuur. Voor de bepaling van een afgeleide van de doorlatendheid, de infiltratiecapaciteit [5], zijn enkele in de praktijk succesvol toegepaste veldproeven beschikbaar: de dubbele ring infiltrometer, infiltratiemetingen met behulp van grote stalen buizen (diameter 400 mm) of kokers ($1 \times 1 \text{ m}^2$)

die een stukje in de dijk worden gedrukt en gevuld met water. De afname van de waterstand in deze buizen en kokers per tijdseenheid is de infiltratiecapaciteit. De gemeten infiltratiecapaciteit kan met behulp van formules worden teruggerekend naar een doorlatendheid, waarbij overigens wordt opgemerkt dat de infiltratiecapaciteit vaak een redelijke schatter is van de verzadigde bulk doorlatendheid die in berekeningen wordt gebruikt. Bij wat dikkere kleilagen, bijvoorbeeld van 0,8 m en dikker, kan het noodzakelijk zijn om inzicht te krijgen in het verloop van de doorlatendheid over de dikte. De doorlatendheid net onder de zode, tot ongeveer 0.4 m zal waarschijnlijk hoger zijn dan die op een diepte van 0.6 à 0.8 m, waar de mate van bodemstructuur afneemt. Naast de bovengenoemde veldinfiltratiemetingen bestaan er ook systemen waarbij infiltratie in een boorgat wordt gemeten. Hiermee kan ook op grotere diepte, in dikke kleilagen of in de zandkern, een meting worden verricht van de infiltratiecapaciteit die kan worden teruggerekend naar een doorlatendheid.

Omdat het relatief lastig is om in het veld de doorlatendheid te bepalen, kan in eerste instantie gebruik worden gemaakt van een veilige schatting van de doorlatendheid. Een normale kleibekleding op een zandkern tot circa 0,8 m dikte zal een karakteristieke bulk doorlatendheid hebben in de orde van 10^{-4} à 10^{-5} m/s. Indien de kleilaag dikker is dan kan de doorlatendheid minder worden. Als geen metingen worden verricht, dan wordt gebruik gemaakt van een schatting aan de veilige kant (10^{-4} m/s).

Aandachtspunten

- In de praktijk is gebleken dat laboratoriumproeven naar de doorlatendheid op kleine monsters, bijvoorbeeld gangbare 50 mm monsters, niet leiden tot een betrouwbare bulkdoorlatendheid van klei met bodemstructuur. De ervaring is dat de zo verkregen doorlatendheid veel te laag is.
- Bij het uitvoeren van infiltratieproeven met de dubbele ring infiltrometer moet de zode worden verwijderd om de ringen goed in de grond te krijgen. Ook kan een dergelijke meting op wat grotere diepte worden uitgevoerd door eerst een gat te graven. Hierbij dient te worden opgelet dat het graven niet leidt tot een versmeerd oppervlak van de klei, waardoor deze ondoorlatend wordt. Het uitbreken van stukjes bodem met bijvoorbeeld een mes kan de aanwezige bodemstructuren weer blootleggen.
- Vanwege de aard en omvang van de dubbele ring infiltrometer is gebruik op een talud problematisch.
- Bij het meten van de infiltratiecapaciteit moet de dijk niet uitgedroogd zijn. De klei moet voldoende zacht zijn om de kokers en/of buizen gecontroleerd een stukje weg te drukken, zonder dat de grond met bodemstructuur al teveel wordt verstoord.
- Bij infiltratiemetingen in een boorgat moet er zorg voor worden gedragen dat de boorgatwand en bodem in klei niet volledig versmeerd wordt en daardoor ondoorlatend.
- De infiltratiemetingen moeten gedurende enkele uren worden doorgezet. In de praktijk wordt gebruik gemaakt van drukopnemers en dataloggers om een continu beeld te krijgen van de infiltratie over enkele uren.

6.6.6 *Doorlatendheid zandkern*

Wat is het

De doorlatendheid van de zandkern is de mate waarin het zand water doorlaat [m/s] gegeven een verhang van 1 [-]. De doorlatendheid van de zandkern bepaalt hoe snel het water bij een hoge buitenwaterstand de dijk indringt en hoe snel water dat infiltreert op de kruin en het binnentalud door de kern zakt.

Hoe te bepalen

Er zijn diverse manieren om de doorlatendheid te bepalen. Er wordt gewerkt van grof naar fijn. Omdat het uitvoeren van een berekening veel minder inspanning vergt dan het bepalen van een doorlatendheid in het veld of in het laboratorium wordt eerst een berekening gemaakt met een veilige schatting van de doorlatendheid. Voor zanddijken bestaande uit matig fijn zand (of fijner) is een veilige schatting bijvoorbeeld $0,5 \times 10^{-3}$ m/s. Indien een veilige schatting niet leidt tot een oordeel 'voldoet', dan kan de doorlatendheid worden bepaald met correlaties tussen de korrelverdeling en de doorlatendheid [7] en [11]. Hiervoor dienen korrelverdelingen te worden bepaald op materiaal uit de zandkern. Een tweede methode om een schatting van de doorlatendheid te krijgen is gebruik te maken van een infiltratieproef in een boorgat.

Aandachtspunten

- De spreiding van de resultaten van doorlatendheidbepalingen is vaak groot. Van belang voor het mechanisme is de bulk doorlatendheid van de kern k [m/s]. De representatieve waarde van de doorlatendheid kan worden bepaald met de volgende formule [11]:

$$k_{\text{rep}} = \exp\left((\log k)_{\text{gem}}\right) + t_{N-1}^{0.95} \frac{S_{\log k}}{\sqrt{N}}$$

Waarin:

k_{rep}	Karakteristieke waarde van de doorlatendheid [m/s].
$(\log k)_{\text{gem}}$	Rekenkundig gemiddelde van de natuurlijke logaritme van de waarnemingen van k .
$S_{\log k}$	Rekenkundige standaardafwijking van de natuurlijke logaritme van de waarnemingen van k .
$t_{N-1}^{0.95}$	student-t factor.
N	Aantal waarnemingen [-].

Het aantal benodigde waarnemingen voor een betrouwbare schatting van de karakteristieke waarde van de doorlatendheid voor een dijkvak is afhankelijk van de aanwezige variatie van het kernmateriaal in een dwarsdoorsnede en in de lengterichting van de dijk. Dit verschilt van locatie tot locatie. Voor het reduceren van de student-t factor zijn (minimaal) circa 8 waarnemingen nodig, echter om een variabiliteit in dwarsprofiel of in de lengterichting van de dijk vast te stellen zijn in het algemeen meer waarnemingen nodig. Een praktische aanpak kan zijn om uit boringen naar de dikte van kleibekledingen en voor het vaststellen van het dijktype en dijkopbouw relatief veel (geroerde) zandmonsters te verzamelen en hiervan enkele tientallen zeefkrommes uit te laten voeren, waarmee de doorlatendheid kan worden berekend. Zeefkrommes zijn relatief voordelig ten opzichte van veld- en laboratoriumbepalingen van de doorlatendheid. Voor een dijkvak van bijvoorbeeld één of enkele kilometers wordt zo een beeld verkregen van een eventuele variatie in dwarsprofiel en of in de lengterichting van het dijkvak. Op basis hiervan kan eventueel worden besloten om de verzameling (en het dijkvak) op te delen. De doorlatendheid op basis van zeefkrommes kan worden geverifieerd of eventueel worden bijgesteld met veldmetingen en/of doorlatendheidmetingen in het laboratorium.

6.6.7 Doorlatendheid ondergrond

Wat is het

Voor de indringing van water in de kern van de dijk door de ondergrond is het van belang of de zanddijk, met of zonder kleibekleding, direct op een zandondergrond ligt. Deze gevallen zijn zeldzaam in Nederland, maar niet op voorhand uit te sluiten. Als er sprake is van een zanddijk

op een zandondergrond dan moet de zandondergrond worden meegenomen bij de berekening van de grondwaterstand ter plaatse van het binnentalud. Hoe dikker het zandpakket, hoe sneller het water door de dijk kan dringen.

Hoe te bepalen

Informatie over de ondergrond wordt ingewonnen vanuit eerder uitgevoerd grondonderzoek voor dijkversterking of beoordeling. Daarnaast kan in de stochastische ondergrondschematisering (SOS) worden gekeken of er een kans is op een scenario met zand aan het oppervlak. Dit model wordt ook geraadpleegd als het gaat om de dikte en doorlatendheid van deze laag. Uit bestektekeningen en of revisietekeningen kan mogelijk worden afgeleid of bij de aanleg van een dijk op bijvoorbeeld Wadafzettingen de sliblaag is verwijderd of niet. Indien deze bronnen onvoldoende zekerheid geven over de aanwezigheid van een zandondergrond direct onder de zandkern, dan kan dit worden vastgesteld met boringen en sonderingen. Hiermee wordt dan direct de dikte van het zandpakket bepaald en kunnen monsters worden verkregen voor onderzoek naar de doorlatendheid van het zand in het laboratorium. In de SOS wordt gewerkt met scenario's van grondopbouw en scenariokansen. Onvoldoende zekerheid wil in dat geval zeggen dat er een scenario voorkomt met zand aan het oppervlak met een kans groter dan 1%.

Voor het inzetten van grondonderzoek naar de dikte en doorlatendheid van het zandpakket onder de dijk worden eerst berekeningen gemaakt naar de gevoeligheid van het mechanisme voor deze parameters.

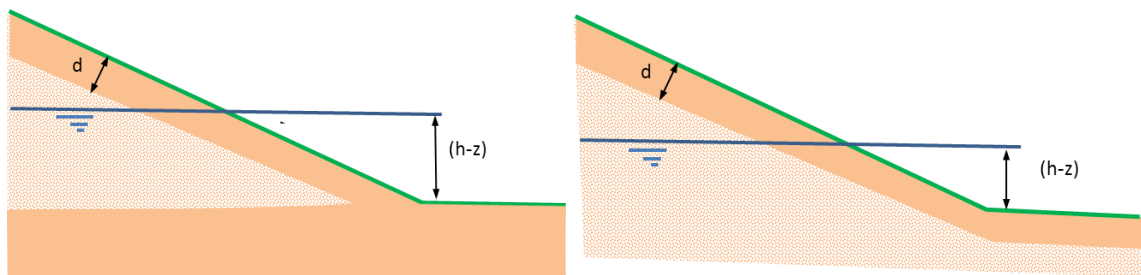
Aandachtspunten

- Een zanddijk op een zandondergrond is zeldzaam in Nederland. De kans is wat groter in Limburg en, minder, in het overige bovenrivierengebied, langs de zee- en estuariakusten waar zanddijken buitendijks zijn aangelegd en bij voormalige dijkdoorbraken.

6.6.8 Grondwaterstand binnenteen ten opzichte van teenniveau ($h-z$)

Wat is het

In de *gedetailleerde toets* van een zanddijk met een kleibekleding met behulp van analytische formules bestaat de belasting uit de grondwaterstand in de zandkern h [m+NAP] ten opzichte van het binnendijkse teenniveau z [m+NAP] (zie Figuur 6.5). In de formules wordt aangenomen dat dit verval over de onderzijde van de kleilaag aanwezig is, en hier de aandrijvende kracht is voor het opdrukken en of afschuiven van de kleilaag.



Figuur 6.5 Schematische weergave parameter grondwaterstand binnenteen ten opzichte van teenniveau ($h-z$)

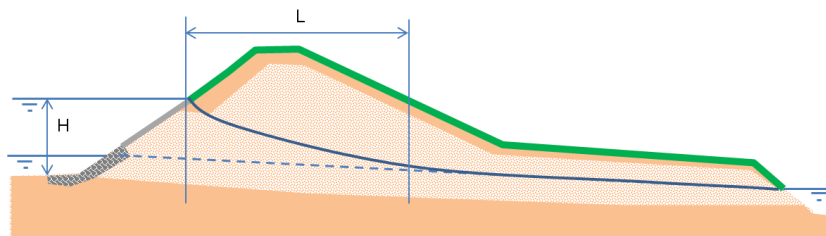
In de *gedetailleerde toets* wordt uitgegaan van het linker scenario in Figuur 6.4. In het rechter scenario heeft de dijk een zandberm, waardoor het water ter plaatse van de teen niet wordt opgesloten.

Hoe te bepalen

De grondwaterstand wordt van grof naar fijn geschematiseerd. Een zeer conservatieve aanname is het schematiseren van een volledig verzadigde zandkern. Alleen bij dijken waarover een klein verval staat, die een flauw talud hebben en of een dikke kleilaag zal dit tot een toetsoordeel 'voldoet' leiden waarmee wordt voldaan aan de faalkanseis op vakniveau voor de categorie waarvoor de belastingen zijn afgeleid.

Een tweede stap is het uitvoeren van een eenvoudige grondwaterstromingsberekening, zoals wordt beschreven in [5]:

- 1 Het freatisch vlak onder dagelijkse omstandigheden ter plaatse van de binnenteen moet bekend zijn uit metingen of worden geschat (zie ook paragraaf 5.3.2).
- 2 Als gevolg van een hoogwater dat door het buitentalud en eventueel de zandondergrond kan indringen in de zandkern zal het freatisch vlak kunnen stijgen. Dit kan worden geschat met de volgende formule [10]:



$$L = \sqrt{\frac{2HkT}{n}}$$

Waarin:

- | | |
|---|---|
| L | Horizontale indringingslengte vanaf het buitentalud [m]. |
| H | Karakteristieke hoogte van het zandpakket waardoor het water naar binnen stroomt [m]. |
| k | Doorlatendheid zandkern [m/s]. |
| T | Periode hoogwater [s]. |
| n | Porositeit zandkern [-]. |

Voor de parameters kunnen schattingen aan de veilige kant worden gebruikt, vooral voor de doorlatendheid van de zandkern. Een conservatieve waarde voor matig fijn zand is bijvoorbeeld $0,5 \times 10^{-3}$ m/s. Als L de binnenteen niet bereikt, dan kan ervan worden uitgegaan dat indringing van een hoge buitenwaterstand geen effect heeft. Als L de binnenteen wel bereikt, dan kan in de *gedetailleerde toets* worden uitgegaan van een lineair verloop van de stijging van het freatisch vlak vanaf het intredepunt (snijpunt hoogwater en talud) tot aan L. Tijdens de piek van het hoogwater is dit een conservatieve aanname. Na de piek van het hoogwater zal het freatisch vlak bolvormig worden en kan het freatisch vlak bij de teen nog iets stijgen. Uit berekeningen blijkt dit echter zeer gering te zijn en bovendien is het hoogwater dan alweer voorbij. Opgemerkt wordt dat de berekening behoorlijk conservatief is en dat met behulp van een 2D berekening geoptimaliseerd kan worden (*toets op maat*).

- 3 Het effect van infiltratie door golfoverslag wordt berekend door de infiltratiecapaciteit van de kleibekleding en de duur dat het talud nat is als gevolg van golfoverslag met elkaar te vermenigvuldigen en te delen door de porositeit van de zandkern. Aangenomen wordt dat deze schijf grondwater instantaan wordt toegevoegd aan het freatisch vlak.

- a. De infiltratiecapaciteit van gangbare kleibekledingen van circa 0,6 à 0,8 m dikte, met bodemstructuur is in de orde van 10^{-4} à 10^{-5} m/s. Het gemiddelde over enkele tientallen infiltratieproeven die in het kader van onderzoek zijn uitgevoerd was $2,3 \times 10^{-5}$ m/s. Een veilige schatting is 10^{-4} m/s. Met proeven kan deze waarde worden aangescherpt (zie paragraaf 6.6.5). De porositeit van de zandkern is ongeveer 0,35. *De veilige aanname van een infiltratiecapaciteit van 10^{-4} m/s in deze vereenvoudigde benadering leidt tot een potentiële toename van het freatisch vlak van 10^{-4} m/s * 3600 / 0,35 = 1,02 m/uur. Uitgaande van het bovengenoemde gemiddelde van de infiltratiecapaciteit $2,3 \times 10^{-5}$ m/s uit diverse proeven zou dit circa 0,24 m/uur zijn.*
 - b. De tijd dat infiltratie optreedt kan worden geschat door uit te gaan van een overslagduur van 6 uur. Gedurende deze 6 uur wordt uitgegaan van het overslagdebiet waarvan de jaarlijkse overschrijdingskans getalsmatig gelijk is aan de signaleringswaarde (categorie A). Dit overslagdebiet wordt bepaald met Ringtoets. Met behulp van paragraaf 6.3.2 uit [5] kan daarmee de tijd dat het talud nat is worden gecorrigeerd voor kleine overslagdebieten waarbij het talud niet 100% van de tijd nat is. Deze stap levert de tijd gedurende de storm dat er infiltratie optreedt (zie voorbeeld in Bijlage H). In een *toets op maat* kan eventueel een betere schatting van het verloop van de waterstand en golfcondities worden beschouwd.
 - c. Delen van het product uit a. en b. door de porositeit van de zandkern, die beschikbaar is voor waterberging, bijvoorbeeld 0,35, levert de schijf water die potentieel wordt toegevoegd aan het freatisch vlak. Let op dat de effecten van de capillaire werking van de bodem op het infiltratieproces zijn verwaarloosd in deze berekening. Er is enkel gerekend met infiltratie onder vrij verval. Aan de andere kant komt de tijd die nodig is om te komen tot een verhoging van de freatische lijn in deze afschattende berekening niet tot uiting.
- 4 Optelling van de resultaten uit stappen 1, 2 en 3 leidt tot de berekende stijghoogte ter plaatse van de teen van de dijk, waarmee de stabiliteit van de bekleding kan worden gecontroleerd. Het is op dit moment niet duidelijk of dit een conservatieve dan wel een optimistische keuze is.

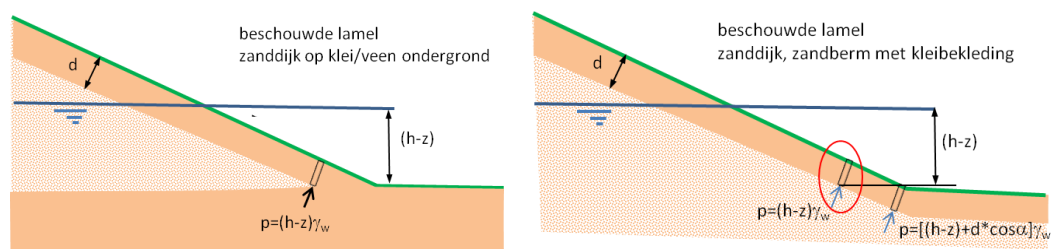
In de bovengenoemde procedure wordt ervan uitgegaan dat het infiltrerende water zich instantaan voegt bij het freatisch vlak. In de praktijk zal dit tijd vergen. Er wordt geen rekening gehouden met drainage. Zodra het freatisch vlak in de dijk oploopt als gevolg van infiltratie zal er een polderwaarts verhang ontstaan, waardoor een deel van het water afstroomt. Een betere schatting kan worden verkregen door het maken van een tijdsafhankelijke 2D-grondwaterstromingsberekening in een *toets op maat*.

Naast het rekenen met meer geavanceerde modellen in een *toets op maat* kunnen binnen de *gedetailleerde toets* ook parameters worden aangescherpt mits dit uitzicht biedt op oordeel 'voldoet' in de *gedetailleerde toets* (zie paragraaf 6.6.5, 6.6.6 en 6.6.7).

Aandachtspunten

- Er wordt in de gedetailleerde beoordeling niet specifiek voorzien in een bepaling van de grondwaterstand bij de teen van de dijk in het geval van overloop. In dit geval kan veiligheidshalve worden uitgegaan van een volledig verzadigde dijk, of kan de analyse worden voortgezet in een *toets op maat*.
- De analytische formules waarmee de stabiliteit van een kleibekleding op een zandkern wordt beoordeeld gaan impliciet uit van het linker scenario van Figuur 6.6. De ondergrond en de

kleibekleding worden als ondoorlatend beschouwd. In de praktijk komt echter ook vaak het rechter scenario voor, waarbij er een zandberm aanwezig is. Hierbij treden effecten op die zowel gunstig als ongunstig kunnen uitwerken. Enerzijds stroomt er in het tweede scenario een deel van het water richting de polder, waardoor de grondwaterstand in de kern minder hoog zal kunnen worden. Anderzijds zal de beschouwde grond in het rechter scenario zwaarder belast worden omdat deze dieper ligt, zoals grafisch toegelicht in Figuur 6.6.



Figuur 6.6 Schematische weergave verschillen in zandkern op ondoorlatende ondergrond en zandkern met zandberm

Verondersteld wordt dat de analytische formules een oordeel aan de veilige kant geven, waarbij wordt opgemerkt dat dit niet uitgebreid is geverifieerd. Indien de analytische formules niet leiden tot een oordeel 'voldoet' dan kan in de toets op maat een volledige 2D analyse van de grondwaterstroming en de stabiliteit van de kleilaag worden gemaakt.

6.6.9 *Wrijvingseigenschappen klei en zand*

Wat is het

Bij de beoordeling van de stabiliteit van de bekleding bij golfoverslag zijn de wrijvingseigenschappen van de klei en het zand van belang. De wrijvingseigenschappen worden gekarakteriseerd door cohesie en een hoek van inwendige wrijving. Bij de beoordeling van de stabiliteit van de bekleding bij golfoverslag wordt gebruik gemaakt van gedraineerde parameters.

Cohesie [kN/m^2] is strikt genomen de aantrekkingskracht tussen gronddeeltjes. Cohesie wordt onder andere veroorzaakt door elektro-magnetische bindingen (Van der Waals krachten). In de geotechniek worden ook het effect van cementatie dan wel verkitting op de schuifsterkte van grond en het effect van capillaire krachten in deels verzadigde grond onder cohesie gerekend. In de critical state soil mechanics is cohesie het gevolg van overconsolidatie. Bij het deformeren en afschuiven van overgeconsolideerde grond kan een relatief hoge piekwaarde van de schuifsterkte worden gemobiliseerd. Wanneer deze pieksterkte wordt overschreden, treedt vaak verzwakking (softening) van de grond op.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van macrostabiliteit volgens het critical state soil model de cohesie geen relevante parameter meer is. Bij de beoordeling op stabiliteit van de bekleding bij golfoverslag is de stap naar het critical state soil model niet gemaakt.

De hoek van inwendige wrijving is een maat voor de wrijving tussen gronddeeltjes. Bij een toenemende normaalspanning op de grond neemt de wrijving tussen de gronddeeltjes evenredig toe. Dit wordt uitgedrukt met de hoek van inwendige wrijving.

Hoe te bepalen

Cohesie en de hoek van inwendige wrijving kunnen worden bepaald door het uitvoeren van triaxiaalproeven.

Aandachtspunten

- Een kleibekleding bevindt zich in de onverzadigde zone van de dijk en wordt intensief blootgesteld aan bodemstructuurvormende processen, zoals een wisselend vochtgehalte, vorst en flora en fauna activiteiten. Er is onderzoek uitgevoerd naar het effect van bodemstructuur op de schuifsterkte van de grond [3]. Er is niet gebleken dat door het uitvoeren van gangbare triaxiaalproeven op gangbare monsters uit een klei met bodemstructuur met een diameter van 50 mm of groter een consequente onder- of overschatting van de schuifsterkte wordt gevonden.
- Cohesie wordt niet rechtstreeks gemeten in triaxiaalproeven proeven, maar is het resultaat van extrapolatie van metingen naar het punt $\sigma' = 0$ in een grafiek van schuifsterkte τ (y-as) tegen effectieve spanning σ' (x-as). Daarom is voorzichtigheid bij het bepalen van cohesie geboden.
- Om de bezwijkomhullende en de cohesie vast te stellen worden de resultaten van proeven op verschillende monsters gecombineerd. Door lineaire regressie toe te passen op de gemeten resultaten van proeven op grondmonsters die een enigszins afwijkende samenstelling hebben, kan de cohesie ook (deels) het gevolg zijn van de heterogeniteit van de onderzochte grondmonsters. De cohesie is dan het gevolg van het toepassen van lineaire regressie en hoeft niet een eigenschap van de onderzochte grondmonsters te zijn.
- Schatting van de wrijvingseigenschappen van de kleilaag via correlaties met een conusweerstand of classificatie van de klei met Tabel 2.b van NEN 9997 wordt ontraden. De in deze tabel gepresenteerde cohesie voor vaste klei blijkt in de praktijk voor kleibekledingen met bodemstructuur lager uit te kunnen pakken en voor klei, sterk zandig, juist te laag.
- In [3] wordt verder een procedure beschreven waarmee met behulp van triaxiaalproeven met een (isotrope) consolidatiespanning onder en boven de grensspanning een waarde voor de cohesie kan worden bepaald. Hierbij wordt opgemerkt dat bij lange taluds van kleidijken gecontroleerd dient te worden of het bovenste deel van het talud niet teveel vervormt ofwel scheurt, voordat aan de onderzijde van het talud de volledige schuifsterkte wordt gemobiliseerd. Dit kan worden onderzocht met een EEM-berekening in de *toets op maat*.

6.7 Erosie kruin en binnentalud

In deze paragraaf worden de parameters beschreven voor de beoordeling van het toetsspoor GEKB. Omdat voor de analyse van belasting en sterkte van dit toetsspoor een probabilistische berekening beschikbaar is, valt het toetsspoor in groep 1.

In Tabel 6.5 zijn de parameters voor de met Ringtoets uit te voeren *gedetailleerde toets* voor het toetsspoor GEKB opgenomen. De geometrie en de oriëntatie van de dijk, eventuele schematisatie van een voorliggende dam en/of voorland, wordt ingevoerd in Ringtoets met behulp van een profielbestand (.prfl). Zoals in de tabel aangegeven wordt de schematisering van het profiel behandeld in [12].

Tabel 6.5 Parameterlijst erosie binnentalud

Parameter	Symbool	Eenheid	Bron
Kleilaagdikte binnentalud	- (m)	[m]	Paragraaf 6.7.1
Significante golfhoogte	H_{m0} (m)	[m]	Paragraaf 6.7.2
Graskwaliteit	-	-	Paragraaf 6.7.3
Dam, voorlandgeometrie, dijkgeometrie	-	-	Schematiseringshandleiding hoogte [11]
Oriëntatie	-	[° t.ov. Noord]	Schematiseringshandleiding hoogte [11]
Dam	-	-	Schematiseringshandleiding hoogte [11]; Bijlage II Hydraulische Belastingen
Voorland	-	-	Schematiseringshandleiding hoogte [11]; Bijlage II Hydraulische Belastingen
Verwachtingswaarde kritisch overslagdebiet	μ	[m ³ /s per m]	Paragraaf 6.7.4
Standaardafwijking kritisch overslagdebiet	σ	[m ³ /s per m]	Paragraaf 6.7.4

6.7.1 Kleilaagdikte

De kleilaagdikte wordt gebruikt in de toepassingsvoorwaarde van de *gedetailleerde toets*. Voor deze parameter wordt verwezen naar paragraaf 6.6.4, met dien verstande dat alleen de laagdikte van belang is voor het toetsspoor GEKB.

6.7.2 Significante golfhoogte

De significante golfhoogte H_{m0} wordt gebruikt voor de toepassingsvoorwaarde voor de *gedetailleerde toets* en voor het bepalen van de golfhoogteklasse bij de keuze voor de verwachtingswaarde μ en standaardafwijking σ van het kritisch overslagdebiet (zie paragraaf 6.7.4).

De golfhoogte voor het bepalen van de golfhoogteklasse is gelijk aan de indicatieve golfhoogte die door Ringtoets kan worden verkregen uit het illustratiepunt van een faalkansberekening, waarbij de kruinhoogte van het gebruikte profiel gelijk is aan het HBN bij 0,1 l/s per m bij de faalkanseis op vakniveau⁹. Bij een indicatieve golfhoogte gelijk aan 1,00 of 2,00 m wordt respectievelijk gekozen voor de klasse 'van 1 tot 2 m' en 'van 2 tot 3 m'. Voor het bepalen van de te hanteren golfhoogteklasse wordt voor het betreffende profiel met Ringtoets dus:

- een HBN-berekening bij doorsnede-eis uitgevoerd waarbij voor de μ en σ van het kritisch overslagdebiet respectievelijk de waarden 0,1 en 0 l/s per m wordt ingevoerd (stap 1);
- een faalkansberekening uitgevoerd waarbij de kruinhoogte van het profiel gelijk is aan de bij stap 1 bepaalde hoogte (stap 2).

NB: voor de parameters van het kritische overslagdebiet worden dezelfde waarden als bij stap 1 gebruikt.

Een praktisch aanpak is om vooraf de golfhoogteklasse te schatten. Met de bij deze klasse (en graskwaliteit) behorende waarden voor de verwachtingswaarde en standaardafwijking van het kritisch overslagdebiet wordt vervolgens een faalkansberekening uitgevoerd. Wanneer de resulterende indicatieve golfhoogte in het illustratiepunt valt in de vooraf geschatte klasse is gelijk het eindantwoord gevonden. Wanneer dit niet het geval is kan de berekening worden herhaald met de wel bij die indicatieve golfhoogte behorende klasse.

Opgemerkt wordt dat in eerdergenoemde aanpak wordt uitgegaan van een kruinhoogte gelijk aan HBN bij 0,1 l/s per m op vakniveau. Bij de praktisch aanpak wordt de werkelijke kruinhoogte gebruikt. Wanneer deze in vergelijking tot het HBN zeer hoog is treedt pas bij zeer

⁹ De faalkanseis op vakniveau is de doorsnede-eis. Indien men een categorie bij het beoordelen wil vaststellen is dit de categoriegrens.

extreme omstandigheden (dus veel grotere golven) falen op. Op het oordeel zal dit geen invloed hebben omdat dit verschil enkel bij zeer kleine faalkansen optreedt.

6.7.3 Graskwaliteit

De graskwaliteit is een kwaliteitsoordeel voor de erosiebestendigheid van de grasbekleding. Deze kan 'gesloten', 'open' of 'fragmentarisch' zijn. De graskwaliteit wordt gebruikt in de toepassingsvoorwaarde voor de gedetailleerde beoordeling en voor de keuze van het gemiddelde en de standaardafwijking van het kritisch overslagdebiet (zie paragraaf 6.7.4). Voor de verdere beschrijving wordt verwezen naar paragraaf 6.5.1. Voor een fragmentarische zode is een *toets op maat* noodzakelijk.

6.7.4 Parameters kritisch overslagdebiet

Wat is het

De verwachtingswaarde en standaardafwijking van het kritisch overslagdebiet bepalen de ligging van de kansverdeling van het kritisch overslagdebiet. Deze kansverdeling representeert de erosiebestendigheid van de kruin en het binnentalud bij golfoverslag. Er wordt gebruik gemaakt van een lognormale kansverdeling. De eenheid van beide parameters is $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}'$. De parameters worden gebruikt bij de gedetailleerde beoordeling in Ringtoets.

Hoe te bepalen

De verwachtingswaarde μ en de standaardafwijking σ van het kritisch overslagdebiet zijn gekoppeld aan de graskwaliteit (zie paragraaf 6.7.3) en de golfhoogteklasse (zie paragraaf 6.7.2). Gegeven de graskwaliteit en de golfhoogte volgen de parameters voor de *gedetailleerde toets* uit onderstaande tabel.

Tabel 6.6 Parameters (μ en σ) lognormale kansverdeling kritiek overslagdebiet bij verschillende golfhoogteklassen en zodekwaliteit

Golfhoogteklasse	Gesloten zode		Open zode	
	μ [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}'$]	σ [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}'$]	μ [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}'$]	σ [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}'$]
0 tot 1 m	0,225	0,250	0,100	0,120
van 1 tot 2 m	0,100	0,120	0,070	0,080
van 2 tot 3 m	0,070	0,080	0,040	0,050

Er wordt vanuit gegaan dat sprake is van gras op een substraat van klei. Er worden geen eisen gesteld aan het zandgehalte van de klei. Gras op een substraat van zand kan alleen in een *toets op maat* worden beoordeeld.

7 Nieuwe inzichten

Regelmatig komen er nieuwe inzichten beschikbaar. Deze nieuwe inzichten kunnen worden gebruikt voor een *toets op maat*. In dit hoofdstuk worden op basis van nieuwe inzichten verschillende mogelijkheden voor een *toets op maat* voor de toetssporen GEBU en GEKB beschreven.

7.1 **Toets op maat GEBU: kansverdeling golfhoogte gras golfoploopzone**

Bij het bepalen van de cumulatieve overbelasting van het gras in de golfoploopzone wordt voor het verband tussen de golfhoogte H_{m0} en het aantal golven N , een Rayleigh verdeling aangenomen voor de kansverdeling van de individuele golfhoogtes. Op basis van deze verdeling wordt gekeken van welke golven de frontsnelheid de kritieke snelheid overschrijdt. De Rayleigh kansverdeling is valide voor diep water, waar geen sprake is van een limiet van de golfhoogte als gevolg van de waterdiepte. Voor ondiep water leidt de aanname van deze kansverdeling mogelijk tot een overschatting van het aantal golven waarbij de frontsnelheid de kritieke snelheid overschrijdt N_{exc} en kan de golfhoogteverdeling beter worden benaderd met een andere verdeling die meer geschikt is voor ondiep water (bijvoorbeeld de Battjes-Groenendijk verdeling). In deze kansverdeling is het effect van de waterdiepte verdisconteerd en leidt toepassing over het algemeen tot een reductie van de cumulatieve overbelasting¹⁰. Opgemerkt wordt dat voor toepassing van de Battjes-Groenendijk verdeling ten alle tijden het toepassingsgebied in acht genomen dient te worden. Dit betekent een bodemhelling van 1:250 (flauw) tot 1:20 (steil).

Om na te gaan of toepassing van de Battjes-Groenendijk verdeling kan leiden tot reductie van de cumulatieve overbelasting kan gebruik worden gemaakt van de afbeeldingen in Bijlage A van [14]. In deze afbeeldingen is voor een aantal taludhellingen de verhouding tussen de cumulatieve belasting volgens de Rayleigh verdeling en de Battjes-Groenendijk verdeling gegeven voor verschillende combinaties van de golfhoogte en de waterdiepte.

Indien de Battjes-Groenendijk verdeling toepasbaar is, kan in een *toets op maat* voor gras in de golfoploopzone met deze verdeling worden gerekend. Hiertoe dient de gebruiker in BM – Gras Buitentalud in de modus 'Test/expert' voor de golfoploopberekening te kiezen voor de golfverdeling 'Battjes-Groenendijk-analytisch' (standaard staat deze op 'Rayleigh-discreet'¹¹). Wanneer voor het bepalen van de cumulatieve overbelasting de Battjes-Groenendijk verdeling wordt gebruikt dient de gebruiker bij 'Geometrie' ook het bodemniveau en bodemhelling in te voeren.

Voor meer informatie over toepassing van de Battjes-Groenendijk verdeling wordt verwezen naar [14].

7.2 **Toets op maat GEBU: Scheef invallende golven gras golfklapzone**

Bij het bepalen van de faalfractie van het gras in de golfklapzone wordt geen rekening gehouden met de invloed van de golfinvalshoek (de hoek tussen de invalrichting van de

¹⁰ Hoewel de Battjes-Groenendijk verdeling resulteert in minder grote golven, is het aantal minder grote golven groter omdat het totaal aantal golven gelijk blijft. Daar waar de minder grote golven een significante bijdrage leveren aan de cumulatieve overbelasting kan de cumulatieve overbelasting toenemen.

¹¹ Deze verdeling wordt in de modus 'WBI' ook gebruikt voor het bepalen van de cumulatieve belasting bij de *gedetailleerde toets* van het gras in de golfoploopzone.

golven en de normaal op de dijk). Uitgaan van loodrechte inval kan als conservatief worden gezien. Hierdoor kan, als golven scheef invallen, onterecht geconcludeerd worden dat gras in de golflapzone niet voldoet aan de wettelijke norm.

In [15] is de invloed van de golfinvalshoek op de erosiesnelheid van de grasbekleding in de golflapzone gekwantificeerd. Deze kwantificering is gebaseerd op de aanname dat de erosiesnelheid van het gras in de golflapzone evenredig is met de druk door golflappen op het talud. Dit heeft geleid tot een invloedsfactor f_β die is opgenomen in BM – Gras Buitentalud. Toepassing van f_β leidt ertoe dat de berekende standtijd bij scheve golfaanval groter is dan bij de loodrechte golfaanval (en de faalfractie kleiner dan bij loodrechte golfaanval). NB: omdat geen erosieproeven op gras met scheve golfaanval zijn uitgevoerd is de invloedsfactor enigszins conservatief gekozen (de invloedsfactor is dus een veilige schatting voor de invloed van de hoek van golfaanval op de erosiesnelheid van het gras in de golflapzone).

In een *toets op maat* kan voor gras in de golflapzone de invloed van de golfinvalshoek in rekening worden gebracht. Hiertoe dient de gebruiker in BM – Gras Buitentalud in de modus "Test/expert" voor de golflapberekening de dijknormaal in "Geometrie" te specificeren. Daarnaast dient bij de maatgevende golfcondities per waterstandsniveau, behalve de golfhoogte, ook de golfrichting ten opzichte van Noord, ingevoerd te worden in "Hydraulische belasting". Hiertoe dient bij het bepalen van de golfbelasting $S (= H_s^a \times T_p^b \times (\cos \beta)^c)$ voor de grasmat in de golflapzone voor parameter c te worden gerekend met een waarde 0,67 (in het voor de golfcondities te gebruiken profiel dient dezelfde dijknormaal als in "Geometrie" opgenomen te worden). Parameter c kan in Ringtoets/Riskeer parameter c echter niet aangepast worden. Met Riskeer versie 19.1 of hoger kan, wanneer geen gebruik wordt gemaakt van de user interface, alsnog gerekend worden met een aangepaste waarde voor parameter c . In bijlage I is hiervoor een voorbeeld opgenomen. Indien niet met de aangepaste coëfficiënt wordt gerekend mag de *toets op maat* niet toegepast worden (de juiste golfcondities worden dan immers niet gebruikt).

In bijlage J is een voorbeeld voor het kwantificeren van de invloed van scheef invallende golven opgenomen.

7.3 Toets op maat GEKB: invloed overgangen en objecten

Voor het bepalen van de faalkans voor het toetsspoor GEKB wordt gebruikt gemaakt van de kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet zoals weergegeven in Tabel 6-6. Bij het afleiden van de kansverdelingen is géén rekening gehouden met de invloed van overgangen en objecten. In het kader van het programma BOI zijn voor verschillende scenario's nieuwe kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet afgeleid die wél rekening houden met overgangen en objecten.

Bij het afleiden van de coëfficiënten voor deze kansverdelingen is rekening gehouden met (een) 'nette' overgang(en) en/of object(en) op kruin of binnentalud [16]. Er is sprake van een nette overgang als de grasbekleding goed aansluit op de overgang of het object en als gesloten/open kan worden gekwalificeerd.

De kansverdelingen zijn niet bruikbaar:

- voor (een) overgang(en) en/of object(en) in een grasbekleding op een substraat van zand (bijvoorbeeld zanddijken, maar ook een zandcunet als onderdeel van een wegfundering die tot buiten de asfaltverharding is doorgezet);

- als de grasbekleding niet aansluit op een object of waarbij de grasbekleding ter plaatse van de overgang te slecht is om als open zode te worden gekwalificeerd; en
- wanneer bij objecten sprake is van een zeer verhoogde toename van de hydraulische belasting (bijvoorbeeld stroomcontractie rond huizen).

In [16] zijn voorbeelden opgenomen van situaties waarin de kansverdelingen al dan niet toepasbaar zijn.

Beperkingen van het gehanteerde model

Benadrukt wordt dat de coëfficiënten voor de kansverdelingen die rekening houden met overgangen en objecten waarschijnlijk aan de veilige kant zijn en daarom niet conform de overstromingskansbenadering. De mate waarin ze aan de veilige kant zijn is echter onzeker en zal afhangen van het aantal overgangen en of objecten op een dijktraject en hun karakteristieken. Het theoretisch model waarmee de coëfficiënten zijn bepaald is in de praktijk nog niet voldoende gevalideerd om de invloed van (een) overgang(en) en object(en) te karakteriseren met een kansverdeling met een verwachtingswaarde en standaardafwijking. Aangeraden wordt deze nieuwe kennis te benutten voor het ontwerpen en voor de beoordeling deze nieuwe kennis enkel te benutten voor de beeldvorming.

Beschikbare scenario's

In totaal zijn in [16] voor 64 scenario's kansverdelingen afgeleid:

- 16 kansverdelingen voor het binnentalud met enkel een geometrische overgang van talud naar berm of achterland;
- 16 kansverdelingen voor het binnentalud met (een) nette overgang(en) en/of object(en);
- 16 kansverdelingen voor de kruin zonder (een) nette overgang(en) en/of object(en); en
- 16 kansverdelingen voor de kruin met (een) nette overgang(en) en/of object(en).

Voor elk van de scenario's is de graskwaliteit (gesloten of open op substraat van klei), belastingduur (2, 5 of 12 uur) en golfhoogte (1, 2 of 3 m (3 m niet voor een belastingduur van 12 uur)) gevarieerd. Scenario's voor (een) nette overgang(en) en/of objecten op de kruin hebben een versnellingsfactor $\alpha_a = 1,0$; en voor het binnentalud 1,4. Scenario's met een nette overgang(en) en/of object(en) hebben invloedscoefficiënten $\alpha_M=1,8$ (factor voor verdisconteren belastingverhoging bij overgangen) en $\alpha_S=0,9$ (factor voor verdisconteren sterkteverlaging bij overgangen). Voor taluds met enkel een geometrische overgang van talud naar achterland of berm wordt gebruik gemaakt van $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$. Opgemerkt wordt dat een geometrische overgang altijd aanwezig is.

De voor de afleiding van de kansverdelingen gebruikte taludhelling van het buitentalud is 1:3 en daarmee vooral geschikt voor rivierdijken en minder voor de meeste zee- en meerdijken waar het buitentalud vaak flauwer is. Voor buitentaludhellingen die dichter bij 1:4 dan bij 1:3 liggen kan worden teruggevallen op scenario's uit een eerdere studie (zie [16]).

Stormduur

De kansverdelingen zijn afgeleid voor een representatieve belastingduur van 2, 5 en 12 uur. Dit is voor het toetsspoor GEKB het denkbare bereik van representatieve belastingduren voor primaire waterkeringen in Nederland. Totdat er per watersysteem een betere onderbouwing wordt gegeven voor de exacte representatieve belastingduur kan worden uitgegaan van het volgende:

Voor stormgedreven (delen van) watersystemen - zijnde de kust, het zee-gedomineerde overgangsgebied van het benedenrivierengebied en de stormgedomineerde delen van meren - is een belastingduur van 3 uur representatief. Voor deze (delen van) watersystemen kan door

lineaire interpolatie tussen resultaten voor de scenario's met 2 en 5 uur de faalkans worden gevonden, dan wel – indien beschikbaar – die voor 3 uur worden gebruikt. Voor meerpeilgedomineerde delen van meren is het niet mogelijk om op dit moment een generiek representatieve stormduur af te geven. Hiervoor kan nader onderzoek naar de specifieke situatie uitkomst bieden.

Voor watersystemen met langdurig hoogwater zoals de bovenrivieren en het overgangsgebied is een belastingduur van 5 uur representatief. Dat geldt echter alleen voor maatgevende situaties die gedomineerd worden door golfoverslag. In gevallen waarin de maatgevende situatie gedomineerd wordt door overloop dient met experts een nadere analyse te worden uitgevoerd naar een representatieve stormduur.

Impact en handelingsperspectief

Conform Bijlage III van de *Regeling veiligheid primaire waterkering 2017* kan in een *toets op maat* gebruik worden gemaakt van locatiespecifieke afgeleide kansverdeling van het kritisch overslagdebiet. Hieronder valt ook het verdisconteren van het effect van overgangen en objecten. In vergelijking met de kansverdelingen in Tabel 6-6 vallen, afhankelijk van de werkelijke situatie, de nieuwe kansverdelingen deels gunstiger en deels ongunstiger uit. Het globale beeld is dat voor scenario's met (een) nette overgang(en) en/of object(en) op het binnentalud het resultaat met de nieuwe kansverdelingen ongunstiger wordt en bij enkel een geometrische overgang gunstiger. Voor scenario's met (een) nette overgang(en) en/of object(en) op de kruin daarentegen verschilt het resultaat met de nieuwe kansverdelingen in de regel weinig. Omdat er veel afwijkingen van dit globale beeld mogelijk zijn is het daarom aan te bevelen, in aanvulling op de *gedetailleerde toets*, voor de beeldvorming een *toets op maat* uit te voeren.

In het ontwerpen is er een onzekerheid ten aanzien van de invloed van allerlei objecten op het binnentalud op de faalkans. Het is denkbaar dat op sommige dijken zoveel overgangen en/of objecten in de grasbekleding aanwezig zijn dat deze niet of nauwelijks netjes zijn te onderhouden. Dit komt bijvoorbeeld voor bij lintbebouwing bij rivierdijken. In dergelijke gevallen is een initiële schade of kale plek bijna altijd aanwezig. Het is echter niet zo dat de dijk dan direct zal bezwijken bij een gering golfoverslagdebiet, omdat er verdere erosie binnen de duur van een hoogwater nodig is om uiteindelijk tot een overstroming van het achterland te komen. Aanbevolen wordt in onderhavige gevallen met experts te kijken naar de erosie van kale grond bij overloop en golfoverslag om een reële inschatting van de kans op overstroming te komen. Hier kan extra veld- en laboratoriumonderzoek voor nodig zijn.

Tevens wordt aanbevolen om (met experts) altijd na te gaan of ten aanzien van de aanwezigheid van overgangen en objecten nieuwe kennis beschikbaar is/komt, zodat het daadwerkelijke effect van overgangen en objecten verder in kaart gebracht kan worden en het oordeel kan worden aangescherpt.

Tot slot zijn er meer onzekere factoren in het falen van dijken na het falen van de bekledingen die nog niet goed in beeld zijn. Middels een faalpadanalyse kunnen deze in beeld gebracht worden. Indien andere onzekerheden domineren in de faalkans boven die van overgangen en objecten wordt het minder relevant daarvoor detailanalyses te maken.

7.4

Toets op maat GEBU: Afnemende golfhoogte bij toenemende waterstand

Om met BM – Gras Buitentalud een analyse van de belasting en sterkte uit te kunnen voeren is een set golfcondities nodig. Deze door de gebruiker bepaalde set bestaat uit verschillende waterstanden met per waterstand de bijbehorende golfhoogte, -periode en -richting.

Doorgaans neemt de golfhoogte toe naarmate de waterstand hoger wordt. Dit geldt voor gebieden waar de windsnelheid (snelle stochast) bepalend is voor zowel de golven als de waterstanden. Echter, in bepaalde gebieden wordt de waterstand niet alleen door de storm bepaald, maar ook door een verhoogd meerpeil (als gevolg van rivierafvoer) of een combinatie van storm en meerpeil. Zo kan aan de westzijde van het IJssel- en Markermeer sprake zijn van een verhoogd meerpeil (trage stochast) door hoge rivierafvoer en beperkte spuimogelijkheden, die door scheefstand als gevolg van een storm verder wordt verhoogd.

Voor het berekenen van de veiligheidsfactor voor grasbekledingen in de golfklap- of golfploopzone worden de golfcondities tijdens de storm aan de hand van de ingevoerde golfcondities per waterstand en het ingevoerde waterstandsverloop bepaald. Voor gebieden waar bij een toenemende waterstand de golfhoogte sterkt afneemt leidt dit niet tot een realistisch verloop van de golfcondities tijdens de storm. Er is hiervoor een procedure opgesteld waarmee deze problematiek kan worden gekwantificeerd.

Voor gebieden waarbij de trage stochast dominant is en er bij toenemende waterstand sprake is een afnemende golfhoogte, wordt voorgesteld om twee verschillende berekeningen met BM – Gras Buitentalud te maken en de resultaten te vergelijken:

1. Bij de eerste berekening wordt de normale werkwijze gehanteerd voor het uitvoeren van een analyse van de belasting en sterkte met BM – Gras Buitentalud.
2. Bij de tweede berekening wordt met BM – Gras Buitentalud bij verschillende waterstanden veiligheidsfactor bepaald.

Hiertoe wordt voor het waterstandsverloop per waterstand h_i :

- de gemiddelde buitenwaterstand (GWS) gelijk gesteld aan het meerpeil behorende bij de waterstand h_i^{12} ; en
- de maximale opzet (zie ook paragraaf 0) wordt gelijk gesteld aan waterstand h_i minus GWS.

De golfcondities worden gedurende het gehele waterstandsverloop constant gesteld, gelijk aan de waarden behorend bij waterstand h_i .

NB In BM – Gras Buitentalud moeten voor minimaal twee waterstanden de golfcondities ingevoerd worden. Voor de tweede waterstand dient de gebruiker dezelfde golfcondities als bij h_i in te voeren.

De berekening met de kleinste veiligheidsfactor wordt als maatgevend beschouwd.

De veiligheidsfactoren van de normale (eerste) en aangepaste (tweede) werkwijze worden vervolgens met elkaar vergeleken. Wanneer de met de aangepaste werkwijze gevonden maatgevende veiligheidsfactor leidt tot een ander oordeel, kan worden geconcludeerd dat het gehanteerde verloop van invloed is op het oordeel van de betreffende grasbekleding. In dat geval dient expertkennis (over het werkelijk te hanteren stormverloop) aangewend te worden om na te gaan hoe tot een definitief oordeel voor de betreffende grasbekleding te komen.

Een rekenvoorbeeld is gegeven in bijlage 0.

¹² Als de golfcondities zijn bepaald met Hydra-NL volgt het meerpeil uit het hoofdillustratiepunt behorende bij de voor de betreffende waterstand bepaalde golfcondities. Wanneer de golfcondities met Ringtoets/Riskeer zijn bepaald dient een schatting van het meerpeil gemaakt te worden.

8 Verantwoording

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

Schrijver:

A. van Hoven (Deltares).

Regie:

J. van der Hammen (RWS).

K.S. Lam (Deltares).

M.M. de Visser (Arcadis).

Review:

M. Klein Breteler (Deltares).

T.P. Stoutjesdijk (Deltares).

A. Labrujere (RWS).

M.M. de Visser (Arcadis).

R. Mom (Infram Hydren).

H. Rinkel (RWS).

Eindredactie:

R. 't Hart (Deltares).

A. Bizzarri (RWS).

M. Hazelhoff (RWS).

Eindcontrole:

R.M. Slomp (RWS).

J.G. Knoeff (Deltares).

M. Bottema (RWS).

Een update van de oorspronkelijke handreiking uit 2017 naar v6.0 en de nieuwe inzichten ten behoeve van de *toets op maat* zijn verwerkt door Roy Mom (Infram Hydren) en gecontroleerd door André van Hoven, met ondersteuning van Alfons Smale en Mark Klein Breteler van Deltares. De eindcontrole is gedaan door Robert Vos en Myron van Damme van RWS.

A Literatuur

- [1] *Fenomenologische beschrijving. Faalmechanismen WBI*. Deltares, rapport 11200574-007-GEO-0005-ga, Delft, mei 2018.
- [2] *A Genetic Algorithm for Solving Slope Stability Problems: from Bishop to a Free Slip Plane*. R. van der Meij, J.B. Sellmeijer, 7th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering (NUMGE), Trondheim. Balkema, Rotterdam, 2010.
- [3] *Cover layer stability during wave overtopping*. WTI 2017 Onderzoek en ontwikkeling landelijk toetsinstrumentarium, Deltares 1209437-003. Delft, maart 2015.
- [4] *Handleiding datamanagement WBI*. Deltares, september 2016.
- [5] *Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde*. Rijkswaterstaat, 2012.
- [6] *Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 1 bovenrivierengebied*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, zie www.enwinfo.nl, ISBN 90-12-05169-X. Staatsuitgeverij 's-Gravenhage, september 1985.
- [7] *Literatuuronderzoek doorlatendheid- korrelkarakteristieken*. H. Den Rooijen, Grondmechanica Delft, Rapport CO-317710/7. Delft, 1992.
- [8] *Studie voor richtlijnen klei op dijktaluds in het rivierengebied*. Deltares rapportnummer 1202512-000-GEO-0002. Delft, juli 2010.
- [9] *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkaden*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, RWS-DWW, ISBN 90-369-3776-0, zie www.enwinfo.nl. Delft, juni 2001.
- [10] *Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, RWS-DWW, ISBN-90-369-5565-3, zie www.enwinfo.nl. Delft, september 2004.
- [11] *Technisch Rapport Zandmeevoerende wellen*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. RWS-DWW, Delft, maart 1999.
- [12] *Schematiseringshandleiding Hoogte, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- [13] *Handleiding voor het gebruik van de dam- en voorlandmodule ter bepaling van de hydraulische condities bij de dijkteen*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, november 2019.
- [14] *Kansverdeling golfhoogte in GEBU-oploopzone*. Deltares memo 11202226-012-GEO-0001, mei 2018.

- [15] *Invloed hoek van golfaanval op graserosie op dijken.* Deltares rapport 11203720-017-GEO-0001, juli 2019.
- [16] *BOI Omgaan met overgangen bij faalmechanisme gras erosie kruin en binnentalud.* Deltares rapport 11203720-025-GEO-0001, november 2019.
- [17] *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en Veiligheid.* Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016
- [18] *Vier quick wins grond en klei. Optimalisaties voor dijkversterkingen.* Hoogwaterbeschermingsprogramma, 2018
- [19] *Handboek Dijkenbouw. Uitvoering versterking en nieuwbouw.* Hoogwaterbeschermingsprogramma, 2018
- [20] *Erosie van een dijk na bezwijken van de steenzetting door golven. SBW reststerkte; analyse Deltagootproeven.* Deltares rapport 1204200-008, mei 2012
- [21] *Schematiseringshandleiding steenzetting, WBI2017.* Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, 2021
- [22] *Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor het toetsen van primaire waterkeringen.* Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2006.

B Voorbeeldfoto's graszode

B.1 Gesloten zode



B.2

Open zode



B.3 Fragmentarische zode



B.4 Steken van een plag





Gesloten zode, kracht nodig om de zode te scheuren.



Plag uit zode met brandnetel, zode valt uit elkaar bij steken en uitnemen.

C N_{dsn} -waarden voor de toetssporen GEKB en GEBU.

In deze bijlage is een overzicht opgenomen van de N_{dsn} -waarden voor de toetssporen *Grasbekleding erosie buitentalud* en *Grasbekleding erosie kruin en binnentalud*.

Tabel C.1 Lengte-effectfactoren per dijktraject/kunstwerk. De lengtes in de tabel zijn alleen ter referentie en dienen altijd geverifieerd te worden bij gebruik van deze tabel.

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkkring	N_{dsn} [-]
1-1	9,1	Schiermonnikoog (1)	3
1-2	3,9	Schiermonnikoog (1)	2
2-1	20,3	Ameland (2)	Duin
2-2	16,5	Ameland (2)	2
3-1	15,8	Terschelling (3)	Duin
3-2	13,9	Terschelling (3)	2
4-1	7,4	Vlieland (4)	Duin
4-2	1,0	Vlieland (4)	2
5-1	27,4	Texel (5)	Duin
5-2	27,0	Texel (5)	2
6-1	32,6	Friesland en Groningen (6)	3
6-2	29,5	Friesland en Groningen (6)	3
6-3	42,4	Friesland en Groningen (6)	3
6-4	29,0	Friesland en Groningen (6)	3
6-5	13,4	Friesland en Groningen (6)	3
6-6	46,1	Friesland en Groningen (6)	3
6-7	38,6	Friesland en Groningen (6)	3
7-1	11,5	Noordoostpolder (7)	3
7-2	44,3	Noordoostpolder (7)	3
8-1	25,5	Flevoland (8)	3
8-2	29,2	Flevoland (8)	3
8-3	22,8	Flevoland (8)	3
8-4	21,8	Flevoland (8)	3
8-5	15,9	Flevoland (8)	2
8-6	13,0	Flevoland (8)	2
8-7	15,3	Flevoland (8)	2
9-1	39,0	Vollenhove (9)	2
9-2	8,1	Vollenhove (9)	2
10-1	19,2	Mastenbroek (10)	2
10-2	14,2	Mastenbroek (10)	2
10-3	14,8	Mastenbroek (10)	2
11-1	21,1	IJsseldelta (11)	2
11-2	24,8	IJsseldelta (11)	2
11-3	12,9	IJsseldelta (11)	2
12-1	11,7	Wieringen (12)	3

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkkring	N_{dsn} [-]
12-2	20,8	Wieringen (12)	2
13-1	31,7	Noord-Holland (13)	Duin
13-2	5,7	Noord-Holland (13)	3
13-3	19,7	Noord-Holland (13)	Duin
13-4	9,9	Noord-Holland (13)	3
13-5	10,3	Noord-Holland (13)	3
13-6	26,4	Noord-Holland (13)	2
13-7	29,6	Noord-Holland (13)	2
13-8	11,6	Noord-Holland (13)	2
13-9	28,8	Noord-Holland (13)	2
13a-1	12,3	IJburg (13-a)	2
13b-1	8,6	Marken (13-b)	2
14-1	20,5	Zuid-Holland (14)	2
14-2	19,8	Zuid-Holland (14)	2
14-3	16,5	Zuid-Holland (14)	2
14-4	4,4	Zuid-Holland (14)	2
14-5	17,6	Zuid-Holland (14)	Duin
14-6	5,1	Zuid-Holland (14)	3
14-7	11,7	Zuid-Holland (14)	Duin
14-8	2,2	Zuid-Holland (14)	3
14-9	5,6	Zuid-Holland (14)	Duin
14-10	30,4	Zuid-Holland (14)	3
15-1	23,0	Lopiker- en Krimpenerwaard (15)	1
15-2	24,4	Lopiker- en Krimpenerwaard (15)	2
15-3	19,2	Lopiker- en Krimpenerwaard (15)	2
16-1	15,1	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	1
16-2	31,0	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	2
16-3	19,9	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	1
16-4	19,6	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	1
16-5	24,8	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	1
17-1	26,8	IJsselmonde (17)	2
17-2	26,6	IJsselmonde (17)	2
17-3	9,4	IJsselmonde (17)	2
18-1	5,2	Pernis (18)	2
19-1	8,1	Rozenburg (19)	2
20-1	16,0	Voorne-Putten (20)	Duin
20-2	13,0	Voorne-Putten (20)	2
20-3	21,9	Voorne-Putten (20)	2
20-4	19,8	Voorne-Putten (20)	2
21-1	30,2	Hoekse Waard (21)	2
21-2	40,3	Hoekse Waard (21)	2
22-1	17,5	Eiland van Dordrecht (22)	2
22-2	20,6	Eiland van Dordrecht (22)	2

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkkring	N_{dsn} [-]
23-1	2,6	Biesbosch (23)	2
24-1	18,0	Land van Altena (24)	1
24-2	13,0	Land van Altena (24)	1
24-3	15,3	Land van Altena (24)	1
25-1	16,7	Goeree-Overflakkee (25)	Duin
25-2	26,9	Goeree-Overflakkee (25)	2
25-3	19,7	Goeree-Overflakkee (25)	2
25-4	32,5	Goeree-Overflakkee (25)	2
26-1	17,3	Schouwen Duiveland (26)	Duin
26-2	20,7	Schouwen Duiveland (26)	2
26-3	21,9	Schouwen Duiveland (26)	2
26-4	25,2	Schouwen Duiveland (26)	2
27-1	16,2	Tholen en St. Philipsland (27)	2
27-2	36,9	Tholen en St. Philipsland (27)	2
27-3	16,0	Tholen en St. Philipsland (27)	2
27-4	4,6	Tholen en St. Philipsland (27)	2
28-1	23,9	Noord-Beveland (28)	2
29-1	21,8	Walcheren (29)	Duin
29-2	17,1	Walcheren (29)	3
29-3	7,1	Walcheren (29)	3
29-4	12,5	Walcheren (29)	2
30-1	22,6	Zuid-Beveland west (30)	2
30-2	4,5	Zuid-Beveland west (30)	2
30-3	27,5	Zuid-Beveland west (30)	2
30-4	2,1	Zuid-Beveland west (30)	2
31-1	19,3	Zuid-Beveland oost (31)	2
31-2	28,6	Zuid-Beveland oost (31)	2
31-3	4,7	Zuid-Beveland oost (31)	2
32-1	20,8	Zeeuwsch Vlaanderen (32)	2
32-2	11,6	Zeeuwsch Vlaanderen (32)	2
32-3	15,3	Zeeuwsch Vlaanderen (32)	2
32-4	37,9	Zeeuwsch Vlaanderen (32)	2
33-1	7,4	Kreekrakpolder (33)	2
34-1	24,4	West-Brabant (34)	2
34-2	23,0	West-Brabant (34)	2
34-3	4,6	West-Brabant (34)	2
34-4	10,3	West-Brabant (34)	2
34-5	31,2	West-Brabant (34)	2
34a-1	9,9	Geertruidenberg (34-a)	2
35-1	13,8	Donge (35)	2
35-2	14,7	Donge (35)	2
36-1	17,7	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36-2	21,0	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkkring	N_{dsn} [-]
36-3	26,6	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36-4	20,0	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36-5	17,0	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36a-1	4,4	Keent (36-a)	1
37-1	5,0	Nederhemert (37)	1
38-1	29,6	Bommelerwaard (38)	1
38-2	20,2	Bommelerwaard (38)	1
39-1	4,7	Alem (39)	1
40-1	5,3	Heerewaarden (40)	1
40-2	6,4	Heerewaarden (40)	1
41-1	12,6	Land van Maas en Waal (41)	1
41-2	27,6	Land van Maas en Waal (41)	1
41-3	27,0	Land van Maas en Waal (41)	1
41-4	20,1	Land van Maas en Waal (41)	1
42-1	17,4	Ooij en Millingen (42)	1
43-1	15,9	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43-2	34,0	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43-3	25,4	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43-4	26,4	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43-5	22,5	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43-6	46,9	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
44-1	32,4	Kromme Rijn (44)	1
44-2	26,2	Kromme Rijn (44)	2
44-3	4,2	Kromme Rijn (44)	3
45-1	5,4	Gelderse Vallei (45)	1
45-2	28,4	Gelderse Vallei (45)	2
45-3	4,8	Gelderse Vallei (45)	2
46-1	7,2	Eempolder (46)	2
47-1	15,4	Arnhemse- en Velpsebroek (47)	1
48-1	27,0	Rijn en IJssel (48)	1
48-2	12,7	Rijn en IJssel (48)	1
48-3	13,2	Rijn en IJssel (48)	1
49-1	12,2	IJsselland (49)	1
49-2	20,8	IJsselland (49)	1
50-1	5,3	Zutphen (50)	1
50-2	7,7	Zutphen (50)	1
51-1	23,7	Gorssel (51)	1
52-1	19,9	Oost Veluwe (52)	1
52-2	24,4	Oost Veluwe (52)	1
52-3	9,3	Oost Veluwe (52)	1
52-4	4,5	Oost Veluwe (52)	1
52a-1	17,9	Veessen-Wapenveld	1
53-1	17,7	Salland (53)	1

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkkring	N_{dsn} [-]
53-2	28,9	Salland (53)	1
53-3	36,7	Salland (53)	1
54-1	12,2	Ottersum-Mook (54)	1
55-1	7,9	Gennep (55)	1
56-1	2,9	Afferden (56)	1
57-1	1,8	Nieuw Bergen (57)	1
58-1	1,7	Groeningen (58)	1
59-1	6,2	Bergen (59)	1
60-1	5,7	Well (60)	1
61-1&62-1	7,1	Wanssum (61+62)	1
63-1	5,5	Blitterswijk (63)	1
64-1	1,8	Broekhuizenvorst (64)	1
65-1	5,1	Arcen (65)	1
66-1	1,3	Lottum (66)	1
67-1	0,7	Grubbenvorst (67)	1
68-1	10,0	Venlo-Velden (68)	1
68-2	4,8	Venlo-Velden (68)	1
69-1	4,6	Blerick (69)	1
70-1	4,8	Baarlo (70)	1
71-1	1,0	Belfeld (71)	1
72-1	0,1	Kessel (72)	1
73-1	1,2	Beesel (73)	1
74-1	2,2	Neer (74)	1
75-1	1,3	Buggenum (75)	1
76-1	2,7	Roermond (76)	1
76-2	1,5	Roermond (76)	1
76a-1	1,7	Roermond (76)	1
77-1	8,4	Roermond (77)	1
78-1	7,6	Heel (78)	1
78a-1	0,4	Heel (78)	1
79-1	7,9	Thorn-Wessem (79)	1
80-1	1,4	Maasbracht (80)	1
81-1	13,9	Stevensweert (81)	1
82-1	0,8	Aasterberg (82)	1
83-1&84-1	15,9	Grevenbicht_Visserweert (83+84)	1
85-1	0,3	Urmond (85)	1
86-1	1,6	Meers_Maasband (86+87)	1
87-1	5,5	Meers_Maasband (86+87)	1
88-1	2,7	Aan de Maas (88)	1
89-1	0,7	Voulwames (89)	1
90-1	6,6	Maastricht (90)	1
91-1	3,5	Itteren (91)	1
92-1	3,4	Borgharen (92)	1

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkring	N_{dsn} [-]
93-1	2,6	Bossherveld (93)	1
94-1	0,9	Maastricht west (94)	1
95-1	1,1	Eijsden (95)	1
201	31,2	Afsluitdijk	3
202	0,1	Kadoelerkeersluis	1
204a	27,0	Houtribdijk IJsselmeerzijde	2
204b	27,0	Houtribdijk Markermeerzijde	2
205	0,8	Nijkerkersluis	1
206	0,1	Keersluis Zwolle	1
208	7,3	Maeslandtkering	2
209	6,7	Hartelkering	1
210	0,3	Stormvloedkering Hollandse IJssel	2
211	3,6	Haringvlietdam	3
212	0,1	Steurgat Biesboschsluis, te toetsen zijde Boven Merwede	1
213	0,7	Wilhelminasluis (Afgedamde Maas)	1
214	6,6	Brouwersdam	3
215	6,4	Volkerrakdam	2
216	6,1	Grevelingendam	2
217	7,8	Philipsdam	2
218	8,5	Oosterscheldekering	3
219	11,5	Oesterdam	2
221	0,9	Zandkreekdam	2
222	0,1	Sluizen Hansweert	2
223	4,2	Bathse Spuisluis	2
224	1,6	Sluis Sint Andries	1
225	10,0	Ramspolkering	2
226	0,3	Roggebotsluis	1
227	0,8	Reevedam	1

D Formules voor het toetsspoor grasbekleding afschuiven binnentalud

De formules voor de controle van de stabiliteit van de bekleding bij golfoverslag zijn grotendeels ontleend aan *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies* [1], enkele fouten hieruit zijn verbeterd en er zijn figuren toegevoegd ter verduidelijking van de formules.

Voor de beoordeling van de stabiliteit van een kleilaag kan ook gebruik worden gemaakt van de methode Spencer – Van der Meij [2]. Omdat de software waarin deze methode is geprogrammeerd geen deel uitmaakt van het WBI 2017 vindt deze analyse plaats in *toets op maat*.

D.1 Kleidijk

De formule voor de controle op afschuiven van de kleibekleding (het zogenaamde Edelman-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:

ϕ'	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) [-].
ρ_g	Volumieke massa natte grond [kg/m³].
ρ_w	Volumieke massa water [kg/m³].
$\gamma_{m,\rho}$	Partiële veiligheidsfactor op volumieke massa (=1,0) [-].
α	Taludhelling [°].
g	Zwaartekrachtversnelling [m/s²].
d	Laagdikte [m].
γ_d	Modelfactor (=1,1) [-].
γ_n	Schadefactor (=1,1) [-].

In termen van een safety factor (sterkte / belasting), inclusief partiële factoren wordt de formule:

$$SF_{EJ} = \frac{R}{S} = \left[\frac{1}{\gamma_d \cdot \gamma_n} \right] \cdot \frac{\frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}} \left(\frac{\rho_g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot g \cdot \cos \alpha - \frac{\rho_w}{\gamma_{m,\rho}} \cdot g \cos \alpha \right) + \frac{c'}{\gamma_{m,c} \cdot d}}{\frac{\rho_g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot g \cdot \sin \alpha}$$

De factor $1/(\gamma_d \cdot \gamma_n)$ 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').

D.2 Zanddijk met kleibekleding

Als gevolg van een hoog freatisch vlak in de dijk kan:

- de kleibekleding opgedrukt worden.
- zand door de kleibekleding heen uitspoelen.
- de kleibekleding afschuiven.

Afwijkend van [1] 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 $\gamma_n \cdot \gamma_d$ van 2,0 in [1] naar 1,21 [1].

De factor 2 dekte naast het opdrukken van de bekleding ook andere mechanismen af, 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.

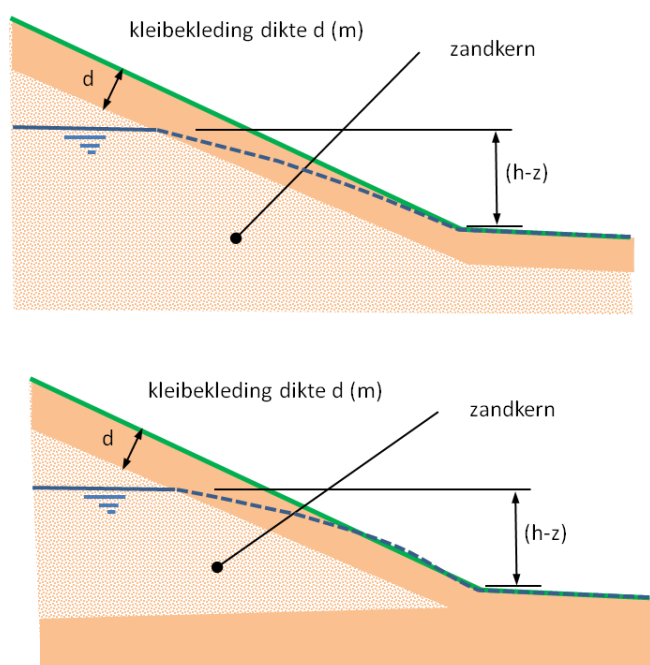
Graverij ter plaatse van de binnenteen van de dijk of onderaan het talud kan eveneens leiden tot gaten in de kleibekleding waardoor zand kan uitspoelen. Risicovol zijn gaten die bij inspecties niet opvallen, maar wel kunnen leiden tot uitspoelen van zand. Konijnen- en vossenholen tot in de zandkern vallen 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 overloopprouwen 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, zie Figuur D.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 D.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:

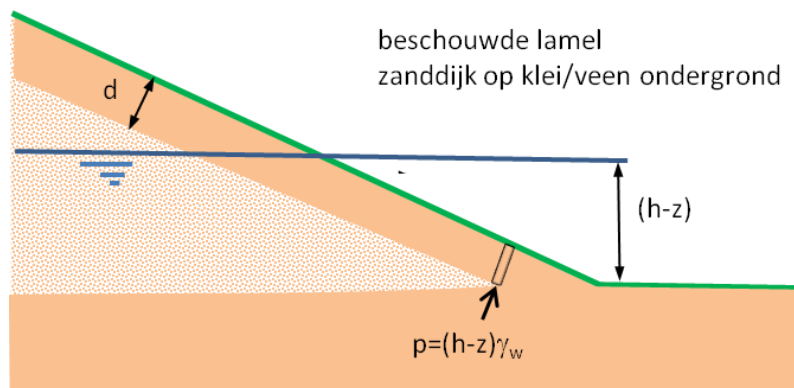
- De ligging van het freatisch vlak aan het begin van het hoogwater.
- Het waterstandsverloop in de tijd en eventueel golven en golfoverslag.
- De opbouw van de dijk en de ondergrond, de doorlatendheid en het bergend vermogen van de diverse grondlagen en bekledingen. Met het bergend vermogen wordt bedoeld, 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.

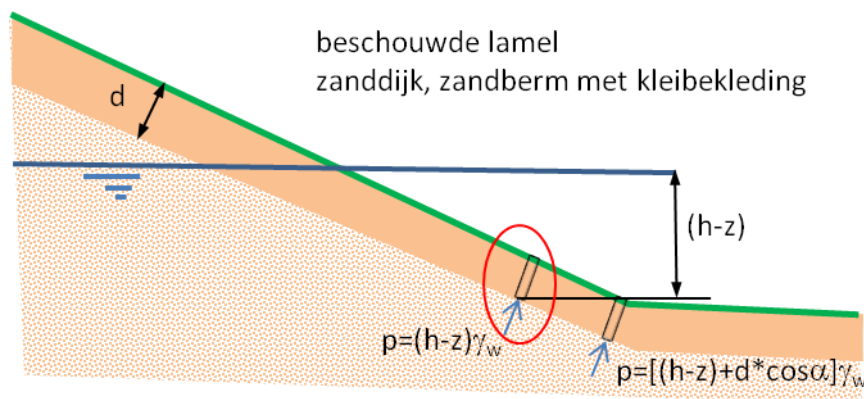
D.2.1 Opdrukken van de kleibekleding

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, zie Figuur D.2.



Figuur D.2 Beschouwde lamel loodrecht evenwicht (opdrukken)

In de praktijk hebben zanddijken vaak ook een zandberm met daarop een kleibekleding, zie Figuur D.3.



Figuur D.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 D.3, $d*\cos\alpha*\gamma_w$ 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 [1] wordt uitgegaan van de situatie in Figuur D.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 de evenwichtsvoorwaarde:

$$\cos \alpha \geq \frac{\gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{m,\rho} \cdot \rho_w (h-z)}{\rho_g \cdot d}$$

Waarin:

ρ_g Volumieke massa natte grond [kg/m^3].

ρ_w Volumieke massa water [kg/m^3].

$\gamma_{m,\rho}$ Partiële veiligheidsfactor op volumieke massa grond ($=1,0$) [-].

α 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 ($=1,1 \times 1,1 = 1,21$) [-].

In safety-factor vorm:

$$SF = \frac{R}{S} = \frac{1}{\gamma_n \cdot \gamma_d} \frac{\cos \alpha \cdot d \cdot \frac{\rho_g}{\gamma_{m,\rho}}}{(h-z) \rho_w}$$

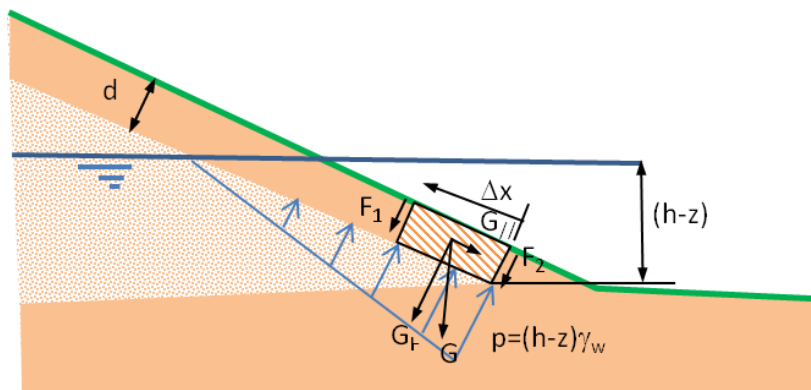
Net als bij de eerdere formule in safety-factor vorm wordt getoetst aan 1.

De formule als Z-functie:

$$Z = R - S = \left[\cos \alpha \cdot d \cdot \frac{\rho_g}{\gamma_{m,\rho}} \right] - \gamma_n \cdot \gamma_d \left[(h-z) \rho_w \right]$$

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, zie Figuur D.4.



Figuur D.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:

ϕ'	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) [-].
ρ_g	Volumieke massa natte grond [kg/m ³].
ρ_w	Volumieke massa water [kg/m ³].
$\gamma_{m,\rho}$	Partiële veiligheidsfactor op volumieke massa (=1,0) [-].
α	Taludhelling [°].
g	Zwaartekrachtversnelling [m/s ²].
d	Laagdikte [m].
Δh	=($h-z$) ligging van het freatisch vlak ten opzichte van een niveau [m].
Δx	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 [1] wordt Δx gevarieerd om de kritische waarde te vinden. Dit kan vrij eenvoudig met behulp van een spreadsheet.

Bij een gegeven Δh ($=h-z$) kan de kritische waarde van Δx , waarbij de SF minimaal is, echter ook analytisch worden gevonden. Δx 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 Δx 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 Δx in: $SF = \frac{A + B\Delta x}{C\Delta x + D\Delta x^2}$ geeft vervolgens de minimale SafetyFactor.

D.2.2 Uitspoelen van zand door een kleibekleding

Er bestaat weinig validatiemateriaal voor het mechanisme. Bij een overloopproof 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 overstroomdebiet in de orde van 1 l/s per m. Bij een overslagproof op Tholen gebeurde eenzelfde soort mechanisme bij een talud van 1:2,4 en een overslagdebiet van 5 l/s per 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 D.5 Uitspoelen van zand door een molgang onderaan het talud, gevolgd door ondermijning van de kleilaag en falen van de bekleding (Golfoverslagproef Tholen).

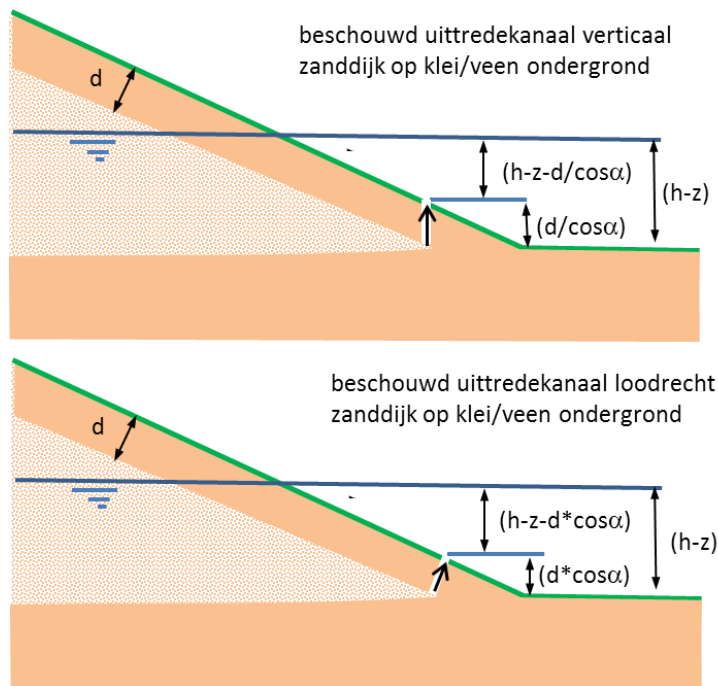
Het uitspoelen van zand uit de kleilaag kan worden gemodelleerd door het optredende verhang te vergelijken met een kritisch verhang. Het optredend verhang kan worden geschat door het verschil tussen de grondwaterstand in de zandkern en de ligging van de bovenkant van het uittredekanaal, gedeeld door de lengte van het uittredekanaal. Hierbij heeft de oriëntatie van het uittredekanaal 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 op 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 circa 0,8-1. Een tot nu toe geaccepteerd veilig criterium voor verticaal zandtransport is 0,5 [4].

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

verdiens 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 D.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:

$$i_{k,\text{vertikaal}} = 0.5$$

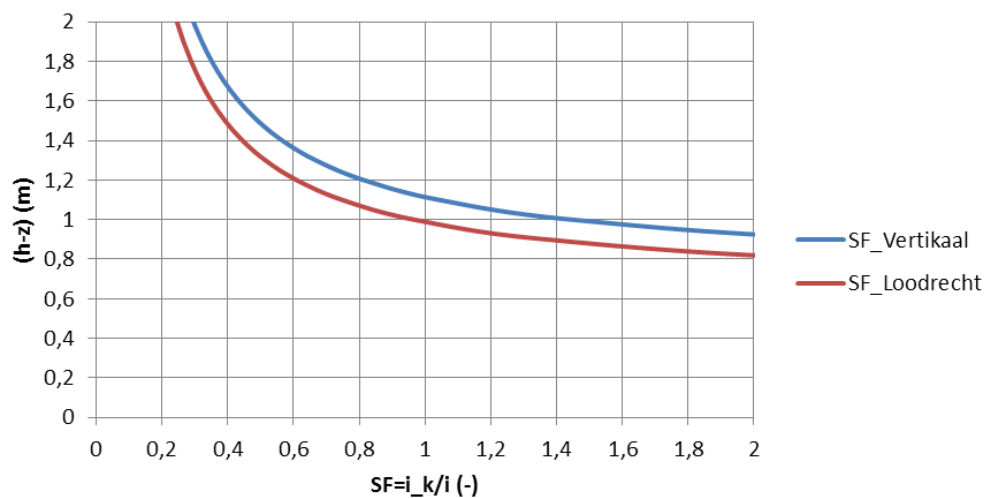
$$i_{k,\text{loodrecht}} = \cos \alpha \cdot 0.5$$

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 ($h-z$), zie Figuur D.7.

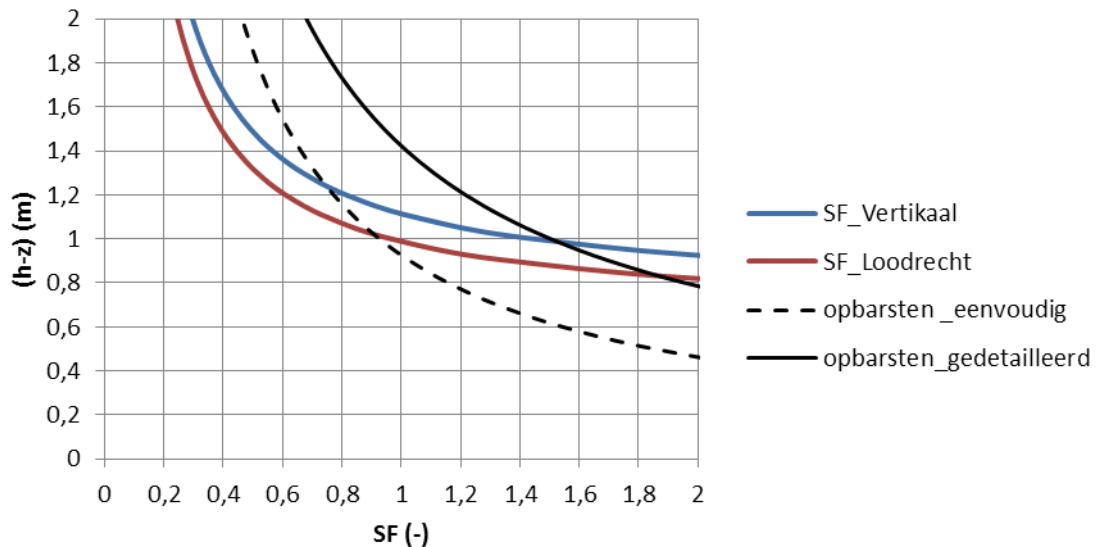


Figuur D.7 SF tegen ($h-z$) voor twee scenario's: verticaal uittredekanal en loodrecht uittredekanal

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 beoordeling 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 voor het kritische verhang de veilige waarde van 0,5 is aangehouden.

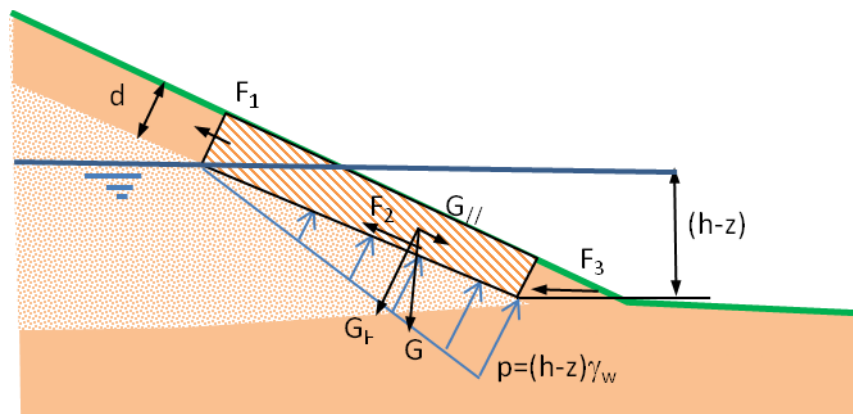
Indien kan worden aangetoond dat de kleibekleding aanvankelijk geen gaten of scheuren in de teen van de dijk heeft (zie inleidende tekst bij par.C.2), dan zal eerst opdrukken van de kleilaag moeten optreden voordat uitspoeling van zand mogelijk is. Hiervoor gelden de formules zoals beschreven in paragraaf C.2.1. Voor de gedetailleerde formule moet ook de sterkte van de grond, te weten door een c en ϕ , worden ingevuld. Uitgaande van $c = 2$ kPa en $\phi = 25^\circ$, redelijk gangbare parameters, kunnen de onderstaande SF-lijnen worden berekend, zie Figuur D.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 [1].



Figuur D.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.

D.2.3 Afschuiven van de kleibekleding



Figuur D.9 Schematische weergave krachten op een grondmoot voor beschrijving evenwicht parallel aan het talud

In [1] 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, zie Figuur D.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.

$$F_1 = \frac{c'd}{\gamma_{m,c}}$$

$$F_2 = \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} + \left(\cos \alpha \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \Delta h^2 \right) \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}}$$

$$G_{//} = \sin \alpha \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} = \Delta h \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}}$$

De overweging of F_1 en F_2 voldoende zijn om $G_{//}$ te weerstaan leidt hiermee tot de formule:

$$F_1 + F_2 \geq G_{//}$$

$$\frac{c'd}{\gamma_{m,c}} + \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} + \left(\cos \alpha \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \Delta h^2 \right) \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}} \geq \Delta h \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}}$$

Kanttekeningen die bij de bovenstaande beredenering uit [3] 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 [3] 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 [3] 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 beoordelingsresultaat.

Toevoeging van de kracht F_3 en een model schadefactor en het verwijderen van F_1 (grond heeft treksterkte) levert de formule voor afschuiven van de bekleding in toetslaag 2. Dit is dezelfde formule als in [1] echter zonder F_1 .

$$\gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \left(\Delta h \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} - \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} - \left(\cos \alpha \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \Delta h^2 \right) \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}} \right) \leq \frac{c}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{d}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}}$$

Het is zuiverder om de belasting en de sterkte te scheiden voor vermenigvuldiging met de schadefactor en modelfactor. In verdere afwijking van [1] wordt de toets dus:

$$\gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \left(\Delta h \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,p}} \right) \leq \frac{c}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{d}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_g \cdot g \cdot \tan \phi'}{\gamma_{m,p} \cdot \gamma_{m,\phi}} + \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} + \left(\cos \alpha \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,p}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,p}} \cdot \Delta h^2 \right) \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}}$$

In Z-functie vorm wordt dit:

$$Z = R - S = \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{d}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,p}} \cdot \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}} + \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} + \left(\cos \alpha \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,p}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,p}} \cdot \Delta h^2 \right) \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}} - \gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \left(\Delta h \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,p}} \right)$$

En in SF-vorm:

$$SF = \frac{R}{S} = \frac{1}{\gamma_n \cdot \gamma_d} \cdot \frac{\frac{c}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{d}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,p}} \cdot \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}} + \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} + \left(\cos \alpha \cdot \frac{\Delta h}{\sin \alpha} \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,p}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\gamma_{m,p}} \cdot \Delta h^2 \right) \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}}}{\left(\Delta h \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,p}} \right)}$$

D.3 Zanddijk talud boven water

Zanddijken, zonder kleibekleding, worden in [1] getoetst aan uitspoelen van korrels en aan afschuiven. Er wordt uitgegaan van horizontaal uit het talud tredend grondwater.

Uitspoelen wordt gecontroleerd met de formule:

$$\tan \alpha \leq \sqrt{\frac{\rho_g - \rho_w}{\rho_w \cdot \gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{m,p}}}$$

Waarin:

ρ_g	Volumieke massa natte grond [kg/m ³].
ρ_w	Volumieke massa water [kg/m ³].
$\gamma_{m,p}$	Partiële veiligheidsfactor op volumieke massa grond (=1,0) [-].
α	Taludhelling [°].
$\gamma_d \cdot \gamma_n$	Modelfactor x schadefactor (=2) [-].

Bij een volumieke massa van de grond van 2000 kg/m³ (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:

ϕ'	Hoek van inwendige wrijving [°].
$\gamma_{m,\phi}$	=1,1 (let op deze gaat over $\tan \phi'$, niet over ϕ') [-].
ρ_g	Volumieke massa natte grond [kg/m ³].
ρ_w	Volumieke massa water [kg/m ³].
α	Taludhelling [°].
g	Zwaartekrachtsversnelling [m/s ²].
$\gamma_d \cdot \gamma_n$	Modelfactor x schadefactor (=1,1x1,1=1,21) [-] ¹³ .

Bij een volumieke massa van de grond van 2000 kg/m³ (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:

$$SF = \frac{R}{S} = \frac{1}{\gamma_n \cdot \gamma_d} \cdot \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}} \cdot \frac{\left(\rho_g \cdot \cos \alpha - \frac{\rho_w}{\cos \alpha} \right)}{\rho_g \cdot \sin \alpha}$$

D.4 Zanddijk talud onder water

Ook voor een zandtalud onder water met een uittredend verhang worden in [1] en [9] formules gegeven. 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 $i_\perp$. Bij een talud onder water zal het grondwater loodrecht uittreden. De grootte van het verhang moet worden bepaald met een grondwaterstromingsberekening.

De controle op uitspoelen van zandkorrels gebeurt met de formule:

$$\cos \alpha \geq \frac{\gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{m,\phi} \cdot i_\perp \rho_w}{\rho_g - \rho_w}$$

¹³ Bij een loodrecht evenwicht wordt aangenomen dat $\gamma_d \gamma_n = 2$ [1]. In het geval van uitspoelen zit de factor 2 al verwerkt in de $i = 0.5$. Het is daarom voor de rest van bijlage D enkel 1.21.

Waarin:

ρ_g	Volumieke massa natte grond [kg/m ³].
ρ_w	Volumieke massa water [kg/m ³].
$\gamma_{m,\rho}$	Partiële veiligheidsfactor op volumieke massa grond (=1,0) [-].
α	Taludhelling onderwatertalud [°].
$i_{\perp}$	Buitenwaarts gericht verhang [-].
$\gamma_d \cdot \gamma_n$	Modelfactor x schadefactor (=2 voor loodrecht evenwicht) [-].

Let op, in [1] staat ten onrechte $\gamma_{m,\phi}$ in plaats van $\gamma_{m,\rho}$.

Voor een talud van 1V:3H en $\rho_g=2000$ kg/m³ leidt dit tot een kritisch buitenwaarts gericht verhang van 0,78, 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:

$$\tan \phi' \geq \frac{\gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{m,\phi} (\rho_g - \rho_w) \cdot \sin \alpha}{\rho_g \cdot \cos \alpha - \rho_w (\cos \alpha + i_{\perp})}$$

Waarin:

ρ_g	Volumieke massa natte grond [kg/m ³].
ρ_w	Volumieke massa water [kg/m ³].
ϕ'	Hoek van inwendige wrijving [°].
$\gamma_{m,\phi}$	Partiële veiligheidsfactor op $\tan \phi'$ (=1,1) [-].
α	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/m³ en $\phi'=35^\circ$ leidt dit tot een kritisch buitenwaarts gericht verhang van 0,35.

D.5

Literatuur

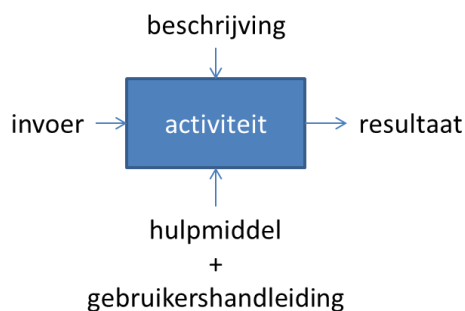
- [1] *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkaden*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, RWS-DWW, ISBN 90-369-3776-0, zie www.enwininfo.nl. Delft, juni 2001.
- [2] *A Genetic Algorithm for Solving Slope Stability Problems: from Bishop to a Free Slip Plane*. R. van der Meij, J.B. Sellmeijer, 7th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering (NUMGE), Trondheim. Balkema, Rotterdam, 2010.
- [3] *Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde*. Rijkswaterstaat, 2012.
- [4] *Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 1 bovenrivierengebied*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, zie www.enwininfo.nl, ISBN 90-12-05169-X. Staatsuitgeverij 's-Gravenhage, september 1985.

E Schema werkwijze beoordeling grasbekleding

Hieronder is schematisch de werkwijze van de beoordeling van de toetssporen *Grasbekleding erosie buitentalud* (GEBU), *Grasbekleding afschuiven buitentalud* (GABU), *Grasbekleding erosie kruin en binnentalud* (GEKB) en *Grasbekleding afschuiven binnentalud* (GABI) weergegeven (Figuur E.2, Figuur E.3, Figuur E.4 en Figuur E.5).

E.1 Toelichting op het schema werkwijze beoordeling

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



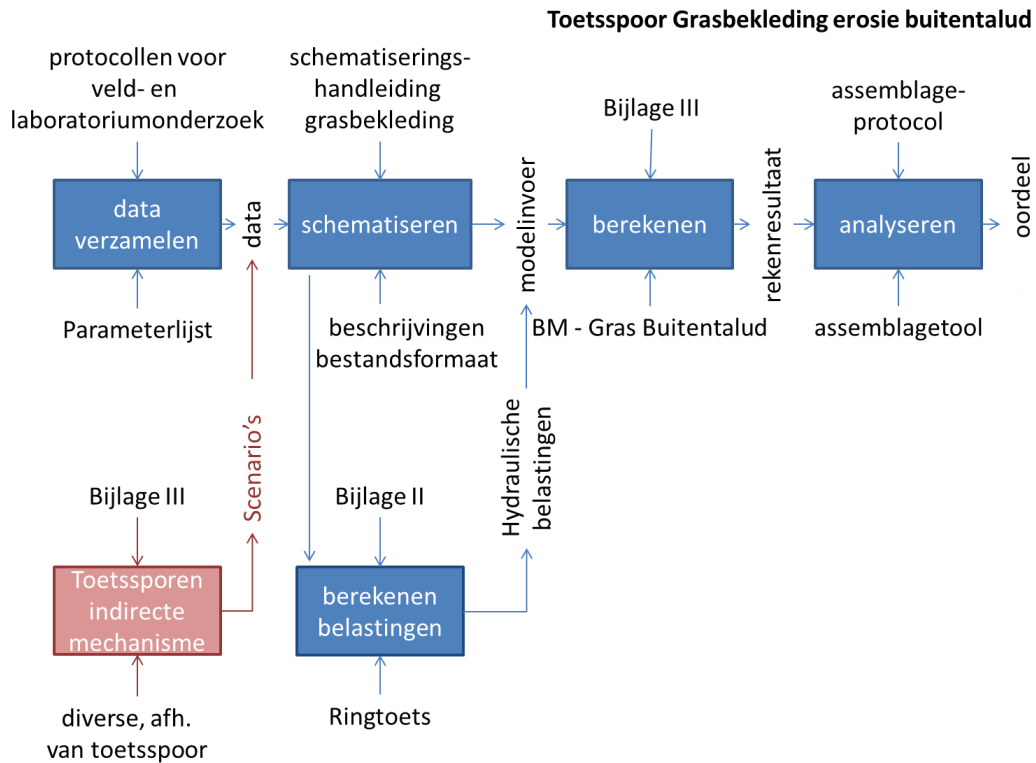
Figuur E.1 Het algemene schema van een activiteit. Een aaneenschakeling van benodigde activiteiten bij een beoordeling geeft de schematische werkwijze van de beoordeling weer.

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

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

E.2

Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)



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

E.3

Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)

E.3.1

Activiteit 'data verzamelen'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

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

E.3.2

Activiteit 'schematiseren'

Referenties beschrijving activiteit

- Dit rapport.
- Schematiseringshandleiding Hoogte*, WBI 2017. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- Handleiding voor het gebruik van de dam- en voorlandmodule ter bepaling van de hydraulische condities bij de dijkteen*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, november 2019

Referenties hulpmiddel activiteit

- Geen

E.3.3 Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- *(Handleidingen) software (Ringtoets/ Riskeer)*.
- *Kenmerkende waarden* (www.rijkswaterstaat.nl/waternormalen). Rijkswaterstaat.

E.3.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- *(Handleidingen) software (Ringtoets/ Riskeer, BM – Gras Buitentalud)*.
- *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

E.3.5 Activiteit 'analyseren'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

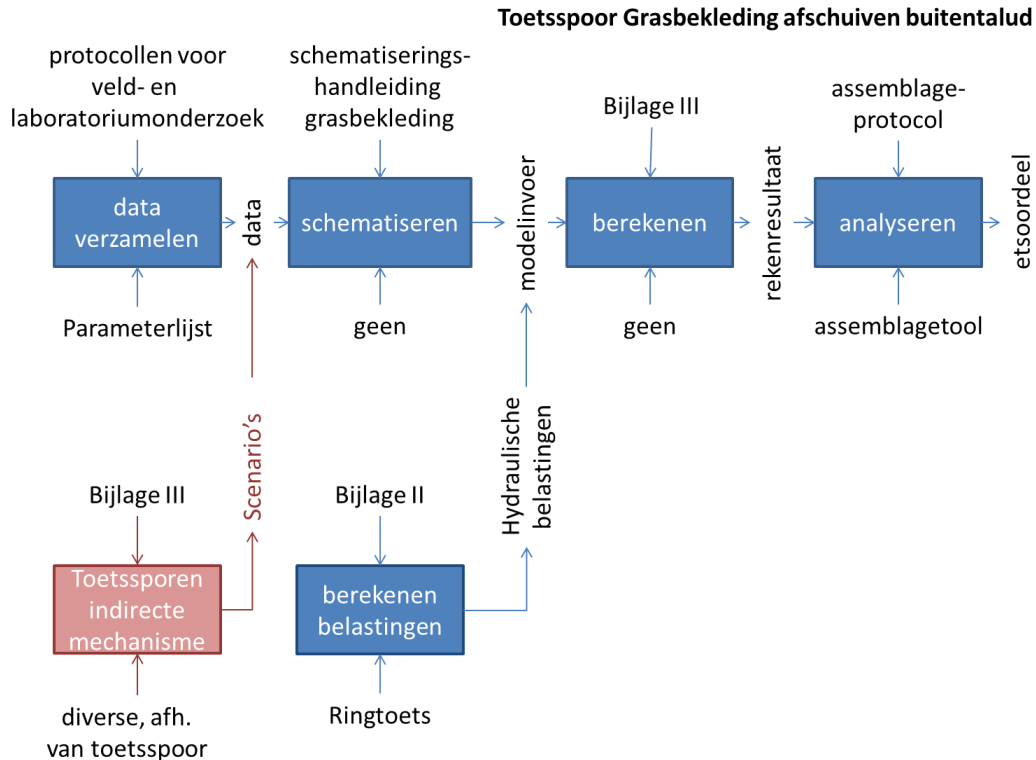
- *(Handleidingen) software (Ringtoets/ Riskeer)*.

E.3.6 Toelichting bij de referenties

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

E.4

Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU)



Figuur E.3 Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU). In het schema zijn alleen de belangrijkste documenten en/of tools/software genoemd. De lijst met alle beschikbare documenten en tools/software die betrekking hebben op een activiteit wordt hieronder beschreven.

E.5

Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU)

E.5.1

Activiteit 'data verzamelen'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

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

E.5.2

Activiteit 'schematiseren'

Referenties beschrijving activiteit

- Dit rapport

Referenties hulpmiddel activiteit

- Geen

E.5.3

Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- *(Handleidingen) software (Ringtoets/ Riskeer)*.

E.5.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

E.5.5 Activiteit 'analyseren'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

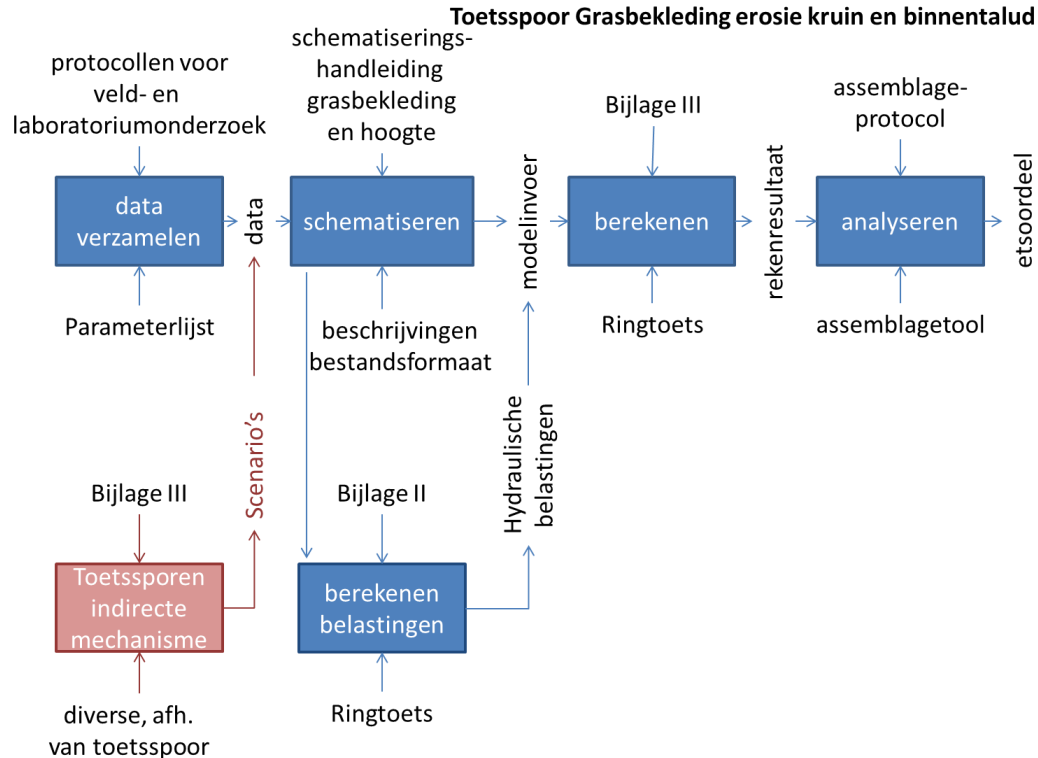
- *(Handleidingen) software (Ringtoets/ Riskeer)*.

E.5.6 Toelichting bij de referenties

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

E.6

Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)



Figuur E.4 Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB). In het schema zijn alleen de belangrijkste documenten en/of tools/software genoemd. De lijst met alle beschikbare documenten en tools/software die betrekking hebben op een activiteit wordt hieronder beschreven. Let bij dit toetsspoor op dat voor het berekenen van de belastingen mogelijk een schematisatie nodig is.

E.7

Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)

E.7.1

Activiteit 'data verzamelen'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

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

E.7.2

Activiteit 'schematiseren'

Referenties beschrijving activiteit

- Dit rapport
- Schematiseringshandleiding Hoogte, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- Handleiding voor het gebruik van de dam- en voorlandmodule ter bepaling van de hydraulische condities bij de dijkteen*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, november 2019

Referenties hulpmiddel activiteit

- Geen

E.7.3 Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- *(Handleidingen) software (Ringtoets/ Riskeer)*.

E.7.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- *(Handleidingen) software (Ringtoets/ Riskeer)*.
- *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

E.7.5 Activiteit 'analyseren'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

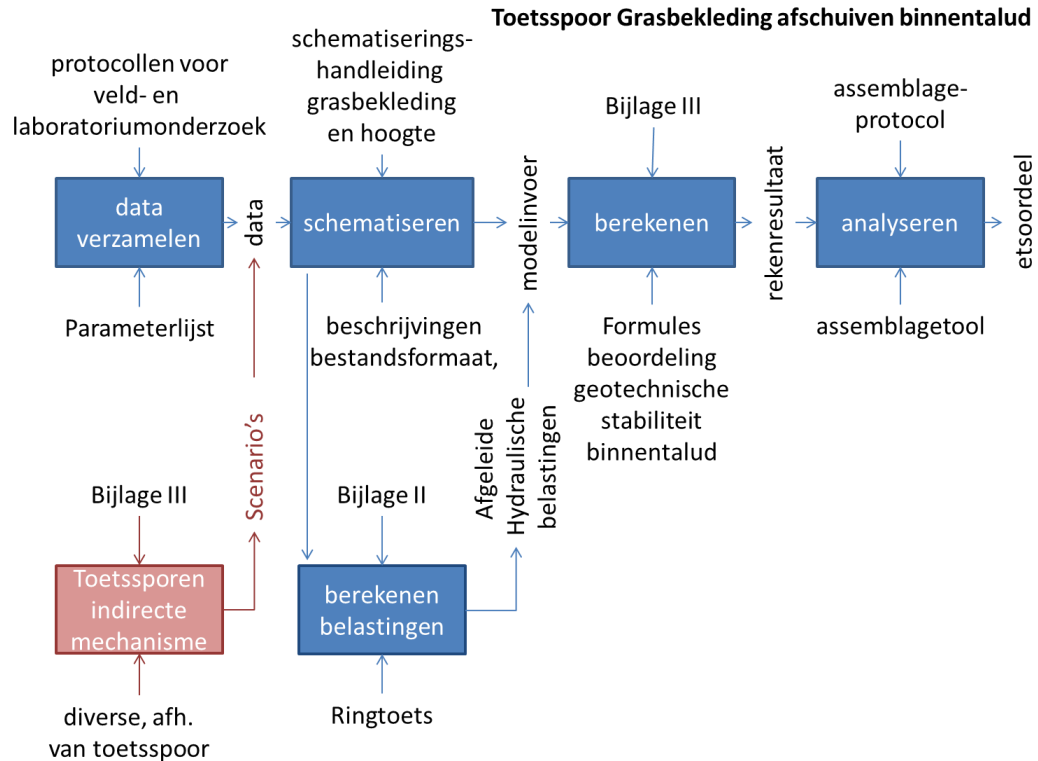
- *(Handleidingen) software (Ringtoets/ Riskeer)*.

E.7.6 Toelichting bij de referenties

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

E.8

Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI)



Figuur E.5 Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI). In het schema zijn alleen de belangrijkste documenten en/of tools/software genoemd. De lijst met alle beschikbare documenten en tools/software die betrekking hebben op een activiteit wordt hieronder beschreven. Let bij dit toetsspoor op dat voor het berekenen van de belastingen mogelijk een schematisatie nodig is.

E.9

Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI)

E.9.1

Activiteit 'data verzamelen'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

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

E.9.2

Activiteit 'schematiseren'

Referenties beschrijving activiteit

- Dit rapport
- Schematiseringshandleiding Hoogte, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- Handleiding voor het gebruik van de dam- en voorlandmodule ter bepaling van de hydraulische condities bij de dijkteen*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, november 2019

Referenties hulpmiddel activiteit

- Geen

E.9.3 Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- *(Handleidingen) software (Ringtoets/ Riskeer)*.

E.9.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- *(Handleidingen) software (Ringtoets/ Riskeer)*.
- *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

E.9.5 Activiteit 'analyseren'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- *(Handleidingen) software (Ringtoets/ Riskeer)*.

E.9.6 Toelichting bij de referenties

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

F Casus GEBU en GEKB Waddenzeedijk

F.1 Algemene informatie

Deze casus betreft een dijkvak van de Waddenzeedijk. De dijk is uniform. Van het buitentalud is alleen het bovenste deel bekleed met gras. De kruin en het binnentalud zijn helemaal met gras bekleed.

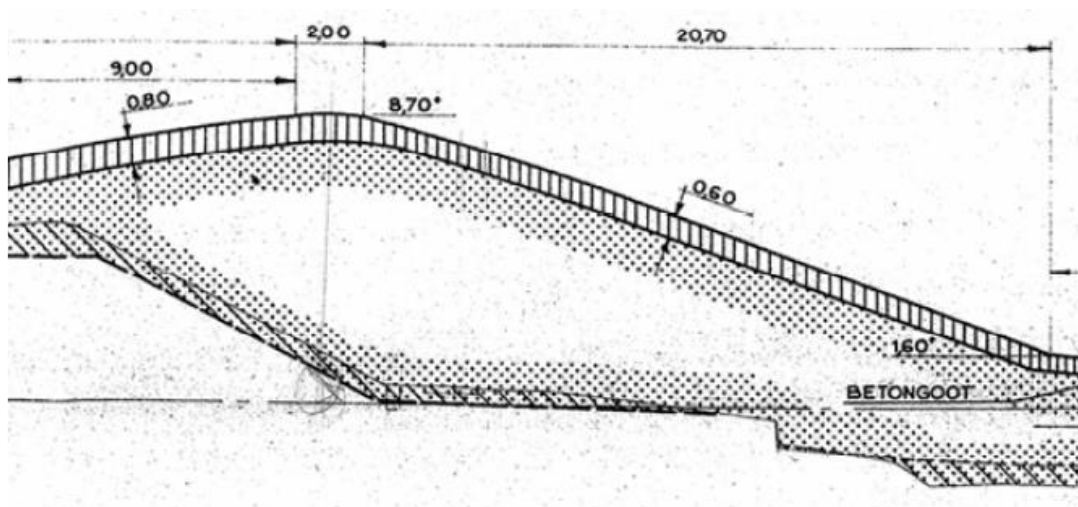
Voor het uitwerken van deze casus is gekozen voor een dijkvak van circa 900 m lengte. Voor deze casus is de vakkeuze gemaakt op basis van op het oog uniforme geometrie en oriëntatie, waardoor de hydraulische randvoorwaarden binnen het vak nagenoeg constant zijn (Figuur F.1)¹⁴.



Figuur F.1 Dijkvak Waddenzeedijk, lengte ca. 900 m (google maps)

Vanuit archiefgegevens is bekend dat de dijk een zandkern heeft en is aangelegd met een beoogde kleilaagdikte op het binnentalud van 0,6 m (Figuur F.2).

¹⁴ Zie de Schematiseringshandleiding grasbekleding voor meer informatie over de keuze van de vakken. De keuze is afhankelijk van o.a. de geometrie, kwaliteit graszode en hydraulische belastingen. Bij twijfel dienen altijd voldoende vakken gekozen te worden: minimaal met een lengte van 200 tot 300 meter zodat later niet opgeknijpt hoeft te worden (meer detail in de vakken is niet verstandig). Direct een goede vakkeuze maken is vaak efficiënter voor het beoordelingsproces.



Figuur F.2 Dwarsdoorsnede ontwerp uit archief

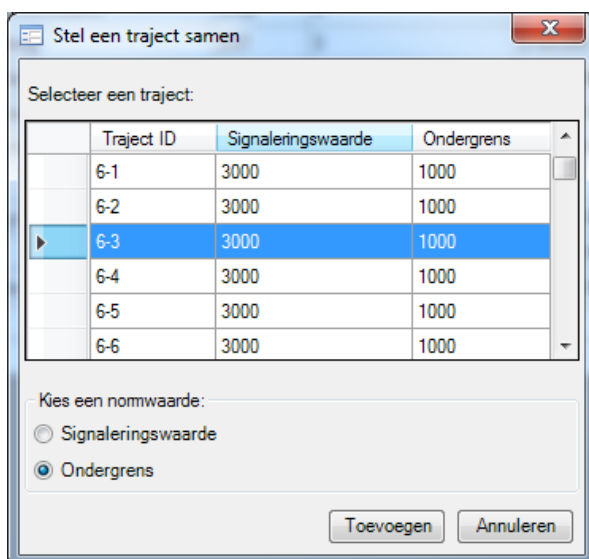
Voor het bepalen van de geometrie van de dijk is gebruik gemaakt van AHN2 met een resolutie van 0,5 m.

Voor de beoordeling van GEBU en GEKB worden de verschillende via de Helpdesk Water beschikbaar gestelde software-tools gebruikt.

In dit voorbeeld is Riskeer (v19.1.1.2) en BM Gras Buitentalud (v19.1.1.8444) gebruikt. Het is niet het doel van deze casus om het gebruik van de verschillende gebruikte software toe te lichten; alleen keuzes die binnen de software moeten worden gemaakt om de beoordeling uit te voeren zullen worden toegelicht. Informatie uit de gebruikershandleidingen en schematiseringshandleidingen wordt alleen herhaald om het voorbeeld te begrijpen.

Het dijkvak ligt in dijktraject 6-3. Dit traject wordt toegevoegd in Riskeer (Figuur F.3). Voor het traject 6-3 geldt een signaleringswaarde¹⁵ voor de norm van $1/3.000 \text{ jr}^{-1}$ en een ondergrens van $1/1.000 \text{ jr}^{-1}$. In deze casus wordt gewerkt met de ondergrens voor de norm, dus $1/1.000 \text{ jr}^{-1}$.

¹⁵ De norm is de toelaatbare overstromingskans van een dijktraject. De norm wordt uitgedrukt in de ondergrens of signaleringswaarde, zie bijlage III sterkte en veiligheid van de ministeriele regeling.



Figuur F.3 Riskeer – toevoegen traject 6-3

F.2 Beoordeling GEKB Grasbekleding Erosie Kruin en Binnentalud

Dit toetsspoor betreft de beoordeling van de erosie van een grasbekleding op de kruin en het binnentalud. Bijlage III van de ministeriële regeling omvat alleen een *gedetailleerde toets*. Deze toets bestaat uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan de toepassingsvoorwaarden voor het rekenmodel; en
- Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

F.2.1 Stap G.1 gedetailleerde toets GEKB.

Voor het gebruik van het rekenmodel moet worden voldaan aan drie toepassingsvoorwaarden:

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

Voorwaarde 1

De graskwaliteit in deze casus is 'gesloten zode', er wordt voldaan aan de eerste voorwaarde. Voor de beoordeling van de graskwaliteit wordt verwezen naar paragraaf 6.5.1 van deze handleiding.

Voorwaarde 2

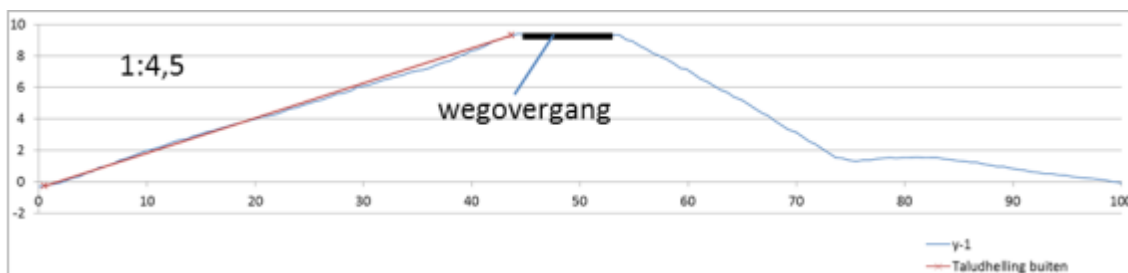
De golfhoogte H_{m0} betreft de golfhoogte in het illustratiepunt van een HBN¹⁶-berekening bij 0,1 l/s per m gegeven de doorsnede-eis voor GEKB.

De HBN berekening wordt gemaakt met Riskeer onder het tabblad *Dijken en dammen - Grasbekleding erosie kruin en binnentalud*. Voor deze berekening is een schematisatie van het buitentalud nodig. Bij de schematisering van het profiel moeten teveel details worden vermeden. Deze schematisering moet voldoen aan de eisen die worden gesteld in [1].

Voor de schematisering zijn de helling van het buitentalud, de ruwheid van dit buitentalud en de dijknormaal belangrijk. In het dijkvak is nauwelijks variatie in de buitentaludhelling. Er is een

¹⁶ HBN = hydraulisch belastingniveau

weg op de kruin aanwezig. Nabij de wegovergang aan de buitenzijde in het westelijk deel van het dijkvak is de helling 1:4,5, de rest van het dijkvak heeft een helling van ongeveer 1:4,7 (Figuur F.4). Voor dit dijkvak is voor GEKB één profiel (ProfielDK00097) geschematiseerd met een taludhelling van 1:4,5. De keuze voor de schematisering van 1:4,5 zal leiden tot een relatief hoge berekende faalkans¹⁷. Er moet in principe bij de beoordeling ook worden gekozen voor een representatief profiel, bijvoorbeeld met een gemiddelde taludhelling langs het dijkvak. De dijknormaal voor dit vak is 311° t.o.v. Noord. De bekleding bestaat uit asfalt tot een hoogte van NAP +6,5 m en gras tot aan de kruin. Voor de ruwheid wordt daarom een waarde van 1,0 gebruikt.



Figuur F.4 Bepaling helling buitentalud

Voor de dijk is een voorland aanwezig op een hoogte van circa NAP -0,5 m. Dit heeft invloed op de hydraulische belasting en moet daarom worden meegenomen in de schematisering van het profiel. De benodigde invoer van het profielbestand voor Riskeer is weergegeven in Figuur F.5. Voor meer informatie over het importeren van profielen wordt verwezen naar de handleiding van de software.

¹⁷ Bij de invoering van de overstromingskansbenadering is het verstandig een gemiddeld profiel te kiezen en niet zoals voorheen het minst goede profiel. Gebruik van het laatste kan tot onnodige afkeuringen leiden.

```

VERSIE 4.0
ID ProfielDK00097

RICHTING 311

DAM 0
DAMHOOGTE 0

VOORLAND 5
-110.00 -0.96 0.500
-60.00 -0.57 0.500
-30.00 -0.44 0.500
-10.00 -0.37 0.500
0.00 0.00 1.000

DAMWAND 0

KRUINHOOGTE 9.35
DIJK 2
0.00 0.00 1.000
42.00 9.35 1.000

```

Figuur F.5 Invoer ProfielDK00097

Na importeren van het geschematiseerde dwarsprofiel kan voor dit profiel een berekening gegenereerd worden, waarmee voor het betreffende uitvoerpunt het HBN bij 0,1 l/s per m gegeven de doorsnede-eis kan worden bepaald. In Riskeer dient hiertoe voor het kritisch overslagdebiet een verwachtingswaarde van 0,1 l/s per m en een standaardafwijking van 0 ingevoerd te worden.

Voor het uitvoeren van de HBN berekening wordt in Riskeer bij de optie 'HBN berekenen' voor 'HBN bij doorsnede-eis' gekozen (zie Figuur F.6).

Nadat de berekening is gevalideerd wordt met Riskeer de berekening uitgevoerd. Riskeer levert een HBN van NAP + 10,06 m (zie Figuur F.7). Opgemerkt wordt dat Riskeer ook laat zien hoe goed het berekende HBN is (verschil tussen doelkans en berekende kans). Tevens biedt Riskeer de mogelijkheid om een uitgebreide analyse van de rekenresultaten uit te voeren. Daarvoor dient in Riskeer gekozen te worden bij 'Illustratiepunten inlezen' voor 'True'.

Eigenschappen	
Hydraulische gegevens	
Locatie met hydraulische randvoorwaarden	WZ_1_6-3_dk_00097 (180 m)
Schematisatie	
Dijkprofiel	ProfielDK00097
Locatie (RD) [m]	(160090, 582257)
Oriëntatie [°]	311.00
▶ Dam	
Voorlandgeometrie	
Gebruik	True
Coördinaten [m]	Aantal (5)
[1]	(-110, -0.96)
[2]	(-60, -0.57)
[3]	(-30, -0.44)
[4]	(-10, -0.37)
[5]	(0, 0)
Dijkgeometrie	
Coördinaten [m]	Aantal (2)
[1]	(0, 0)
[2]	(42, 9.35)
Ruwheid invloedsfactoren [-]	Aantal (1)
[1]	1.00
Dijkhoogte [m+NAP]	9.35
Toetseisen	
Kritiek overslagdebiet [m³/s/m]	0.0001 (Standaardafwijking = 0.0000)
Type verdeling	Lognormaal
Verwachtingswaarde	0.0001
Standaardafwijking	0.0000
▶ Sterkte berekening	
HBN	
HBN berekenen	HBN bij doorsnede-eis
Illustratiepunten inlezen	True
▶ Overslagdebiet	

Figuur F.6 Invoer in Riskeer.

Eigenschappen	
HBN	
HBN [m+NAP]	10.06
Doelkans [1/jaar]	1/12,500
Betrouwbaarheidsindex doelkans [-]	3.77501
Berekende kans [1/jaar]	1/12,474
Betrouwbaarheidsindex berekende kans [-]	3.77449
Convergentie	Ja
Illustratiepunten	
Maatgevende windrichting	300.0
Invloedscoëfficiënten [-]	Aantal (24)
Tijdsduren [uur]	Aantal (24)
Illustratiepunten	Aantal (12)

Figuur F.7 Uitvoer HBN-berekening Riskeer

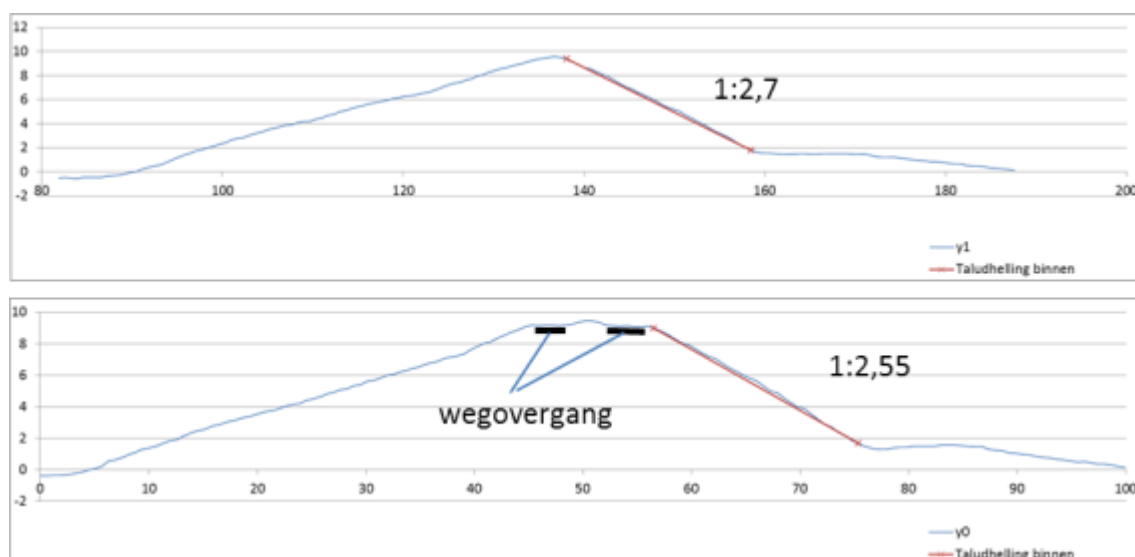
Om te controleren of aan de voorwaarde wordt voldaan is vervolgens een faalkansberekening gemaakt waarbij de kruinhoogte van het profiel gelijk is gesteld aan het berekende HBN. De

berekende indicatieve golfhoogte blijkt 2,71 m te zijn. Omdat de golfhoogte kleiner is dan 3,0 m wordt voldaan aan de voorwaarde.

Opgemerkt wordt dat in eerste instantie ook kan worden aangenomen dat aan deze voorwaarde wordt voldaan en dan, na het bepalen van de faalkans, te controleren of de met de sterkte berekening verkregen 'indicatieve golfhoogte' kleiner is dan 3,0 m.

Voorwaarde 3

Dit betreft de controle op taludhelling en kleilaagdikte. Op het oog ziet het dijkvak er uniform uit alleen bij de wegovertgang aan de westzijde van het dijkvak lijkt het talud steiler. Op basis van het AHN bestand zijn enkele dwarsprofielen gegenereerd en is de taludhelling bepaald. Hierbij wordt vermeden om teveel naar details te kijken. In de onderstaande voorbeelden is aangegeven tussen welke punten de taludhelling is uitgerekend (Figuur F.8). Bij de wegverharding blijkt het binnentalud inderdaad iets steiler dan langs de rest van het dijkvak. In elk geval is over het hele dijkvak de taludhelling steiler dan 1:4.



Figuur F.8 Bepaling taludhelling binnentalud

Omdat het talud steiler is dan 1:4 moet worden gekeken naar de dikte van de aanwezige kleilaag. Uit archiefonderzoek is gebleken dat de beoogde kleilaagdikte 0,6 m was (paragraaf F.1). Omdat het een ontwerp- en geen revisietekening betreft is het verstandig om de beoogde kleilaagdikte te verifiëren. Een eerste bron van informatie is de afdeling beheer. Daarnaast kunnen handboringen uitsluitsel geven over de kleilaagdikte.

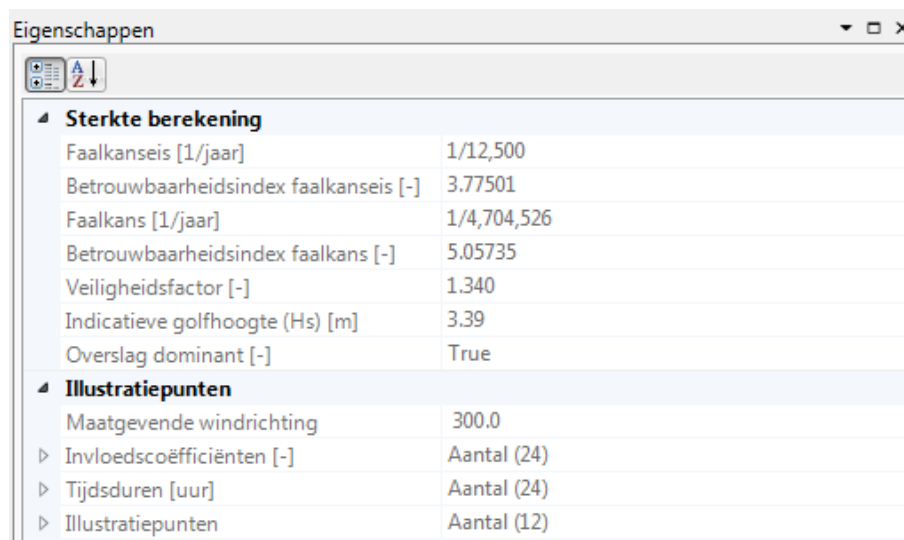
In dit geval zijn er in het kader van een eerder onderzoek naar de grasbekleding ook 16 handboringen beschikbaar, verdeeld over vier raaien van vier boringen tussen de teen en de kruin. Hieruit blijkt een kleilaagdikte varieert van circa 0,5 tot 0,7 m. Hieruit wordt geconcludeerd dat de kleilaagdikte van 0,4 m met voldoende zekerheid overal in het vak aanwezig is, waarmee ook wordt voldaan aan de derde toepassingsvoorwaarde voor de *gedetailleerde toets*.

F.2.2 Stap G.2 gedetailleerde toets GEKB

Omdat aan alle toepassingsvoorwaarden wordt voldaan kan met Riskeer een faalkansberekening worden uitgevoerd. Voor deze berekening is schematisatie van het buitentalud nodig, welke ten behoeve van toepassingsvoorwaarde 2 in stap G.1 al is geschematiseerd (zie paragraaf 1.2.1).

Ten behoeve van de faalkansberekening dient de verwachtingswaarde en de standaardafwijking van het kritisch overslagdebiet ingevoerd te worden. Deze zijn afhankelijk van de golfhoogteklasse (0-1 m, 1-2 m en 2-3 m) en de graskwaliteit (gesloten of open zode). Bij de controle van voorwaarde 2 is gebleken dat de indicatieve golfhoogte gelijk is aan 2,71 m. Gelet op de golfhoogteklasse (van 2 tot 3 m en de graskwaliteit (gesloten zode) leidt dit tot een verwachtingswaarde van $0,07 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$ en een standaardafwijking van $0,08 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$ (zie Tabel 6.6 van deze schematiseringshandleiding).

Uitvoeren van de faalkansberekening met deze verwachtingswaarde en standaardafwijking van het kritisch overslagdebiet leidt tot het resultaat in Figuur F.10.



Sterkte berekening	
Faalkanseis [1/jaar]	1/12,500
Betrouwbaarheidsindex faalkanseis [-]	3.77501
Faalkans [1/jaar]	1/4,704,526
Betrouwbaarheidsindex faalkans [-]	5.05735
Veiligheidsfactor [-]	1.340
Indicatieve golfhoogte (Hs) [m]	3.39
Overslag dominant [-]	True
Illustratiepunten	
Maatgevende windrichting	300.0
Invloedscoëfficiënten [-]	Aantal (24)
Tijdsduren [uur]	Aantal (24)
Illustratiepunten	Aantal (12)

Figuur F.10 Riskeer resultaat GEKB faalkansberekening

De berekende faalkans is $1/4.704.526$ en is veel kleiner dan de vereiste faalkans van $1/12.500 \text{ jr}^{-1}$, waarmee het dijkvak voldoet aan de norm (ondergrens).

De indicatieve golfhoogte (zie Figuur F.10) is gelijk aan 3,39 m, veel hoger dan de eerder bepaalde 2,71 m voor de bepaling van de golfhoogteklasse (zie voorwaarde 2 in paragraaf F2.1). Deze golfhoogte is echter gerelateerd aan de berekende faalkans, welke in dit geval extreem laag is, en zegt in die zin niet veel over de golfhoogte die representatief is bij de faalkanseis. Alleen als de berekende faalkans dicht bij de faalkanseis ligt, dan heeft de indicatieve golfhoogte een betekenis. In deze gevallen wordt voor een nadere duiding van het resultaat aanbevolen om te kijken of de indicatieve golfhoogte leidt tot een indeling in een andere golfhoogteklasse.

F.2.3 Toets op maat bij golfhoogte hoger dan 3 m

Mocht de golfhoogte hoger zijn dan 3 m, dan wordt niet voldaan aan de toepassingsvoorwaarde 2 van de *gedetailleerde toets*. Vanuit de *gedetailleerde toets* binnen WBI zijn er dan geen verwachtingswaarde en standaardafwijking van het kritisch overslagdebiet beschikbaar. Uit nader onderzoek in het kader van het OI2014 versie 4 is echter gebleken dat de verdeling voor

de golfhoogteklasse 2-3 m ook toepasbaar kan zijn voor de golfhoogteklasse 3-4 m. In het kader van een *toets op maat* kan worden gekeken in hoeverre hiermee toch een oordeel kan worden gegeven.

Een andere optie kan zijn om het overslagdebiet bij $P_{eis;sig;dsn}$ te bepalen. Wanneer dit overslagdebiet kleiner dan of gelijk aan 0,1 l/s per m is dan valt het oordeel voor het toetsspoor minimaal in categorie IIv

F.2.4 *Toets op maat voor 'nette' overgangen*

Zoals aangegeven in paragraaf 7.3 van deze schematiseringshandleiding wordt aanbevolen het effect van (een) (geometrisch) nette overgang(en) en/of objecten op de kruin en/of binnentalud in kaart te brengen door de faalkans met de verwachtingswaarde en standaardafwijking van het kritisch overslagdebiet voor één (of meerdere) scenario('s) te bepalen.

In deze casus zijn op de kruin lokaal wegovertgangen aanwezig. Voor deze casus wordt ervan uitgegaan dat deze overgangen "net" zijn. In [2] zijn geen scenario's voor zeedijken met nette overgangen en objecten op de kruin beschikbaar (NB: alle scenario's met helling buitentalud 1:4 hebben een versnellingsfactor $\alpha_a = 1,4$ terwijl voor de kruin dat $\alpha_a = 1,0$ moet zijn). Er zijn wel scenario's beschikbaar voor berekeningen met een helling van het buitentalud van 1:3. Opgemerkt wordt dat de kansverdeling van deze scenario's over het algemeen ongunstiger zijn. Voor de kruin is daarom, gelet op de golfhoogteklasse, met scenario's 7 ($\mu = 0,053 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$, $\sigma = 0,018 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$ en stormduur = 2 uur) 8 ($\mu = 0,017 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$, $\sigma = 0,0052 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$ en stormduur = 5 uur) de faalkans met Riskeer bepaald en is doormiddel van lineaire interpolatie de faalkans bij een stormduur van 3 uur bepaald. Bij scenario 7 en 8 wordt met Riskeer respectievelijk een beta van 5,31 en 4,92 gevonden. Dit resulteert in een beta van 5,18 en een faalkans van 1/9.038.643 per jaar

Op het binnentalud is alleen sprake van een geometrische overgang ter plaatse van de teen. Conform [2] is sprake van scenario 118 ($\mu = 0,051 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$, $\sigma = 0,022 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$ en stormduur = 3 uur). De met Riskeer berekende faalkans voor dit scenario is 1/14.225.322 per jaar en daarmee kleiner dan de faalkans die is berekend voor de nette overgangen op de kruin.

Gelet op bovenstaande hebben de overgangen en objecten geen gevolgen voor het oordeel. De bij de gedetailleerde toets berekende faalkans is groter dan de voor het maatgevende scenario met overgangen en objecten gevonden faalkans.

Indien op het binnentalud ook (een) nette overgang(en) en/of object(en) aanwezig waren dan was scenario 128 ($\mu = 0,063 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$, $\sigma = 0,015 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$ en stormduur = 3 uur) van toepassing. Dit scenario kent wel een helling buitentalud van 1:4. De met Riskeer berekende faalkans voor dit scenario is 1/486.149 per jaar en daarmee veel groter dan de faalkans die is berekend voor de nette overgangen op de kruin. De berekende faalkans is ook veel groter dan de bij de gedetailleerde toets berekende faalkans. Het oordeel zou daarmee veranderen en in categorie IIv vallen (de berekende faalkans is nog altijd kleiner dan $P_{eis;sig;dsn}$).

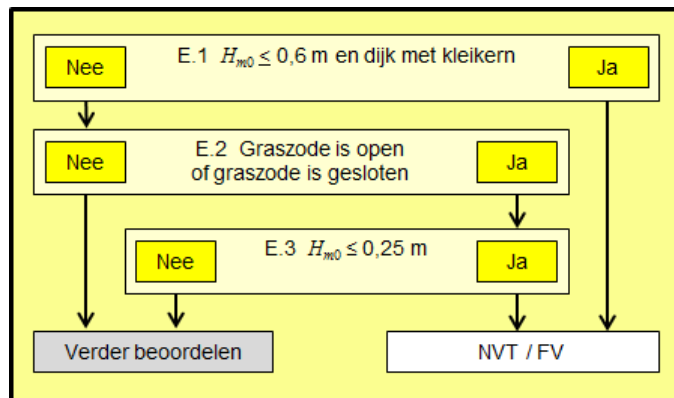
F.3 **Beoordeling GEBU**

Dit toetsspoor betreft de beoordeling van de erosie van een grasbekleding op het buitentalud. Conform bijlage III van de ministeriële regeling is zowel een *eenvoudige toets* als *gedetailleerde toets* mogelijk.

F.3.1

Eenvoudige toets GEBU

Bij de eenvoudige toets wordt het schema in Figuur F.11 doorlopen.



Figuur F.11 Schema eenvoudige toets grasbekleding erosie buitentalud (GEBU).

Stap E.1

De eerste stap betreft een controle op reststerkte van een eventueel aanwezige kleikern.

Aanwezigheid van een grasbekleding is hierbij niet nodig. Er wordt gekeken of er een kleikern aanwezig is tot een hoogte van 0,5 m boven de waterstand bij de norm en of de golfhoogte bij de norm lager is dan 0,6 m.

De waterstand en golfhoogte bij de norm worden met Riskeer berekend onder het tabblad 'Hydraulische randvoorwaarden'. Voor deze casus is de waterstand gelijk aan NAP +4,61 m en de golfhoogte 2,89 m. Er wordt niet voldaan aan de voorwaarde van de golfhoogte. Er moet worden doorgegaan met stap 2. De dijk heeft geen kleikern en is ook geen kleidijk.

Stap E.2

Stap 2 betreft de controle op de aanwezigheid van een grasbekleding. Indien deze open of gesloten is (dus niet fragmentarisch) dan wordt doorgegaan met de *gedetailleerde toets*. In dit geval is de zode gesloten en moet worden doorgegaan met stap E.3.

Stap E.3

In stap drie wordt gekeken of de golfhoogte bij de normkans kleiner is dan 0,25 m. Deze golfhoogte is dusdanig klein dat een open of gesloten zode, ook op zandige grond, deze belasting gedurende zeer lange tijd kan weerstaan. Voor de casus is de golfhoogte echter veel hoger en wordt verder gegaan met de *gedetailleerde toets*.

F.3.2

Gedetailleerde toets GEBU

De *gedetailleerde toets* bestaat uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan de toepassingsvoorwaarden voor de rekenregels voor de sterkte
- Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

Voor het gebruik van het rekenmodel moet worden voldaan aan de volgende twee toepassingsvoorwaarden:

1. Graskwaliteit is open zode of gesloten zode; en
2. Taludhelling gelijk aan of flauwer dan 1V:2,5H.

Stap G.1

Voor de casus geldt dat de graskwaliteit 'gesloten zode' is en de taludhelling 1:4,5. Er wordt aan beide voorwaarden voldaan, zodat de *gedetailleerde toets* kan worden uitgevoerd.

Stap G.2

Eerst wordt gekeken of de grasbekleding op golfklappen of op golfoploop moet worden beoordeeld. Als de grasbekleding boven een waterstand ligt met een overschrijdingskans gelijk aan de faalkanseis op doorsnedeniveau, dan wordt alleen op golfoploop beoordeeld. Als de grasbekleding hieronder ligt dan wordt alleen op golfklappen beoordeeld.

De met Riskeer berekende waterstand bij categorie IIIv is NAP +5,48 m (zie stap E.1). Deze waterstand ligt onder de overgang van de harde bekleding naar de grasbekleding welke op NAP +6,5 m ligt. De grasbekleding hoeft dus alleen te worden beoordeeld op golfoploop. De beoordeling op erosie door golfoploop gebeurt met de software BM - Gras Buitentalud. Opgemerkt wordt dat deze tool meer mogelijkheden biedt dan alleen toepassing in de *gedetailleerde toets* en dat er daarom meer parameters worden gevraagd. In Tabel 6.2 van deze schematiseringshandleiding wordt aangegeven welke vaste waarden voor deze aanvullende parameters in de *gedetailleerde toets* moeten worden gebruikt.

In de tool BM - Gras Buitentalud moet worden gekozen voor de optie 'oploop', waarna er drie tabbladen verschijnen waarin de invoer moet worden gegeven. In het eerste tabblad worden model- en grasparameters opgegeven (Figuur F.12).

Algemene parameters		Sterkte parameters	
Evaluatiehoogte [m NAP]	6,50	Uc [m/s]	6,60
Cu [-]	1,10	Dcrit [m ² /s ²]	7000
Valversnelling [m/s ²]	9,81	Alpha M [-]	1,00
☒ Gebruik schaling		Alpha S [-]	1,00
N fixed [#]	10000		

Figuur F.12 Invoer BM - Gras Buitentalud tabblad 'oploop'

De beoordeling vindt plaats voor het maatgevend punt op het buitentalud. Deze evaluatiehoogte is laagst gelegen punt van de grasbekleding in de golfoploopzone. Voor deze casus is dat het niveau van de overgang van de harde bekleding naar de grasbekleding en dus NAP +6,5 m. Parameter C_u is een coëfficiënt in de relatie tussen golfoploophoogte en de golfoploopsnelheid. Hiervoor wordt een vaste waarde van 1,1 aangehouden. Standaard wordt 'schaling' aangevinkt en wordt voor Nfixed de vaste waarde van 10.000 gebruikt.

De kritische oploopsnelheid U_c is afhankelijk van de graskwaliteit. Voor een gesloten zode, zoals in de casus aanwezig, geldt een vaste waarde van 6,6 m/s. De parameter D_{crit} is de kritische cumulatieve overbelasting waarvoor een vaste waarde van 7.000 m²/s² wordt gebruikt. Met de

parameters α_M en α_S kan de invloed van objecten en overgangen expliciet in rekening worden gebracht. Voor beide parameters wordt een vaste waarde van 1,0 gebruikt.

In het tweede tabblad wordt de geschematiseerde geometrie van het buitentalud opgegeven ten behoeve van de benodigde golfoploopberekeningen. Hiervoor kan dezelfde schematisering worden gebruikt als voor de *gedetailleerde toets* voor GEKB. In dit geval is dat een talud van 1:4,5 met een ruwheid 1,0 (van gras). Ook de richting van de dijknormaal moet worden opgegeven, in dit geval 311° t.o.v. Noord (Figuur F.13).

NB: het voorland wordt meegenomen bij de bepaling van de hydraulische belasting.

Bestand Rekenen Help

Berekening

☐ Golfklap ☒ Oploop

Oploop Geometrie Hydraulische belasting Resultaten

Dijknormaal [graden] 311

+ - [Icons]

	X begin [m]	Z begin [m NAP]	X eind [m]	Z eind [m NAP]	Ruwheid [-]
▶	0,00	0,00	42,00	9,35	1,00

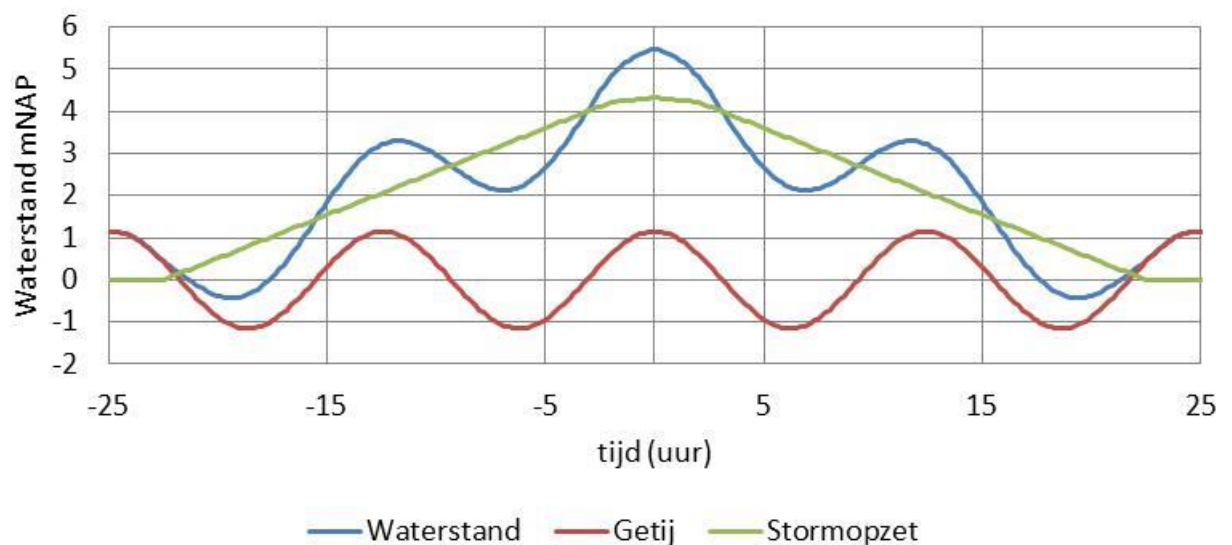
Figuur F.13 Invoer BM – Gras Buitentalud tabblad 'geometrie'

In het derde invoertabblad wordt de hydraulische belasting opgegeven. Voor de hydraulische belastingen wordt gekozen voor 'Synthetische storm' (zie ook Figuur F.16). Voor Delta T wordt een vaste waarde van 0,25 uur gebruikt. De factor $C_{tm-tm-10}$ is de factor die wordt gebruikt voor het berekenen van de gemiddelde periode T_m uit de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$. De vaste waarde voor deze factor is 0,92.

De synthetische storm bestaat uit twee tabellen:

- de buitenwaterstand tegen tijd (uur) en
- de buitenwaterstand tegen golfcondities.

Het waterstandsverloop wordt bepaald conform paragraaf 0 van deze schematiseringshandleiding. De hoogste waterstand in het waterstandsverloop is die bij de doorsnede-eis, in dit geval NAP +5,48 m. De dijk ligt aan de Waddenzee, waarvoor een basis stormopzetduur van 45 uur geldt. Het gemiddelde getij heeft een amplitude van 1,15 m. Het waterstandsverloop wordt nu zodanig geconstrueerd dat de piek van het getij samenvalt met de piek van de stormopzet en dat de som gelijk is aan de maximale waterstand van NAP +5,48 m. Voor de casus leidt dit tot het verloop in Figuur F.14. Het verloop kan worden geconstrueerd met behulp van een spreadsheet. Mogelijk wordt hiervoor nog een tool beschikbaar gesteld.



Figuur F.14 Waterstandsverloop voor casus Waddenzeedijk (basis stormopzet 45 uur)

De golfcondities bij categorie IIIv kunnen met Riskeer worden berekend (zie tabblad *Dijken en dammen – Grasbekleding erosie buitentalud* en *Hydraulische Randvoorwaarden*). Nadat voor het betreffende uitvoerpunt een berekening is genereerd moeten de grenzen worden aangegeven waartussen de golfcondities moeten worden bepaald, zie hiervoor paragraaf 6.5.5 van deze schematiseringshandleiding. In dit geval moet voor de ondergrens van de bekleding niet de fysieke ondergrens van het gras worden opgegeven (NAP +6,5 m), maar een lager niveau. De ondergrens van de bekleding wordt door Riskeer namelijk mede als ondergrens van de te beschouwen waterstandsniveaus gezien en dat is voor de beoordeling op golfoploop niet de bedoeling. Ook het aanwezige voorland dient te worden meegenomen in de berekening. Hiervoor dient het juiste voorlandprofiel gebruikt te worden. Daarnaast dient ook de juiste oriëntatie ingevuld te worden.

Eigenschappen	
Hydraulische gegevens	
Locatie met hydraulische randvoorwaarden	WZ_1-6-3_dk_00097 (180 m)
Waterstand bij doorsnede-eis [m+NAP]	5.48
Bovengrens op basis van waterstand bij doorsnede-eis [m+NAP]	5.47
Bovengrens bekleding [m+NAP]	9.35
Ondergrens bekleding [m+NAP]	2.00
Bovengrens waterstanden [m+NAP]	5.47
Ondergrens waterstanden [m+NAP]	2.00
Stapgrootte [m]	0.5
Waterstanden in berekening [m+NAP]	Aantal (8)
[1]	5.47
[2]	5.00
[3]	4.50
[4]	4.00
[5]	3.50
[6]	3.00
[7]	2.50
[8]	2.00
Schematisatie	
Voorlandprofiel	ProfielDK00097
Locatie (RD) [m]	(160090, 582257)
Oriëntatie [°]	311.00
Dam	
Voorlandgeometrie	
Gebruik	True
Coördinaten [m]	Aantal (5)
[1]	(-110, -0.96)
[2]	(-60, -0.57)
[3]	(-30, -0.44)
[4]	(-10, -0.37)
[5]	(0, 0)
Type bekleding	Gras

Figuur F.15 Invoer Riskeer t.b.v. berekening hydraulische belasting GEBU

De invoer van Figuur F.15 in Riskeer levert de resultaten die zijn opgenomen in Figuur F.16 onder tabblad 'Q-variant' in de BM – Gras buitentalud, waarbij wordt opgemerkt dat de door Riskeer berekende piekperiode T_p moet worden omgerekend naar de in het erosiemodel voor golfoploop gevraagde spectrale golfperiode. Dit kan door de piekperiode te delen door 1,1.

Bestand Rekenen Help

Berekening

☐ Golfklap ☒ Oploop

Oploop Geometrie **Hydraulische belasting**

Hydraulisch belastingtype **Synthetische storm** Delta T [u] **0.25**

Ctm-tm10 [-] **0.92**

Waterstanden

Tijd [u]	Buitenwaterstand [m NAP]
-22.50	0.44
-22.33	0.38
-22.17	0.32
-22.00	0.26
-21.83	0.20
-21.67	0.14
-21.50	0.07
-21.33	0.01

Q variant

Buitenwaterstand [m NAP]	Significante golfhoogte [m]	Spectrale golfperiode [s]	Golfrichting [graden]
2.00	1.13	4.45	294
2.50	1.44	4.62	294
3.00	1.72	4.95	294
3.50	1.99	5.26	294
4.00	2.26	5.56	294
4.50	2.78	4.95	294
5.00	2.74	5.51	294
5.47	2.46	4.78	295

Figuur F.16 Invoer BM – Gras Buitentalud tabblad 'Hydraulische belasting

Nadat alle invoervelden zijn ingevuld, moet de invoer worden gevalideerd en vervolgens kan de berekening worden gestart. Dit duurt slechts enkele seconden. Dan verschijnt het tabblad 'Resultaten', waarin de gevonden veiligheidsfactor/cumulatieve overbelasting staat en de resultaten per tijdstap (Figuur F.17).

De cumulatieve overbelasting gedurende de storm is gelijk aan circa $580 \text{ m}^2/\text{s}^2$. De faalfraction wordt gedefinieerd als de cumulatieve overbelasting gedeeld door de kritische cumulatieve overbelasting van $7.000 \text{ m}^2/\text{s}^2$. De veiligheidsfactor is de inverse hiervan en is maximaal (10,0). Omdat de veiligheidsfactor groter is dan 1,0 wordt voldaan aan de norm.

Bestand Rekenen Help

Berekening

☐ Golfklap ☒ Oploop

Oploop Geometrie **Hydraulische belasting** **Resultaten**

Veiligheidsfactor [-] **10.000** Cumulatieve overbelasting [m^2/s^2] **579.785**

Tijd [u]	Buitenwaterstand [m NAP]	Significante golfhoogte [m]	Golfrichting [graden]	Spectrale golfperiode [s]	Gemiddelde golfperiode [s]	2% Oploopthoogte [m]	Overbelasting per tijdsinterval [m^2/s^2]	Overbelasting totaal [m^2/s^2]	Veiligheidsfactor [-]
-13.25	2.96	1.69	294	4.92	4.53	2.83	0.00	0.00	10.000
-13.00	3.06	1.75	294	4.99	4.59	2.92	0.04	0.04	10.000
-12.75	3.14	1.80	294	5.04	4.63	2.98	0.27	0.30	10.000
-12.50	3.21	1.83	294	5.08	4.67	3.04	0.58	0.89	10.000
-12.25	3.26	1.86	294	5.11	4.70	3.08	0.86	1.75	10.000
-12.00	3.29	1.88	294	5.13	4.72	3.10	1.14	2.89	10.000
-11.75	3.30	1.88	294	5.14	4.73	3.11	1.23	4.11	10.000
-11.50	3.29	1.88	294	5.13	4.72	3.10	1.14	5.25	10.000
-11.25	3.27	1.87	294	5.12	4.71	3.09	0.98	6.23	10.000
-11.00	3.23	1.84	294	5.09	4.69	3.05	0.68	6.92	10.000
-10.75	3.18	1.82	294	5.06	4.66	3.01	0.44	7.35	10.000
-10.50	3.12	1.78	294	5.02	4.62	2.97	0.20	7.55	10.000
-10.25	3.05	1.74	294	4.98	4.58	2.90	0.00	7.55	10.000
-10.00	2.97	1.70	294	4.93	4.54	2.84	0.00	7.55	10.000

Figuur F.17 Resultaten golfoplopberekening BM – Gras Buitentalud.

Als extra uitvoer wordt door BM – Gras Buitentalud per tijdstap de buitenwaterstand, de golfcondities, de 2%-oploophoogte (let op, deze is ten opzichte van de buitenwaterstand), de cumulatieve overbelasting en de veiligheidsfactor gegeven.

In deze uitvoer kan worden gekeken wanneer tijdens de storm eventueel falen van de grasbekleding wordt voorspeld. Dit kan nuttige informatie zijn bij bijvoorbeeld de beoordeling of een eventuele *toets op maat* zinvol is.

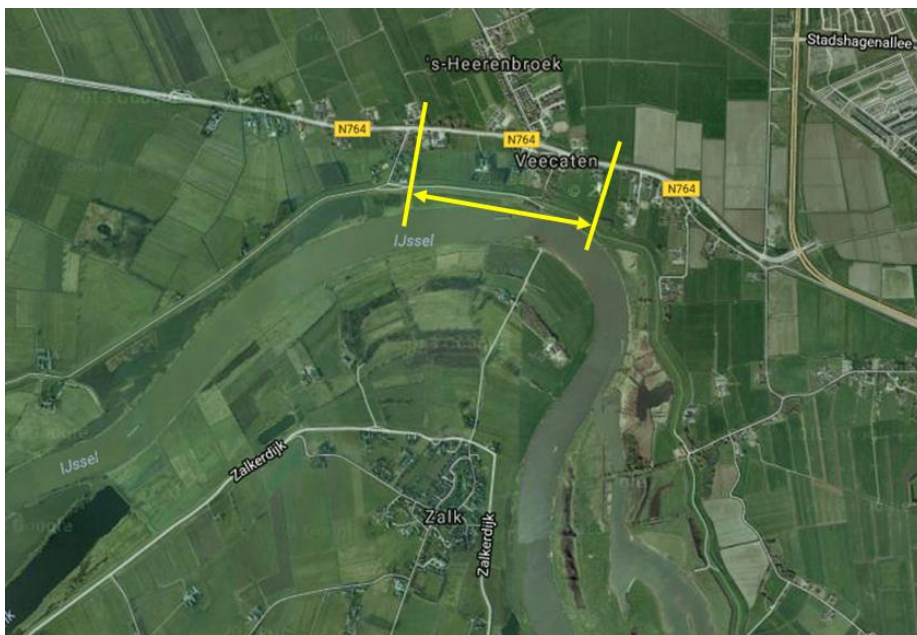
F.4 Literatuur

- [1] *Schematiseringshandleiding Hoogte, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- [2] *BOI Omgaan met overgangen bij faalmechanisme gras erosie kruin en binnentalud*. Deltares rapport 11203720-025-GEO-0001, november 2019.

G Casus GEBU IJsseldelta

G.1 Algemene informatie

Deze casus betreft een dijkvak in de IJsseldelta. De dijk is in zijn geheel bekleed met gras. Voor het uitwerken van deze casus is gekozen voor een dijkvak van circa 800 m lengte in de buitenbocht van de IJssel georiënteerd op het Zuiden tot Zuidzuidwesten. De vakkeuze is gemaakt op basis van uniforme geometrie en oriëntatie (Figuur G.1)¹⁸.



Figuur G.1 Dijkvak IJsseldelta nabij Zwolle (google maps)

Voor het bepalen van de geometrie van de dijk is gebruik gemaakt van AHN2 met een resolutie van 0,5 m.

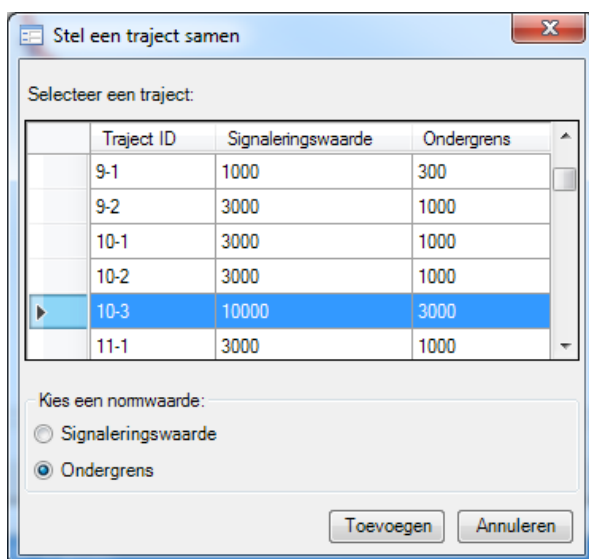
Voor de beoordeling van GEBU en GEKB worden de verschillende via de Helpdesk Water beschikbaar gestelde software-tools gebruikt.

In dit voorbeeld is Riskeer (v19.1.1.2) en BM Gras Buitentalud (v19.1.1.8444) gebruikt. Het is niet het doel van deze casus om het gebruik van de verschillende gebruikte software toe te lichten; alleen keuzes die binnen de software moeten worden gemaakt om de beoordeling uit te voeren zullen worden toegelicht. Informatie uit de gebruikershandleidingen en schematiseringshandleidingen wordt alleen herhaald om het voorbeeld te begrijpen.

Het dijkvak ligt in dijktraject 10-3. Dit traject wordt toegevoegd in Riskeer (Figuur G.2). Voor het traject 10-3 geldt een signaleringswaarde voor de norm van $1/10.000 \text{ jr}^{-1}$ en een ondergrens van $1/3.000 \text{ jr}^{-1}$.

Bij het toevoegen van het traject is in deze casus gekozen voor de ondergrens.

¹⁸ Dit voorbeeld is in een bocht. Direct voor en na dit vak zijn vakken van 100 tot 200 m breedte noodzakelijk in verband met een andere dijknormaal. Bij een groot verhang op de rivier is het ook verstandig het vak op te knippen in minimaal 4 vakken.



Figuur G.2 Riskeer – toevoegen traject 10-3

G.2 Beoordeling GEKB

Dit toetsspoor betreft de beoordeling van de erosie van een grasbekleding op de kruin en het binnentalud. Bijlage III van de ministeriële regeling omvat alleen een *gedetailleerde toets*. Deze toets bestaat uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan de toepassingsvoorwaarden voor het rekenmodel; en
- Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

G.2.1 Stap G.1

Voor het gebruik van het rekenmodel moet worden voldaan aan drie toepassingsvoorwaarden:

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

Voorwaarde 1

De kwaliteit van de graszode in deze casus is 'gesloten zode', er wordt voldaan aan de eerste voorwaarde. Voor de beoordeling van de graskwaliteit wordt verwezen naar paragraaf 6.5.1 van deze schematiseringshandleiding.

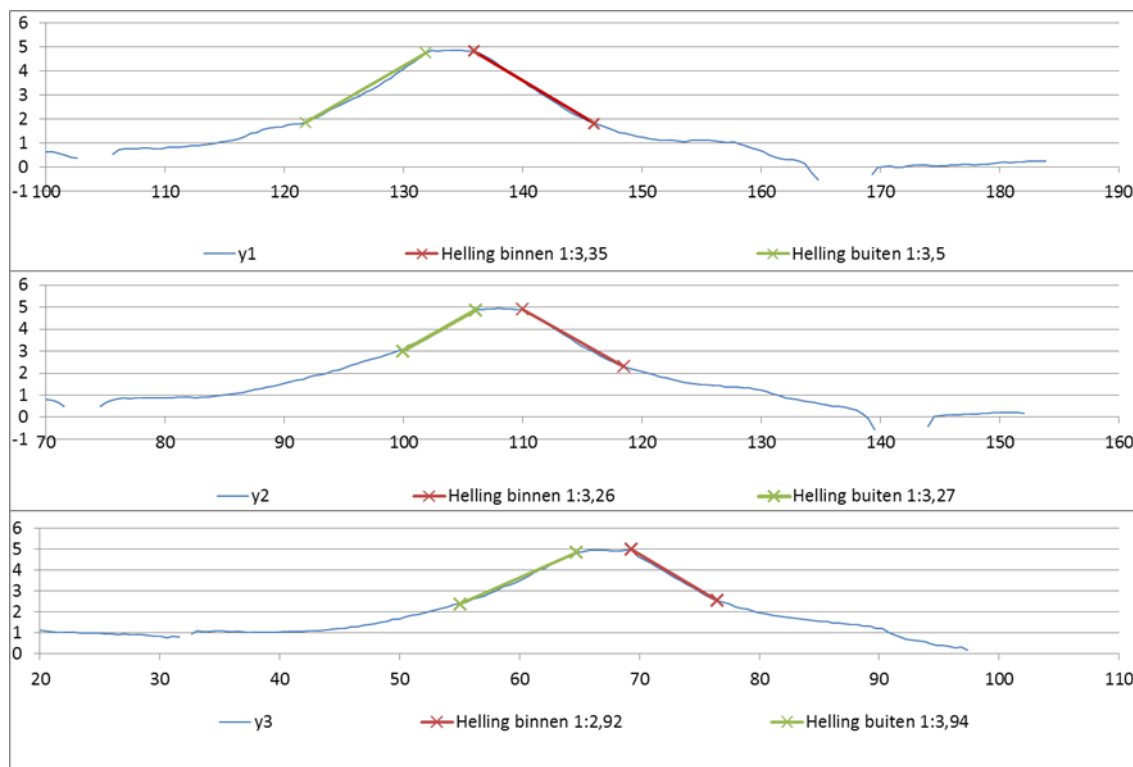
Voorwaarde 2

De golfhoogte H_{m0} betreft de golfhoogte in het illustratiepunt van een HBN-berekening bij 0,1 l/s per m gegeven de doorsnede-eis voor GEKB.

Deze berekening kan worden gemaakt met Riskeer onder het tabblad *Dijken en dammen - Grasbekleding erosie kruin en binnentalud*. Voor deze berekening is een schematisatie van het buitentalud nodig. Bij de schematisering van het profiel moeten te veel details worden vermeden. Deze schematisering moet voldoen aan de eisen die worden gesteld in [1].

Voor de schematisatie zijn de helling van het buitentalud, de ruwheid van dit buitentalud en de dijknormaal belangrijk. Het buitentalud varieert enigszins langs het dijkvak, maar ook langs de hoogte van de dijk: het profiel begint flauw, waarna het in de richting van de kruin steiler wordt (Figuur G.3). Voor dit dijkvak is voor het toetsspoor GEKB één profiel (ProfielDK44)

geschematiseerd met een taludhelling van 1:3,25. De helling van 1:3,25 is aan de steile kant ten opzichte van wat in het dijkvak wordt aangetroffen en zal tot een relatief hoge faalkans leiden. Indien niet wordt voldaan aan de faalkanseis, dan kan ervoor worden gekozen om het dijkvak op te delen in steilere en minder steile delen. De dijknormaal is 183° t.o.v. Noord. De bekleding bestaat volledig uit gras. Voor de ruwheid wordt daarom een waarde van 1,0 gebruikt.



Figuur G.3 Bepaling taludhelling binnentalud en buitentalud

Voor de dijk is voorland aanwezig. Dit voorland heeft invloed op de hydraulische belasting en moet daarom worden meegenomen in de schematisering van het profiel. De benodigde invoer van het profielbestand voor Riskeer is weergegeven in Figuur G.4. Voor meer informatie over het importeren van profielen wordt verwezen naar de handleiding van de software.

```

VERSIE 4.0
ID ProfielDK44

RICHTING 183

DAM 0
DAMHOOGTE 0

VOORLAND 2
4 1 1
115 1 1

DAMWAND 0

KRUINHOOGTE 4.85
DIJK 2
115 1 1.000
127.5 4.85 1.000

```

Figuur G.4 Invoer ProfielDK44

Na importeren van het geschematiseerde dwarsprofiel kan voor dit profiel een berekening gegenereerd worden, waarmee voor het betreffende uitvoerpunt het HBN bij 0,1 l/s per m gegeven de doorsnede-eis kan worden bepaald. In Riskeer dient hiertoe voor het kritisch overslagdebiet een verwachtingswaarde van 0,0001 m³/s/m' en een standaardafwijking van 0 m³/s/m' ingevoerd te worden.

Voor het uitvoeren van de HBN berekening wordt in Riskeer bij de optie 'HBN berekenen' voor 'HBN bij doorsnede-eis' gekozen (zie Figuur G.5). Nadat de berekening is gevalideerd wordt met Riskeer de berekening uitgevoerd. Riskeer levert een HBN van NAP +5,46 m (zie Figuur G.6). Het HBN is hoger dan de ingevoerde kruinhoogte. Opgemerkt wordt dat Riskeer ook laat zien hoe 'goed' het berekende HBN is (verschil tussen doelkans en berekende kans). Tevens biedt Riskeer de mogelijkheid om een uitgebreide analyse van de rekenresultaten uit te voeren. Daarvoor dient in Riskeer bij 'Illustratiepunten inlezen' voor 'True'.

Eigenschappen	
Hydraulische gegevens	
Locatie met hydraulische randvoorwaarden	IJ_1_10-3_dk_00044 (163 m)
Schematisatie	
Dijkprofiel	ProfielDK44
Locatie (RD) [m]	(197295, 505273)
Oriëntatie [°]	183.00
▶ Dam	
Voorlandgeometrie	
Gebruik	True
Coördinaten [m]	Aantal (2)
[1]	(4, 1)
[2]	(115, 1)
Dijkgeometrie	
Coördinaten [m]	Aantal (2)
[1]	(115, 1)
[2]	(127.5, 4.85)
Ruwheid invloedsfactoren [-]	Aantal (1)
[1]	1.00
Dijkhoogte [m+NAP]	4.85
Toetseisen	
Kritiek overslagdebiet [m³/s/m]	0.0001 (Standaardafwijking = 0.0000)
Type verdeling	Lognormaal
Verwachtingswaarde	0.0001
Standaardafwijking	0.0000
▶ Sterkte berekening	
HBN	
HBN berekenen	HBN bij doorsnede-eis
Illustratiepunten inlezen	True
▶ Overslagdebiet	

Figuur G.5 Invoer in Riskeer

Eigenschappen	
HBN	
HBN [m+NAP]	5.46
Doelkans [1/jaar]	1/25,000
Betrouwbaarheidsindex doelkans [-]	3.94440
Berekende kans [1/jaar]	1/24,981
Betrouwbaarheidsindex berekende kans [-]	3.94422
Convergentie	Ja
Illustratiepunten	
Maatgevende windrichting	ZW
Invloedscoëfficiënten [-]	Aantal (18)
Tijdsduren [uur]	Aantal (18)
Illustratiepunten	Aantal (32)

Figuur G.6 Uitvoer HBN-berekening Riskeer

Om te controleren of aan de voorwaarde wordt voldaan is vervolgens een faalkansberekening gemaakt waarbij de kruinhoogte van het profiel gelijk is gesteld aan het berekende HBN. De berekende indicatieve golfhoogte blijkt 0,70 m te zijn. Omdat de golfhoogte kleiner is dan 3,0 m wordt voldaan aan de voorwaarde.

Opgemerkt wordt dat in eerste instantie ook kan worden aangenomen dat aan deze voorwaarde wordt voldaan en dan, na het bepalen van de faalkans, te controleren of de met de sterkte berekening verkregen 'indicatieve golfhoogte' kleiner is dan 3,0 m.

Voorwaarde 3

Dit betreft de controle op taludhelling en kleilaagdikte. Voor deze controle is eerst gekeken naar de taludhelling.

Op basis van het AHN zijn enkele dwarsprofielen gegenereerd en is de taludhelling bepaald. In de voorbeelden in Figuur G.3 is aangegeven tussen welke punten de taludhelling is uitgerekend. De helling van het binnentalud varieert langs het vak, maar is over het hele dijkvak steiler dan 1:4.

Omdat het talud steiler is dan 1:4 moet worden gekeken naar de dikte van de aanwezige kleilaag. Voor deze casus is onbekend of het een zanddijk (al dan niet met kleilaag) of een kleidijk betreft. Met behulp van archiefonderzoek, sonderingen en boringen zou onderzocht moeten worden wat voor type dijk het betreft. Dat onderzoek is voor deze casus echter niet gedaan en er is vanuit gegaan dat het een kleidijk betreft. Indien het een zanddijk zou zijn met een kleilaag dunner dan 0,4 m (of zonder kleilaag), dan zou niet worden voldaan aan de toepassingsvoorwaarden voor de *gedetailleerde toets* en wordt de beoordeling voortgezet met de afweging of een *toets op maat* mogelijkheden biedt.

G.2.2

Stap G.2

Omdat aan alle toepassingsvoorwaarden wordt voldaan kan met Riskeer een faalkansberekening worden uitgevoerd. Voor deze berekening is schematisatie van het buitentalud nodig, welke t.b.v. toepassingsvoorwaarde 2 in stap G.1 al is geschematiseerd (zie paragraaf G.2.1). Voor het uitvoeren van deze berekening dient de verwachtingswaarde en de standaardafwijking van het kritisch overslagdebiet ingevoerd te worden. Deze zijn afhankelijk van de golfhoogteklasse (0-1 m, 1-2 m en 2-3 m) en de graskwaliteit (gesloten of open zode). Bij de controle van voorwaarde 2 is gebleken dat de indicatieve golfhoogte gelijk is aan 0,70 m. Gelet op de golfhoogteklasse (0 tot 1 m) en de graskwaliteit (gesloten zode) leidt dit tot een verwachtingswaarde van 0,225 m³/s/m' en een standaardafwijking van 0,250 m³/s/m' (zie Tabel 6.6 van deze schematiseringshandleiding).

Uitvoeren van de faalkansberekening met deze verwachtingswaarde en standaardafwijking van het kritisch overslagdebiet leidt tot het resultaat in Figuur G.8.

Eigenschappen	
A ↓	
Sterkte berekening	
Faalkanseis [1/jaar]	1/25,000
Betrouwbaarheidsindex faalkanseis [-]	3.94440
Faalkans [1/jaar]	1/154,406
Betrouwbaarheidsindex faalkans [-]	4.36090
Veiligheidsfactor [-]	1.106
Indicatieve golfhoogte (Hs) [m]	0.35
Overslag dominant [-]	True
Illustratiepunten	
Maatgevende windrichting	ZW
▷ Invloedscoëfficiënten [-]	Aantal (18)
▷ Tijdsduren [uur]	Aantal (18)
▷ Illustratiepunten	Aantal (32)

Figuur G.8 Resultaat sterkte berekening toetsspoor GEKB

De berekende faalkans is 1/154.406 en is kleiner dan de vereiste faalkans van 1/25.000 jr^{-1} , waarmee het dijkvak voldoet aan de norm (ondergrens), en valt daarmee in categorie II_v.

De indicatieve golfhoogte is gelijk aan 0,35 m (zie Figuur G.8), lager dan de eerder bepaalde 0,70 m voor de bepaling van de golfhoogteklasse. Dit leidt niet tot twijfel over de golfhoogteklasse waarin de verwachtingswaarde en de standaardafwijking van het kritisch overslagdebiet in eerste instantie zijn ingedeeld.

G.2.3 Toets op maat voor 'nette' overgangen

Zoals aangegeven in paragraaf 7.3 van deze schematiseringshandleiding wordt aanbevolen het effect van (een) (geometrisch) nette overgang(en) en/of objecten op de kruin en/of binnentalud in kaart te brengen door de faalkans met de verwachtingswaarde en standaardafwijking van het kritisch overslagdebiet voor één (of meerdere) scenario('s) te bepalen.

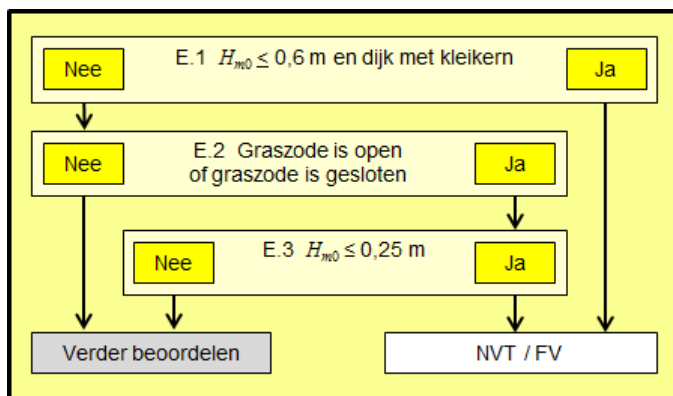
Voor deze casus wordt aangenomen dat op zowel de kruin als het binnentalud een 'nette' wegovergang aanwezig is. Conform [2] is daarom, gelet op de golfhoogteklasse, met scenario's 2 ($\mu = 0,189 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$, $\sigma = 0,210 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$ en stormduur = 5 uur) en 10 ($\mu = 0,0076 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$, $\sigma = 0,0037 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$ en stormduur = 5 uur) de faalkans met Riskeer bepaald. Bij scenario 2 en 10 wordt met Riskeer respectievelijk een faalkans van 1/138.207 en 1/40.296 per jaar gevonden. Beide faalkansen zijn groter dan de faalkans die is berekend bij de gedetailleerde toets. Het oordeel zou, gelet op de faalkans voor scenario 10, veranderen en in categorie III_v vallen (de berekende faalkans is nog altijd kleiner dan $P_{\text{eis};\text{ond};\text{dsn}}$).

G.3 Beoordeling GEBU

Dit toetsspoor betreft de beoordeling van de erosie van een grasbekleding op het buitentalud. Conform bijlage III van de ministeriële regeling is zowel een *eenvoudige toets* als *gedetailleerde toets* mogelijk.

G.3.1 Eenvoudige toets

Bij de *eenvoudige toets* wordt het schema in Figuur G.9 doorlopen.



Figuur G.9 Schema eenvoudige toets grasbekleding erosie buitentalud (GEBU).

Stap E.1

De eerste stap betreft een controle op reststerkte van een eventueel aanwezige kleikern. Aanwezigheid van een grasbekleding is hierbij niet nodig. Er wordt gekeken of er een kleikern aanwezig is tot een hoogte van 0,5 m boven de waterstand bij de norm en of de golfhoogte bij de norm lager is dan 0,6 m.

De waterstand en golfhoogte behorende bij de voor de analyse te gebruiken categorie worden met Riskeer berekend (zie tabblad *Dijken en dammen – Grasbekleding erosie buitentalud en Hydraulische Randvoorwaarden*). Voor deze casus wordt een berekening bij categorie IIIv gemaakt en is de waterstand gelijk aan NAP +4,77 m en de golfhoogte 1,36 m. Er wordt niet voldaan aan de voorwaarde van de golfhoogte. Mogelijk heeft de dijk ook geen kleikern maar dat is niet meer relevant omdat toch al niet aan de eis van golfhoogte is voldaan. De beoordeling moet worden voortgezet met stap E.2.

Stap E.2

Bij de tweede stap wordt een controle op de kwaliteit van aanwezige grasbekleding uitgevoerd. In dit geval is de zode gesloten en wordt de beoordeling dus voortgezet met stap E.3.

Stap E.3

In stap drie wordt gekeken of de golfhoogte bij de norm kleiner is dan 0,25 m. Deze golfhoogte is dusdanig klein dat een open of gesloten zode, ook op zandige grond, deze belasting gedurende zeer lange tijd kan weerstaan. Voor de casus is de golfhoogte echter veel hoger en gaat de beoordeling verder met de *gedetailleerde toets*.

G.3.2

Gedetailleerde toets

De *gedetailleerde toets* bestaat uit twee stappen:

- Stap G.1: Voldoet aan de toepassingsvoorwaarden voor de rekenregels voor de sterkte
- Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte.

Voor het gebruik van het rekenmodel moet worden voldaan aan de volgende twee toepassingsvoorwaarden:

- Graskwaliteit is open zode of gesloten zode.
- Taludhelling gelijk aan of flauwer dan 1V:2,5H.

Stap G.1

Voor de casus geldt dat de graskwaliteit 'gesloten zode' is en de taludhelling 1:3,25. Er wordt aan beide voorwaarden voldaan, zodat de *gedetailleerde toets* kan worden uitgevoerd.

Stap G.2

Eerst wordt gekeken of de grasbekleding op golfklappen of op golfoploop moet worden beoordeeld. Als de grasbekleding boven een waterstand ligt met een overschrijdingskans gelijk aan de faalkanseis op doorsnedeniveau, dan wordt alleen op golfoploop beoordeeld. Als de grasbekleding hieronder ligt dan wordt alleen op golfklappen beoordeeld.

De met Riskeer berekende waterstand bij categorie IIIv is NAP +4,77 m (zie stap E.1). Omdat er onder dit niveau een grasbekleding aanwezig is dient de grasbekleding te worden beoordeeld op golfklap.

De beoordeling op erosie door golfoploop gebeurt met de software BM - Gras Buitentalud. Opgemerkt wordt dat deze tool meer mogelijkheden biedt dan alleen toepassing in de *gedetailleerde toets* en dat er daarom meer parameters worden gevraagd. In Tabel 6.2 van deze schematiseringshandleiding wordt aangegeven welke vaste waarden voor deze parameters in de *gedetailleerde toets* moeten worden gebruikt.

In de tool BM – Gras Buitentalud moet worden gekozen voor de optie 'golfklap', waarna er twee tabbladen verschijnen waarin de invoer moet worden gegeven. In het eerste tabblad worden model- en grasparameters opgegeven (Figuur G.10).

Algemene parameters		Constructie en sterkte parameters	
Delta Z [m]	0.10	Coefficient a [m]	1.00
Min. significante golfhoogte [m]	0.25	Coefficient b [1/u]	-0.0350
Max. significante golfhoogte [m]	1.25	Coefficient c [m]	0.25
Min. waterstand [m NAP]	1.50	Zandgehalte [-]	0.50
Max. waterstand [m NAP]	4.77	Dikte kleilaag + gras [m]	1.00
		Zgrass,min [m NAP]	1.50
		Zgrass,max [m NAP]	4.85

Figuur G.10 Invoer BM – Gras Buitentalud tabblad 'golfklap'

De beoordeling van de grasbekleding in de golfklapzone is een vergelijking tussen de standtijd van de bekleding (gras en klei) en de belastingduur bij een bepaald belastingniveau (de golfhoogte). De belastingtijd en het belastingniveau variëren over het talud, waardoor niet op voorhand bekend is waar de grasbekleding de grootste belasting krijgt. Daarom worden over de hele klapzone punten beschouwd op een interval Delta Z uit elkaar. Dit is een verticale hoogte waarvoor een vaste waarde van 0,1 m moet worden ingevuld.

De minimale en maximale significante golfhoogte geven de grenzen in golfhoogte aan waartussen de beoordeling op golfklappen moet worden uitgevoerd. Deze waarden kappen in feite de standtijdlijnen af bij deze golfhoogtes. De vaste waarden zijn respectievelijk gelijk aan de waarde van coëfficiënt c en coëfficiënten a+c gekozen (zie onderstaande tekst voor deze coëfficiënten). De standtijdlijn wordt daarmee niet afgekapt.

De minimale en maximale waterstand kappen de beoordeling af binnen deze aangegeven grenzen van de waterstand. Hiervoor worden de minimale en de maximale waterstand van het waterstandsverloop gebruikt.

De coëfficiënten a, b en c bepalen de sterkte van de grasbekleding onder een golfbelasting. Voor deze casus met een gesloten zode worden de vaste waarden 1, -0,035 en 0,25 worden aangehouden.

Het zandgehalte en de dikte van de kleilaag, inclusief het gras, kunnen worden ingevuld als er een kleilaag aanwezig is onder het gras, die na het falen van het gras nog een zekere reststerkte geeft. Voor de casus wordt uitgegaan van een volledige kleidijk, waardoor er een zeer dikke 'kleilaag' onder het gras aanwezig is. Het rekenmodel houdt echter slechts rekening met de bovenste halve meter klei. Het invullen van dikkere kleilagen heeft voor de berekening geen invloed. Het in rekening brengen hiervan, indien nodig, zal moeten plaatsvinden in de *toets op maat*. Voor de casus wordt een laagdikte van 1 m ingevuld.

Het zandgehalte is een belangrijke parameter bij het bepalen van de reststerkte van de kleilaag. Voor de casus wordt uitgegaan van een zandgehalte van 0,5.

Tenslotte wordt met de minimale en maximale hoogte van de grasbekleding bepaald van waar tot waar het gras aanwezig is, of moet worden beoordeeld. Voor deze casus wordt de laagste hoogte van de waterstand van NAP +1,5 m aangehouden. Onder deze waterstand komen geen golven van betekenis voor, vooral vanwege het voorland op NAP +1,0 m.

In het tweede invoertabblad wordt de hydraulische belasting opgegeven. Er wordt gekozen voor een 'Synthetische storm' (Figuur G.12). Voor Delta T wordt een vaste waarde van 0,25 uur gebruikt.

De synthetische storm bestaat uit twee tabellen:

- de buitenwaterstand tegen tijd (uur) en
- de buitenwaterstand tegen golfcondities.

Hoge waterstanden ter plaatse van het dijkvak worden veroorzaakt door een hoge afvoer en zijn niet door windopzet gedomineerd. Het waterstandsverloop bij hoge waterstanden is langdurig (zie ook de tool Waterstandsverloop). In die zin valt het dijkvak onder het watersysteem Bovenrivieren, waarvoor bij een stagnant waterpeil een stagnante golfconditie van 12 uur wordt aangehouden, zie paragraaf 0 van deze schematiseringshandleiding. Omdat het waterpeil tijdens

de golfaanval van 12 uur stagnant wordt verondersteld, wordt voor elk stagnant peil een berekening gemaakt met de BM – Gras buitentalud.

Omdat voor elke golfconditie van 12 uur een stagnant peil wordt aangehouden is de waterstand met de hoogste golfhoogte maatgevend. In dit geval is dat de waterstand van 3,5 m met een golfhoogte van 0,96 m (zie ook Figuur G.12).

De golfcondities bij categorie IIIv kunnen met Riskeer worden berekend (zie tabblad *Dijken en dammen – Grasbekleding erosie buitentalud en Hydraulische Belastingen*). Nadat voor het betreffende uitvoerpunt een berekening is gegenereerd, moet worden aangegeven welke categorie gebruikt moet worden en voor welk bekledingstype een berekening moet worden uitgevoerd. Verder moeten de grenzen worden aangegeven van het bereik aan waterstandsniveaus waarvoor de golfcondities moeten worden bepaald. Beneden het niveau van NAP +1,5 m zijn er, gelet op de hoogte van het voorland, geen golven van betekenis te verwachten. Dit niveau wordt daarom aangehouden als ondergrens van de bekleding én ondergrens van de waterstand waarvoor de golfcondities moeten worden berekend. De bovengrens van de waterstand is gelijk aan de waterstand bij de categorie waarvoor de golfcondities worden bepaald. Ook het aanwezige voorland dient te worden meegenomen in de berekening. Hiervoor dient het juiste voorlandprofiel gebruikt te worden. Invoer voor de berekening staat in Figuur G.11.

Eigenschappen

	
Hydraulische gegevens	
Hydraulische belastingenlocatie	IJ_1_10-3_dk_00044 (163 m)
Categoriegrens	IIIv
Waterstand bij categoriegrens [m+NAP]	4.77
Bovengrens op basis van waterstand bij categoriegrens [m+NAP]	4.76
Bovengrens bekleding [m+NAP]	4.85
Ondergrens bekleding [m+NAP]	1.50
Bovengrens waterstanden [m+NAP]	4.76
Ondergrens waterstanden [m+NAP]	1.50
Stapgrootte [m]	0.5
Waterstanden in berekening [m+NAP]	Aantal (8)
[1]	4.76
[2]	4.50
[3]	4.00
[4]	3.50
[5]	3.00
[6]	2.50
[7]	2.00
[8]	1.50
Modelinstellingen	
Type bekleding	Gras (golflap)
Schematisatie	
Voorlandprofiel	ProfielDK44
Locatie (RD) [m]	(197295, 505273)
Oriëntatie [°]	183.00
> Dam	
> Voorlandgeometrie	

Figuur G.11 Invoer Riskeer t.b.v. berekening hydraulische belasting GEBU

De invoer van Figuur G.11 in Riskeer levert de resultaten die zijn opgenomen in Figuur G.12 onder tabblad 'Q-variant' in de BM – Gras buitentalud.

Tijd [u]	Buitenwaterstand [m NAP]
0.00	3.50
12.00	3.50

Buitenwaterstand [m NAP]	Significante golfhoogte [m]
1.50	0.27
2.00	0.29
2.50	0.57
3.00	0.86
3.50	0.96
4.00	0.67
4.50	0.48
4.76	0.49

Figuur G.12 Invoer BM – Gras Buitentalud tabblad 'Hydraulische belasting

Nadat alle invoervelden zijn ingevuld moet de invoer worden gevalideerd en vervolgens kan de berekening worden gestart. Dit duurt slechts enkele seconden. Dan verschijnt het tabblad 'Resultaten', waarin de gevonden veiligheidsfactor cq faalfractie is te vinden (zie Figuur G.13).

De berekende faalfractie (1,569) wordt omgerekend in een veiligheidsfactor van 0,637. Omdat de faalfractie groter is dan 1,0 wordt voor golfcondities bij categorie IIIv niet voldaan. Om de afstand tot de norm te bepalen dient ook met golfcondities bij categorie IVv (en Vv) nagegaan te worden of de faalfractie wel kleiner is dan 1.

In het tabblad Resultaten zijn verschillende sub-tabbladen te vinden, waarin de resultaten meer gedetailleerd kunnen worden geïnspecteerd, zowel per hoogte op het talud, als per tijdstap. In deze uitvoer kan worden gekeken wanneer tijdens de storm en op welke plek op het talud falen van de grasbekleding wordt voorspeld. Dit kan nuttige informatie zijn bij bijvoorbeeld de beoordeling of een eventuele *toets op maat* zinvol is.

Bestand Rekenen Help

Berekening

☒ Golfklap ☐ Oploop

Golfklap

Hydraulische belasting

Resultaten

Veiligheidsfactor [-]

0.637

Totale faalfractie [-]

1.569

Faalfracties

Gedetailleerde resultaten

Alle

Doorslaggevend

Overschrijdend

Evaluatiehoogte [m NAP]	Faalfractie toplaag [-]	Faalfractie top- en sub-laag gecombineerd [-]	Tijd van eerste falen [u]
2.60	0.00	0.00	
2.70	0.00	0.00	
2.80	0.00	0.00	
2.90	0.00	0.00	
3.00	0.00	0.00	
3.10	1.25	1.57	10.25
3.20	1.25	1.57	10.25
3.30	1.25	1.57	10.25
3.40	1.25	1.57	10.25
3.50	1.25	1.57	10.25

Figuur G.13 Tabblad Resultaten

G.4 Literatuur

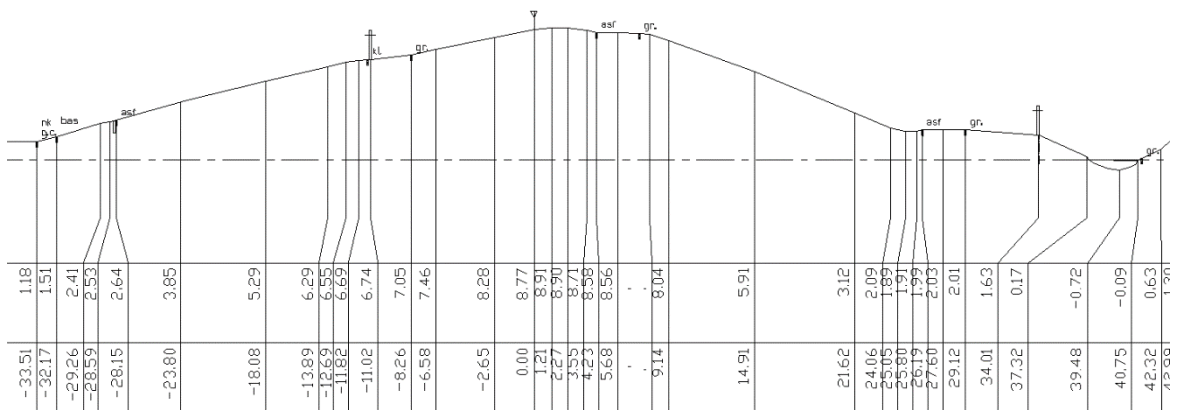
- [1] *Schematiseringshandleiding hoogte, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- [2] *BOI Omgaan met overgangen bij faalmechanisme gras erosie kruin en binnentalud*. Deltares rapport 11203720-025-GEO-0001, november 2019.

H

H.1

Langs de Waddenzee ligt een redelijk uniforme dijk over een lengte van circa 1,5 km. De dijk is in de jaren 70 van de vorige eeuw aangelegd door het opspuiten van zand. De bekleding op het buitentalud bestaat uit basalt en asfalt tot en met de berm, daarboven begint een grasbekleding op een kleilaag van 1 meter dikte. Het binnentalud wordt beschermd door een kleilaag met een dikte van 0,6 m met daarop een laag teelaarde van 0,1 m. De totale dikte van de laag bedraagt volgens bestek dus 0,7 m.

In het dijkvak van circa 1,5 kilometer lengte zit een overgang van een weg, waardoor het talud aan de binnenzijde hier net iets steiler is en de kruin net iets lager is dan langs de rest van het vak. Dit profiel wordt gekozen als maatgevend voor dit vak (zie Figuur H.1). Binnen het vak is de waterstand met een overstromingskans gelijk aan de norm overal gelijk. De golfhoogte H_{m0} met een overschrijdingskans gelijk aan de norm varieert slechts met 0,1 m. Voor de golfhoogte wordt de hoogste golfhoogte in het vak aangehouden.



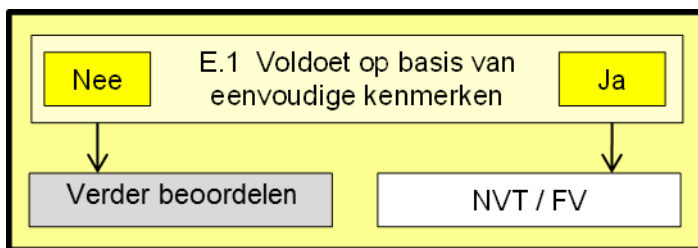
Figuur H.1 Maaiveldlijn (links de Waddenzee, rechts de polder)

Het dijktraject heeft een norm overstromingskans (ondergrens) van $1/1.000 \text{ jr}^{-1}$ en een signaleringskans van $1/3.000 \text{ jr}^{-1}$. In deze casus wordt gerekend met de signaleringskans. Het mechanisme afschuiven van de bekleding van het binnentalud heeft geen eigen faalkansruimte. Het veiligheidsformat heeft in het kader van het WBI geen update gehad en is overgenomen uit het eerdere toetsvoorschrift, gebaseerd op de overschrijdingskansbenadering.

Dit voorbeeld is vooral gericht op de schematisering van de verhoging van het freatisch vlak onder invloed van hoogwater in combinatie met golfoverslag. Binnen de gedetailleerde beoordeling kan deze veelal scherper worden bepaald dan uit te gaan van een 'volle dijk', ofwel een freatisch vlak op het dijkoppervlak. Op overige aspecten, zoals de bepaling van de hydraulische belasting met behulp van Ringtoets wordt daarom nauwelijks ingegaan. Meer informatie hierover is te vinden in [1].

H.2

De *eenvoudige toets* bestaat uit het voldoen aan voorwaarden zoals weergegeven in Figuur H.2.



Figuur H.2 Schema eenvoudige toets grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI).

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

De faalkans van de bekleding als gevolg van een afschuiving van het binnentalud is verwaarloosbaar indien aan minimaal één van de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- Het overslagdebiet q is kleiner dan 0,1 l/s per m bepaald bij de norm;
- 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;
- De taludhelling van het binnentalud is flauwer of gelijk aan 1V:4H en de dijk bestaat uit klei die niet als stevig wordt gekwalificeerd; of
- De dijk bestaat uit zand, al dan niet voorzien van een kleibekleding, en heeft een aantoonbaar goed werkende drainage in de binnenteen.

De dijk in dit voorbeeld heeft geen aantoonbaar werkende drainage, bestaat uit zand en heeft een helling steiler dan 1V:5H. Op basis hiervan kan geen oordeel 'voldoet' worden gegeven. De controle op een golfoverslagdebiet van 0,1 l/s per m (Ringtoets hanteert $10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$) bij de norm is eveneens benodigd om te kijken of een toets op microstabiliteit nodig is.

De kruinhoogte op het moment van de meting was gelijk aan NAP +8,9 m. Uit vorige metingen van de kruinhoogte is gebleken dat klink, zetting en kruindaling als gevolg van andere processen zoals zout- en gaswinning tot een minimum zijn beperkt. Er wordt in de beoordelingsperiode geen significante kruindaling meer verwacht, zodat wordt uitgegaan van NAP +8,9 m. Ringtoets geeft voor dit voorbeeld een HBN van NAP +9,13 m, waardoor niet aan de voorwaarde wordt voldaan.

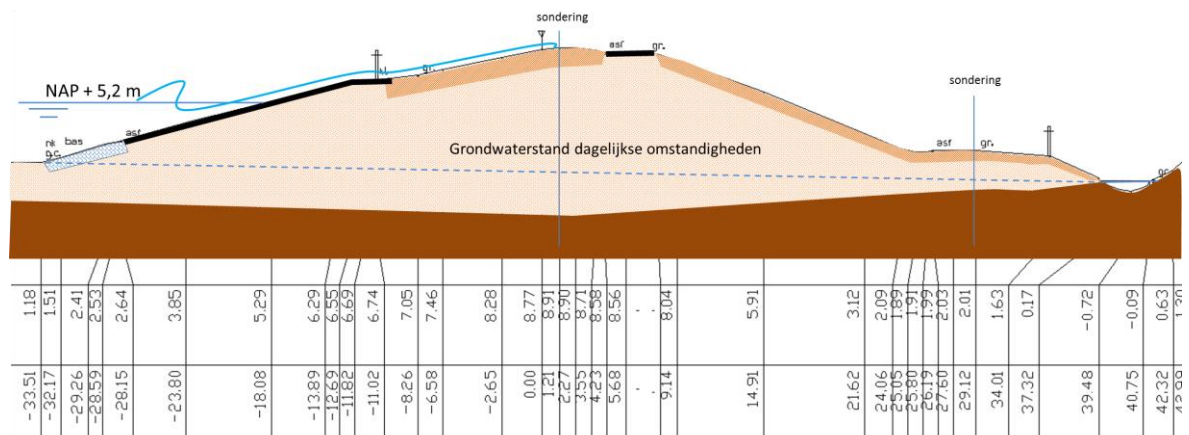
H.3 De gedetailleerde toets

H.3.1 Geohydrologische schematisering

Voor het berekenen van de stabiliteit van de bekleding bij golfoverslag is de grondwaterstand in de dijk als gevolg van hoogwater en golfoverslag nodig. Hiervoor moet een schematisering vanuit hydrologisch oogpunt worden gemaakt en moet worden bepaald wat de grondwaterstand onder dagelijkse omstandigheden is. Bij deze initiële grondwaterstand zullen de effecten van een hoge buitenwaterstand en golfoverslag worden opgeteld.

Uit de voor deze casus uitgevoerde sonderingen (binnendijs circa elke 100 m aangevuld met sonderingen in de kruin) blijkt dat de dijk bestaat uit zand en is opgebouwd op een holocene pakket van klei en een enkel veenlaagje. Dit onderliggende pakket kan als gesloten worden geschematiseerd, omdat het veel minder doorlatend is dan de zanddijk. De Waddenzeebodem voor de teen van de dijk bestaat hoofdzakelijk uit zand en enkele kleilaagjes. Verondersteld wordt dat dit doorlatend is. De bekleding op het buitentalud bestaat onderaan uit basalt, wat doorlatend is, daarboven uit asfalt, dat gesloten is en daarboven uit klei met gras (zie ook Figuur

H.3). Omdat deze kleilaag in de orde van 1 m of dunner is wordt er vooralsnog van uitgegaan dat deze relatief doorlatend is.



Figuur H.3 Opbouw van de dijk en geohydrologische schematisering

De grondwaterstand onder dagelijkse omstandigheden wordt geschematiseerd tussen het polderpeil aan de binnenzijde en de buitenteen van de dijk. De gemiddelde buitenwaterstand is ongeveer gelijk aan NAP, maar bij elk hoogwater komt het water tot aan de teen van de dijk (ca. NAP +1,2 m). Er wordt, enigszins conservatief, van uitgegaan dat hier plassen blijven staan waardoor het grondwater in de dijk wordt gevoed. Omdat de dijk uit zand bestaat wordt ervan uitgegaan dat er geen significante opbolling van de freatische lijn is als gevolg van neerslag.

H.3.2 Verhoging freatisch vlak door hoge buitenwaterstand

De indringing van een verhoogd freatisch vlak in de dijk als gevolg van een hoge buitenwaterstand wordt geschat met de formule uit paragraaf 6.6.8.

$$L = \sqrt{\frac{2HkT}{n}}$$

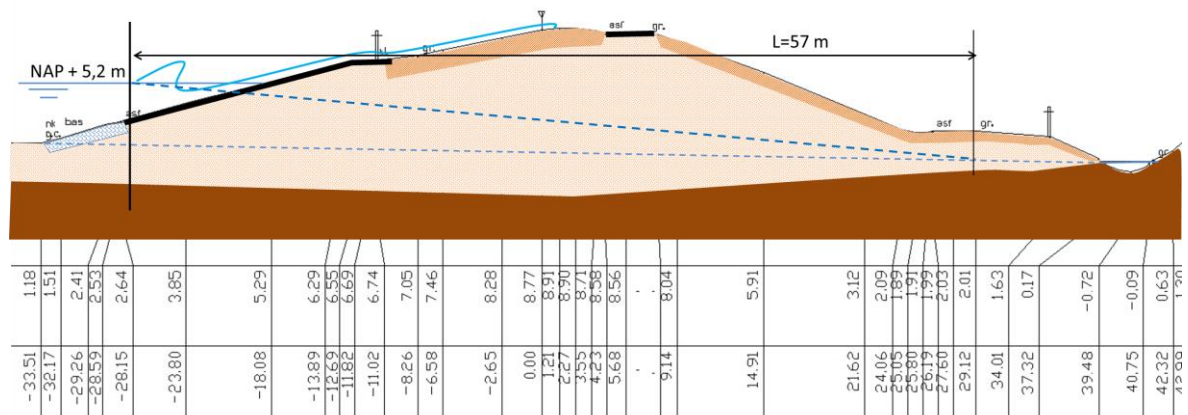
Hierbij wordt bij de berekening impliciet van de conservatieve aanname uitgegaan dat de bekleding, ook het asfalt, open is. Bekend is dat het zand in de kern van de dijk fijn is, echter er zijn geen zeefkrommes of doorlatendheidsbepalingen beschikbaar. Daarom wordt in eerste instantie uitgegaan van een conservatieve doorlatendheid k van $0,5 \times 10^{-3}$ m/s (paragraaf 6.6.6). Voor de porositeit n wordt een waarde van 0,35 aangehouden. De dikte van het zandpakket waar het water doorheen stroomt H is gelijk aan het hoogteverschil tussen de onderkant van het zand in de kern van de dijk en het maatgevende waterpeil, in dit geval 7 m. De stormopzet onder maatgevende omstandigheden in de Waddenzee duurt (in dit geval) 45 uur. Dit leidt tot een conservatieve schatting van de indringingslengte L van:

$$L = \sqrt{\frac{2HkT}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 7 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 45 \cdot 3600}{0,35}} = 57 \text{ m}$$

Let op dat in dit geval bedoeld wordt de horizontale indringingslengte vanaf het buitentalud. Bij macrostabiliteit wordt met de indringingslengte een verticale indringing van een verhoogde waterdruk in een slappelagenpakket, vanuit het onderliggende zandpakket bedoeld.

In werkelijkheid zal het freatisch vlak in de dijk tijdens het hoogwater hol gekromd zijn, maar eenvoudigheidshalve wordt het vlak als een rechte lijn geschematiseerd (conservatief). Na de piek van het hoogwater wordt het freatisch vlak in de dijk bol en kan het freatisch vlak bij de binnenteen nog iets stijgen. Uit berekeningen blijkt dit effect echter gering en bovendien is het hoogwater dan al voorbij.

Bij een talud dat over de volle hoogte doorlatend is wordt het intredepunt genomen op het snijpunt tussen de hoogste waterstand en het buitentalud. Echter in dit geval bevindt zich een dichte asfaltbekleding op het buitentalud tot boven de buitenwaterstand. Daarom wordt de onderzijde van de dichte asfaltbekleding aangehouden als het intredepunt (Figuur H.4). Hierin is het effect van golfoverslag nog niet meegenomen.



Figuur H.4 Schematisering verhoging freatisch vlak in de zandkern als gevolg van een hoge buitenwaterstand.

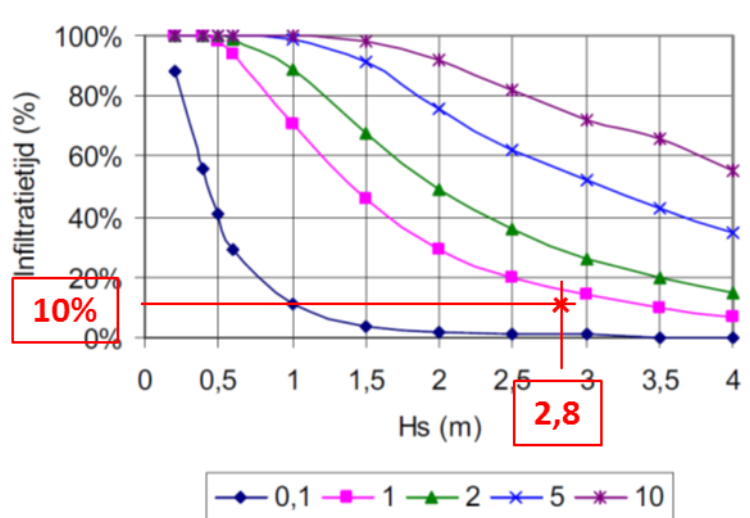
H.3.3 Verhoging freatisch vlak door golfoverslag

Als gevolg van infiltratie van overslaande golven zal het freatisch vlak ter plaatse van de binnenteen meer kunnen stijgen. De hoeveelheid water die door het binnentalud kan infiltreren is gelijk aan de tijd dat er op het talud een wateraanbod is keer de infiltratiecapaciteit van het dijktaalud. Deze hoeveelheid water gedeeld door de porositeit van het zand is gelijk aan de potentiële stijging van het freatisch vlak. In de *gedetailleerde toets* wordt er vanuit gegaan dat het infiltrerende water instantaan, of in elk geval ruim binnen de tijd van het hoogwater, zorgt voor een stijging van het freatisch vlak. Uit ervaringen met grondwaterstromingsberekeningen blijkt dat dit een conservatieve aanname is. Grondwaterstromingsberekeningen zijn daarom een goede manier om de beoordeling aan te scherpen, echter deze berekeningen vallen onder de *toets op maat*.

Eerst moet worden bepaald hoe lang golfoverslag een wateraanbod geeft op het binnentalud. Aangenomen wordt dat als het overslagdebiet kleiner of gelijk is aan 0,1 l/s per m ($1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$ in SI eenheden) er geen significante infiltratie door overslag is en als het groter is dan 0,1 l/s per m wel. Van belang is dus de tijdsduur dat er meer dan 0,1 l/s per m golfoverslag is. Binnen de gedetailleerde beoordeling wordt uit gegaan van een overslagduur van 6 uur met een overslagdebiet dat gelijk is aan het piek overslagdebiet tijdens de storm. In een *toets op maat* kan dit worden aangescherpt.

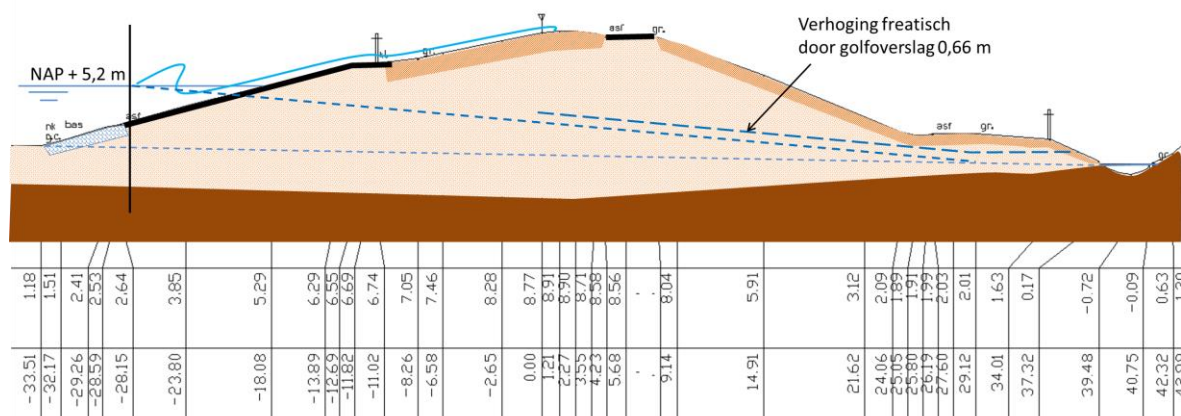
Met behulp van Ringtoets wordt berekend dat het overslagdebiet tijdens de piek van de storm, bij een normkans van $1/3.000 \text{ jr}^{-1}$ (signaalwaarde) en een kruinhoogte van NAP +8,9 m gelijk is aan 0,8 l/s per m. Ringtoets geeft eveneens de golfcondities in het illustratiepunt. De golfhoogte in het illustratiepunt is gelijk aan 2,80 m.

Omdat het in dit geval gaat om relatief hoge golven en een laag overslagdebiet zal het talud niet gedurende de hele 6 uur nat zijn. Golfoverslag beperkt zich in dit geval tot af en toe een golf die over de kruin slaat, waarna het talud weer 'droog' valt, ofwel er geen wateraanbod aanwezig is voor infiltratie. De aanscherping van deze tijd vindt plaats met behulp van Figuur H.5 uit [2]. Aangenomen wordt dat H_s gelijk is aan H_{m0} .



Figuur H.5 Infiltratietijd als percentage van de tijd dat overslag optreedt, afhankelijk van golfhoogte en overslagdebiet

Met behulp van deze figuur kan de tijd dat overslag ook werkelijk zorgt voor wateraanbod op het talud worden gecorrigeerd. Dit gebeurt door interpolatie tussen de verschillende lijnen 'op het oog'. Hieruit volgt dat van de 6 uur dat het overslagdebiet groter is dan 0,1 l/s per m er slechts gedurende 0,6 uur (=10% van 6 uur) wateraanbod op het talud aanwezig is. Dit leidt bij een infiltratiecapaciteit van $1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ potentieel tot een waterinstroom van $0,22 \text{ m}^3$ water per m^2 ($=1 \times 10^{-4} \times 0,6 \times 3600$). Met een porositeit van het zand van 0,33 geeft dit een potentiële stijging van het freatisch vlak van circa 0,66 m.



Figuur H.6 Schematische weergave verhoging freatisch vlak onder het binnentalud als gevolg van hoog buitenwater en infiltratie van golfoverslag

Zoals te zien in Figuur H.6 is de totale verhoging van het freatisch vlak ter plaatse van de binnenteen, als gevolg van de indringing van de hoge buitenwaterstand en infiltratie door golfoverslag, in de orde van 1 m. Hierdoor is er ter plaatse van de binnenteen nog geen verval over de kleilaag dat kan zorgen voor stabiliteitsproblemen. Het freatisch vlak raakt net de onderkant van de kleilaag. Opgemerkt wordt dat ter plaatse van de slootkant wel instabiliteit van de kleilaag of uitspoelen van zand kan optreden. Deze afschuiving kan ook een beginpunt zijn van erosie. Voor de veiligheid tegen overstromen is dit echter waarschijnlijk geen probleem, omdat het de nodige tijd duurt voordat het waterkerende vermogen van de dijk wordt aangetast en er slechts beperkte tijd golfoverslag is.

H.4 Literatuur

- [1] *Schematiseringshandleiding Hoogte, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- [2] *Handleiding Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde*. Rijkswaterstaat, 2012.

I Voorbeeld workaround bepalen golfcondities met Hydra-Ring

I.1 Introductie

Golfcondities voor het toetsspoor *Grasbekleding erosie buitentalud* kunnen met Ringtoets/Riskeer voor een vaste set van bekledingstypen berekend worden. Elk bekledingstype wordt door modelinstellingen gekarakteriseerd (parameters a, b, c). De onderstaande tabel geeft een overzicht van de bekledingstypen in Ringtoets/Riskeer en de bijbehorende waarden van a, b en c.

Bekledingstype in Ringtoets/Riskeer	Modelinstellingen
Gras golfoploop	a = 1,0 b = 1,7 c = 0,3
Gras golfklap	a = 1,0 b = 0,67 c = 0,0

In tegenstelling tot Hydra-NL zijn de parameters a, b en c in Ringtoets/Riskeer niet aanpasbaar. Indien er een wens bestaat voor het aanpassen van deze parameters kan dat ook met Riskeer versie 19.1 of hoger gedaan worden, echter zonder gebruik te maken van de user interface. Deze bijlage beschrijft hoe dit gedaan kan worden aan de hand van een voorbeeld. De gebruiker heeft dan de vrijheid om de volgende gegevens aan te passen:

- set van parameters a, b en c
- waterstand op de dijk
- terugkeertijd.

§I.2 beschrijft het voorbeeld, dat uit drie stappen bestaat: (1) verzamelen benodigde gegevens en applicaties, (2) voorbereiding en (3) berekeningen golfcondities voor bekledingen. Bijlage i en ii beschrijven de inhoud van twee bestanden nodig voor het uitvoeren van het voorbeeld. Bijlage iii beschrijft het omrekenen van een terugkeertijd naar de bijbehorende betrouwbaarheidsindex.

I.2 Voorbeeld

I.2.1 Stap 1: verzamelen benodigde gegevens en applicaties

Hieronder wordt een overzicht van de benodigde bestanden en applicaties gegeven:

HydraRing map:

- Eisen: Riskeer installatie 19.1 of hoger (te downloaden via de web-data cloud omgeving).
- HydraRing map (met alle bestanden erin) standaard te vinden in: c:\Program Files (x86)\BOI\Riskeer versie\bin\

Initialisatie-bestand (*zelf aanmaken*):

- Bestandsnaam: iniHydraRing.ini (deze naam kan naar wens worden aangepast).
- De inhoud van het bestand is in Bijlage A opgenomen.
- Blauw-gemarkeerde paden/bestanden in iniHydraRing.ini dienen door de gebruiker gecontroleerd en eventueel te worden aangepast.

Lokale data:

- Traject: 7-2
- HB-locatie: YM_3_7-2_ha02_00001
- Dijkoriëntatie: 270 graden t.o.v. het noorden
- Geen voorland in dit voorbeeld.
- Hydraulische data: WBI2017_IJsselmeer_7-2_v02.zip (te downloaden van de web-omgeving van Helpdesk water)

I.2.2**Stap 2: voorbereiding**

- Bereken voor de HB-locatie (YM_3_7-2_ha02_00001) de golfcondities voor een bekledingstype met Riskeer. Het maakt niet uit welke bekledingstype dat is. Ook kan het aantal waterstanden tot twee worden beperkt: het maakt niet uit welke waterstanden dat zijn, zolang deze maar lager zijn dan de waterstand bij de norm.
- Ga naar de tijdelijke locatie van één van de twee berekeningen (maakt niet uit welke): de tijdelijke locatie wordt in het Logvenster van Riskeer aangegeven.
- Kopieer en bewaar het bestand 1.sql uit de tijdelijke locatie.
- Het bestand 1.sql bevat alle informatie die nodig is voor het bepalen van de golfcondities voor de gekozen locatie. Het bestand is in feite een template, die gebruikt kan worden voor het afleiden van de golfcondities. De inhoud van het bestand wordt in Bijlage B weergegeven.
 - Het rood gemarkeerde veld geeft de betrouwbaarheidsindex (beta) aan, dat met de gekozen categorie correspondeert. In dit voorbeeld is beta gelijk aan 3,40293283538533 (dit is altijd een getal met 14 decimalen na de komma). Deze beta-waarde correspondeert met een faalkans van 0,00333 per jaar, ofwel een terugkeertijd van 3.000 jaar. In Bijlage C is aangegeven hoe een terugkeertijd naar beta vertaald kan worden.
 - Het groen gemarkeerde veld geeft de waterstand waarvoor de golfcondities berekend worden. In dit voorbeeld is dat NAP+1,5 m.
 - In de blauw gemarkeerde velden staan de modelinstellingen die met de gekozen bekledingstype corresponderen. In dit voorbeeld is dat "Steen (zuilen)": a = 1, b = 0,4, c = 0,8.

I.2.3**Stap 3: berekenen golfcondities voor bekledingen**

In dit voorbeeld worden berekeningen uitgevoerd voor bekledingstype "Breuksteen (normale golfsteilheid)" (met a = 1,0, b = 0,67 en c = 1,1), een waterstand van NAP+1,0 m en een terugkeertijd van 10.000 jaar. Voor de terugkeertijd 10.000 jaar is de bijbehorende beta-waarde gelijk aan 3,71901648545568.

- Maak een nieuwe map (in dit voorbeeld C:\Voorbeeld_bekledingen\) met de volgende bestanden erin:
 - Map "HydraRing" (met alle bestanden erin)
 - Map "WBI2017_IJsselmeer_7-2_v02" (met alle bestanden erin)
 - iniHydraRing.ini
 - 1.sql
 - Map "Resultaten" (leeg)
- De inhoud van het bestand iniHydraRing.ini:

section	= 1
mechanism	= 3
alternative	= 1
layer	= 1

```

logfile           = 1.log
outputverbosity   = basic
outputtofile      = file
projectdbfilename = 1.sql
outputfilename    = designTable.txt
configdbfilename  = C:\Voorbeeld_bekledingen\HydraRing\config.sqlite
hydraulicdbfilename = C:\Voorbeeld_bekledingen\WBI2017_IJsselmeer_7-
2_v02\hlcd.sqlite
designpointOutput  = sqlite

```

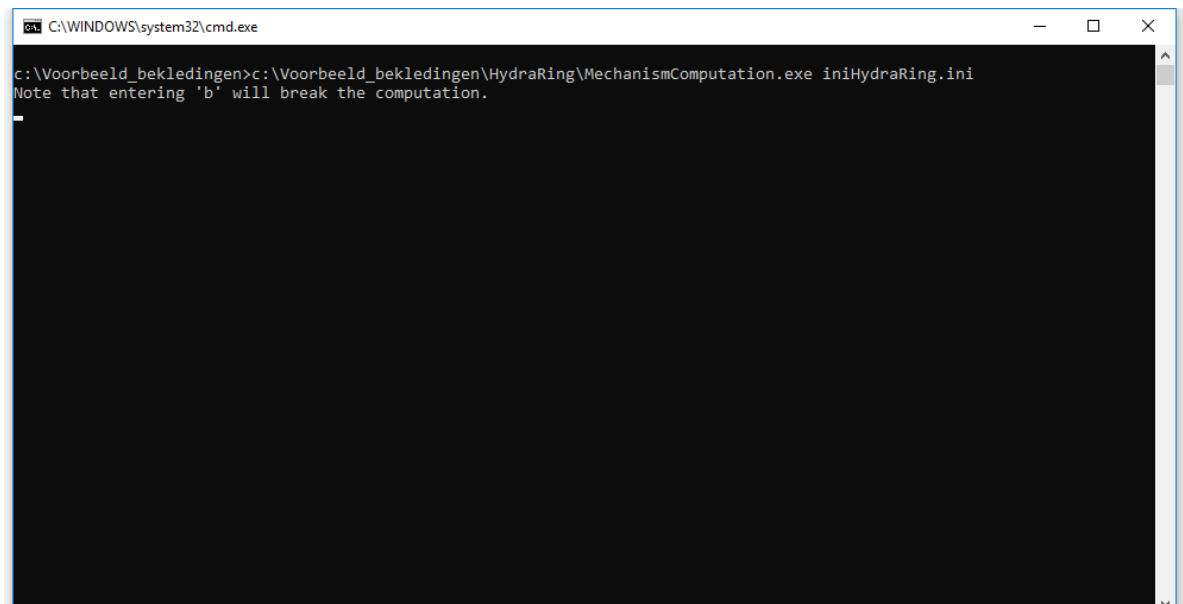
- Pas de blauw gemarkeerde velden in 1.sql respectievelijk aan (zie Bijlage B).
- Om de golfcondities te berekenen (buiten de user interface van Riskeer om) dient het volgende bat-bestand runHydraRing.bat gemaakt te worden. De inhoud van het bestand is als volgt:

```

c:\Voorbeeld_bekledingen\HydraRing\MechanismComputation.exe iniHydraRing.ini
move 1-output.sqlite Resultaten
move 1-input.txt Resultaten
move 1.log Resultaten
del *.txt
del *.sqlite

```

- Plaats het bat-bestand in dezelfde directory (in dit voorbeeld C:\Voorbeeld_bekledingen). Voer de berekeningen uit door op het bat-bestand te klikken.
- Er verschijnt dan het volgende cmd-scherm:



```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
c:\Voorbeeld_bekledingen>c:\Voorbeeld_bekledingen\HydraRing\MechanismComputation.exe iniHydraRing.ini
Note that entering 'b' will break the computation.

```

- Het scherm wordt automatisch afgesloten na het uitvoeren van de berekeningen.
- De resultaten van de berekeningen worden weggeschreven naar het bestand 1-output.sqlite (te vinden in de map "Resultaten"). Open het bestand in een applicatie voor het bewerken van sqlite bestanden (bijv. "DB Browser for SQLite"). De resultaten zijn te vinden in tabel "QVariantResults":

- Golfhoogte (H_s): kolom WaveHeight
- Golfperiode (T_p): kolom WavePeriod
- Golfrichting t.o.v. Noord: kolom WaveDirection
- Golfrichting t.o.v. dijknormaal: kolom WaveAngle

Uitkomsten van dit voorbeeld worden in de onderstaande tabel weergegeven.

Parameter	Waarde (Riskeer versie 19.1.1)
Golfhoogte H_s [m]	2.16475
Golfperiode T_p [s]	5.22937
Golfrichting t.o.v. [Noord $^\circ$]	258.996
Golfrichting t.o.v. [dijknormaal $^\circ$]	-11.0042

- Merk op dat de berekeningen meerdere malen aangeroepen kunnen worden, door het bat-bestand uit te breiden (zie hieronder). De ini-bestanden bevatten in dit geval telkens nieuwe gegevens (en verwijzing naar andere sql-bestanden).

```
c:\Voorbeeld_bekledingen\HydraRing\MechanismComputation.exe iniHydraRing_1.ini
move 1-output.sqlite Resultaten_1
move 1-input.sqlite Resultaten_1
move 1.log Resultaten_1
del *.txt
del *.sqlite

c:\Voorbeeld_bekledingen\HydraRing\MechanismComputation.exe iniHydraRing_2.ini
move 1-output.sqlite Resultaten_2
move 1-input.sqlite Resultaten_2
move 1.log Resultaten_2
del *.txt
del *.sqlite
```

Bijlage i: Inhoud ini-bestand

Voor gevallen zonder het preprocessor sluitregime database:

```
section                = 1
mechanism              = 3
alternative            = 1
layer                 = 1
logfile               = 1.log
outputverbosity       = basic
outputtofile          = file
projectdbfilename     = 1.sql
outputfilename        = designTable.txt
configdbfilename      = pad naar het bestand\HydraRing\config.sqlite
hydraulicdbfilename   = pad naar het bestand\hlcd.sqlite
designpointOutput      = sqlite
```

Voor gevallen met het preprocessor sluitregime database:

```
section                = 1
mechanism              = 3
alternative            = 1
layer                 = 1
logfile               = 1.log
outputverbosity       = basic
outputtofile          = file
projectdbfilename     = 1.sql
outputfilename        = designTable.txt
configdbfilename      = pad naar het bestand\HydraRing\config.sqlite
hydraulicdbfilename   = pad naar het bestand\hlcd.sqlite
PreprocessorClosingDbFilename = pad naar het bestand\hlcd_preprocClosure.sqlite
designpointOutput      = sqlite
```

Bijlage ii: Inhoud 1.sql-bestand

```
DELETE FROM [HydraulicModels];
INSERT INTO [HydraulicModels] VALUES (1, 1, 'WTI 2017');

DELETE FROM [Sections];
INSERT INTO [Sections] VALUES (1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 700052, 700052, 100, 270, 0);

DELETE FROM [SectionCalculationSchemes];
INSERT INTO [SectionCalculationSchemes] VALUES (1, 3, 1);

DELETE FROM [DesignTables];
INSERT INTO [DesignTables] VALUES (1, 3, 1, 1, 8, 114, 0, 0, 0, 0, 10, 50,
3.40293283538533);

DELETE FROM [PreprocessorSettings];

DELETE FROM [Numerics];
INSERT INTO [Numerics] VALUES (1, 3, 1, 1, 5, 4, 8, 150, 0.15000001, 0.005, 0.005, 0.005,
2, 3, 3000, 20000, 0.1, -6, 6, 25);

DELETE FROM [VariableDatas];
INSERT INTO [VariableDatas] VALUES (1, 3, 1, 1, 113, 0.4, 0, 0, NULL, NULL, NULL, 1, 0,
300);
INSERT INTO [VariableDatas] VALUES (1, 3, 1, 1, 114, 1, 0, 0, NULL, NULL, NULL, 1, 0,
300);
INSERT INTO [VariableDatas] VALUES (1, 3, 1, 1, 115, 1, 0, 0, NULL, NULL, NULL, 1, 0,
300);
INSERT INTO [VariableDatas] VALUES (1, 3, 1, 1, 116, 0.4, 0, 0, NULL, NULL, NULL, 1, 0,
300);
INSERT INTO [VariableDatas] VALUES (1, 3, 1, 1, 119, 0.8, 0, 0, NULL, NULL, NULL, 1, 0,
300);

DELETE FROM [CalculationProfiles];

DELETE FROM [SectionFaultTreeModels];
INSERT INTO [SectionFaultTreeModels] VALUES (1, 3, 1, 1, 6);

DELETE FROM [SectionSubMechanismModels];
INSERT INTO [SectionSubMechanismModels] VALUES (1, 1, 1, 5, 71);

DELETE FROM [Fetches];

DELETE FROM [AreaPoints];

DELETE FROM [PresentationSections];

DELETE FROM [Profiles];

DELETE FROM [ForelandModels];
```



```
DELETE FROM [Forelands];

DELETE FROM [ProbabilityAlternatives];

DELETE FROM [SetUpHeights];

DELETE FROM [CalcWindDirections];

DELETE FROM [Swells];

DELETE FROM [WaveReductions];

DELETE FROM [Areas];
INSERT INTO [Areas] VALUES (1, '1', 'Nederland');

DELETE FROM [Projects];
INSERT INTO [Projects] VALUES (1, 'BOI', 'Riskeer calculation');

DELETE FROM [Breakwaters];
```

Bijlage iii: Omrekenen terugkeertijd naar betrouwbaarheidsindex

Het omrekenen van een terugkeertijd (T) naar betrouwbaarheidsindex (beta) kan bijv. in Microsoft Excel of in Python worden gedaan. Hieronder volgen twee voorbeelden voor de terugkeertijd 1.000 jaar.

Omrekenen T naar beta met behulp van Microsoft Excel (gebruik functie NORM.INV)

A	B	C	D	E	F
	Terugkeertijd	Betrouwbaarheidsindex			
	1000	<code>=NORM.INV(1/B4;0;1)</code>			
		NORM.INV(probability; mean; standard_dev)			

A	B	C	D
	Terugkeertijd	Betrouwbaarheidsindex	
	1000	3.0902323061678	

Omrekenen T naar beta met behulp van Python

```
1
2 from scipy.special import ndtri
3
4 terugkeertijd = 1000.0
5 betrouwbaarheidsindex = -ndtri(1/terugkeertijd)
6
```

Merk op dat de betrouwbaarheidsindexen berekend met Microsoft Excel en Python in de laatste getallen na de komma kunnen verschillen. Dat heeft te maken met verschillen in de functies die in de beide applicaties, voor het berekenen van de standaard normale verdeling, worden gebruikt. Omdat de verschillen pas in de laatste getallen voorkomen, maakt de keuze voor gebruik voor Microsoft Excel of Python niet uit.

J Casus scheef invallende golven gras golfklapzone

J.1 Beschrijving casus

Deze casus heeft betrekking op een *gedetailleerde toets* van het toetsspoor *Grasbekleding erosie buitentalud* (GEBU) voor het op het buitentalud van de Grebbedijk aanwezige gras. De Grebbedijk, tussen Wageningen en Rhenen, is onderdeel van normtraject 45-1 (de signaleringswaarde en ondergrens zijn respectievelijk 1/100.000 en 1/30.000 per jaar) en biedt bescherming tegen het water van de Nederrijn. Voor het uitwerken van deze casus is gekozen voor een profiel ter plaatse van dijkpaal 5 in dijkvak 0-11, met een oriëntatie van 170° t.o.v. Noord. De locatie van dit profiel is met een rode stip in het figuur hieronder weergegeven. Het dichtstbijzijnde uitvoerpunt in HB-database WBI2017_Bovenrijn_45-1_v04 is uitvoerpunt 045-01_0006_1_NR_km0901.



Figuur J.1 Locatie profiel Grebbedijk nabij Wageningen (AHN-viewer)

Op het buitentalud (1:3,5) van de Grebbedijk ter plaatse van dijkpaal 5 ligt van de buitenteen (NAP +7,90 m) tot aan de buitenkruin (NAP +12,50 m) gras met een open zode.

In deze casus wordt het gras beoordeeld met een hydraulische belasting op peildatum (2023) behorende bij een terugkeertijd getalsmatig gelijk aan categorie IIIv (600.000 jaar). De waterstand behorende bij deze categorie is NAP +12,39 m. Gelet op het niveau van de buitenteen ligt het gras op het buitentalud in de golfklapzone en dient een golfklapberekening gemaakt te worden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van BM – Gras Buitentalud (v19.1.1.8444).

J.2 Invoer golfklapberekening

Voor de golfklapberekening met BM – Gras Buitentalud worden de volgende gegevens gebruikt:

- *Delta Z*. Conform Tabel 6.2 van deze schematiseringshandleiding wordt een vaste waarde van 0,1 m gebruikt.

- *Coefficient a.* Conform Tabel 6.2 van deze schematiseringshandleiding wordt voor een open zode een vaste waarde van 0,8 m gebruikt.
- *Coefficient b.* Conform Tabel 6.2 van deze schematiseringshandleiding wordt voor een open zode een vaste waarde van $-0,07 \text{ u}^{-1}$ gebruikt.
- *Coefficient c.* Conform Tabel 6.2 van deze schematiseringshandleiding wordt voor een open zode een vaste waarde van 0,25 m gebruikt.
- *Min. significante golfhoogte.* Is conform Tabel 6.2 van deze schematiseringshandleiding gelijk aan coefficient c.
- *Max. significante golfhoogte.* Is conform Tabel 6.2 van deze schematiseringshandleiding gelijk aan coefficient a+c.
- *Min. waterstand.* Volgt uit waterstandsverloop. Zie hieronder.
- *Max. waterstand.* Volgt uit waterstandsverloop. Zie hieronder.
- *Zandgehalte.* Voor de casus wordt uitgegaan van 70%
NB: Een zandgehalte $\leq 70\%$ heeft geen invloed op de faalfractie.
- *Dikte kleilaag + gras.* Voor de casus wordt uitgegaan van 0,5 m.
NB: Een dikte groter dan 0,5 m heeft geen invloed op de faalfractie.
- *Zgrass, min.* Is gelijk aan het niveau van de buitenteen.
- *Zgrass, max.* Is gelijk aan het niveau van de buitenkruin.
- *Hydraulisch belastingtype.* Conform Tabel 6.2 van deze schematiseringshandleiding wordt een synthetische storm gekozen.
- *Delta T.* Conform Tabel 6.2 van deze schematiseringshandleiding wordt een vaste waarde van 0,25 uur gebruikt.
- *Q-variant.* De golfcondities per waterstandsniveau bij categorie IIIv zijn bepaald met Hydra-NL (v2.7¹⁹) in de "Beoordelingsmodus" en weergegeven in Tabel J.1²⁰.

Tabel J.1 Golfcondities voor gras in de golfklapzone (T = 600.000 jaar). S is de belastingfunctie.

Waterstand [m+NAP]	S [-]	H _s [m]	Golfrichting [° t.o.v. Noord]	Golfinval [°]
8,96	1,26	0,73	225	55
9,46	1,78	0,89	225	55
9,96	2,35	1,04	225	55
10,46	2,91	1,12	225	55
10,96	2,54	1,01	225	55
11,46	1,89	0,86	225	55
11,96	0,99	0,53	225	55
12,39	0,06	0,27	225	55

Voor de *gedetailleerde toets* op erosie door golfklappen wordt alleen de golfhoogte per waterstandsniveau gebruikt.

- *Waterstandsverloop.* Conform paragraaf 0 van deze schematiseringshandleiding wordt voor het waterstandsverloop voor het watersysteem Bovenrivieren gedurende een periode van 12 uur een stagnante golfconditie bij een stagnant waterpeil aangehouden te worden. Omdat voor elke golfconditie van 12 uur een stagnant peil wordt aangehouden is de waterstand met de hoogste golfhoogte in de

¹⁹ Dit is inmiddels een oudere versie van Hydra-NL. Momenteel is Hydra-NL v2.8.2 het meest recent maar een opvolger Hydra-NL v2.8.4 is in voorbereiding.

²⁰ De golfcondities kunnen middels een workaround ook worden bepaald met Ringtoets/ Riskeer (zie bijlage I).

zone waar daadwerkelijk gras ligt maatgevend. In dit geval is bij een waterstand van NAP +10,46 m de golfhoogte het grootst. Het volgende waterstandsverloop wordt dan ook in BM – Gras Buitentalud ingevoerd.

Tabel J.2 Waterstandsverloop

Tijd [uur]	Waterstand [m+NAP]
0,00	10,46
12,00	10,46

J.3 Gedetailleerde toets

Met de uit de vorige paragraaf gegevens is met BM – Gras Buitentalud in de “WBI-modus” een *gedetailleerde toets* uitgevoerd. Voor de golfklapberekening wordt een faalfractie van 5,359 (veiligheidsfactor = 0,187) gevonden. Omdat de faalfractie groter is dan 1,0 wordt niet voldaan voor golfcondities bij categorie III_v. Opgemerkt wordt dat de veiligheidsfactor 0 is als de kleilaag niet wordt meegenomen (*dikte kleilaag + gras* is 0,2 m).

Indien sprake was van een gesloten zode²¹ zou ook niet worden voldaan voor golfcondities bij categorie III_v: de faalfractie is dan wel kleiner (4,317), maar nog altijd groter dan 1,0. Als de kleilaag niet wordt meegenomen is de veiligheidsfactor 0.

Uit Tabel J.1 blijkt dat sprake is van zeer scheve golfaanval. Er is daarom een *toets op maat* uitgevoerd waarbij de invloed van de hoek van golfval in rekening is gebracht.

J.4 Toets op maat

In de voor het uitvoeren van de golfklapberekening gebruikte versie van BM – Gras Buitentalud kan in de “Test/expert modus” rekening worden gehouden met de hoek van golfval bij bepalen van de faalfractie/ veiligheidsfactor. In tegenstelling tot de WBI-modus dient de gebruiker hiertoe ook de dijknormaal en de golfrichting in te voeren.

Conform [1] is bij het bepalen van de golfcondities voor de *toets op maat* rekening gehouden met de invloed van scheve golfaanval door in de formule voor de belastingfunctie *S* voor gras in de golfklapzone met $c = 0,67$ te rekenen (default wordt voor c een waarde van 0 gebruikt). De waarde van c kan vooralsnog alleen met Hydra-NL (v2.7 en hoger) bepaald worden door te kiezen voor het bekledingstype “Grasmat golfklapzone (invloed golfvalshoek voor ToM)”. In onderstaande tabel zijn de golfcondities per waterstandsniveau met de aangepaste waarde voor c weergegeven. Aangezien de maximale golfhoogte nog steeds bij een waterstand van NAP +10,46 m wordt gevonden is voor het bepalen van de faalfractie cq veiligheidsfactor met BM – Gras Buitentalud hetzelfde waterstandsverloop als in Tabel J.2 gebruikt.

²¹ Conform **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** wordt voor coëfficiënt a en coëfficiënt b een waarde van respectievelijk 1,0 m en $-0,035 \text{ u}^{-1}$ gebruikt.

Tabel J.3 Golfcondities voor gras in de golfklapzone met $c = 0,67$ ($T = 600.000$ jaar)

Waterstand [m+NAP]	S [-]	H _s [m]	Golfrichting [° t.o.v. Noord]	Golfinval [°]
8,96	0,91	0,75	225	55
9,46	1,28	0,92	225	55
9,96	1,69	1,08	225	55
10,46	2,11	1,23	225	55
10,96	1,88	0,92	202,5	32,5
11,46	1,43	0,71	202,5	32,5
11,96	0,75	0,46	202,5	32,5
12,37	0,00	0,27	225	55

Met BM – Gras Buitentalud in de modus ‘Test/Expert’ wordt een faalfractie van 2,508 (veiligheidsfactor = 0,399) gevonden. Hoewel nog steeds niet wordt voldaan voor golfcondities bij categorie IIIv, is door rekening te houden met de hoek van golfinval, de faalfractie wel gehalveerd. Opgemerkt wordt dat bij een open zode de veiligheidsfactor 0 is als de kleilaag niet wordt meegenomen.

Indien sprake zou zijn van een gesloten zode wordt wel voldaan voor golfcondities bij categorie IIIv: de faalfractie is dan 0,652 (veiligheidsfactor 1,534). Als de kleilaag niet wordt meegenomen is de faalfractie ook nog steeds kleiner dan 1,0 (0,833).

Het meenemen van de hoek van golfinval heeft voor deze casus, in geval van een gesloten zode, dus grote invloed op het resultaat van de uitgevoerde beoordeling: waar bij de *gedetailleerde toets* niet werd voldaan voor golfcondities bij categorie IIIv, wordt bij een *toets op maat* wel voldaan.

J.5 Literatuur

- [1] *Invloed hoek van golfaanval op graserosie op dijken*. Deltares rapport 11203720-017-GEO-0001, juli 2019.

K Casus afnemende golfhoogte bij toenemende waterstand

K.1 Beschrijving casus

Deze casus heeft betrekking op een *gedetailleerde toets* van het toetsspoor *Grasbekleding erosie buitentalud* (GEBU) voor de op het buitentalud van de Wieringermeerdijk aanwezige grasbekledingen. De Wieringermeerdijk is onderdeel van normtraject 12-2 (de signaleringswaarde en ondergrens zijn respectievelijk 1/3.000 en 1/1.000 per jaar) en biedt bescherming tegen het water van het IJsselmeer.

Voor het uitwerken van deze casus is een fictief profiel gekozen met een oriëntatie van 65° t.o.v. Noord. Voor het bepalen van de hydraulische belastingen is gebruik gemaakt van uitvoerpunt YM-1_12-2_1_dk_00022 uit HB-database WBI2017_IJsselmeer_12-2_v02.

Vanaf de teenbestorting is op het buitentalud van de Wieringermeerdijk ($\tan \alpha = 0,33$) een steenzettingsconstructie tot NAP +2,40 m toegepast. Daarboven ligt tot aan de buitenkruin (NAP +3,60 m) een gesloten grasbekleding.

In deze casus wordt voor de grasbekleding een analyse van de belasting en sterkte met BM – Gras Buitentalud (v21.1.1) uitgevoerd. De belasting (waterstand en golfcondities) is met Hydra-NL (v2.8.2) bepaald bij een terugkeertijd getalsmatig gelijk aan categorie IIv (120.000 jaar). De waterstand behorende bij deze categorie is NAP +1,78 m. Gelet op het niveau van de onderrand van de grasbekleding ligt de grasbekleding bij deze categorie in de golfoploopzone. De golfcondities per waterstandsniveau bij deze categorie voor het type 'Grasmat oploopzone' zijn weergegeven in Tabel K-1.

Tabel K-1: Golfcondities voor het type 'Grasmat oploopzone' ($T = 120.000$ jaar)

Waterstand [m+NAP]	S [-]	H _s [m]	T _{m-1,0} * [s]	β [° t.o.v. Noord]
-0,5	23,36	1,57	4,45	64,0
0,0	29,03	1,77	4,71	65,2
0,5	33,3	1,71	5,21	65,6
1,0	26,00	1,49	4,89	66,0
1,5	6,17	0,86	2,91	67,0
1,77	1,06	0,56	1,84	67,3

*Hydra-NL geeft als resultaat de piekperiode T_p [s]. Voor de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ is deze T_p gedeeld door 1,1.

Uit de berekende golfcondities per waterstandsniveau blijkt dat bij toenemende waterstand de golfhoogte afneemt. Uit de illustratiepunten van de verschillende berekeningen blijkt ook dat bij de hogere waterstanden het meerpeil hoog is en de windsnelheid afneemt (zie Tabel K-2). Bij de hogere waterstanden is dus niet meer de windsnelheid (snelle stochast) bepalend, maar het meerpeil (trage stochast).

Tabel K-2: Windrichting r , meerpeil en windsnelheid u voor verschillende waterstanden in hoofdillustratiepunt bij berekende S en T = 3.000 jaar

Waterstand [m+NAP]	r	IJsselmeerpeil [m+NAP]	u [m/s]
-0,5	ONO	-0,14	23,9
0,0	ONO	-0,14	20,3
0,5	ONO	-0,16	21,2
1,0	ONO	0,40	20,9
1,5	ONO	1,25	11,0
1,77	ONO	1,57	6,9

Bij de analyse van de belasting en sterkte wordt een standaard waterstandsverloop gehanteerd (zie deze handleiding). Gelet op het feit dat bij toenemende waterstand de golfhoogte afneemt leidt de met BM – Gras Buitentalud uitgevoerde analyse mogelijk niet tot het gewenste resultaat (het stormverloop dat gehanteerd wordt is immers niet realistisch).

Zoals aangegeven in Hoofdstuk 7 worden met BM – Gras Buitentalud twee berekeningen uitgevoerd. Bij de eerste berekening wordt de normale werkwijze gehanteerd om de veiligheidsfactor SF te bepalen. Bij de tweede berekening wordt voor verschillende waterstanden (NAP, NAP +0,5 m; NAP +1,0; NAP +1,5 m; en NAP +1,77 m) een analyse uitgevoerd en wordt de maatgevende (minimale) SF bepaald. Beide veiligheidsfactoren worden vervolgens met elkaar vergeleken om na te gaan of met het minder realistische verloop van de golfhoogte tijdens de storm een wezenlijk ander resultaat wordt verkregen.

K.2 Invoer BM – Gras Buitentalud

In het blad 'Oploop' worden de evaluatiehoogte (NAP +2,40 m) en de kritische stroomsnelheid U_c voor een gesloten zode (6,6 m/s) ingevoerd:

In het blad 'Geometrie' wordt de dijknormaal (65° t.o.v. Noord) en het profiel (zie tabel hieronder) ingevoerd. Merk op dat geen rekening wordt gehouden met de ruwheid van de steenzetting.

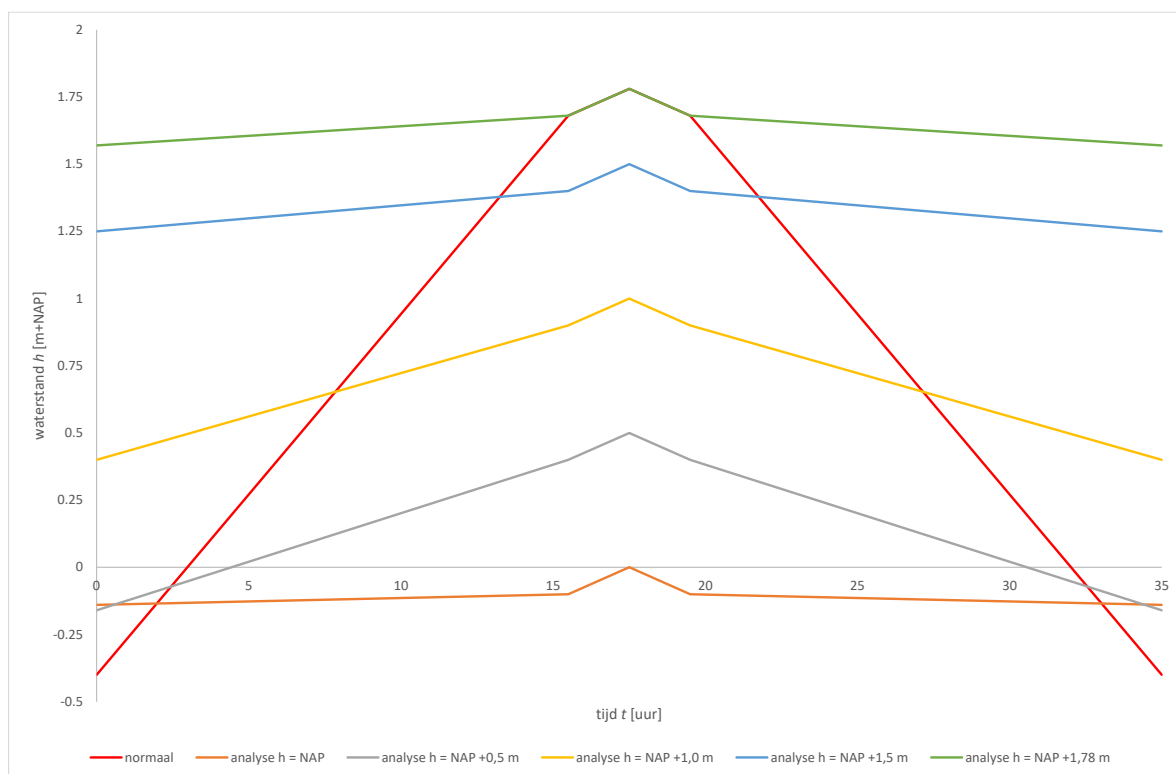
Tabel K-3: Profiel 'Geometrie'

Segment	X begin [m]	Z begin [m+NAP]	X eind [m]	Z eind [m+NAP]	Ruwheid
1	0,00	-10,00	40,80	3,60	1,00

In het blad 'Hydraulische belasting' wordt het waterstandsverloop en de golfcondities ingevoerd:

- *Waterstandsverloop*. Bij de analyse wordt gebruik gemaakt van het standaard waterstandsverloop voor het IJsselmeer. In Figuur K-1 zijn de gebruikte verlopen voor zowel de normale als aangepaste werkwijze weergegeven. Merk op dat bij de aangepaste werkwijze meerdere berekeningen worden gemaakt. Bij deze berekeningen worden verschillende waterstandsverlopen gebruikt waarbij de top van het waterstandsverloop gelijk is aan de bij de analyse gebruikte waterstand.
- *Golfcondities*. Voor de normale werkwijze worden per waterstandsniveau de golfcondities zoals weergegeven in Tabel K-1 ingevoerd. Voor de analyse bij de verschillende waterstanden zijn voor iedere waterstand de golfcondities gelijk aan de golfcondities

behorende bij het waterstandsniveau waarvoor de analyse wordt uitgevoerd. Gedurende de hele storm zijn de golfcondities dus constant.



Figuur K-1: Waterstandsverlopen gebruikt bij analyse. Het rode verloop is het bij de normale werkwijze gebruikte waterstandsverloop. De verlopen met de andere kleuren zijn gebruikt bij de aangepaste werkwijze.

K.3

Resultaten analyse

In onderstaande tabel is het resultaat van de analyse voor het toetsspoor GEBU weergegeven.

Tabel K-4: Resultaat analyse voor golfcondities bij categorie IIv

Analyse	SF [-]	Score
normaal	0,940	voldoet niet
h = NAP	0,614	voldoet niet
h = NAP + 0,5 m	0,379	voldoet niet
h = NAP + 1,0 m	0,947	voldoet niet
h = NAP + 1,5 m	10,000	voldoet
h = NAP + 1,78 m	10,000	voldoet

Met de normale werkwijze wordt voor de grasbekleding een veiligheidsfactor kleiner dan 1,0 gevonden. Met de analyse per waterstand is de minimale veiligheidsfactor 0,379 (bij een voor de analyse gebruikte waterstand van NAP + 0,5 m). Hoewel met een minder realistisch verloop de veiligheidsfactor veel groter is, heeft dit geen gevolgen voor de score (in beide gevallen is de veiligheidsfactor kleiner dan 1,0) en is ook een analyse met golfcondities bij categorie IIIv (T = 40.000 jaar) noodzakelijk om tot een oordeel te komen. Er kan dan ook worden geconcludeerd dat voor golfcondities bij categorie IIv een minder realistisch verloop van de golfhoogte tijdens de storm geen andere score voor het toetsspoor GEBU oplevert. Merk op dat voor golfcondities

bij categorie IIIv het resultaat van de analyse anders kan zijn en dat mogelijk alsnog expertkennis aangewend moet worden over het werkelijk te hanteren stormverloop.