



Schematiseringshandleiding grasbekleding

WBI 2017

Datum 17 april 2018
Status Definitief

- De volgende wijzigingen zijn doorgevoerd ten opzichte van versie 2.0:
- Paragraaf 6.4.2: vergelijking relatieve dichtheid kleilaag was onjuist en is aangepast.
 - Tabel 6.1 is aangepast. Er is o.a. meer duiding aan de begrippen schaling, het aantal te gebruiken golven bij schaling en synthetische storm gegeven.
 - RisKeer levert bij het bepalen van de golfcondities de piekperiode. Het erosiemodel voor golfoploop maakt gebruik van de spectrale golfperiode. In tabel 6.1 is opgenomen hoe uit de piekperiode de spectrale periode kan worden berekend.
 - De beschrijving kwalificatie doorworteling is aangescherpt.
 - Paragraaf 6.5.5 "Belasting bekledingen" is hernoemd tot "Golfcondities". In deze paragraaf zijn enkele tekstuele aanpassingen doorgevoerd.
 - Tabel 6.4 is aangepast
 - Figuur 6.1 is aangepast. In vorige versie SH was piek 2 uur. Dit is overeenkomstig beoordeling asfaltbekleding en steenzetting gewijzigd in 4 uur. Tevens is een omschrijving van peil A en peil B opgenomen.
 - Voor het watersysteem Bovenrivieren en afvoer gedomineerde gebieden in het watersysteem Benedenrivieren is beschreven welke constante waterstand moet worden gebruikt.
 - Voor het bepalen van de golfhoogteklasse bij de keuze voor de verwachtingswaarde en standaardafwijking van het kritisch overslagdebiet is een alternatieve aanpak opgenomen.
 - Tabel 6.6 is aangepast. Waarden verwachtingswaarde en standaardafwijking kritisch overslagdebiet zijn nu gegeven in $m^3/s/m'$ (eenheid is nu dus gelijk aan eenheid in RisKeer).
 - Voorbeelden voor toetssporen GEBU en GEKB zijn toegevoegd als bijlage. Voorbeeld toetsspoor GABI is verplaatst naar bijlage.

Colofon

Uitgegeven door	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Informatie	Helpdesk Water, www.helpdeskwater.nl
Contact	helpdeskwater@rws.nl
Uitgevoerd door	Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving
Datum	April 2018
Status	Definitief
Versienummer	3.0

Inhoud

Schematiseringshandleidingen en WBI 9

1 Inleiding Schematiseringshandleiding grasbekleding 11

- 1.1 Uitgangspunten 11
- 1.2 Opbouw 12

2 Stappenplan 15

3 Belastinggevallen 17

- 3.1 Afschuiven bekleding buitentalud 17
- 3.2 Erosie buitentalud 17
- 3.3 Afschuiven bekleding binnentalud 18
- 3.4 Erosie kruin en binnentalud 19

4 Vakindeling 23

- 4.1 Inleiding 23
- 4.2 Afschuiven bekleding buitentalud 23
- 4.3 Erosie buitentalud 24
- 4.4 Afschuiven bekleding binnentalud 25
- 4.5 Erosie kruin en binnentalud 25

5 Schematisering per vak 27

- 5.1 Afschuiven bekleding buitentalud 27
- 5.2 Erosie buitentalud 28
- 5.3 Afschuiven bekleding binnentalud 29
 - 5.3.1 Karakterisering van de dijkopbouw en ondergrond 29
 - 5.3.2 Geohydrologische karakterisering 30
 - 5.3.3 Geotechnische schematisering 32
- 5.4 Erosie kruin en binnentalud 33

6 Parameters 35

- 6.1 Inleiding 35
- 6.2 Veiligheidseisen 35
- 6.3 Geometrie van de dijk 35
- 6.4 Afschuiven bekleding buitentalud 37
 - 6.4.1 Kernmateriaal 37
 - 6.4.2 Dikte en onderwatergewicht kleibekleding buitentalud 37
 - 6.4.3 Significante golfhoogte 38
- 6.5 Erosie buitentalud 38
 - 6.5.1 Graskwaliteit 40
 - 6.5.2 Significante golfhoogte bij faalkanseis bij doorsnede 43
 - 6.5.3 Waterstand bij doorsnede-eis 43
 - 6.5.4 Waterstandverloop 43
 - 6.5.5 Belasting bekledingen 47
 - 6.5.6 Zandgehalte in kleilaag 48
 - 6.5.7 Dikte kleilaag 48
- 6.6 Afschuiven bekleding binnentalud 48
 - 6.6.1 Golfoverslagdebiet 48
 - 6.6.2 Type dijk 49
 - 6.6.3 Kleikwaliteit 49
 - 6.6.4 Dikte en gewicht kleibekleding binnentalud 51

- 6.6.5 Doorlatendheid kleibekleding 51
- 6.6.6 Doorlatendheid zandkern 53
- 6.6.7 Doorlatendheid ondergrond 54
- 6.6.8 Grondwaterstand binnenteen ten opzichte van teenniveau (h-z)54
- 6.6.9 Wrijvingseigenschappen klei en zand 57
- 6.7 Erosie kruin en binnentalud 58
 - 6.7.1 Kleilaagdikte 59
 - 6.7.2 Significante golfhoogte 59
 - 6.7.3 Graskwaliteit60
 - 6.7.4 Gemiddelde en standaardafwijking kritisch overslagdebiet 60

7 61

A Literatuur63

B Voorbeeldfoto's graszode 65

- B.1 Gesloten zode 65
- B.2 Open zode 66
- B.3 Fragmentarische zode 67
- B.4 Steken van een plag68

C N_{dsn} -waarden voor het toetspootrasbekleding erosie kruin en binnentalud.71

D Formules voor het toetspootrasbekleding afschuiven binnentalud 77

- D.1 Kleidijk77
- D.2 Zanddijk met kleibekleding 78
 - D.2.1 Opdrukken van de kleibekleding 80
 - D.2.2 Uitspoelen van zand door een kleibekleding 83
 - D.2.3 Afschuiven van de kleibekleding 87
- D.3 Zanddijk talud boven water 89
- D.4 Zanddijk talud onder water 91

E Schema werkwijze beoordeling grasbekleding 93

- E.1 Toelichting op het schema werkwijze beoordeling 93
- E.2 Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU) 94
- E.3 Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU) 94
 - E.3.1 Activiteit 'data verzamelen' 94
 - E.3.2 Activiteit 'schematiseren' 94
 - E.3.3 Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen' 95
 - E.3.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel' 95
 - E.3.5 Activiteit 'analyseren' 95
 - E.3.6 Toelichting bij de referenties 96
- E.4 Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU) 96
- E.5 Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU) 96
 - E.5.1 Activiteit 'data verzamelen' 96
 - E.5.2 Activiteit 'schematiseren' 96
 - E.5.3 Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen' 97
 - E.5.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel' 97
 - E.5.5 Activiteit 'analyseren' 97
 - E.5.6 Toelichting bij de referenties 97
- E.6 Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB) 98
- E.7 Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)98

- E.7.1 Activiteit 'data verzamelen' 98
- E.7.2 Activiteit 'schematiseren' 98
- E.7.3 Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen' 99
- E.7.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel' 99
- E.7.5 Activiteit 'analyseren' 99
- E.7.6 Toelichting bij de referenties 99
- E.8 Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI) 100
- E.9 Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI) 100
 - E.9.1 Activiteit 'data verzamelen' 100
 - E.9.2 Activiteit 'schematiseren' 100
 - E.9.3 Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen' 101
 - E.9.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel' 101
 - E.9.5 Activiteit 'analyseren' 101
 - E.9.6 Toelichting bij de referenties 102
- E.10 Referenties 103

F Case GEBU en GEKB Waddenzeedijk 104

- F.1 Algemene informatie 104
- F.2 Beoordeling GEKB Grasbekleding Erosie Kruin en Binnentalud 106
 - F.2.1 Stap G.1 gedetailleerde toets per vak GEKB. 106
 - F.2.2 Stap G.2 gedetailleerde toets per vak GEKB 111
 - F.2.3 Toets op maat bij golfhoogte hoger dan 3 m 112
- F.3 GEBU Gras Erosie Buitentalud 112
 - F.3.1 Eenvoudige toets GEBU 112
 - F.3.2 Gedetailleerde toets per vak GEBU 113
- F.4 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 verdere toetsing zinvol is en een eventuele toets op maat. Referenties 119

G Case GEBU IJsseldelta 120

- G.1 Algemene informatie 120
- G.2 Beoordeling GEKB 121
 - G.2.1 Stap G.1 gedetailleerde toets per vak GEKB 121
 - G.2.2 Stap G.2 gedetailleerde toets per vak GEKB 125
- G.3 GEBU126
 - G.3.1 Eenvoudige toets GEBU 126
 - G.3.2 Gedetailleerde toets per vak GEBU 127
- G.4 Referenties 132

H Case GABI Waddenzee 133

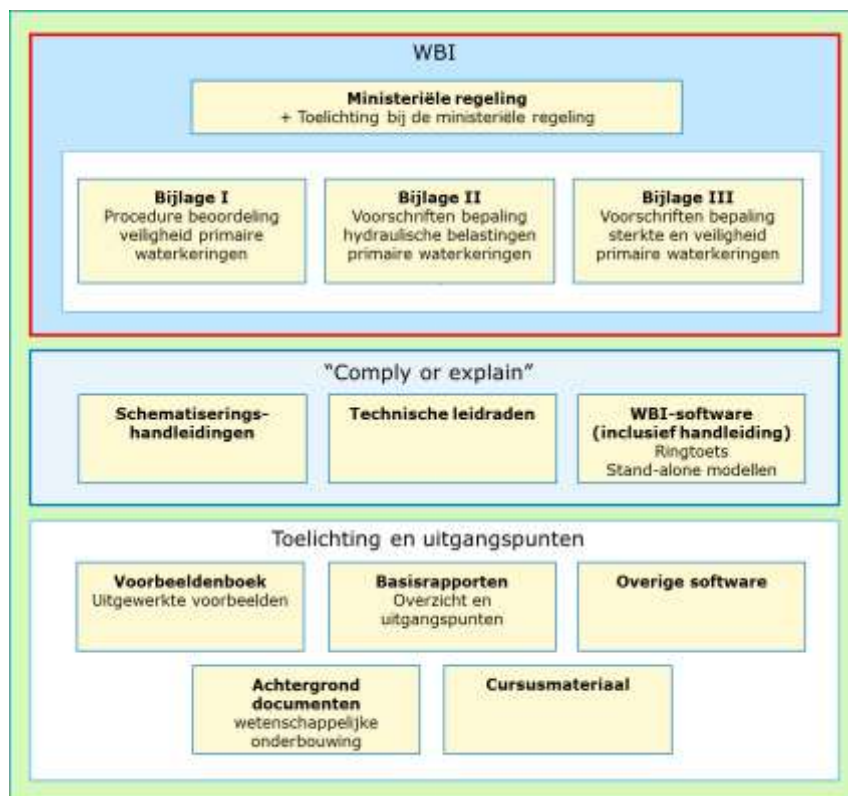
- H.1 Dijkopbouw en geometrie 133
- H.2 De eenvoudige toets 133
- H.3 De gedetailleerde toets 134
 - H.3.1 Geohydrologische schematisering 134
 - H.3.2 Verhoging freatisch vlak door hoge buitenwaterstand 135
 - H.3.3 Verhoging freatisch vlak door golfoverslag 136

Schematiseringshandleidingen en WBI

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

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

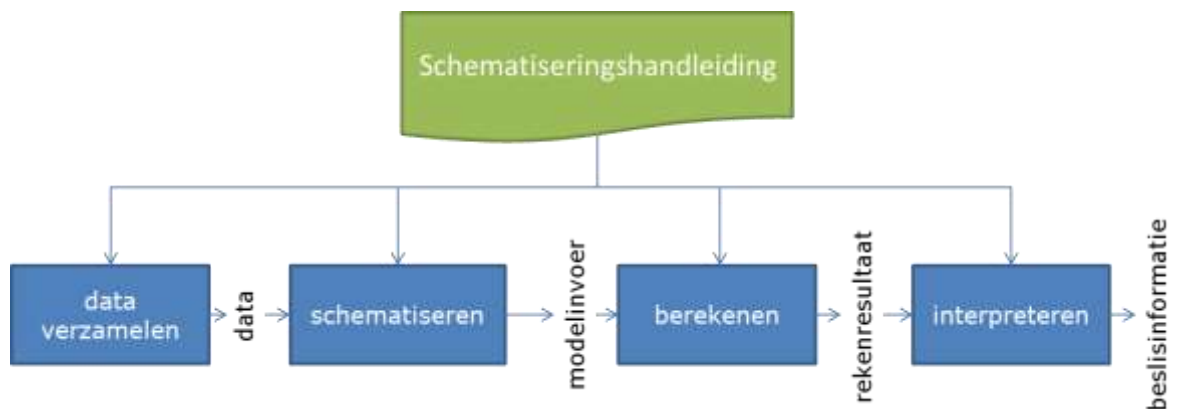
Het WBI bevat de voorschriften voor het uitvoeren van de beoordeling. In deze voorschriften wordt verwezen naar een aantal documenten en applicaties die de beheerder moet gebruiken bij het uitvoeren van de beoordeling, waaronder de schematiseringshandleidingen en de WBI software. Een overzicht van de structuur van het WBI en de daaraan gerelateerde documenten staat in Figuur 1.1.



Figuur 1.1 Het WBI 2017 en daaraan gerelateerde documenten

Doel

Het uitvoeren van een toets (eenvoudige toets, gedetailleerde toets per vak of toets op maat) voor het beoordelen van primaire waterkeringen bestaat op hoofdlijnen uit vier activiteiten, zie Figuur 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, maar kunnen ook kennis en ervaring betreffen. Bij het schematiseren speelt de beschikbare hoeveelheid gegevens en de kwaliteit ervan een grote rol. Bij weinig gegevens is de schematisering grof of globaal en met een grote onzekerheid. Naarmate er meer en betere gegevens beschikbaar zijn, wordt de schematisering fijner en preciezer.

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

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

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

Uitgangspunten

Voor alle schematiseringshandleidingen gelden de volgende uitgangspunten:

- Voor de gegevens die in het rekenmodel voor het toetsspoor worden ingevoerd wordt een format voorgeschreven. Het format sluit aan bij de Aquo standaard. Verdere informatie hierover is te vinden in de Handleiding datamanagement WBI [8].
- Deze schematiseringshandleiding ondersteunt gebruikers in het omzetten van (veld)gegevens naar de juiste rekenparameters en goede schematiseringen die in de beoordelingsmethoden kunnen worden toegepast.
- Deze schematiseringshandleiding geeft tevens aanwijzingen voor default waarden die voor parameters aangehouden kunnen worden als meetgegevens niet aanwezig zijn.

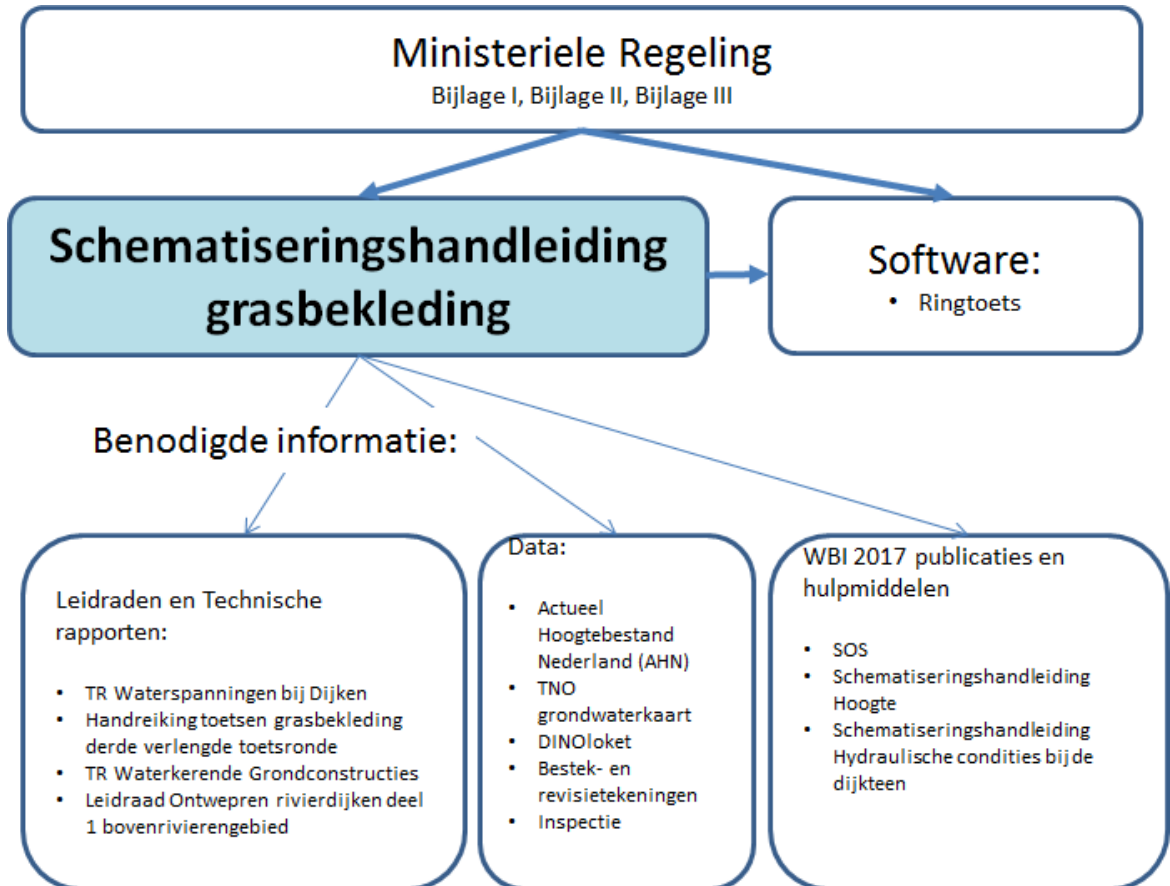
Doelgroep

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

1 Inleiding Schematiseringshandleiding grasbekleding

1.1 Uitgangspunten

De positie van de Schematiseringshandleiding grasbekleding ten opzichte van de overige bouwstenen is in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 1-1 De positie van de Schematiseringshandleiding grasbekleding ten opzichte van de overige bouwstenen

Voor deze schematiseringshandleiding grasbekleding gelden de volgende uitgangspunten:

- Het toetsspoor met betrekking tot afschuiven van de grasbekleding van het binnentalud bij golfoverslag (GABI) en het toetsspoor microstabiliteit (STMI) zijn nauw aan elkaar verwant. Indien er geen overslag van betekenis is (rekenwaarde bij de norm is kleiner of gelijk aan $0,1 \text{ l/s/m}'$ ($1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s/m}'$ 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 norm groter is dan $0,1 \text{ l/s/m}'$ ($1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s/m}'$ in SI eenheden) wordt alleen het toetsspoor GABI doorlopen.
- Een hulpmiddel voor het genereren van de synthetische stormcondities wordt via de Helpdesk Water beschikbaar gesteld. De synthetische stormconditie wordt opgebouwd uit een reeks van waterstanden tegen de tijd en een los hiervan afgeleide reeks van waterstand en golfcondities. Omdat het waterstandsverloop en de golfcondities los van elkaar worden gegenereerd wordt het een synthetische, ofwel onnatuurlijke, stormconditie genoemd.

- Ook voor het rekenen met de formules voor de controle op instabiliteit van de bekleding van het binnentalud bij golfoverslag wordt via de Helpdesk Water een hulpmiddel ter beschikking gesteld.

1.2

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

Het *stappenplan in hoofdstuk 2* vormt de basis van de schematiseringshandleiding. Dit stappenschema geeft een overzicht van de te volgen stappen voor het schematiseren. Per stap wordt een verwijzing gegeven naar een paragraaf of hoofdstuk van deze schematiseringshandleiding waarin dit verder wordt uitgewerkt. Dit 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 is zijn voorbeelden voor de toetssporen GEBU, GEKB en GABI gegeven.

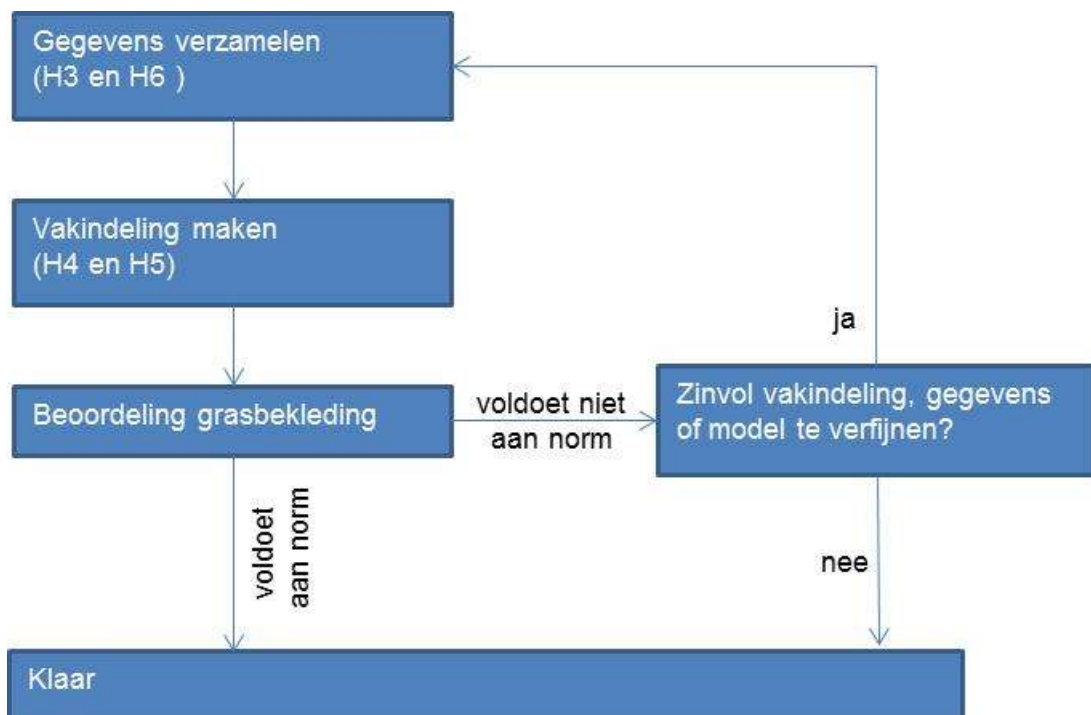
2 Stappenplan

De beoordeling van de grasbekleding omvat vier toetsporen:

- Grasbekleding afschuiven buitentalud GABU
- Grasbekleding erosie buitentalud GEBU
- Grasbekleding afschuiven binnentalud GABI
- Grasbekleding erosie kruin en binnentalud GEKB

Het is ook van belang te onderkennen dat afhankelijk van het overslagdebiet het toetspoot GABI of de toets op Microstabiliteit binnentalud uitgevoerd moet worden (zie ook Schematiseringshandleiding Microstabiliteit).

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



Figuur 2.1 Schema voor cyclisch proces van gegevens inwinnen

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*.

Daarna kan het van nut zijn om vakken te verfijnen aan de hand van nader ingewonnen gegevens.

In stap drie wordt met de verzamelde gegevens een modelschematisering gemaakt, waarmee een 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 het 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 voor alle dijkvakken een oordeel kan worden geveld.

3 Belastinggevallen

3.1 Afschuiven bekleding buitentalud

Het afschuiven van de 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 golfstergtertrekking heerst er een ongunstig buitenwaarts gericht verhang over de kleilaag, waardoor deze kan opdrukken en/of afschuiven. Afschuiven kan plaatsvinden in de golfklapzone, het taluddeel tussen de waterstand bij norm en het waterstandsniveau met een kans van overschrijden van 1/10 per jaar. Dit waterstandsniveau wordt via de [website van Rijkswaterstaat](#) beschikbaar gesteld

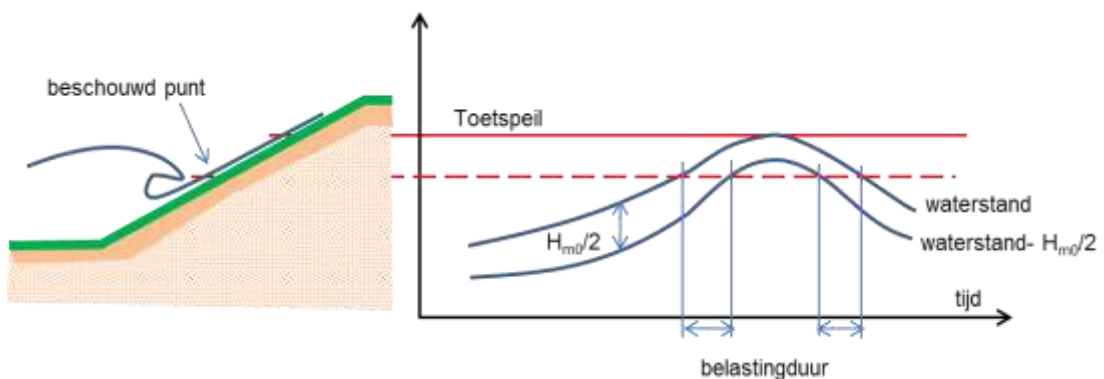
Het rekenmodel voor de *gedetailleerde toets* is een empirische rekenregel, waarin de dikte en het gewicht van de kleilaag, de taludhelling en de significante golfhoogte staan. De beoordeling wordt semi-probabilistisch uitgevoerd. De rekenwaarde van de significante golfhoogte wordt beschikbaar gesteld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

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 toetsvormen.

3.2 Erosie buitentalud

Erosie van de grasbekleding op het buitentalud kan optreden als gevolg van golfklappen of als gevolg van golfploop. Een dijk met een grasbekleding in zowel de golfklapzone als in de golfploopzone, wordt alleen beoordeeld op golfklappen, omdat de klapbelasting altijd eerst tot falen van de bekleding zal leiden. Alleen bij dijken waar de golfklapzone wordt beschermd door een ander type bekleding met daarboven een grasbekleding wordt de grasbekleding 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.



Figuur 3.1 Belastingduur golfklapbelasting, voor H_{m0} zie paragraaf 6.5.2

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

De rekenwaarden van de belastingen wordt via Riskeer beschikbaar gesteld¹. 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 voorland en/of havendam(men).

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 overstromen van het achterland en/of deze worden gedekt door de 30% faalkansruimte voor overige toetssporen.

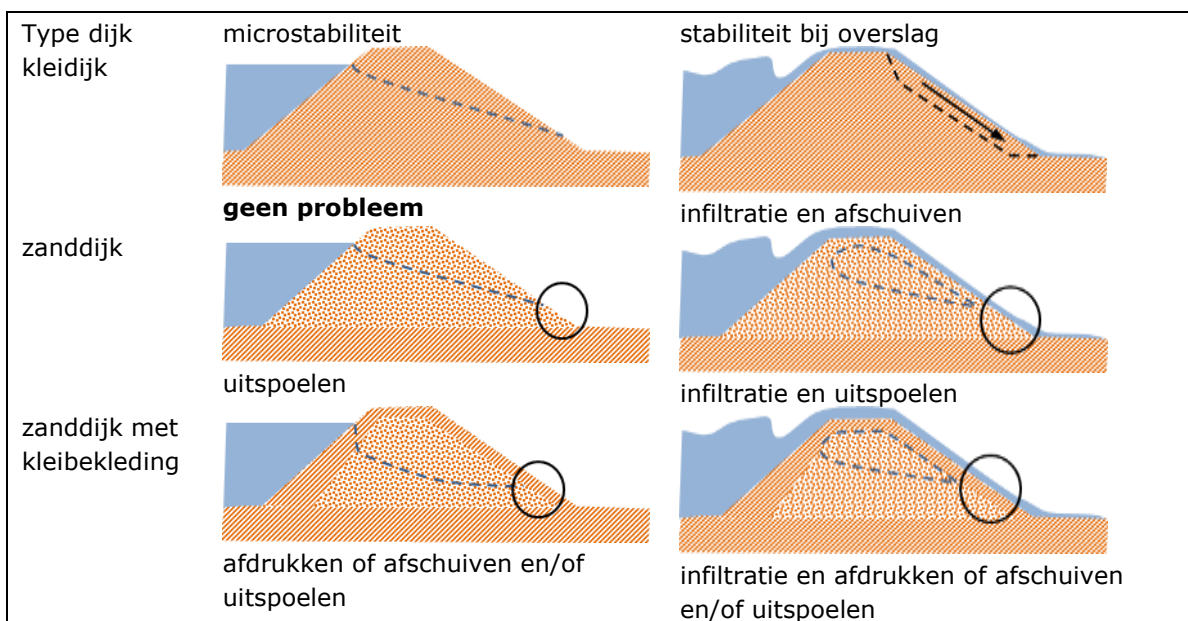
3.3 **Afschuiven bekleding binnentalud**

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 met golfoverslag of overloop. Als er geen sprake is van golfoverslag of overloop, dan wordt de stabiliteit van de bekleding beoordeeld onder het spoor microstabiliteit, zie Figuur 3.2.

Er wordt gerekend met een rekenwaarde van de belasting, die per te controleren doorsnede in een dijkvak wordt bepaald. De belasting wordt gekarakteriseerd door een buitenwaterstand, een overslagdebiet en de golfcondities in het illustratiepunt, of door het optreden van overloop bij een waterstand die hoger is dan de kruinhoogte. Bij een meer gedetailleerde beoordeling, binnen de *gedetailleerde toets*, kan ook het waterstandsverloop worden meegenomen. De hydraulische belastingen worden met Riskeer bepaald.

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

¹ *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 en niet bij de norm zoals beschreven in Bijlage III.*



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 maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid is een maat voor de belasting bij golfoverslag. Bij overloop, bij een waterstand hoger dan de kruin, wordt niet gekeken naar de optredende stroomsnelheid. In Riskeer 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/m' bij een hoge waterstand en kleine golven geeft een heel andere verdeling van overslagvolumes dan 10 l/s/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 voorland en/of havendam(men).

Andere belastingen dan golfoverslag en overloop worden niet beschouwd. Aangenomen wordt dat andere belastingen geen significante extra bijdrage leveren aan de kans op overstroom

van het achterland en/of deze worden gedekt door de 30% faalkansruimte voor overige toetsporen.

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 toetsporen 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 beheerdersgrenzen 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:

- Ligt 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 Riskeer beschikbaar wordt gesteld. Als de kleilaagdikte groter is dan de significante golfhoogte dan volgt het oordeel 'voldoende'. 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 Riskeer 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 meer 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 ertussen 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 golfploopzone.
- Significante golfhoogte kleiner of groter dan 0,25 m.
- 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 voldoen aan de norm als er voldoende reststerkte aanwezig is.

Voor de beoordeling is ook van belang of er een grasbekleding in de golfklapzone aanwezig is. Als dit het geval is, dan hoeft alleen te worden beoordeeld op golfklappen, omdat deze belasting veel groter is dan de golfploopbelasting.

Een derde aandachtspunt is de golfhoogte die via Riskeer beschikbaar wordt gesteld. De weerstand van de grasbekleding tegen erosie, uitgedrukt in een standtijd, bij een significante golfhoogte van 0,25 m of kleiner is 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 in teveel detail. Langs een dijkstrekking met min of meer dezelfde oriëntatie en geometrie zal weinig variatie in de golfhoogte hebben. 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 kan worden goedgekeurd.

Dijkvakken met een grasbekleding in de golfklapzone worden beoordeeld met een erosiemodel dat alleen mag worden toegepast als de taludhelling flauwer is of gelijk is aan 1:2,5. Steilere taluds kunnen alleen in een *toets op maat* worden beoordeeld. Dijkvakken met alleen een grasbekleding in de golfploopzone hebben geen modeltoepasbaarheidsrestrictie ten aanzien van de taludhelling, maar het 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 golfploop 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/m' ($1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$ in SI eenheden) is een grenswaarde bij de beoordeling van dit toetsspoor. Voor het maken van de dijkvakindeling moeten op representatieve plekken, afhankelijk van dijk oriëntatie, geometrie van het buitentalud en de dijkhoogte berekeningen worden gemaakt van het overslagdebiet bij de norm. 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 [14] en bijlage D). De kleilaagdikte kan binnen de *gedetailleerde toets* eveneens worden gebruikt voor het maken van een sub-indeling van een dijkvak.

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 binnentalud kleilaagdikte.

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*.

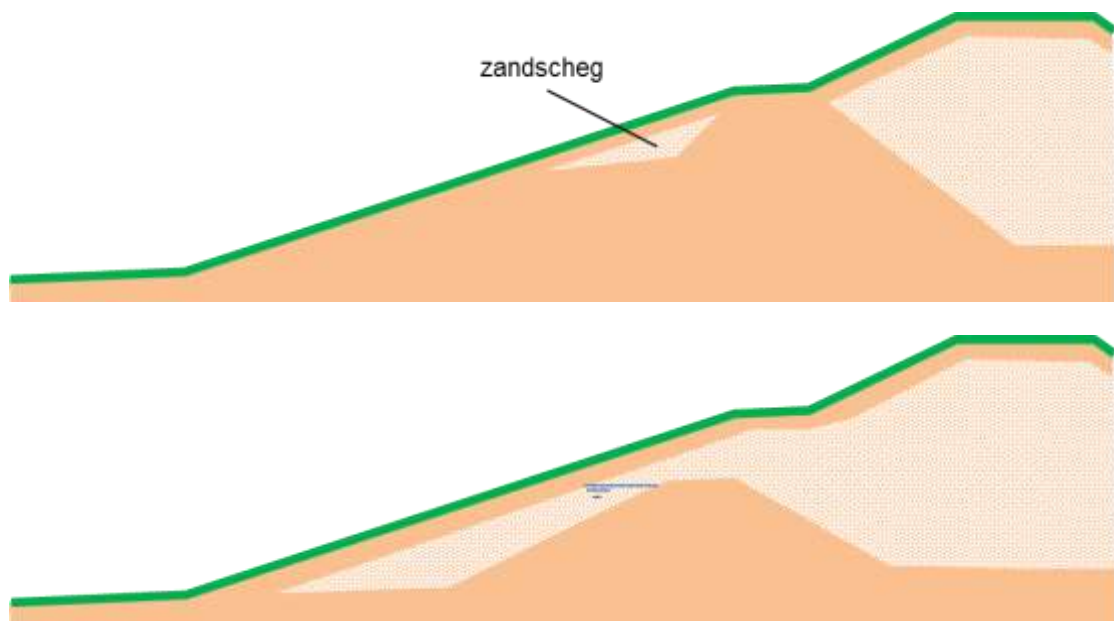
Zanddijken en zanddijken met een heel dunne kleibekleding, dunner dan 0,4 m, zijn gevoeliger voor erosie dan kleidijken en zanddijken met een dikkere kleibekleding, ondanks de aanwezigheid van een graszode. Ook de taludhelling is hierbij van belang. Zanddijken met een binnentalud steiler dan 1:4 en zanddijken 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 toetspoor.

5.1 Afschuiven bekleding buitentalud

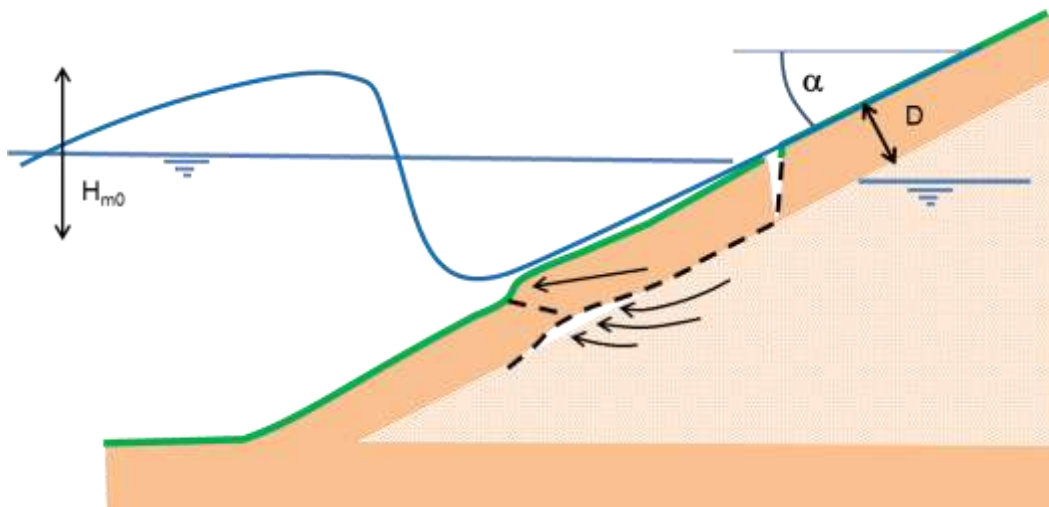
Voor de *eenvoudige toets* is voor de schematisering alleen het onderkennen van een zandscheg of zandinsluiting van belang. Die kan voorkomen als bij een versterking een oude kleidijk is overlaagd door een zandlichaam met kleibekleding (Figuur 5.1).



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.



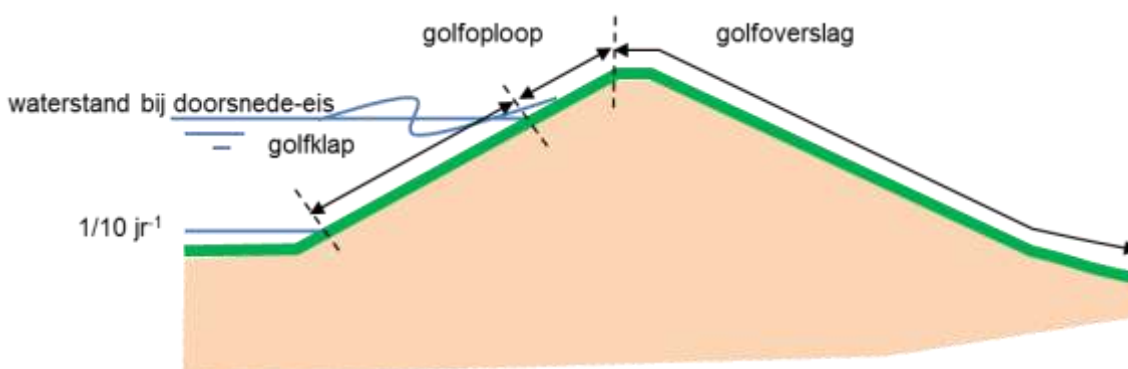
Figuur 5.2 Schematisering afschuiving bekleding buitentalud

Alleen het bekledingdeel onder de waterstand bij de norm 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 norm liggen, in dat geval moet het taluddeel onder de berm worden geschematiseerd.

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 niveau van de waterlijn in deze figuur correspondeert met de waterstand bij doorsnede-eis voor het toetsspoor GEBU.



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

het talud. Voor de schematisering van het talud voor deze berekeningen wordt verwezen naar de Schematiseringshandleiding hoogte [18].

In zowel de golfklap- als golfploopzone 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 default 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.

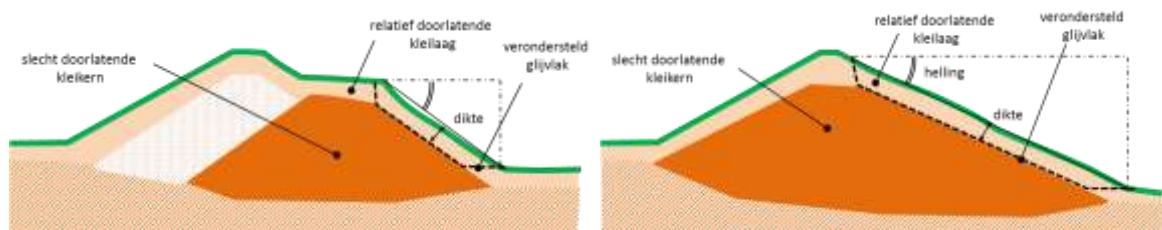
Globale werkwijze bij schematiseren betreft vier stappen, om te komen tot één te beoordelen dwarsprofiel per dijkvak:

- 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 [14] 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 is 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 bij 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. In de praktijk komt dit niet vaak voor.

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 doorlatend worden geschematiseerd om deze eventueel later, na onderzoek naar de werkelijke doorlatendheid, wel 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 $0,1 \text{ l/s/m'}$ ($1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s/m'}$ in SI eenheden), zullen de macroporiën in de bekleding snel verzadigen [9], 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-GeoStability, 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.

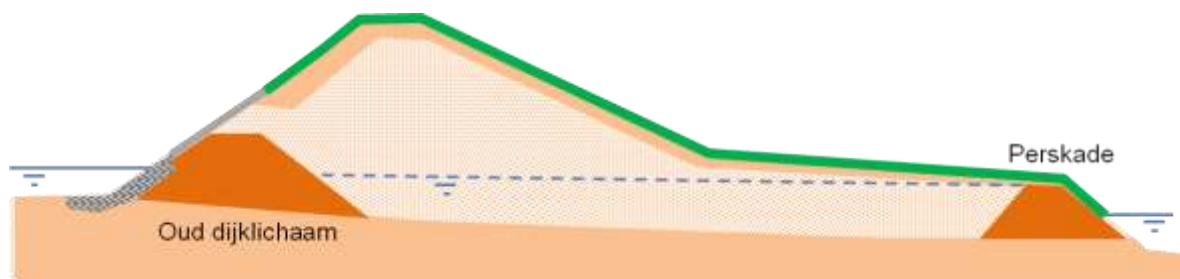
Zanddijken

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 [15]. Onderstaand worden enkele aandachtspunten gegeven toegespitst op het mechanisme afschuiven van de bekleding bij golfoverslag. Opgemerkt wordt dat in [15] 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 [10] 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 waterstand bij de norm 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 [9] 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 vermenigvuldigen met een correctiefactor Cr [5].

De formule voor de correctiefactor Cr is:

$$Cr = d^{D/L}$$

Waarin:

L	Lengte van het talud [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

$$c' \geq (\gamma_n - \gamma_w) \cdot D \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi', \text{ waarin:}$$

c'	Effectieve cohesie [kPa].
ϕ'	Effectieve hoek van inwendige wrijving [°].
γ_n	Verzadigd gewicht van de afschuivende grondlaag [kN/m ³].
γ_w	Gewicht water [kN/m ³].

De schematisering van de geotechnische parameters (gewicht en wrijvingseigenschappen) richten 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.

Enkele aandachtspunten 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. Vermijdt details, maar ga uit van de gemiddelde taludhelling over een lengte van circa 2 m of meer.
- Dijken met een lange berm en een teensloot kunnen problemen met micro-instabiliteit hebben aan het einde van de berm, in het algemeen aan de slootkant. De stabiliteit van de slootkanten zijn echter niet van belang voor de veiligheid, omdat het proces van het begin van micro-instabiliteit tot aan falen van de waterkering lang duurt en er maatregelen kunnen worden getroffen.

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(men) te worden geschematiseerd (zie hiervoor de Schematiseringshandleiding hoogte [18] en Schematiseringshandleiding hydraulische condities bij de dijkteen [19]).

De sterkte van de grasbekleding wordt gekarakteriseerd door een kansverdeling van het kritisch overslagdebiet. Het gemiddelde en de standaardafwijking van de 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 faalkanseis per 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} Norm van het dijktraject [1/jaar]

ω Faalkansruimte voor het betreffende toetsspoor [-]

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

Voor de faalkansruimte geldt voor de toetssporen:

Toetsspoor	ω [-]
Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)	0,24
Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)	0,05
Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU)	Geen eigen faalkansruimte
Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI)	Geen eigen faalkansruimte

De waarden voor N_{dsn} voor grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB) zijn opgenomen in bijlage C.

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 golfoplopberekeningen waarvoor wordt verwezen naar de Schematiseringshandleidingen hoogte [18] en Schematiseringshandleiding hydraulische belasting bij de dijkteen [19].

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 toetsperiode gebaseerd op recente metingen. Als binnen de toetsperiode van 12 jaar 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 toetsperiode. 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 Schematiseringshandleiding hoogte [18].

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. Buitendijks moet het dwarsprofiel voldoende lang zijn om tegemoet te komen aan de profielvereisten voor het uitvoeren van een golfploopberekening, zie Schematiseringshandleiding hoogte [18]. 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 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.

- o 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 norm 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

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 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 dijkttype te combineren met gevraagde kennis 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 $(\Delta d)_{\text{kleilaag}}$ [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/m^3) en ρ_w de soortelijke massa van het water (kg/m^3).

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 5110/ 5111).

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 bij norm*

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 rekenwaarde van de golfhoogte wordt via Riskeer beschikbaar gesteld.

6.5 **Erosie buitentalud**

In deze paragraaf worden de parameters beschreven voor de beoordeling van het faalmechanisme erosie grasbekledingen buitentalud. Omdat in de software module Gras buitentalud meer parameters worden gevraagd dan benodigd voor de gedetailleerde beoordeling is tabel 6.1 opgenomen. Hierin staat voor de extra parameters een default waarde die in de gedetailleerde beoordeling moet worden aangehouden. In een toets op maat kunnen deze eventueel worden aangepast.

Tabel 6.1 Parameterlijst erosie buitentalud

Parameter	Symbool (eenheid)	Bron
Eenvoudige beoordeling		
Significante golfhoogte bij doorsnede-eis	H_{m0} (m)	Paragraaf 6.5.2; Riskeer
Waterstand bij doorsnede-eis	- (m NAP)	Paragraaf Fout! Verwijzingsbron niet gevonden. ; Riskeer
Hoogte kleikern	- (m NAP)	Paragraaf 6.4.1
Graskwaliteit	- (gesloten, open, fragmentarisch-)	Paragraaf 6.5.1
Helling buitentalud	- (graden)	Paragraaf 6.3
Gedetailleerde beoordeling		
Parameters software Gras Buitentalud - Oloop		
Niveau onderzijde grasbekleding in de golfoploopzone (evaluatiehoogte)	Z_{eval} (m NAP)	
Coëfficiënt voor berekening oploopsnelheid en oploophoogte van de golven	c_u (-)	Defaultwaarde (1,1)
Valversnelling	g (m/s ²)	Defaultwaarde (9,81)
Optie 'Gebruik schaling'	- (false, true)	Default aangevinkt. Schaling zorgt voor een nauwkeurig en herhaalbaar resultaat, ook als het aantal golven in een beschouwd tijdsinterval relatief klein is

Aantal golven bij schaling	Nfixed (-)	Defaultwaarde (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	Uc (m/s)	Paragraaf 6.5.1
Kritische cumulatieve overbelasting	D _{crit} (m ² /s ²)	Defaultwaarde (7.000)
Coëfficiënt voor verhogen belasting bij overgangen en objecten	Alpha M (-)	Defaultwaarde (1). Overgangen en objecten worden niet meegenomen.
Coëfficiënt voor verlagen sterkte bij overgangen en objecten	Alpha S (-)	Defaultwaarde (1). Overgangen en objecten worden niet meegenomen.
Dijknormaal t.o.v. Noord	- (graden)	Paragraaf 6.3; Schematiseringshandleiding hoogte [18]
Geometrie lijnstukken voor schematisering oplopberekening: X begin (m) , Y begin (m NAP), X eind (m), Y eind (m NAP)	- (-)	Paragraaf 6.3; Schematiseringshandleiding hoogte [18]
Ruwheid lijnstuk voor oplopberekening	- (-)	Paragraaf 6.3; Schematiseringshandleiding hoogte [18]
Hydraulische belastingtype	- (directe invoer/ synthetische storm)	Default 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)	Defaultwaarde (0,25)
Coëfficiënt omrekening gemiddelde golfperiode uit de spectrale golfperiode	Ctm-tm10 (-)	Defaultwaarde (0,92)
Waterstandverloop – tijdstappen	Tijd (aantal uur tov start hoogwater)	Paragraaf 6.5.4
Waterstandverloop – waterstand per tijdstap	Zswl (m NAP)	Paragraaf 6.5.4
Belasting bekledingen–waterstand	Zswl (m NAP)	Riskeer; Bijlage II Hydraulische Belastingen
Belasting bekledingen – Significante golfhoogte per waterstand	H _{m0} (m)	Riskeer; Bijlage II Hydraulische Belastingen
Belasting bekledingen – Spectrale golfperiode per waterstand	T _{m-1,0} (s)	Riskeer; Bijlage II Hydraulische Belastingen. Riskeer levert de piekperiode. De benodigde T _{m-1,0} wordt verkregen door deling door de default waarde van 1,1.
Belasting bekledingen – Golfrichting bij waterstand	θ (graden tov Noord)	Riskeer; Bijlage II Hydraulische Belastingen
Gedetailleerde beoordeling		
Parameters software Gras Buitentalud – Golfklap		
Verticale stapgrootte te beoordelen punten op het buitentalud	Delta Z (m)	Defaultwaarde (0,1)

Ondergrens significante golfhoogte in de standtijdlijn voor golfklapbeoordeling	Min. significante golfhoogte (m NAP)	Defaultwaarde (waarde coëfficiënt c); paragraaf 6.5.1
Bovengrens significante golfhoogte in de standtijdlijn voor golfklapbeoordeling	Max. significante golfhoogte (m NAP)	Defaultwaarde (waarde coëfficiënt a+c); paragraaf 6.5.1
Ondergrens waterstand waarvoor de beoordeling wordt uitgevoerd	Min. waterstand (m NAP)	Laagste waterstand uit waterstandverloop
Bovengrens waterstand waarvoor de beoordeling wordt uitgevoerd	Max. waterstand (m NAP)	Hoogste waterstand uit waterstandverloop
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: <ul style="list-style-type: none"> • Buitenteen (paragraaf 6.3). • Overgang harde bekleding – grasbekleding voor zover gelegen onder waterstand bij doorsnede-eis • Waterstand bij 1/10 jr⁻¹
Hoogste punt van de grasbekleding waarvoor de beoordeling wordt uitgevoerd	Zgrass,max (m NAP)	Bovenzijde grasbekleding begrensd door waterstand bij doorsnede-eis (paragraaf 6.5.3)
Hydraulische belastingtype	- (directe invoer/ synthetische storm)	Defaultwaarde (synthetische storm)
Tijdstap	Delta T (u)	Defaultwaarde (0,25)
Waterstandverloop – tijdstappen	Tijd (u tov start hoogwater)	Paragraaf 6.5.4
Waterstandverloop – waterstand per tijdstap	Zswl (m NAP)	Paragraaf 6.5.4
Belasting bekledingen – waterstand bij golfcondities	Zswl (m NAP)	Riskeer; Bijlage II Hydraulische Belastingen
Belasting bekledingen – Significante golfhoogte bij waterstand	H _{m0} (m)	Riskeer; Bijlage II Hydraulische Belastingen

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 6.2). 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 6.2 Rekenwaarden U_c voor erosiemodel 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 6.3). 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 6.3 Rekenwaarden a, b en c voor erosiemodel 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 [9]. 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 x 0,3 m²) 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 graszode: 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 x 0,15 m² zijn en gemiddeld over 25 m² niet meer dan 5 van zulke beschadigingen.
- open graszode: 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 grasmat 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: Taludbegroeiing 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 grasmat vormen.

Het beheer is een dominante factor voor de mate van ruwheid van een dijktaalud met grasbekleding. Een gesloten graszode vormt zich niet als het microreliëf (binnen $1/10 \text{ de m}^2$) 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 (dichte zode): Het vergt enige moeite om een intacte plag (ca. $0,25 \times 0,3 \text{ m}^2$) uiteen te trekken. De losgestoken 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 losgestoken worden met een spade (behalve als het vochtige keiige 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 A 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 toetsperiode. 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 bij doorsnede-eis*

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. De golfhoogte bij doorsnede-eis wordt gebruikt bij de *eenvoudige toets*.

Hoe te bepalen

De golfhoogte bij doorsnede-eis wordt met Riskeer bepaald Riskeer.

6.5.3 *Waterstand bij doorsnede-eis*

Wat is het

De waterstand bij doorsnede-eis is de waterstand met een jaarlijkse overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de doorsnede-eis (zie paragraaf 6.2). Deze waterstand wordt gebruikt bij zowel de *eenvoudige* als *gedetailleerde toets*. Bij de *gedetailleerde toets* wordt deze waterstand gebruikt om onderscheid tussen de golfklap- en golfploopzone 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 bij doorsnede-eis wordt met Riskeer bepaald.

6.5.4 *Waterstandverloop*

Wat is het

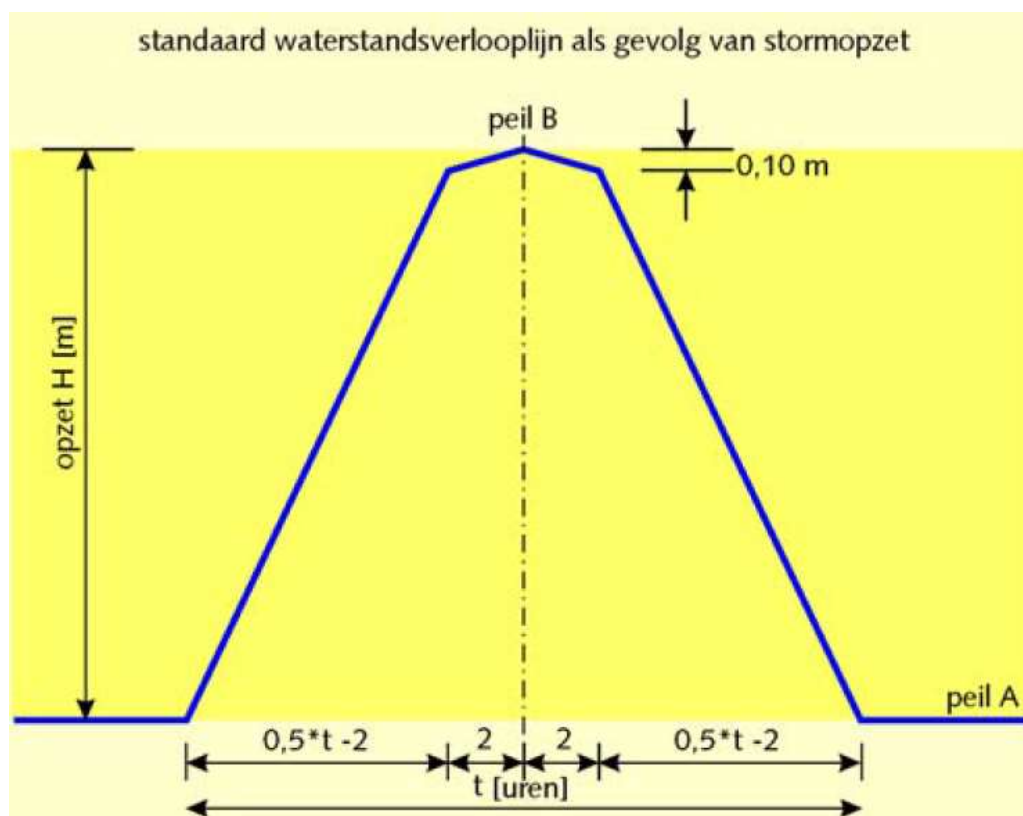
Het waterstandverloop is het verloop van de buitenwaterstand tegen de tijd welke wordt gebruikt bij de *gedetailleerde toets*. Opgemerkt wordt dat dit waterstandverloop specifiek is bedoeld voor bekledingen en anders is dan voor de beoordeling van bijvoorbeeld het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts.

Hoe te bepalen

Het waterstandsverloop wordt op dezelfde manier geschematiseerd als voor steen- en asfaltbekledingen. Dit is beschreven in paragraaf 5.3 van de documentatie van Steentoets [17]. In het algemeen wordt het verloop geschematiseerd volgens onderstaande tabel 6.4.

Tabel 6.4 Overzicht schematisering waterstandverloop

Watersysteem	Waterstandsverloop exclusief getij	
	Stormopzetduur [uur]	Stormopzetverloop
Noordzee, Westerschelde, IJsselmeer, Markermeer, Randmeren	35	Zie Figuur 6.1
Waddenzee	45	Zie Figuur 6.1
Oosterschelde	35	Belastingduur afhankelijk van waterstand: $h_{toets} - 1 < h \leq h_{toets}$: $t_{belast} = 5$ uur $h_{toets} - 2 \leq h \leq h_{toets} - 1$: $t_{belast} = 25$ uur $h_{toets} - 3 < h < h_{toets} - 2$: $t_{belast} = 20$ uur (zie [17])
Benedenrivieren, stormgedomineerd	35	Figuur 6.3
Benedenrivieren, afvoer gedomineerd	12	Constante waterstand.
Bovenrivieren	12	Constante waterstand.



Peil A = gemiddelde buitenwaterstand of streefpeil [m+NAP].

Peil B = maximale opzet [m]. Voor watersystemen waarbij sprake is van getij is de maximale opzet + getijdeamplitude gelijk aan de waterstand bij doorsnede-eis. Bij watersystemen zonder getij is de maximale opzet gelijk aan de waterstand bij doorsnede-eis.

t = stormopzetduur

Figuur 6.1 Standaard waterstandsverlooptlijn als gevolg van stormopzet.

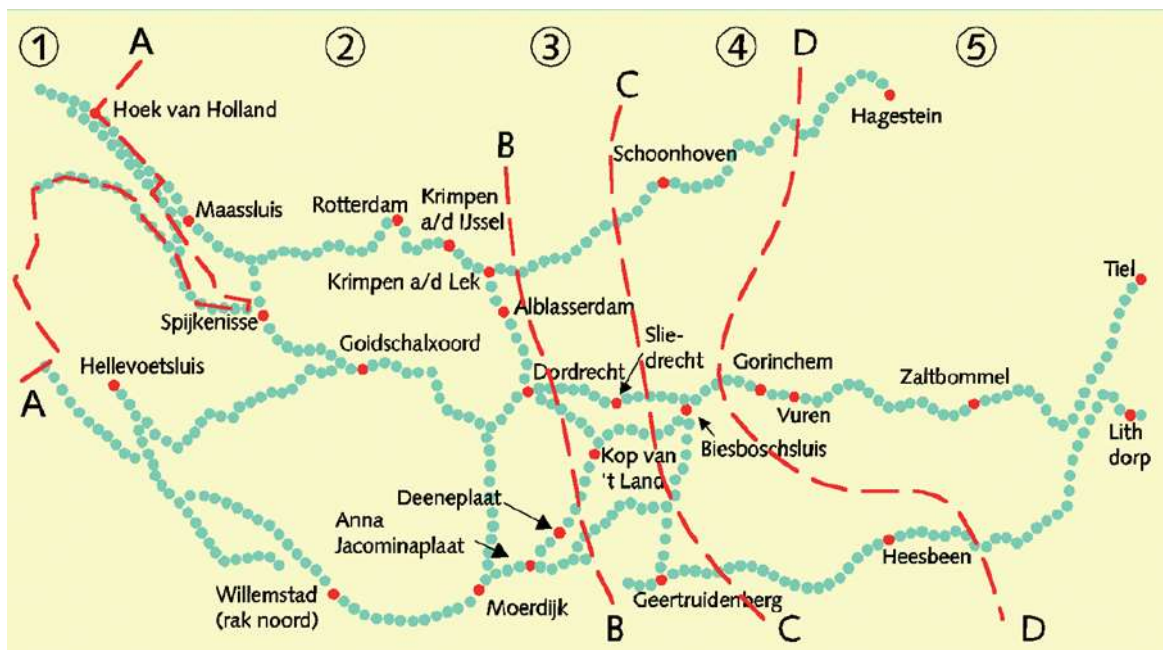
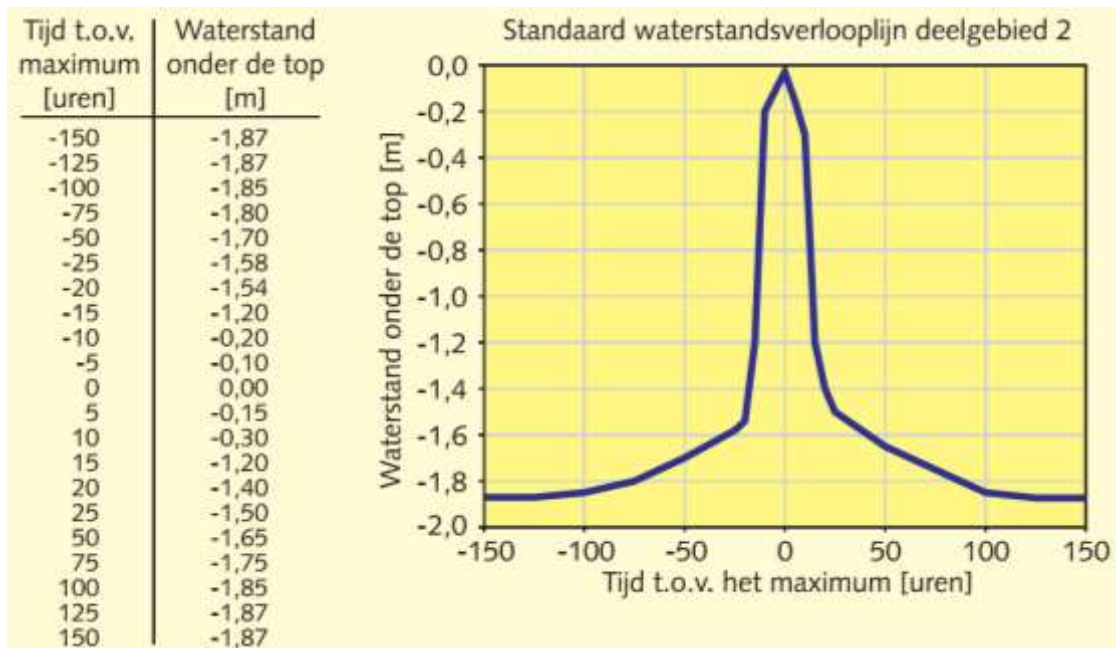


Figure 6.2 Indeling deelgebieden Benedenrivierengebied met standaard waterstandsverlooplijnen.



Figuur 6.3 Standaard waterstandsverlooplijn voor bekledingen in deelgebied 1 en 2 van het Benedenrivierengebied.

Voor het watersysteem Bovenrivieren en afvoer gedomineerde gebieden in het watersysteem Benedenrivieren dient voor het waterstandsverloop 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 zone waar daadwerkelijk gras ligt maatgevend.

6.5.5

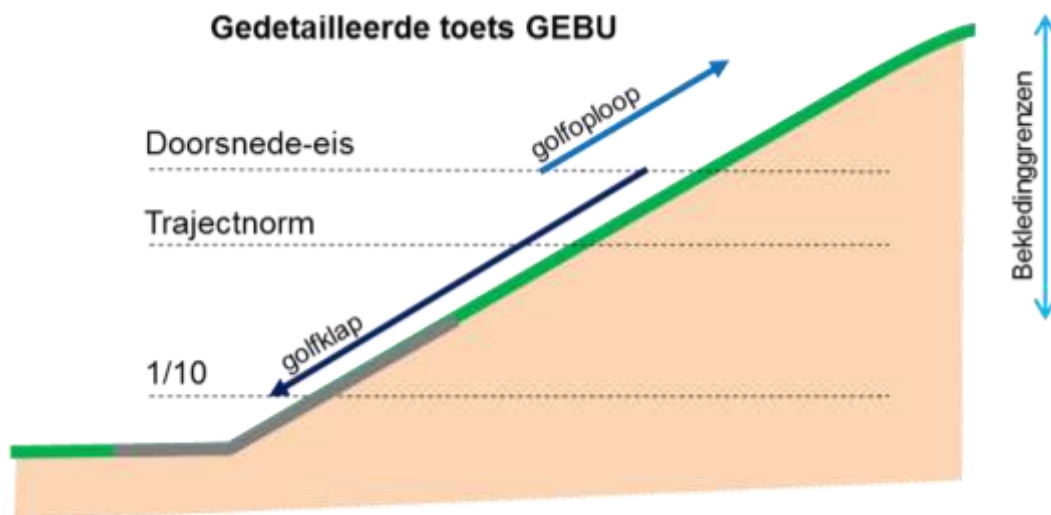
Golfcondities

Wat is het

Per waterstandsniveau worden de golfcondities (golfhoogte, -periode en -richting) voor de grasbekleding bepaald. Samen met het waterstandverloop (paragraaf 6.5.4) vormen deze golfcondities de zogenaamde 'synthetische storm' welke bij de *gedetailleerde toets* wordt gebruikt.

Hoe te bepalen

De golfcondities worden bepaald met Riskeer,. Voor het bepalen van deze condities kunnen in Riskeer een aantal grenzen en de stapgrootte worden opgegeven. Voor de grenzen en de tussenliggende waterstanden worden de golfcondities bepaald. De op te geven grenzen zijn de grenzen van de bekleding en grenzen in waterstand (Figuur 6.4). Een toelichting op de grenzen en de naamgeving hiervan in de software wordt gegeven in Tabel 6.1.



Figuur 6.4 Op te geven grenzen voor bepaling belastingen bekledingen

Voor de gedetailleerde beoordeling van erosie van gras in de oploopzone geldt dat deze als volgt worden ingevuld:

- Bovengrens van de bekleding: bovengrens van de grasbekleding, in het algemeen is dit de kruin.
- Ondergrens van de bekleding: waterstand met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan 1/10 per jaar. Hier dient niet de evaluatiehoogte gebruikt te worden, omdat bij golfoploop de golven beneden dit niveau breken, maar wel zorgen voor golfoploop boven dit niveau.
- Bovengrens waterstand: waterstand bij doorsnede-eis.
- Ondergrens waterstand: waterstand met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan 1/10 per jaar.
- Stapgrootte: hier dient 0,5 m aangehouden te worden.

Voor de gedetailleerde beoordeling van erosie van gras in de golfklapzone geldt dat deze als volgt worden ingevuld:

- Bovengrens van de bekleding: de waterstand bij doorsnede-eis of, indien het niveau van de grasbekleding in de golfklapzone beneden deze waterstand ligt, de bovengrens van de grasbekleding.
- Ondergrens van de bekleding: hoogste van onderstaande punten:

- ondergrens bekleding voor zover gelegen onder de waterstand bij doorsnede-eis.
- 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 waterstand: waterstand bij doorsnede-eis.
- Ondergrens waterstand: waterstand met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan 1/10 per jaar.
- Stapgrootte: hier dient 0,5 m aangehouden te worden.

De waterstand met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan 1/10 per jaar volgt uit kenmerkende waarden (www.rijkswaterstaat.nl/waternormalen).

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 topklaag. 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**

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/m ($1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ in SI eenheden).

Hoe te bepalen

Het overslagdebiet kan worden bepaald met Riskeer. Bij een ingewikkelde geometrie van het buitentalud kan (in een Toets op Maat) deze berekening worden aangescherpt door het uitvoeren van een berekening met PC-Overslag, 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 microstabiliteit.

- 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/m ($1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ in SI eenheden) bij een lage waterstand en een golfhoogte van 2 m geeft enkele grote overslagvolumes, terwijl hetzelfde overslagdebiet van 1 l/s/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 dijksmateriaal aan 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 dijkttype te combineren met grondonderzoek naar de dijkopbouw en bodemopbouw die nodig is voor de andere toetssporen.
- Bij het uitvoeren van grondonderzoek naar het dijkttype 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

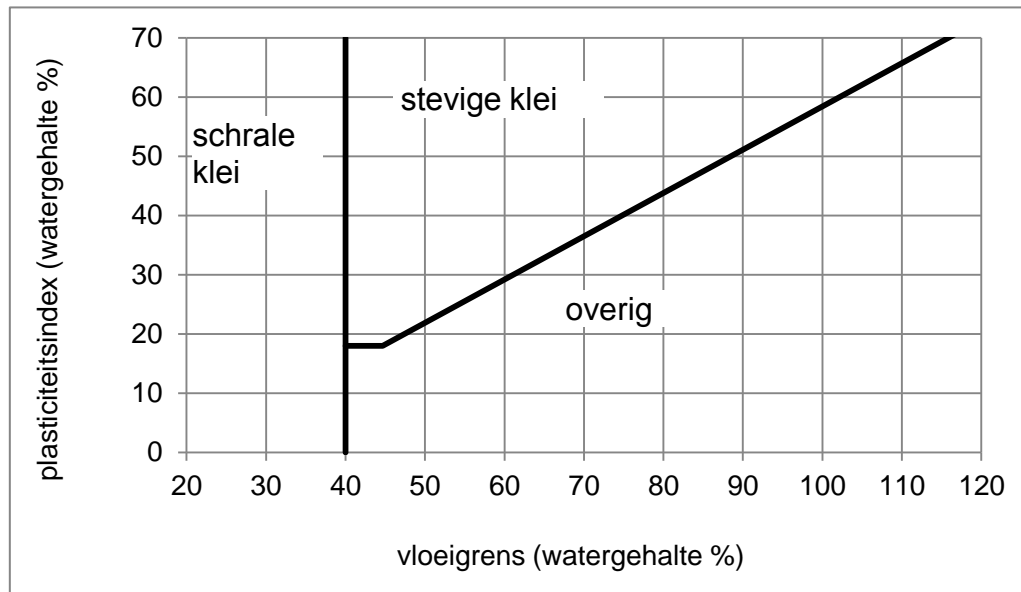
De kleikwaliteit is een maat voor de plasticiteit of affiniteit met water van de klei. Deze parameter wordt gebruikt in de *eenvoudige toets*. Indien een kleidijk is opgetrokken uit stevige klei en de helling is 1:3 of flauwer, dan volgt direct het oordeel 'voldoet'.

Hoe te bepalen

Er worden drie categorieën klei onderscheiden (Figuur 6.5):

- I. Stevige klei
- II. Schrale klei

III. Overig



Figuur 6.5 Atterberg diagram met daarin de indeling in stevige klei, schrale klei en overige grond

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 'schrale klei' 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 schaalte 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 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 5110 en 5111). 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

invloedsfeer 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 [9] en [13].

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 [9], 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 (1×1 m²) 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 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 loggers 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 [11] en [16]. 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 formule [16]:

$$k_{\text{rep}} = \exp\left((\log k)_{\text{gem}}\right) + t_{N-1}^{0.95} \frac{s_{\log k}}{\sqrt{N}} \quad (6.2)$$

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 doorlatendheid metingen 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 Wad afzettingen 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.

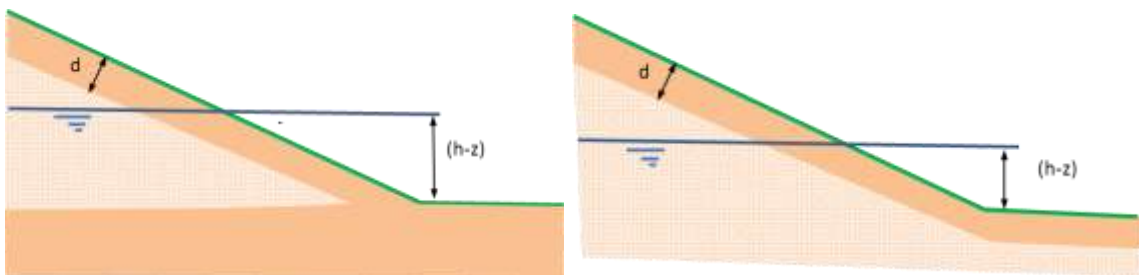
Aandachtspunten

- 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) (Figuur 6.6). 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 6.6 Schematische weergave parameter grondwaterstand binnenteen ten opzichte van teen niveau (h-z)

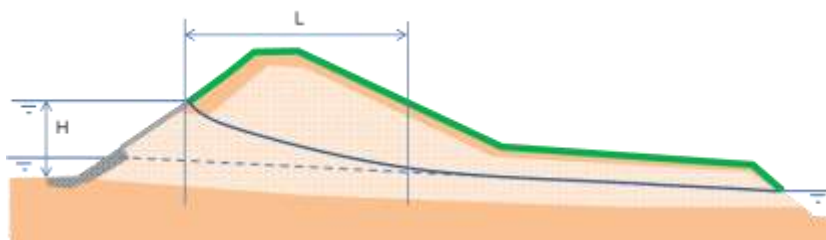
In de *gedetailleerde toets* wordt uitgegaan van het linker scenario in Figuur 6.6. In het rechter scenario heeft de dijk een zandberm, waardoor het water ter plaatse van de teen niet wordt opgesloten.

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.

Een tweede stap is het uitvoeren van een eenvoudige grondwaterstromingsberekening, zoals wordt beschreven in [9]:

- 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 formule (6.3) [15]:



$$L = \sqrt{\frac{2HkT}{n}} \quad (6.3)$$

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*).

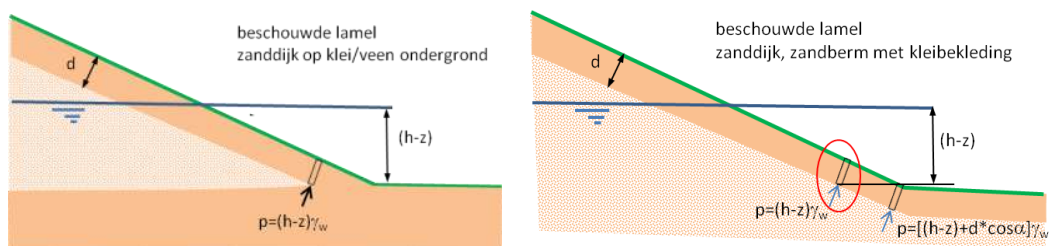
- 3 Het effect van infiltratie door golfoverslag wordt berekend door de infiltratiecapaciteit van de kleibekleding en de duur dat het talud nat is als gevolg van golfoverslag met elkaar te vermenigvuldigen en te delen door de porositeit van de zandkern. Aangenomen wordt dat deze schijf grondwater instantaan 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 (paragraaf 6.6.5). *Opgemerkt wordt dat de veilige waarde 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 (piek) overslagdebiet tijdens de storm met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de normoverstromingskans. Dit overslagdebiet wordt bepaald met Riskeer. Met behulp van paragraaf 6.3.2 uit [9] 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 tijd die hiervoor nodig is niet in deze afschattende berekening tot uiting komt, waardoor het eindresultaat conservatief is.
- 4 Optelling van de resultaten uit stappen 1, 2 en 3 leidt tot de conservatief berekende stijghoogte ter plaatse van de teen van de dijk, waarmee de stabiliteit van de bekleding kan worden gecontroleerd.

De bovengenoemde procedure om de grondwaterstand in de zandkern te bepalen is conservatief. Er wordt van 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. Dit conservatisme kan worden ondervangen 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 goedkeuren 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 6.7.



Figuur 6.7 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 het oordeel met de analytische formules niet leidt tot '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 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 [5]. 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, 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.
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 critical state soil model niet gemaakt.
- 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 [5] 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 faalmechanisme erosie grasbekledingen kruin en binnentalud. In tabel 6.4 is een parameterlijst opgenomen. De gedetailleerde beoordeling wordt uitgevoerd met Riskeer. De geometrie en de oriëntatie van de dijk, eventueel het voorland en voorliggende dam, wordt ingevoerd in Riskeer

met behulp van een profielbestand (.prfl). De oriëntatie van de dijk, de dijkhoogte en het gebruik van voorland en een voorliggende dam in de berekeningen kan in Riskeer worden ingevoerd. Zoals in de tabel aangegeven wordt de schematisering van het profiel behandeld in de Schematiseringshandleiding hoogte [18].

Tabel 6.5 Parameterlijst erosie binnentalud

Parameter	Symbool (eenheid)	Bron
Kleilaagdikte binnentalud	- (m)	Paragraaf 6.7.1
Significante golfhoogte	H_{m0} (m)	Paragraaf 6.7.2
Graskwaliteit	- (gesloten/ open/ fragmentarisch)	Paragraaf 6.7.3
Dam, voorlandgeometrie, dijkgeometrie	- (-)	Schematiseringshandleiding hoogte
Oriëntatie	- (graden tov Noord)	Schematiseringshandleiding hoogte
Dam - gebruik	- (false, true)	Schematiseringshandleiding hoogte; Bijlage II Hydraulische Belastingen
Voorlandgeometrie - gebruik	- (false, true)	Schematiseringshandleiding hoogte; Bijlage II Hydraulische Belastingen
Verwachtingswaarde kritisch overslagdebiet	μ ($m^3/s/m$)	Paragraaf 6.7.4
Standaardafwijking kritisch overslagdebiet	σ ($m^3/s/m$)	Paragraaf 6.7.4

6.7.1 Kleilaagdikte

De kleilaagdikte wordt gebruikt in de toepassingsvoorwaarde van de gedetailleerde beoordeling. 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 beoordeling 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 Riskeer wordt verkregen wanneer een faalkansberekening wordt gemaakt waarbij de kruinhoogte van het gebruikte profiel gelijk is aan het HBN bij $0,0001 m^3/s/m$ gegeven de doorsnede-eis. Bij een indicatieve golfhoogte gelijk aan 1,00 of 2,00 m wordt respectievelijk gekozen voor de klasse 1-2 of 2-3 m. Voor het bepalen van de te hanteren golfhoogteklasse wordt voor het betreffende profiel met Riskeer dus:

- een HBN-berekening bij doorsnede-eis uitgevoerd waarbij voor de μ en σ van het kritisch overslagdebiet respectievelijk de waarden $0,0001$ en $0 m^3/s/m'$ 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.

Optioneel kan vooraf de golfhoogteklasse worden geschat. 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 overeenkomt met de vooraf geschatte klasse is gelijk het eindantwoord gevonden. Wanneer dit niet het geval is kan de berekening worden herhaald met de bij die golfhoogte behorende klasse.

Opgemerkt wordt dat in bovengenoemde aanpak wordt uitgegaan van een kruinhoogte gelijk aan HBN bij 0,1 l/s/ m gegeven de doorsnede-eis. Bij de optionele aanpak wordt de werkelijke kruinhoogte gebruikt. Wanneer deze in vergelijking tot het HBN zeer hoog is treedt pas bij zeer 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 m³/s/m. De parameters worden gebruikt bij de gedetailleerde beoordeling in Riskeer.

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 uit Tabel 6.6).

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

Golfhoogteklasse	Gesloten zode		Open zode	
	μ [m ³ /s/m']	σ [m ³ /s/m']	μ [m ³ /s/m']	σ [m ³ /s/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 het gras staat op een substraat van klei. Er worden geen eisen gesteld aan het zandgehalte van de klei. Gras op zand kan alleen in een toets op maat worden beoordeeld.

7 Verantwoording

Deze *Schematiseringshandleiding grasbekleding* 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).
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).

A Literatuur

- [1] *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.
- [2] *Aanpassing toetsmethodiek afschuiving bij steenzettingen*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ruud Bosters, Rapportnummer PZDT-R-08300, 1 september 2008.
- [3] *Analyses grass erosion in wave run-up and wave overtopping conditions (WTI Onderzoek en ontwikkeling landelijk toetsinstrumentarium)*. J.W. van der Meer, G. Hoffmans, A. van Hoven. Deltares rapportnummer 1209437-005-HYE-0003. Delft, maart 2015.
- [4] *Black box model voor afschuiving bij steenzettingen*. WL|Delft Hydraulics rapport H4635. Delft, november 2007.
- [5] *Cover layer stability during wave overtopping*. WTI 2017 Onderzoek en ontwikkeling landelijk toetsinstrumentarium, Deltares 1209437-003. Delft, maart 2015.
- [6] *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI*. Rijkswaterstaat - Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- [7] *Handleiding Basis Module Grasbekleding Buitentalud. Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, versie 16.1.1 Revisie 44316. Delft, april 2016.
- [8] *Handleiding datamanagement WBI 2017*. Rijkswaterstaat – Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- [9] *Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde*. Rijkswaterstaat, 2012.
- [10] *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.
- [11] *Literatuuronderzoek doorlatendheid- korrelkarakteristieken*. H. Den Rooijen, Grondmechanica Delft, Rapport CO-317710/7. Delft, 1992.
- [12] *Product 5.25 Toetschema's en foutenboom grasbekledingen, WTI 2017 Onderzoek en ontwikkeling landelijk toetsinstrumentarium*. Deltares, projectnummer 1220086-001, september 2015.
- [13] *Studie voor richtlijnen klei op dijktaaluds in het rivierengebied*. Deltares rapportnummer 1202512-000-GEO-0002. Delft, juli 2010.
- [14] *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.

- [15] *Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, RWS-DWW, ISBN-90-369-5565-3, zie www.enwinfo.nl. Delft, september 2004.
- [16] *Technisch Rapport Zandmeevoerende wellen*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. RWS-DWW, Delft, maart 1999.
- [17] *Documentatie Steentoets 2015, Excel-programma voor het berekenen van de stabiliteit van steenzettingen*. Deltares rapport 1209832-006-0019, oktober 2016.
- [18] *Schematiseringshandleiding hoogte*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016.
- [19] *Schematiseringshandleiding hydraulische condities bij de dijkteen*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016.

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 het toetsspoor grasbekleding erosie kruin en binnentalud.

In deze bijlage is een overzicht opgenomen van de N_{dsn} - of N_{kw} -waarden voor het toetsspoor "grasbekleding erosie kruin en binnentalud" en "hoogte kunstwerk".

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
12-2	20,8	Wieringen (12)	2

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkkring	N_{dsn} [-]
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
23-1	2,6	Biesbosch (23)	2

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkkring	N_{dsn} [-]
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
36-3	26,6	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkkring	N_{dsn} [-]
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
53-2	28,9	Salland (53)	1

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkkring	N_{dsn} [-]
53-3	36,7	Salland (53)	1
54-1	12,2	Ottersum-Mook (54)	1
55-1	7,9	Gennep (55)	1
56-1	2,9	Afferden (56)	1
57-1	1,8	Nieuw Bergen (57)	1
58-1	1,7	Groeningen (58)	1
59-1	6,2	Bergen (59)	1
60-1	5,7	Well (60)	1
61-1&62-1	7,1	Wanssum (61+62)	1
63-1	5,5	Blitterswijck (63)	1
64-1	1,8	Broekhuizenvorst (64)	1
65-1	5,1	Arcen (65)	1
66-1	1,3	Lottum (66)	1
67-1	0,7	Grubbenvorst (67)	1
68-1	10,0	Venlo-Velden (68)	1
68-2	4,8	Venlo-Velden (68)	1
69-1	4,6	Blerick (69)	1
70-1	4,8	Baarlo (70)	1
71-1	1,0	Belfeld (71)	1
72-1	0,1	Kessel (72)	1
73-1	1,2	Beesel (73)	1
74-1	2,2	Neer (74)	1
75-1	1,3	Buggenum (75)	1
76-1	2,7	Roermond (76)	1
76-2	1,5	Roermond (76)	1
76a-1	1,7	Roermond (76)	1
77-1	8,4	Roermond (77)	1
78-1	7,6	Heel (78)	1
78a-1	0,4	Heel (78)	1
79-1	7,9	Thorn-Wessem (79)	1
80-1	1,4	Maasbracht (80)	1
81-1	13,9	Stevensweert (81)	1
82-1	0,8	Aasterberg (82)	1
83-1&84-1	15,9	Grevenbicht_Visserweert (83+84)	1
85-1	0,3	Urmond (85)	1
86-1	1,6	Meers_Maasband (86+87)	1
87-1	5,5	Meers_Maasband (86+87)	1
88-1	2,7	Aan de Maas (88)	1
89-1	0,7	Voulwames (89)	1
90-1	6,6	Maastricht (90)	1
91-1	3,5	Itteren (91)	1
92-1	3,4	Borgharen (92)	1
93-1	2,6	Bosscherveld (93)	1

Dijktraject	Lengte [km]	Onderdeel van dijkkring	N_{dsn} [-]
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 toetspooor grasbekleding afschuiven binnentalud

De formules voor de controle van de stabiliteit van de bekleding bij golfoverslag zijn grotendeels ontleend aan *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies* [14], 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 [1]. 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 (zogenaamd Edelman en Joustra criterium):

$$\tan \phi' \geq \frac{\gamma_d \cdot \gamma_{m,\phi} \cdot \gamma_n \cdot \rho_g \cdot g \cdot \sin \alpha - \gamma_{m,\phi} \cdot \gamma_{m,\rho} \cdot \frac{c'}{\gamma_{m,c} \cdot d}}{\rho_g \cdot g \cdot \cos \alpha - \rho_w \cdot g \cos \alpha}$$

Waarin:

$\tan \phi'$	Tangens van de effectieve hoek van inwendige wrijving [°].
$\gamma_{m,\phi}$	Partiële veiligheidsfactor op $\tan \phi'$ (=1,1) [-].
c'	Effectieve cohesie [Pa].
$\gamma_{m,c}$	Partiële veiligheidsfactor op c' (=1,25) [-].
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].
γ_d	Modelfactor (=1,1) [-].
γ_n	Schadefactor (=1,1) [-].

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

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

De factor $1/\gamma_d \cdot \gamma_n$ 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:

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

De Z functie wordt getoetst aan 0 (groter of gelijk aan 0 is 'voldoet', kleiner is 'voldoet niet').

D.2 Zanddijk met kleibekleding

Een kleibekleding kan als gevolg van een hoog freatisch vlak in de dijk:

- Opdrukken.
- uitspoeling van zand optreden.
- of afschuiven.

Afwijkend van *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies* [14] 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 *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies* [14] naar 1,21.

De factor 2 dekte naast het opdrukken van de bekleding ook andere mechanismen, zoals het uitspoelen van zand door scheuren en of gaten door graverij. Als echter kan worden aangetoond dat de kleilaag geen gaten of scheuren heeft, voordat opdrukken van de kleilaag optreedt, dan kan de factor worden bijgesteld naar 1,21 voor alleen het opdrukken van de laag. Indien gaten in de bekleding niet met voldoende zekerheid kunnen worden uitgesloten, dan moet de (strengere) toets op uitspoelen van zand worden uitgevoerd.

Kleilagen aan het maaiveld zijn altijd onderhevig aan bodemstructuurvormende processen, waardoor ze nagenoeg altijd enige mate van scheuren bevatten. Echter, alleen in gevallen waarbij ook onder natte omstandigheden openstaande scheuren aanwezig zijn kan uitspoelen van zand optreden. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen indien bij aanleg de klei veel te nat is verwerkt. In dat geval zullen de scheuren zodanig breed zijn dat ze bij inspecties, zeker bij droogte, opvallen en vervolgens kunnen worden gedicht. Het risico dat zulke scheuren tijdens extreme omstandigheden nog aanwezig zijn is daarom beperkt.

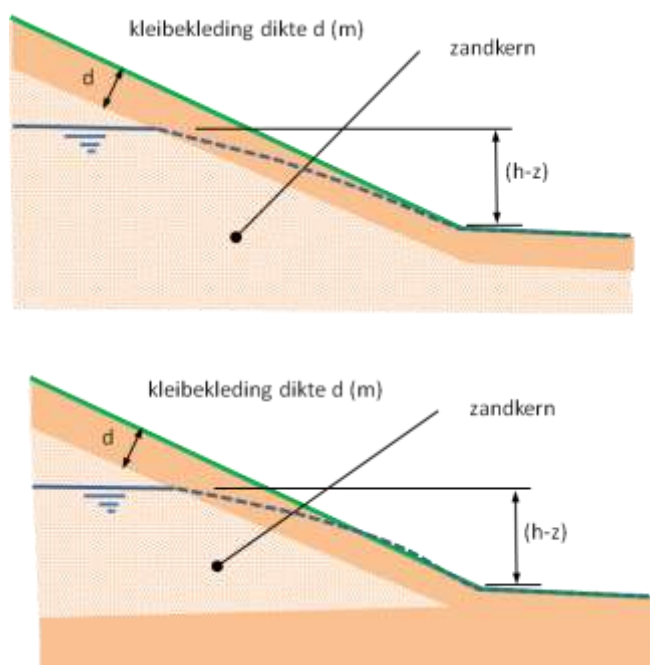
Graverij ter plaatse van de binnenteen van de dijk of onderaan het talud kunnen eveneens leiden tot gaten in de kleibekleding waardoor zand kan uitspoelen. Risicovol zijn gaten die bij inspecties niet opvallen, maar wel kunnen leiden tot uitspoelen van zand. Konijnen en vossenholen tot in de zandkern vallen op. Bij graverij door kleinere beesten kan het echter onopvallend zijn of deze ook door de kleilaag heen zijn gegaan. Graverij door bijvoorbeeld muizen en mollen zijn minder bedreigend door de kleinere diameter van de gangen en doordat ze minder diep gaan. Uit golfoverslagproeven en 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:

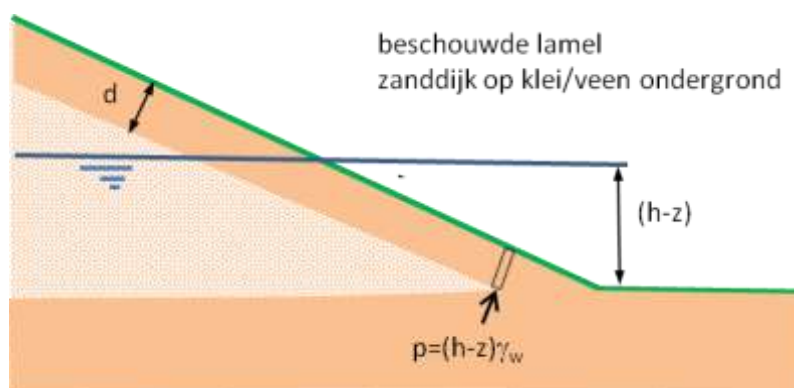
- De ligging van het freatisch vlak aan het begin van het hoogwater.
- Het waterstandsverloop in de tijd en eventueel golven en golfoverslag.
- De opbouw van de dijk en de ondergrond, de doorlatendheid en het bergend vermogen van de diverse grondlagen en bekledingen. Met het bergend vermogen wordt bedoeld,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

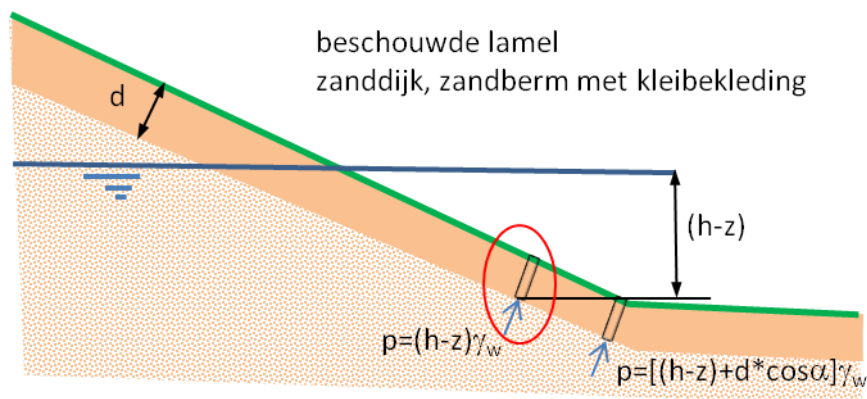
D.2.1 Opdrukken van de kleibekleding

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, $d \cdot \cos \alpha \cdot \gamma_w$ hoger kan zijn. Deze waterdruk kan hier echter alleen optreden als er helemaal geen polderwaartse afstroming van water door de berm mogelijk is, wat in de praktijk onwaarschijnlijk is. Zowel de plaats van de meest ongunstige lamel en de waterdruk zijn onzeker. In de formule uit [14] 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:

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

Waarin:

- ρ_g Volumieke massa natte grond [kg/m³].
- ρ_w Volumieke massa water [kg/m³].
- $\gamma_{m,\rho}$ Partiële veiligheidsfactor op volumieke massa grond (=1,0) [-].
- α Taludhelling [°].
- d Laagdikte [m].
- $(h-z)$ Ligging van het freatisch vlak onder het binnentalud ten opzichte van een niveau [m].
- $\gamma_d \cdot \gamma_n$ Modelfactor x schadefactor (=1,1x1,1=1,21) [-].

In safety-factor vorm:

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

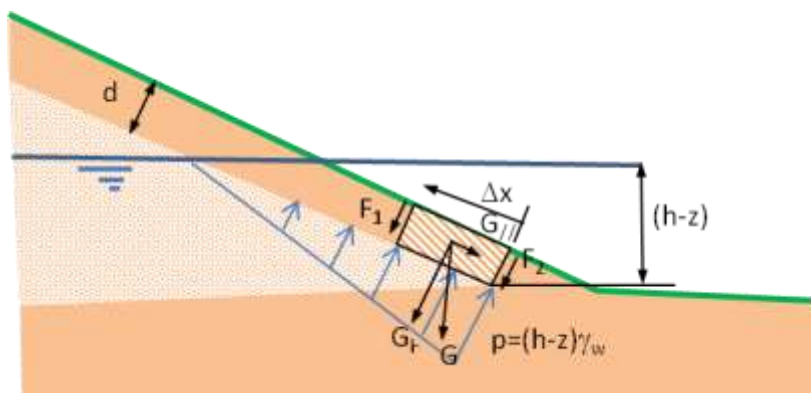
Net als bij de eerder formule in safety-factor vorm wordt getoetst aan 1.

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 $G// \cdot \tan \phi'$.

In formulevorm met partiële veiligheidsfactoren wordt de formule dan als volgt:

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

Waarin:

- $\tan \phi'$ Tangens van de effectieve hoek van inwendige wrijving [°].
- $\gamma_{m,\phi}$ Partiële veiligheidsfactor op $\tan \phi'$ (=1,1) [-].
- c' Effectieve cohesie [Pa].
- $\gamma_{m,c}$ Partiële veiligheidsfactor op c' (=1,25) [-].
- 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].
- Δh =(h-z) ligging van het freatisch vlak ten opzichte van teen 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 [14] 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 overloopproef op een steile dijk bij Wissenkerke in 1993 trad water dat infiltreerde in het talud geconcentreerd uit onderaan het talud. Hierbij werd grond/zand meegevoerd en bezweek het binnentalud binnen een uur bij een overstromdebiet in de orde van 1 l/s/m. Bij een overslagproef op Tholen gebeurde eenzelfde soort mechanisme bij een talud van 1:2,4 en een overslagdebiet van 5 l/s/m. De dikte van de kleibekleding was hier zeer variabel en soms zeer dun (plaatselijk hooguit enkele decimeters). Een geconcentreerde stroming uit een mollengang voerde zand mee en ondermijnde in korte tijd het talud, waarna de golfoverslag verder afrekende met de bekleding. De waarnemingen tonen aan dat sommige dijken gevoelig kunnen zijn voor het uitspoelen van zand door een kleibekleding, zeker indien dit optreedt in combinatie met overloop of overslag.



Figuur D.5 Uitspoelen van zand door een molgang onderaan het talud, gevolgd door ondermijning van de kleilaag en falen van de bekleding (Golfoverslagproef Tholen).

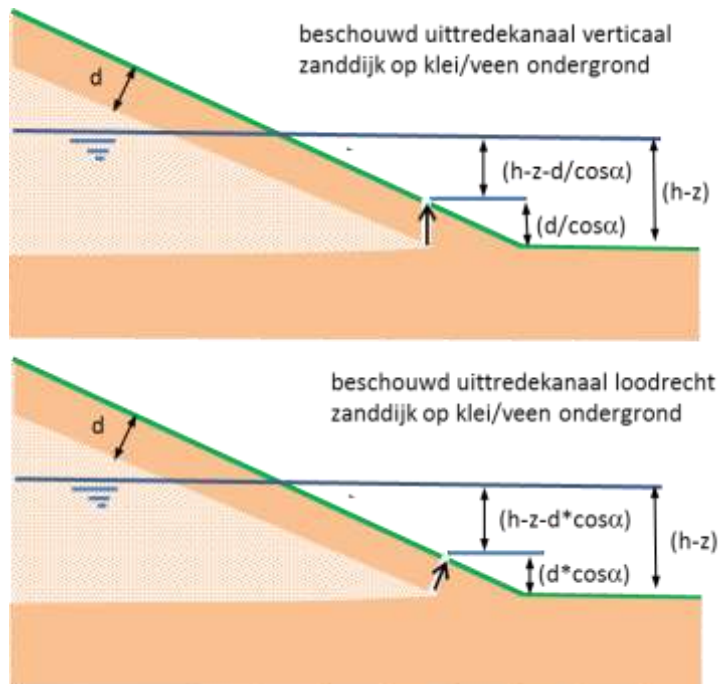
Het uitspoelen van zand uit de kleilaag kan worden gemodelleerd door het optredende verhang te vergelijken met een kritisch verhang. Het optredend verhang kan worden geschat door het verschil tussen de grondwaterstand in de zandkern en de ligging van de bovenkant van het uittredekanal, gedeeld door de lengte van het uittredekanal. Hierbij heeft de oriëntatie van het uittredekanal een zekere invloed.

Opgemerkt wordt dat voeding van water vanuit een verzadigd medium (zandkern) anders, langzamer, werkt dan vanuit vrij buitenwater. Dit zou met behulp van grondwaterstromingsberekeningen en eventueel experimenteel onderzoek kunnen worden onderzocht.

Het kritisch verhang is het verhang waarbij zandtransport optreedt. In theorie zal bij een verticaal gericht verhang in een zandpakket gelijk aan $(\rho_g - \rho_w) / \rho_w$ drijfzand ontstaan. Voor normaal gepakt zand met $\rho_g = 2000 \text{ kg/m}^3$ levert dit een kritisch verhang van 1 [-]. De korrelspanning is in deze situatie 0 [Pa], het korrelskelet zweeft als het ware in het water. Bij het opbarsten van een horizontaal klei- en of veenpakket kan in de praktijk eerder zandtransport optreden, namelijk bij een verhang van ca. 0,8-1 [-]. Een tot nu toe geaccepteerd veilig criterium voor verticaal zandtransport is 0,5 [-] [10].

Als het uittredekanal 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 uittredekanal een oriëntatie heeft die loodrecht op het talud tot verticaal is. Alleen als het uittredekanal 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 uittredekanal is onbekend in hoeverre het kritisch verhang afneemt. Het verdient de aanbeveling om de kans op voorkomen van deze situaties en de gevolgen voor de

veiligheid te onderzoeken. Op dit moment wordt het echter buiten beschouwing gelaten. Bij een kleine afwijking van de verticaal is een correctie met een $\cos\alpha$ denkbaar, zonder dat hiervoor overigens een goede onderbouwing is.



Figuur 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:

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

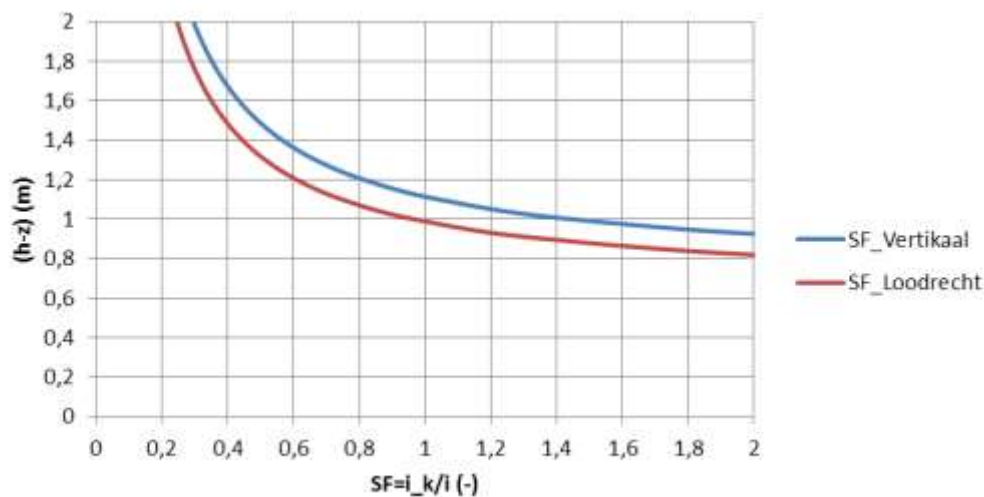
$$i_{k,\text{loodrecht}} = \cos\alpha \cdot 0.5$$

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.

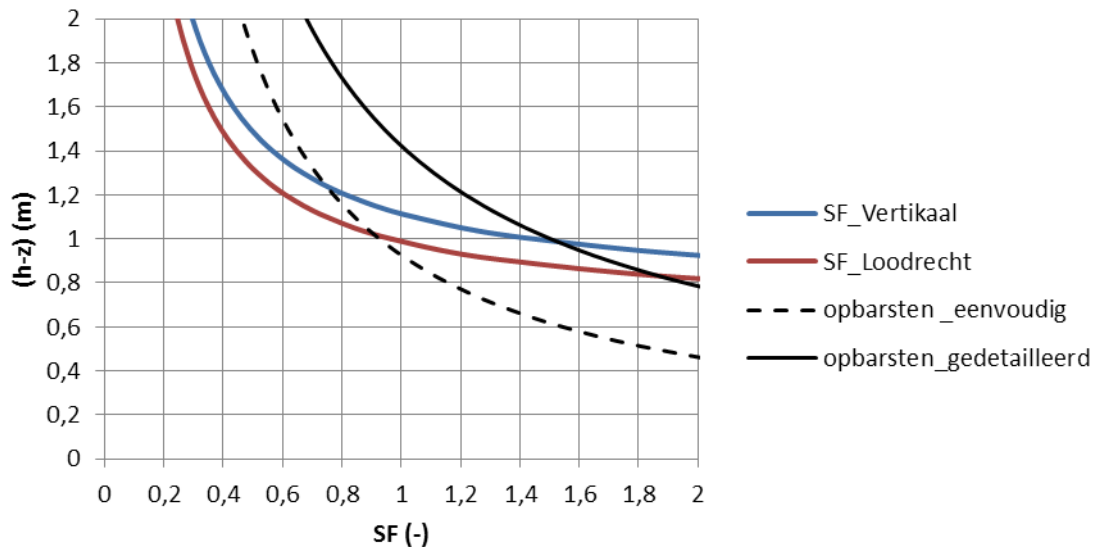


Figuur D.7 SF tegen $(h-z)$ voor twee scenario's: verticaal uittredekanaal, loodrecht uittredekanaal en een horizontaal uittredekanaal

De kritische stijghoogte ($h-z$) in de zandkern bij verticaal uittreden is gelijk aan 1,1 m en bij loodrecht uittreden 1,0 m. De verschillen tussen 'verticaal' en 'loodrecht' zijn gering. Voor de toetsing moet gebruik worden gemaakt van de formule voor 'loodrecht'.

Boven de kritische waarden van $(h-z)$ zal uitspoelen van zand mogelijk zijn, mits er een scheur of gat aanwezig is in de bekleding, ofwel door bodemstructuurvormende processen en graverij, ofwel als gevolg van opbarsten. Opgemerkt wordt dat dat voor het kritische verhang de veilige waarde van 0,5 [-] is aangehouden.

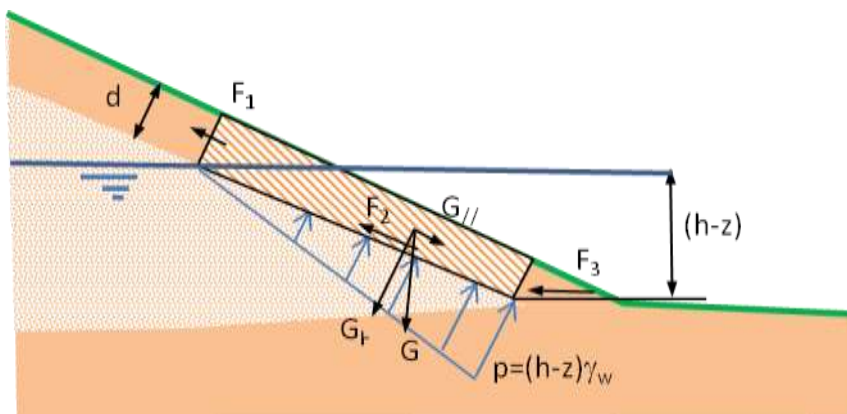
Indien kan worden aangetoond dat de kleibekleding aanvankelijk geen gaten of scheuren in de teen van de dijk heeft (zie inleidende tekst bij par.C.2), dan zal eerst opdrukken van de kleilaag moeten optreden voordat uitspoeling van zand mogelijk is. Hiervoor gelden de formules zoals beschreven in paragraaf C.2.1. Voor de gedetailleerde formule moet ook de sterkte van de grond, te weten door een c en 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 [14].



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 [14] 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.

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

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

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

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

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

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

Kanttekeningen die bij de bovenstaande beredenering uit [9] kunnen worden geplaatst zijn dat er in het algemeen geen trekkracht aan grond wordt toegekend, waardoor F_1 gelijk aan 0 moet zijn. Tevens zou bij de bepaling van F_2 twee berekeningen moeten worden gemaakt, één met de wrijvingseigenschappen van het zand ($c'=0$) en één met de wrijvingseigenschappen van de klei. De laagste is maatgevend.

Volgens [9] is een tweede stap om te kijken of het eventuele tekort aan reactiekracht kan worden gecompenseerd met F_3 , de reactiekracht die de teen kan leveren. In [9] wordt dat als volgt geformuleerd, de resterende kracht is $F_{res} = G_{//} - F_1 - F_2$. Deze kracht moet kleiner of gelijk zijn aan F_3 , ofwel $G_{//} - F_1 - F_2 \leq F_3$. De kracht F_3 is gelijk aan:

$$F_3 = \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{d}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}}$$

Hierbij gelden een paar opmerkingen:

- Impliciet wordt bij het uitrekenen van de wrijvingskracht uitgegaan van droge grond op het vlakje waarlangs F_3 werkt, wat in de meeste gevallen optimistisch zal zijn.
- De drukkracht vanuit de afschuivende grondmoot F_{res} wordt niet meegenomen bij de bepaling van reactiekracht door wrijving, wat juist weer pessimistisch zal zijn.
- De krachten F_{res} en F_3 werken niet in dezelfde richting, maar worden toch niet ontbonden wat leidt tot een optimistische uitkomst.
- Het gewicht van het grondmootje bij de teen wordt niet correct berekend ($0.5 \cdot d^2 / \sin \alpha$ in plaats van $0.5 \cdot d^2 / \tan \alpha$). Voor flauwe hoeken is het verschil gering, voor grotere hoeken neemt het verschil toe. De fout leidt tot een optimistische schatting van de reactiekracht.

Er wordt vanuit gegaan dat de optimistische en pessimistische effecten ongeveer tegen elkaar zullen wegvallen en als geheel niet veel invloed zullen hebben op het toetsresultaat.

Toevoeging van de kracht F_3 en een model schadefactor en het verwijderen van F_1 (grond heeft geen treksterkte) levert de formule voor afschuiven van de bekleding in toetslaag 2. Dit is dezelfde formule als in het *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies* [14] echter zonder F_1 .

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

$$\leq \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{d}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}}$$

Het is zuiverder om de belasting en de sterkte te scheiden voor vermenigvuldiging met de schadefactor en modelfactor. In verdere afwijking van [14] wordt de toets dus:

$$\gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \left(\Delta h \cdot d \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \right)$$

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

In Z-functie vorm wordt dit:

$$Z = R - S = \frac{c'}{\gamma_{m,c}} \cdot \frac{d}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{\sin \alpha} \cdot \frac{\rho_g \cdot g}{\gamma_{m,\rho}} \cdot \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}}$$

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

En in SF-vorm:

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

D.3 Zanddijk talud boven water

Zanddijken, zonder kleibekleding, worden in het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [14] getoetst aan uitspoelen van korrels en aan afschuiven. Er wordt uitgegaan van horizontaal uit het talud tredend grondwater.

Uitspoelen wordt gecontroleerd met de formule:

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

Waarin:

- ρ_g Volumieke massa natte grond [kg/m³].
 ρ_w Volumieke massa water [kg/m³].
 $\gamma_{m,\rho}$ 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 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/m³].
 ρ_w Volumieke massa water [kg/m³].
 α Taludhelling [°].
 g Zwaartekrachtsversnelling [m/s²].
 $\gamma_d \cdot \gamma_n$ Modelfactor x schadefactor (=1,1x1,1=1,21) [-].

Bij een volumieke massa van de grond van 2000 kg/m³ (gangbaar voor verzadigd zand 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 het *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies* [14] 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 toetspoot GABI buiten beschouwing gelaten. Voor de volledigheid worden ze toch gegeven.

De aandrijvende kracht voor het uitspoelen van zandkorrels uit een onderwatertalud en het afschuiven van een zandtalud onder water is het buitenwaarts gerichte verhang i [-]. Bij een talud onder water zal het grondwater loodrecht uittreden. De grootte van het verhang moet worden bepaald met een grondwaterstromingsberekening.

De controle op uitspoelen van zandkorrels gebeurt met de formule:

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

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 het *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies* [14] 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 verhang $i_{\perp} = 0,78$ [m/m], wat onder normale condities groot is en vaak zal leiden tot 'voldoet'.

De controle op afschuiven van een zandtalud ($c'=0$ Pa) onder water gaat met de formule:

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

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, $\rho_g=2000 \text{ kg/m}^3$ en $\phi'=35^\circ$ leidt dit tot een kritisch verhang $i_\perp = 0,34758 \text{ [m/m]}$.

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.

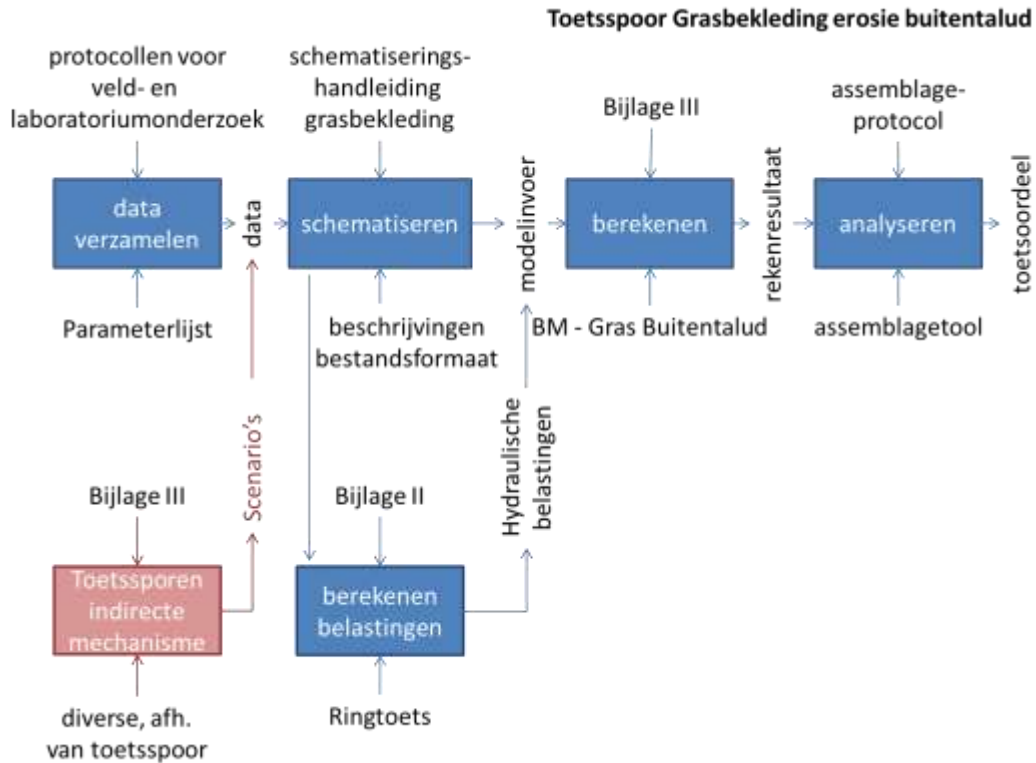


Figuur E.1 Het algemene schema van een activiteit. Een aaneenschakeling van benodigde activiteiten bij een beoordeling geeft de schematische werkwijze van de beoordeling weer.

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 alle beschikbare documenten en/of tools/software behorende bij de activiteit. Op deze manier kan de beoordelaar bij elke activiteit achterhalen welke documenten en/of tools/software van het beoordelingsinstrumentarium relevant zijn om die activiteit uit te kunnen voeren. Er wordt in het schema niet uitsluitend verwezen naar documenten en/of tools/software van het beoordelingsinstrumentarium.

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

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

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- geen

E.3.3 Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

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

E.3.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- *Ringtoets, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *BM – Gras Buitentalud, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Basis Module Gras Buitentalud, Stand alone tool voor Grasbekleding erosie buitentalud, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Basis Module Gras Buitentalud, Stand alone tool voor Grasbekleding erosie buitentalud, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

E.3.5 Activiteit 'analyseren'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

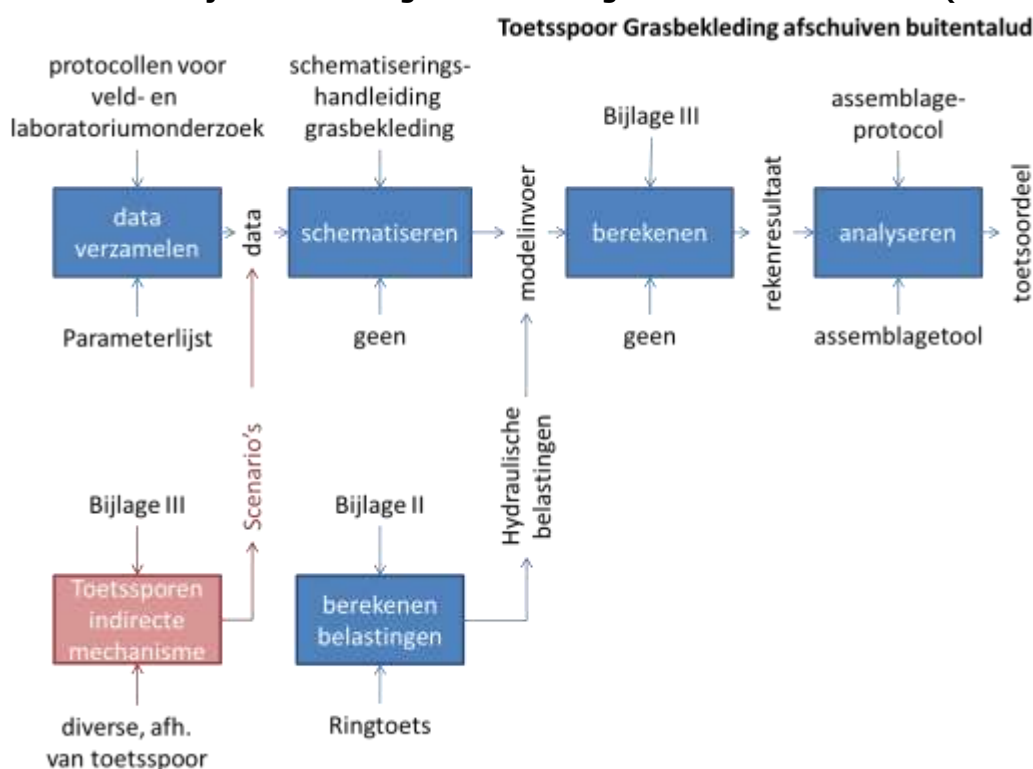
- *Assemblagetool WBI2017*. Nog in ontwikkeling.

E.3.6 Toelichting bij de referenties

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

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

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

- *Schematiseringshandleiding Grasbekleding, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

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

- *Ringtoets, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.

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

- *Ringtoets, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

E.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

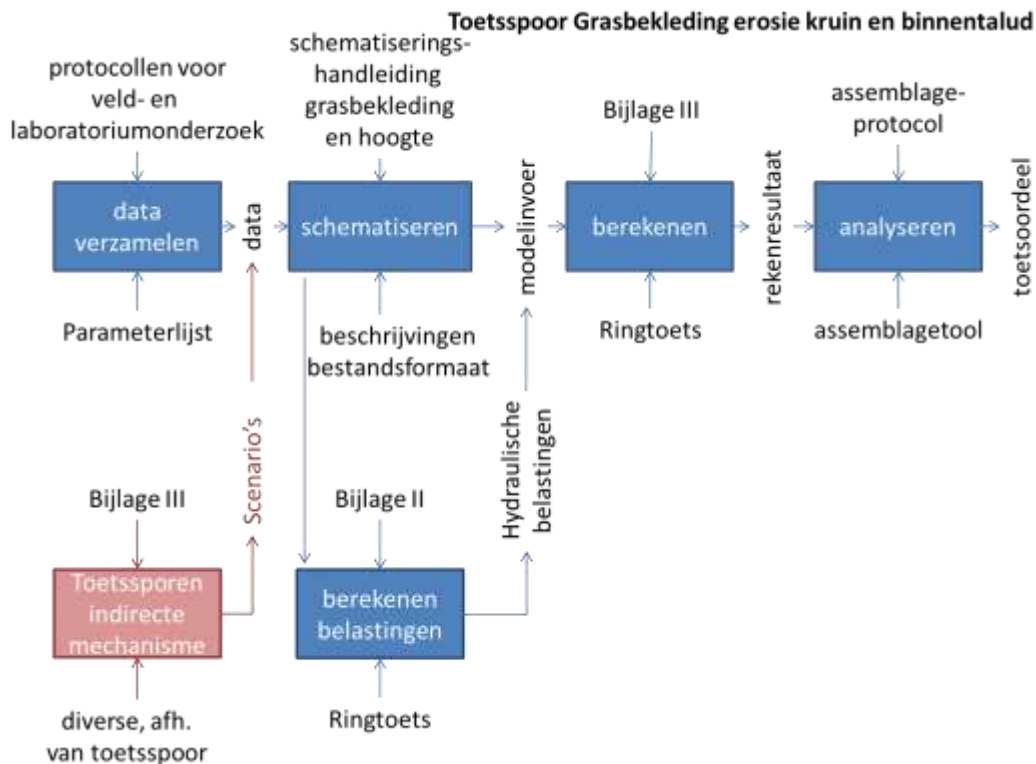
- *Assemblagetool WBI2017*. Nog in ontwikkeling.

E.5.6 Toelichting bij de referenties

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

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

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

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- geen

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

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

E.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

- *Ringtoets, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

E.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

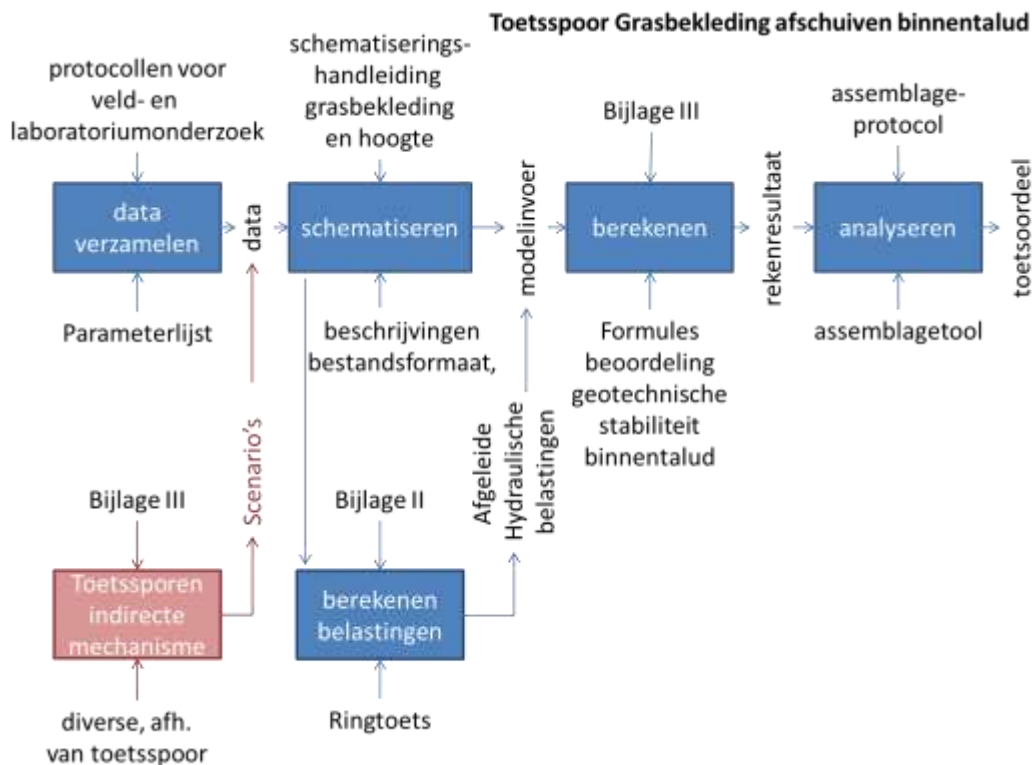
- *Assemblagetool WBI2017*. Nog in ontwikkeling.

E.7.6 Toelichting bij de referenties

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

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

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

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- geen

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

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

E.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

- *Ringtoets, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Formules voor het toetsspoor grasbekleding afschuiven binnentalud (bijlage D uit schematiseringshandleiding Grasbekleding, WBI 2017)*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- *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

- *Assemblagetool WBI2017*. Nog in ontwikkeling.

E.9.6

Toelichting bij de referenties

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

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

E.10

Referenties

- [1] Schematiseringshandleiding grasbekleding, WBI 2017, 1 december 2016, Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- [2] Ringtoets, Gebruikershandleiding , Wettelijk Toets Instrumentarium 2017, Versie: 16.4.4 Revisie: 47393, 27 februari 2017, Deltares
- [3] Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 (incl. Bijlagen)
- [4] Basis Module Grasbekleding Buitentalud, , Gras Erosie buitentalud door golfklap, Gras Erosie buitentalud door golfoploop, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017, Versie: 1.2, Revisie: 49576, 27 januari 2016, Deltares
- [5] Failure Mechanism Module Grass Wave Runup Zone Requirements and Functional Design, kenmerk 1220043-002-HYE-0004, Deltares, oktober 2015
- [6] Schematiseringshandleiding hoogte, WBI 2017, 1 september 2016, Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- [7] Onderbouwing kansverdelingen kritisch overslagdebiet ten behoeve van het OI2014v4, Deltares en Van der Meer Consulting, Deltares kenmerk 1230090-011-GEO-0006, juli 2016

F Case GEBU en GEKB Waddenzeedijk

F.1 Algemene informatie

Deze case 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.

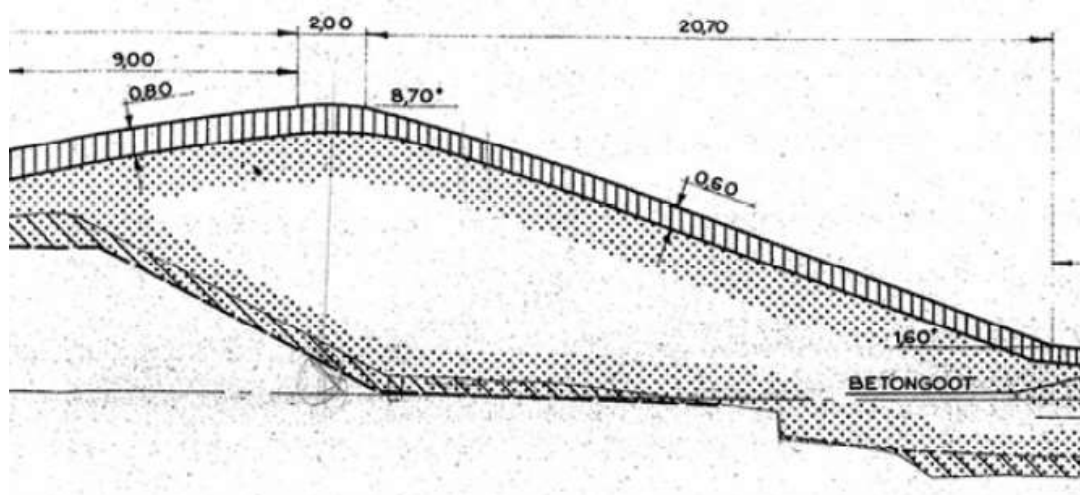
Voor het uitwerken van deze case is gekozen voor een dijkvak van ca. 900 m lengte. Voor deze case is de vakkeuze gemaakt op basis van op het oog uniforme geometrie en oriëntatie, waardoor de hydraulische randvoorwaarden binnen het vak nagenoeg constant zijn (Figuur)³.



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).

³ 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 opgeknipt 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 Riskeer gebruikt.

In dit voorbeeld is Riskeer (v17.2.1.13333) en BM Gras Buitentalud (v17.1.1.4941) gebruikt. Het is niet het doel van deze case om het gebruik van de verschillende gebruikte software Riskeer toe te lichten, alleen keuzes die binnen Riskeer 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 signaleringswaarde⁶ voor de norm van $1/3.000 \text{ jr}^{-1}$ en een ondergrens van $1/1.000 \text{ jr}^{-1}$. In deze case wordt gewerkt met de ondergrens voor de norm, dus $1/1.000 \text{ jr}^{-1}$. Voor zowel GEKB als GEBU moet deze norm worden vertaald naar een faalkanseis per doorsnede Volgens Vgl. 2.1 van Bijlage III is deze faalkans voor GEKB en GEBU respectievelijk $1/12.500$ per jaar en $1/60.000$ per jaar (de faalkanseis op doorsnedeniveau wordt voor beide toetsporen ook door Riskeer bepaald).

⁶ 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 toetspoot 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 per vak. 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 per vak 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.
3. Taludhelling flauwer dan 1V:4H of kleilaagdikte $\geq 0,4$ m.

Voorwaarde 1

De graskwaliteit in deze case is 'gesloten zode', er wordt voldaan aan de eerste voorwaarde. Voor de beoordeling van de graskwaliteit wordt verwezen naar de schematiseringshandleiding [2].

Voorwaarde 2

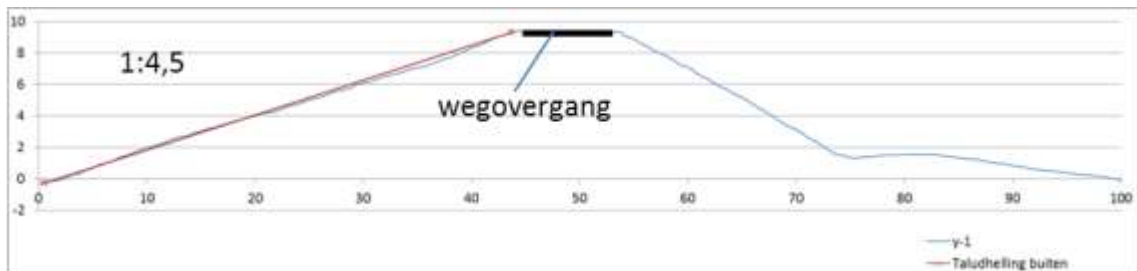
De golfhogte H_{m0} betreft de golfhogte in het illustratiepunt van een HBN⁷-berekening bij 0,1 l/s/m gegeven de doorsnede-eis voor GEKB.

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 [6].

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. Nabij de wegoevergang 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

⁷ HBN = hydraulisch belastingniveau

(ProfielDK00097) geschematiseerd met een taludhelling van 1:4,5 en een ruwheid 1. De keuze voor de schematisering van 1:4,5, leidt tot een relatief hoge berekende faalkans⁸. 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° tov 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 ca. 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 hoofdstuk 7 van de gebruikershandleiding Riskeer [2].

⁸ 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/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 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 voor 'Illustratiepunten inlezen'.

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]	
[1]	(-110, -0.96)
[2]	(-60, -0.57)
[3]	(-30, -0.44)
[4]	(-10, -0.37)
[5]	(0, 0)
Dijkgeometrie	
Coördinaten [m]	
[1]	(0, 0)
[2]	(42, 9.35)
Ruwheid invloedsfactoren [-]	
[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 Riskeer⁹

⁹ Let op: RisKeer heeft nog niet alle terminologie wijzigingen doorgaan van het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium. Een voorbeeld, beoordelen heet hier nog toetsen.

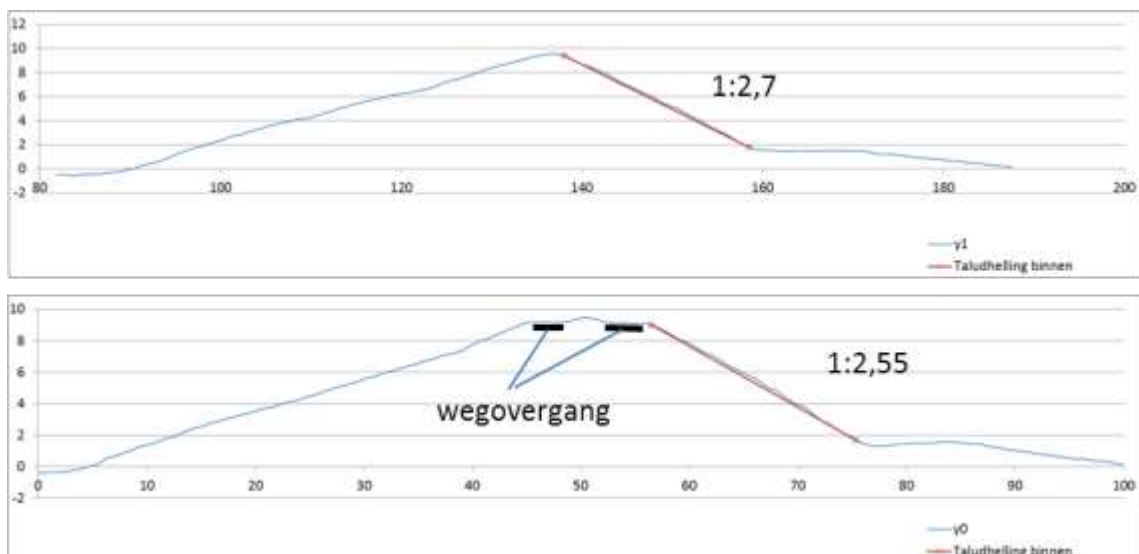
Eigenschappen	
HBN	
HBN [m+NAP]	10.06
Doelkans [1/jaar]	1/12,500
Betrouwbaarheidsindex doelkans [-]	3.77501
Berekende kans [1/jaar]	1/12,474
Betrouwbaarheidsindex berekende kans [-]	3.77449
Convergentie	Ja
Illustratiepunten	
Maatgevende windrichting	300.0
▷ Invloedscoëfficiënten [-]	Aantal (24)
▷ Tijdsduren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

Voorwaarde 3

Dit betreft de controle op taludhelling en kleilaagdikte. Op het oog ziet het dijkvak er uniform uit alleen bij de wegovergang 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 per vak GEKB*

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 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 m³/s/m en een standaardafwijking van 0,08 m³/s/m (zie Tabel 6-6 van [1]).

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 1.2.1). 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

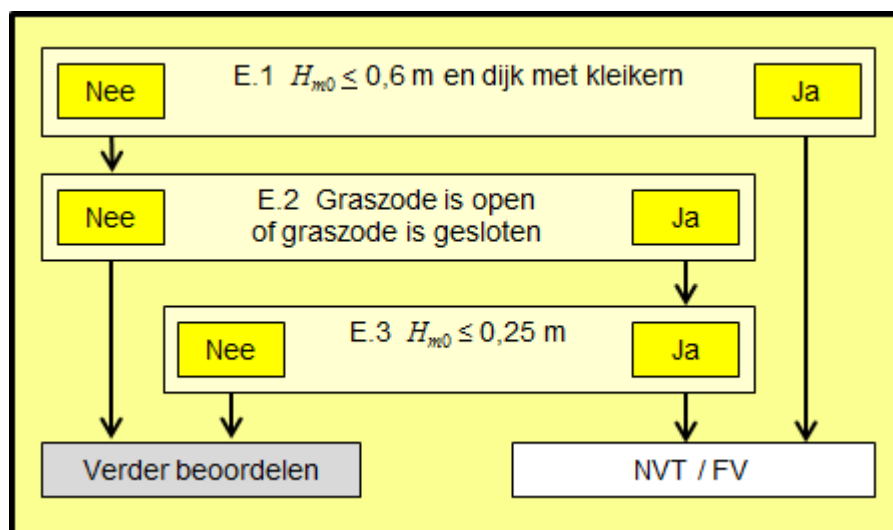
Mocht de golfhoogte hoger zijn dan 3 m, dan wordt niet voldaan aan de toepassingsvoorwaarde 2 van de gedetailleerde toetsing. Vanuit de gedetailleerde toetsing binnen WBI zijn er dan geen verwachtingswaarde en standaardafwijking van het kritisch overslagdebiet beschikbaar. Uit nader onderzoek in het 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 [7]. In het kader van een toets op maat kan worden gekeken in hoeverre hiermee toch een oordeel kan worden gegeven.

F.3 GEBU Gras Erosie Buitentalud

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 per vak 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 case 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 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 case is de golfhoogte echter veel hoger en wordt verder gegaan met de gedetailleerde toets.

F.3.2

Gedetailleerde toets per vak GEBU

De gedetailleerde toetsing 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 gedetailleerde toets per vak GEBU

Voor de case 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 gedetailleerde toets per vak GEBU

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 berekening van de waterstand bij doorsnede-eis kan met Riskeer worden uitgevoerd (zie tabblad *Dijken en dammen – Grasbekleding erosie buitentalud en Hydraulische Randvoorwaarden*).

Opgemerkt wordt dat wanneer het tabblad *Dijken en dammen – Grasbekleding erosie buitentalud* geselecteerd onder eigenschappen de invloedsfactoren voor golfhoogte, -periode en -richting (respectievelijk 1, 0.67 en 0) worden weergegeven (zie Figuur F.12). Deze waarden zijn niet aanpasbaar. N.B. dat deze waarden niets te maken hebben met de factoren a, b en c die gebruikt worden voor de definitie van de standtijdlijn bij erosie door golfklappen (zie paragraaf

G.3.2). Ongelukkigerwijs zijn dezelfde symbolen gebruikt. Behalve de parameters voor het model is ook de lengte-effectparameter N zichtbaar.¹⁰

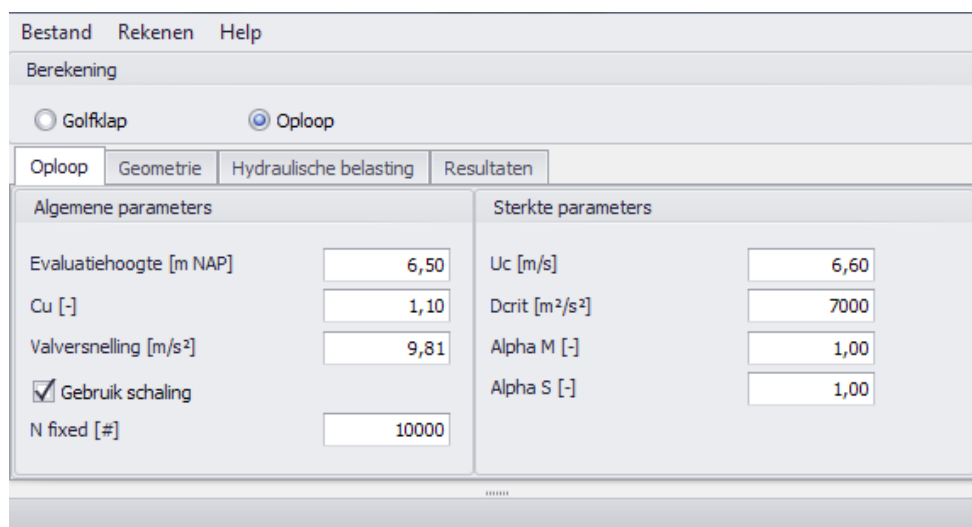


Figuur F.12 Riskeer lengte effectparameter N (-) Erosie grasbekleding buitentalud en modelinstellingen a,b en c (default 1, 0,67 en 0)

De met Riskeer berekende waterstand bij doorsnede-eis voor het betreffende uitvoerpunt is voor de case gelijk aan NAP +5,48 m. 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 standalone tool BM - Gras Buitentalud. De standalone tool heeft een eigen gebruikshandleiding [4]. Opgemerkt wordt dat deze tool meer mogelijkheden biedt dan alleen toepassing in de gedetailleerde toets per vak en dat er daarom meer parameters worden gevraagd. In [1] wordt aangegeven welke default waarden voor deze aanvullende parameters in de gedetailleerde toets per vak 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.13).



Figuur F.13 Invoer tabblad 'oploop'

¹⁰ In een toets opmaat mag de n-factor worden aangepast.

De beoordeling vindt plaats voor het maatgevend punt op het buitentalud. Deze evaluatiehoogte is laagst gelegen punt van de grasbekleding in de golfploopzone. Voor deze case 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 golfploophoogte en de golfploopsnelheid. Hiervoor wordt de default waarde van 1,1 aangehouden (zie [1] en [5]). Binnen de gedetailleerde toets wordt standaard 'schaling' aangevinkt en wordt voor N_{fixed} de standaardwaarde van 10.000 gebruikt. De achtergrond van deze optie staat beschreven in [5].

De kritische oloopsnelheid U_c (m/s) is afhankelijk van de graskwaliteit. Voor een gesloten zode, zoals in de case aanwezig, geldt een waarde van 6,6 m/s [1]. De parameter D_{crit} is de kritische cumulatieve overbelasting waarvoor in de gedetailleerde toetsing standaard $7.000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ wordt gebruikt. Met de parameters α_M en α_S kan de invloed van objecten en overgangen expliciet in rekening worden gebracht. Binnen de gedetailleerde toets moeten deze standaard op 1,0 (-) worden gezet.

In het tweede tabblad wordt de geschematiseerde geometrie van het buitentalud opgegeven ten behoeve van de benodigde golfploopberekeningen. 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° tov. Noord (Figuur F.14).

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

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

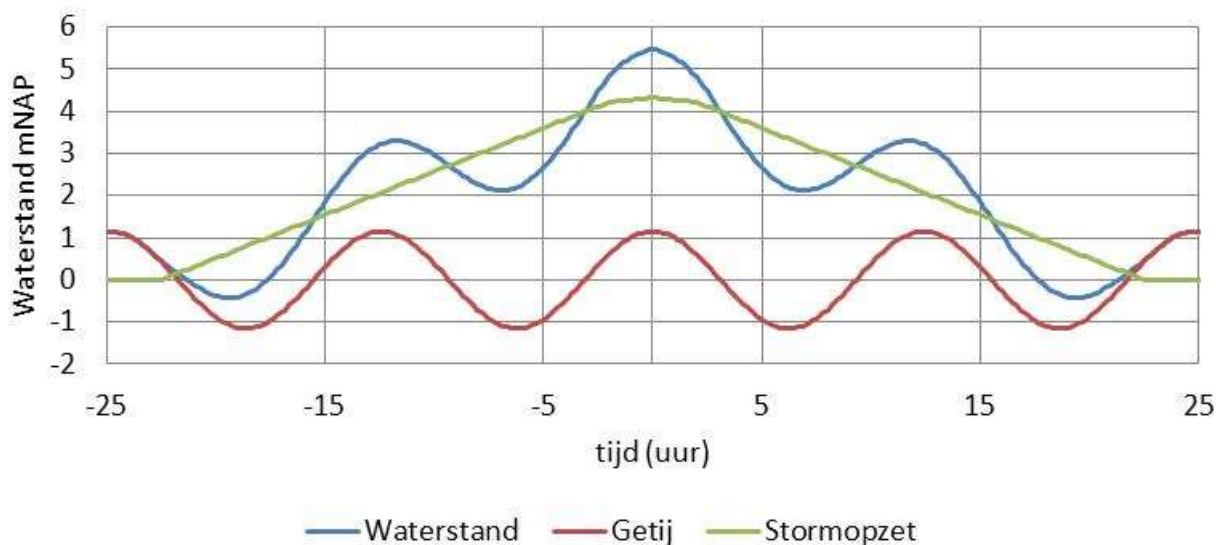
Figuur F.14 Invoer tabblad 'geometrie'

In het derde invoertabblad wordt de hydraulische belasting opgegeven. Voor de hydraulische belastingen moet worden gekozen voor de optie 'Synthetische storm' (zie ook Figuur F.17). Er wordt gevraagd naar een Delta T (uur), waarvoor in de gedetailleerde toets standaard 0,25 moet worden aangehouden. De factor $C_{tm-tm-10}$ (-) is de factor die wordt gebruikt voor het berekenen van de gemiddelde periode T_m (s) uit de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ (s) [5]. De default waarde voor de gedetailleerde toets is 0,92.

De synthetische storm bestaat uit twee tabellen:

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

Het waterstandverloop wordt bepaald conform [1]. De hoogste waterstand in het waterstandverloop 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 m¹¹. Het waterstandverloop 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 case leidt dit tot het verloop in Figuur F.15. Het verloop kan worden geconstrueerd met behulp van een spreadsheet. Mogelijk wordt hiervoor nog een tool beschikbaar gesteld.



Figuur F.15 Waterstandverloop voor case Waddenzeedijk (basis stormopzet 45 uur)¹²

De golfcondities bij doorsnede-eis 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 [1]. De invoer voor de berekening staat in Figuur . In dit geval moet voor de ondergrens bekleding niet de fysieke ondergrens van het gras worden opgegeven (NAP +6,5 m), maar een lager niveau (zie [1]). De ondergrens van de bekleding wordt door Riskeer namelijk als beperkende ondergrens van de berekende golfcondities 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.

¹¹ Dit getal kan worden gevonden per basisstation in [getij.nl](http://www.watersportmanak.nl/getijdentabellen) of uit *Getijdentabellen*

<http://www.watersportmanak.nl/getijdentabellen-2017>

¹² De waterstandsverlopen zijn uit WTI2011. In de *Waterstandsverlopen van WBI2017* is het getij verschoven t.o.v. de opzet.

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]	
[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]	
[1]	(-110, -0.96)
[2]	(-60, -0.57)
[3]	(-30, -0.44)
[4]	(-10, -0.37)
[5]	(0, 0)
Type bekleding	Gras

Figuur F.16 Riskeer invoer berekening hydraulische randvoorwaarden GEBU

De invoer van Figuur F.16 in Riskeer levert de resultaten die zijn opgenomen in Figuur F.17 onder tabblad 'Q-variant' in de BM – Gras buitentalud, waarbij wordt opgemerkt dat de door Riskeer berekende piekperiode T_p (s) moet worden omgerekend naar de in het erosiemodel voor golfloop gevraagde spectrale golfperiode. Dit kan door de piekperiode te delen door 1,1.

Bestand Rekenen Help

Berekening

Golfklap Oploop

Oploop Geometrie **Hydraulische belasting**

Hydraulische belasting

Hydraulisch belastingtype Synthetische storm Delta T [u] 0.25

Ctm-tm10 [-] 0.92

Waterstanden		Q variant			
Tijd [u]	Buitenwaterstand [m NAP]	Buitenwaterstand [m NAP]	Significante golfhoogte [m]	Spectrale golfperiode [s]	Golfrichting [graden]
-22.50	0.44	2.00	1.13	4.45	294
-22.33	0.38	2.50	1.44	4.62	294
-22.17	0.32	3.00	1.72	4.95	294
-22.00	0.26	3.50	1.99	5.26	294
-21.83	0.20	4.00	2.26	5.56	294
-21.67	0.14	4.50	2.78	4.95	294
-21.50	0.07	5.00	2.74	5.51	294
-21.33	0.01	5.47	2.46	4.78	295

Figuur F.17 Invoer 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 safety factor staat en de resultaten per tijdstap (Figuur F.18).

De cumulatieve overbelasting gedurende de storm is gelijk aan ca. $580 \text{ m}^2/\text{s}^2$. De veiligheidsfactor wordt gedefinieerd als de cumulatieve overbelasting gedeeld door de kritische cumulatieve overbelasting van $7.000 \text{ m}^2/\text{s}^2$, 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 [m²/s²] 576.283

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	4.33	2.83	0.00	0.00	10.000
-13.00	3.06	1.75	294	4.99	4.39	2.82	0.04	0.04	10.000
-12.75	3.14	1.80	294	5.04	4.63	2.88	0.22	0.20	10.000
-12.50	3.21	1.83	294	5.08	4.67	2.94	0.59	0.89	10.000
-12.25	3.26	1.86	294	5.11	4.70	2.98	0.86	1.75	10.000
-12.00	3.29	1.88	294	5.13	4.72	3.00	1.14	2.89	10.000
-11.75	3.30	1.88	294	5.14	4.73	3.11	1.23	4.13	10.000
-11.50	3.29	1.88	294	5.13	4.72	3.10	1.14	5.27	10.000
-11.25	3.27	1.87	294	5.12	4.71	3.09	0.98	6.25	10.000
-11.00	3.23	1.84	294	5.09	4.69	3.09	0.68	6.93	10.000
-10.75	3.18	1.82	294	5.06	4.66	3.03	0.44	7.37	10.000
-10.50	3.12	1.78	294	5.02	4.62	2.97	0.20	7.57	10.000
-10.25	3.05	1.74	294	4.98	4.58	2.90	0.03	7.55	10.000

Figuur F.18 Resultaten golfoplooptberekening

Als extra uitvoer wordt door BM – Gras Buitentalud per tijdstap de buitenwaterstand, de golfcondities, het 2%-oploophniveau (let op, deze is ten opzichte van de buitenwaterstand), de cumulatieve overbelasting en de safety factor 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 verdere toetsing zinvol is en een eventuele toets op maat.

F.4 Referenties

- [1] Schematiseringshandleiding grasbekleding, WBI 2017, 1 december 2016, Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- [2] Ringtoets, Gebruikershandleiding , Wettelijk Toets Instrumentarium 2017, Versie: 16.4.4 Revisie: 47393, 27 februari 2017, Deltares
- [3] Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 (incl. Bijlagen)
- [4] Basis Module Grasbekleding Buitentalud, , Gras Erosie buitentalud door golfklap, Gras Erosie buitentalud door golfoploop, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017, Versie: 1.2, Revisie: 49576, 27 januari 2016, Deltares
- [5] Failure Mechanism Module Grass Wave Runup Zone Requirements and Functional Design, kenmerk 1220043-002-HYE-0004, Deltares, oktober 2015
- [6] Schematiseringshandleiding hoogte, WBI 2017, 1 september 2016, Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- [7] Onderbouwing kansverdelingen kritisch overslagdebiet ten behoeve van het OI2014v4, Deltares en Van der Meer Consulting, Deltares kenmerk 1230090-011-GEO-0006, juli 2016

G Case GEBU IJsseldelta

G.1 Algemene informatie

Deze case betreft een dijkvak in de IJsseldelta. De dijk is in zijn geheel bekleed met gras. Voor het uitwerken van deze case is gekozen voor een dijkvak van ca. 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)¹³.



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 gebruikt. In dit voorbeeld is Riskeer (v17.2.1.13333) en BM Gras Buitentalud (v17.1.1.4941) gebruikt. Het doel van deze case is alleen om de keuzes die binnen de software moeten worden gemaakt toe te lichten, niet om een gebruikshandleiding van de software te zijn. 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 $1/3.000 \text{ jr}^{-1}$. In deze case wordt gewerkt met de ondergrens bij de norm, dus $1/3.000 \text{ jr}^{-1}$. Voor zowel GEKB als GEBU moet deze norm worden vertaald naar een faalkanseis per doorsnede. Volgens Vgl. 2.1 van Bijlage III is deze faalkanseis voor GEKB en GEBU respectievelijk $1/25.000$ per jaar en $1/120.000$ per jaar (de faalkanseis op doorsnedeniveau wordt voor beide toetsporen ook door Riskeer bepaald).

¹³ Noot dit voorbeeld is in een bocht. Direct voor en na dit vak zijn vakken van 100 tot 200 m breedte noodzakelijk ivm 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/Riskeer – toevoegen traject 10-3

G.2 Beoordeling GEKB

Dit toetspoot 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 per vak. 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 gedetailleerde toets per vak 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.
3. Taludhelling flauwer dan 1V:4H of kleilaagdikte $\geq 0,4$ m.

Voorwaarde 1

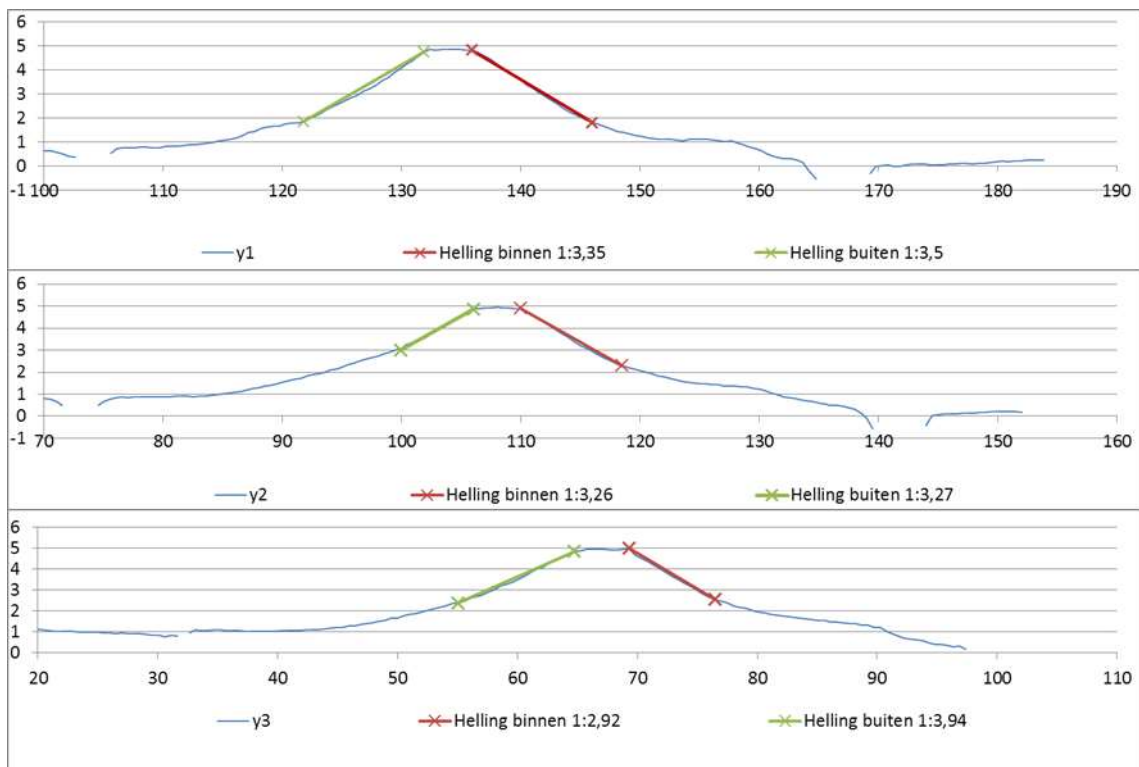
De graskwaliteit in deze case is 'gesloten zode', er wordt voldaan aan de eerste voorwaarde. Voor de beoordeling van de graskwaliteit wordt verwezen naar de schematiseringshandleiding [1].

Voorwaarde 2

De golfhoogte H_{m0} betreft de golfhoogte in het illustratiepunt van een HBN-berekening bij 0,1 l/s/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 [6].

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 (Figuur G.3). Het profiel begint flauw, waarna het in de richting van de kruin steiler wordt.



Figuur G.3 Bepaling taludhelling binnentalud en buitentalud

Gekozen is om voor dit dijkvak één profiel (ProfielDK44) te schematiseren met een taludhelling van 1:3,25 en een ruwheid 1 (gras). De helling van 1:3,25 is aan de steile kant ten opzichte van wat in het dijkvak wordt aangetroffen. Dit leidt tot een relatief hoge berekende faalkans¹⁴. Indien dit niet leidt tot het voldoen aan de norm, dan kan ervoor worden gekozen om het dijkvak op te delen in steilere en minder steile delen¹⁵. De dijknormaal is 183° tov Noord. De bekleding bestaat volledig uit gras. Voor de ruwheid wordt daarom een waarde van 1,0 gebruikt.

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.

¹⁴ 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.

¹⁵ Dit is een dijk die belast wordt als het water hoog staat in de rivier. Het kan verstandig zijn het onderste deel van de dijk als voorland te schematiseren.

```

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 ProfielDK00097

De invoer voor Riskeer is weergegeven in Figuur G.5. Voor meer informatie over het importeren van profielen wordt verwezen naar hoofdstuk 7 van de gebruikershandleiding Riskeer [2].

Na importeren van het geschematiseerde dwarsprofiel kan voor dit profiel een berekening genereerd worden, waarmee voor het betreffende uitvoerpunt het HBN bij 0,1 l/s/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).

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]	
[1]	(4, 1)
[2]	(115, 1)
Dijkgeometrie	
Coördinaten [m]	
[1]	(115, 1)
[2]	(127.5, 4.85)
Ruwheid invloedsfactoren [-]	
[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

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).

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.

Voorwaarde 3

Voor de controle van de derde voorwaarde wordt eerst gekeken naar de taludhelling. 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 voorbeelden is aangegeven tussen welke punten de taludhelling is uitgerekend (Figuur G.3). 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 case 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 case 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 toetsing en wordt de toetsing voortgezet met de afweging of een toets op maat mogelijkheden biedt.

G.2.2 Stap G.2 gedetailleerde toets per vak GEKB

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 2.2.1).

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 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 in [1]).

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

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 Riskeer resultaat GEKB faalkansberekening

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).

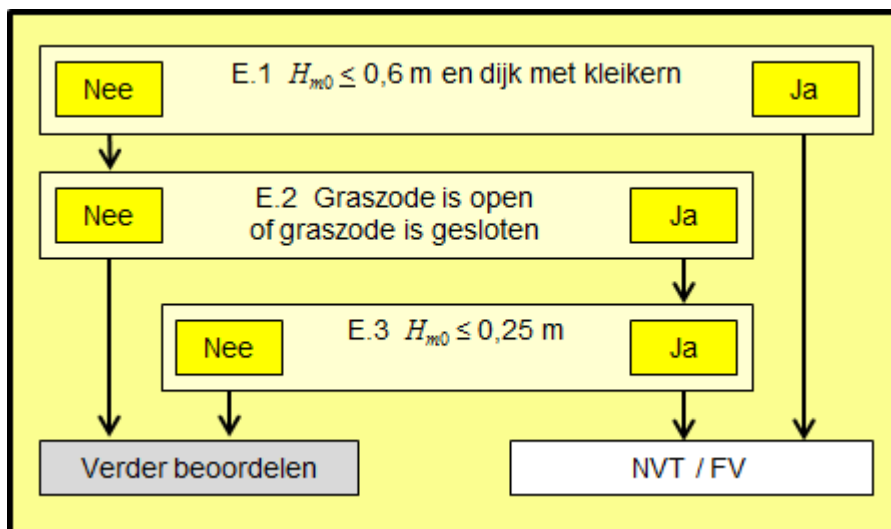
De indicatieve golfhoogte is gelijk aan 0,35 m (zie Figuur G.8), lager dan de eerder bepaalde 0,70 m voor de bepaling van de golfhoogteklasse. Dit leidt niet tot twijfel over de golfhoogteklasse waarin de verwachtingswaarde en de standaardafwijking van het kritisch overslagdebiet in eerste instantie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

G.3 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 per vak mogelijk.

G.3.1 Eenvoudige toets GEBU

Bij de eenvoudige toets wordt het schema in Figuur G.8 doorlopen.



Figuur G.8 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 case is de waterstand gelijk aan NAP +4,02 m en de golfhoogte 1,0 m. Er wordt niet voldaan aan de voorwaarde van de golfhoogte. Er moet worden doorgedaan 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 doorgedaan met de gedetailleerde toets. In dit geval is de zone gesloten en moet worden doorgedaan met stap 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 zone, ook op zandige grond, deze belasting gedurende zeer lange tijd kan weerstaan. Voor de case is de golfhoogte echter veel hoger en gaat de beoordeling verder met de gedetailleerde toets.

G.3.2

Gedetailleerde toets per vak GEBU

De gedetailleerde toetsing 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.

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

Stap G.1 gedetailleerde toets per vak GEBU

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

Stap G.2 gedetailleerde toets per vak GEBU

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 berekening van de waterstand bij doorsnede-eis kan met Riskeer worden uitgevoerd (zie tabblad *Dijken en dammen – Grasbekleding erosie buitentalud en Hydraulische Randvoorwaarden*). De met Riskeer berekende waterstand bij doorsnede-eis voor het betreffende uitvoerpunt is voor deze case gelijk aan NAP +4,77 m. 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 standalone tool BM - Gras Buitentalud. De standalone tool heeft een eigen gebruikshandleiding [4]. Opgemerkt wordt dat deze tool meer mogelijkheden biedt dan alleen toepassing in de gedetailleerde toets per vak en dat er daarom meer parameters worden gevraagd. In [1] wordt aangegeven welke default waarden voor deze parameters in de gedetailleerde toets per vak 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.9).

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.9 Invoer 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 default 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 [1]. Voor de gedetailleerde toets moeten deze waarden respectievelijk gelijk aan coëfficiënt c en coëfficiënten $a+c$ worden 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. Voor de gedetailleerde toets kunnen hiervoor de minimale en de maximale waterstand van de waterstandsverlooptlijn worden gegeven.

De coëfficiënten a , b en c bepalen de sterkte van de grasbekleding onder een golfbelasting. De te hanteren rekenwaarden worden gegeven in de schematiseringshandleiding [1]. Voor deze case met een gesloten zode moeten hiervoor respectievelijk 1, -0,035 en 0,25 worden aangehouden. Voor een open zode gelden andere waarden, zie verder [1].

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 case 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 case wordt een laagdikte van 1 m ingevuld.

Het zandgehalte is een belangrijke parameter bij het bepalen van de reststerkte van de kleilaag. Hoe deze kan worden bepaald staat in [1]. Voor de case 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 de bepaling hiervan wordt verwezen naar [1]. Voor deze case 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 m.

In het tweede invoertabblad wordt de hydraulische belasting opgegeven. Voor de belastingen in de gedetailleerde beoordeling moet gekozen worden voor de optie 'Synthetische storm' (Figuur G.10). Er wordt gevraagd naar een Delta T (uur), welke standaard op 0,25 uur moet worden gezet.

De synthetische storm bestaat uit twee tabellen:

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

De maximale waterstand is die bij de faalkanseis op doorsnedeniveau. Voor de case is dit de eerder genoemde NAP +4,77 m.

Hoge waterstanden ter plaatse van het dijkvak worden veroorzaakt door een hoge afvoer en zijn niet door windopzet gedomineerd. Het waterstandverloop bij hoge waterstanden is langdurig (zie ook de tool Waterstandsverloop). In die zin valt het dijkvak onder het bovenrivierengebied, waarvoor bij een stagnant waterpeil een stagnante golfconditie van 12 uur wordt aangehouden, zie [1].

De golfcondities worden bepaald met Riskeer onder het tabblad *Dijken en dammen – Grasbekleding erosie buitentalud*. Hiertoe worden de grenzen aangegeven waartussen de golfcondities moeten worden bepaald, zie hiervoor [1]. Lager dan NAP +1,5 m zijn er vanwege het voorland geen golven van betekenis te verwachten. Dit niveau wordt aangehouden als ondergrens van de bekleding en ondergrens van de waterstand waarvoor de golfcondities moeten worden berekend. Het aanwezige voorland wordt meegenomen in de berekening. Voor deze case is het eerder gebruikte profiel voor de beoordeling op GEKB gebruikt (zie paragraaf G.2.1).

Met Riskeer worden van NAP +1,5 m tot en met NAP +4,50 m en voor de hoogste waterstand van NAP +4,77 m de golfcondities bepaald, (stapgrootte is 0,5 m). Voor de gedetailleerde toets op erosie door golfklappen is alleen de golfhoogte van belang. 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.

De invoer van de Synthetische storm staat in Figuur .

Bestand Rekenen Help

Berekening

Golfklap Oploop

Golfklap Hydraulische belasting Resultaten

Hydraulische belasting

Hydraulisch belastingtype Synthetische storm Delta T [u] 0.25

Waterstanden		Q variant	
Tijd [u]	Buitenwaterstand [m NAP]	Buitenwaterstand [m NAP]	Significante golfhoogte [m]
0.00	3.50	1.50	0.27
12.00	3.50	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.10 Invoer tabblad 'Hydraulische belasting'

Na validatie van de invoer kan de berekening worden gestart en verschijnt het tabblad met resultaten (Figuur G.11). In dit geval wordt een faalfractie berekend van 1,569 (-), wat wordt omgerekend in een veiligheidsfactor van 0,637 (-). Omdat de faalfractie groter is dan 1 voldoet het dijkvak niet aan de norm voor GEBU.

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 verdere toetsing zinvol is en een eventuele toets op maat.

Bestand Rekenen Help				
Berekening				
<input checked="" type="radio"/> Golfklap		<input type="radio"/> 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.11 Tabblad resultaten

G.4 Referenties

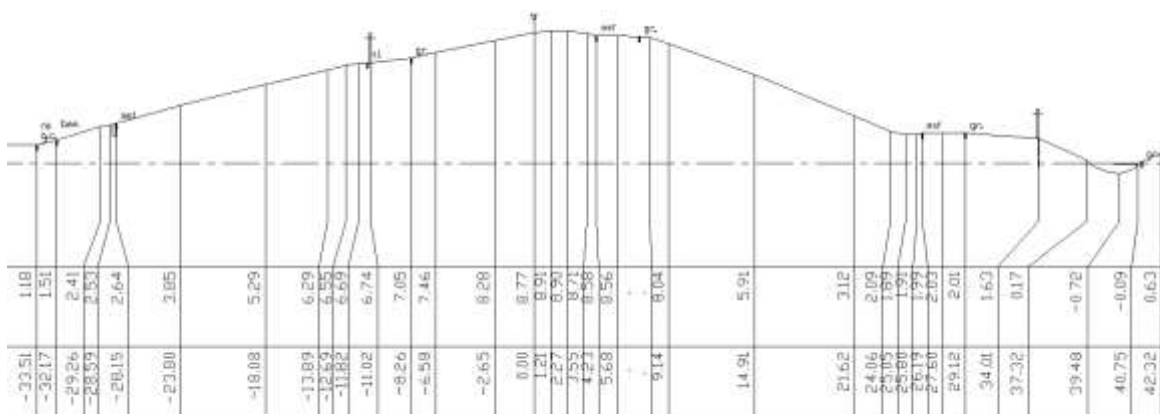
- [1] Schematiseringshandleiding grasbekleding, WBI 2017, 1 december 2016, Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- [2] Ringtoets, Gebruikershandleiding , Wettelijk Toets Instrumentarium 2017, Versie: 16.4.4 Revisie: 47393, 27 februari 2017, Deltares
- [3] Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 (incl. Bijlagen)
- [4] Basis Module Grasbekleding Buitentalud , Gras Erosie buitentalud door golfklap, Gras Erosie buitentalud door golfoploop, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017, Versie: 1.2, Revisie: 49576, 27 januari 2016, Deltares
- [5] Failure Mechanism Module Grass Wave Runup Zone Requirements and Functional Design, kenmerk 1220043-002-HYE-0004, Deltares, oktober 2015
- [6] Schematiseringshandleiding hoogte, WBI 2017, 1 september 2016, Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- [7] Onderbouwing kansverdelingen kritisch overslagdebiet ten behoeve van het OI2014v4, Deltares en Van der Meer Consulting, Deltares kenmerk 1230090-011-GEO-0006, juli 2016

H Case GABI Waddenzee

H.1 Dijkopbouw en geometrie

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.



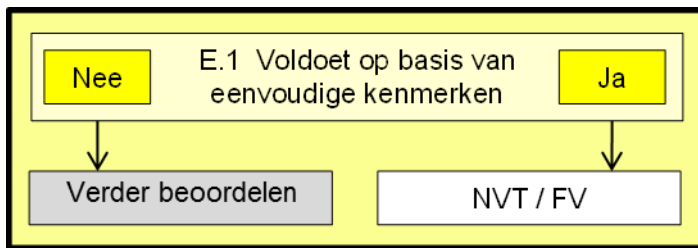
Figuur H.1 Maaiveldlijn (links de Waddenzee, rechts de polder)

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 case 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 Riskeer wordt daarom nauwelijks ingegaan. Meer informatie hierover is te vinden in [18].

H.2 De eenvoudige toets

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/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.
- 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/m (Riskeer hanteert 10^{-4} m³/s/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 toetsperiode geen significante kruindaling meer verwacht, zodat wordt uitgegaan van NAP +8,9 m. Riskeer geeft voor dit voorbeeld een HBN van $0,1$ l/s/m (10^{-4} m³/s/m) van NAP +9,13 m, waardoor niet aan de voorwaarde wordt voldaan.

H.3 De gedetailleerde toets

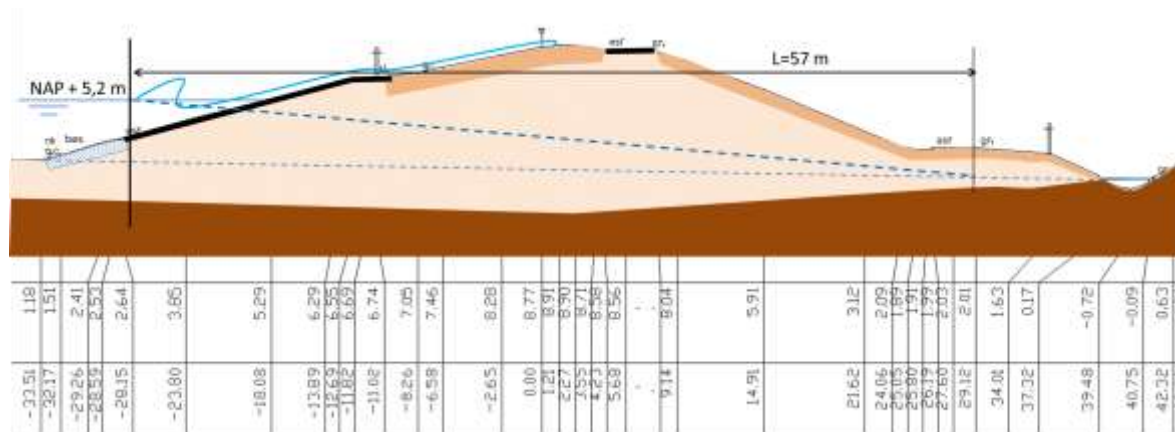
H.3.1 Geohydrologische schematisering

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 case uitgevoerde sonderingen (binnendijks ca. 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

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

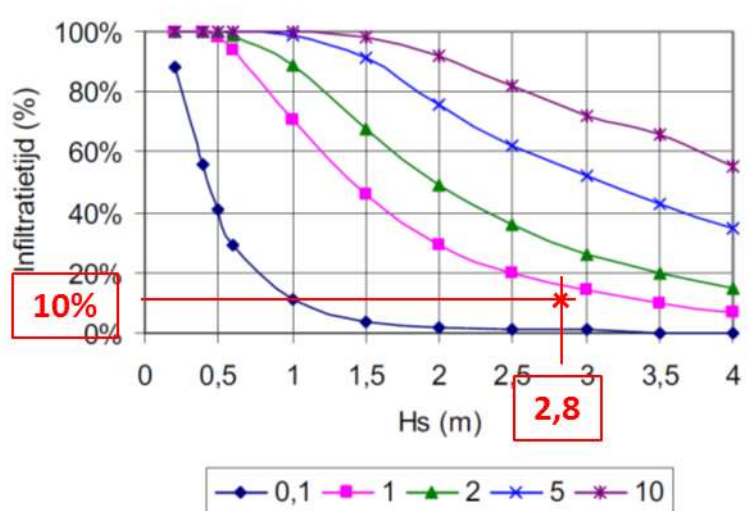
Als gevolg van infiltratie van overslaande golven zal het freatisch vlak ter plaatse van de binnenteen meer kunnen stijgen. De hoeveelheid water die door het binnentalud kan infiltreren is gelijk aan de tijd dat er op het talud een wateraanbod is keer de infiltratiecapaciteit van het dijkstalud. Deze 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 $0,1 \text{ l/s/m}^2$ ($1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s/m}^2$ in SI eenheden) er geen significante infiltratie door overslag is en als het groter is dan $0,1 \text{ l/s/m}^2$ wel. Van belang is dus de tijdsduur dat er meer dan $0,1 \text{ l/s/m}^2$ 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 Riskeer 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

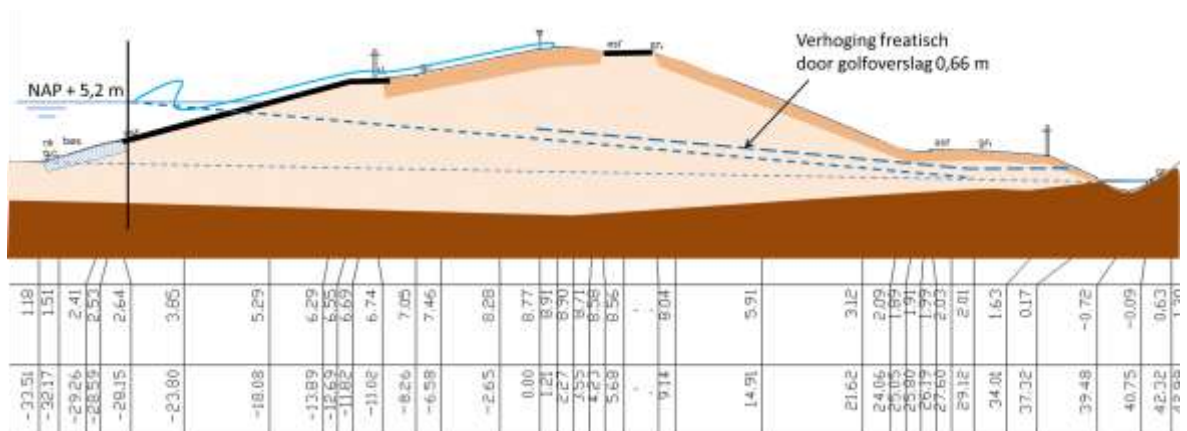
aan 0,8 l/s/m. Riskeer geeft eveneens de golfcondities in het illustratiepunt. De golfhoogte in het illustratiepunt is gelijk is gelijk aan 2,80 m.

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 [9]. 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/m' ($1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ in SI eenheden) er slechts gedurende $10\% \cdot 6 \text{ uur} = 0,6 \text{ uur}$ wateraanbod op het talud aanwezig is. Dit leidt potentieel tot een waterinstroom van $1 \cdot 10^{-4} \cdot 0,6 \cdot 3600 = 0,22 \text{ m}^3$ water per m^2 . Met een porositeit van het zand van 0,33 [-] geeft dit een potentiële stijging van het freatisch vlak van circa 0,66 m.



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. Voor de veiligheid tegen overstromen is dit echter geen probleem, omdat het de nodige tijd duurt voordat het waterkerende vermogen van de dijk wordt aangetast en er slechts beperkte tijd golfoverslag is.