



Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Schematiseringshandleiding grasbekleding

WBI 2017

Datum	1 december 2016
Status	Definitief

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	1 december 2016
Status	Definitief
Versienummer	2.0

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 21

- 4.1 Inleiding 21
- 4.2 Afschuiven bekleding buitentalud 21
- 4.3 Erosie buitentalud 22
- 4.4 Afschuiven bekleding binnentalud 23
- 4.5 Erosie kruin en binnentalud 23

5 Schematisering per vak 25

- 5.1 Afschuiven bekleding buitentalud 25
- 5.2 Erosie buitentalud 26
- 5.3 Afschuiven bekleding binnentalud 27
 - 5.3.1 Karakterisering van de dijkopbouw en ondergrond 27
 - 5.3.2 Geohydrologische karakterisering 28
 - 5.3.3 Geotechnische schematisering 30
- 5.4 Erosie kruin en binnentalud 31

6 Parameters 33

- 6.1 Inleiding 33
- 6.2 Veiligheidseisen 33
- 6.3 Geometrie van de dijk 33
- 6.4 Afschuiven bekleding buitentalud 35
 - 6.4.1 Kernmateriaal 35
 - 6.4.2 Dikte en onderwatergewicht kleibekleding buitentalud 36
 - 6.4.3 Significante golfhoogte 36
- 6.5 Erosie buitentalud 37
 - 6.5.1 Graskwaliteit 39
 - 6.5.2 Significante golfhoogte 41
 - 6.5.3 Waterstand bij de norm 42
 - 6.5.4 Waterstand bij doorsnede-eis 42
 - 6.5.5 Waterstandverloop 42
 - 6.5.6 Belasting bekledingen 44
 - 6.5.7 Zandgehalte in kleilaag 46
 - 6.5.8 Dikte kleilaag 46
- 6.6 Afschuiven bekleding binnentalud 46
 - 6.6.1 Golfoverslagdebiet 46
 - 6.6.2 Type dijk 47
 - 6.6.3 Kleikwaliteit 47

6.6.4	Dikte en gewicht kleibekleding binnentalud 49
6.6.5	Doorlatendheid kleibekleding 50
6.6.6	Doorlatendheid zandkern 51
6.6.7	Doorlatendheid ondergrond 52
6.6.8	Grondwaterstand binnenteen ten opzichte van teenniveau (h-z)53
6.6.9	Wrijvingseigenschappen klei en zand 55
6.7	Erosie kruin en binnentalud 57
6.7.1	Kleilaagdikte 57
6.7.2	Significante golfhoogte 57
6.7.3	Graskwaliteit57
6.7.4	Gemiddelde en standaardafwijking kritisch overslagdebiet 57

7 64

A Literatuur67

B Voorbeeldfoto's graszode 69

B.1	Gesloten zode 69
B.2	Open zode 70
B.3	Fragmentarische zode 71
B.4	Steken van een plag72

C N_{dsn} -waarden voor het toetsspoor grasbekleding erosie kruin en binnentalud.75

D Formules voor het toetsspoor grasbekleding afschuiven binnentalud 81

D.1	Kleidijk81
D.2	Zanddijk met kleibekleding 82
D.2.1	Opdrukken van de kleibekleding 84
D.2.2	Uitspoelen van zand door een kleibekleding 87
D.2.3	Afschuiven van de kleibekleding 91
D.3	Zanddijk talud boven water 93
D.4	Zanddijk talud onder water 95

E Schema werkwijze beoordeling grasbekleding 97

E.1	Toelichting op het schema werkwijze beoordeling 97
E.2	Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU) 98
E.3	Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU) 98
E.3.1	Activiteit 'data verzamelen' 98
E.3.2	Activiteit 'schematiseren' 98
E.3.3	Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen' 99
E.3.4	Activiteit 'berekenen toetsoordeel' 99
E.3.5	Activiteit 'analyseren' 99
E.3.6	Toelichting bij de referenties 100
E.4	Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU) 100
E.5	Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU) 100
E.5.1	Activiteit 'data verzamelen' 100
E.5.2	Activiteit 'schematiseren' 100
E.5.3	Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen' 101
E.5.4	Activiteit 'berekenen toetsoordeel' 101
E.5.5	Activiteit 'analyseren' 101
E.5.6	Toelichting bij de referenties 101
E.6	Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB) 102

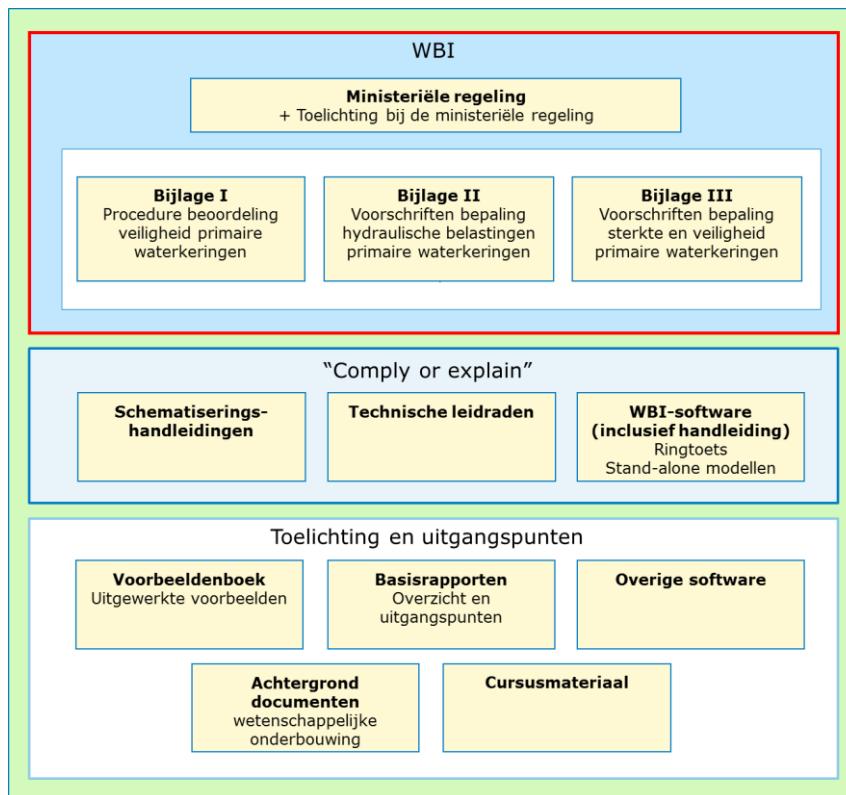
- E.7 Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB) 102
 - E.7.1 Activiteit 'data verzamelen' 102
 - E.7.2 Activiteit 'schematiseren' 102
 - E.7.3 Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen' 103
 - E.7.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel' 103
 - E.7.5 Activiteit 'analyseren' 103
 - E.7.6 Toelichting bij de referenties 103
- E.8 Schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI) 104
- E.9 Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI) 104
 - E.9.1 Activiteit 'data verzamelen' 104
 - E.9.2 Activiteit 'schematiseren' 104
 - E.9.3 Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen' 105
 - E.9.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel' 105
 - E.9.5 Activiteit 'analyseren' 105
 - E.9.6 Toelichting bij de referenties 106

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.*

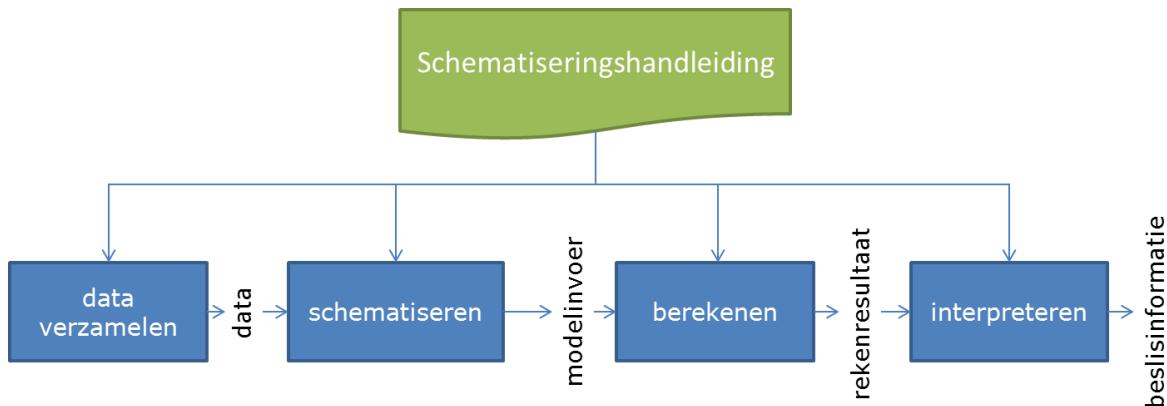
Het WBI bevat de voorschriften voor het uitvoeren van de beoordeling. In deze voorschriften wordt verwezen naar een aantal documenten en applicaties die de beheerder moet gebruiken bij het uitvoeren van de beoordeling, waaronder de schematiseringshandleidingen en de WBI software. Een overzicht van de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



Figuur 1.1 Het WBI 2017 en daaraan gerelateerde documenten

Doei

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



Figuur 1.2 Activiteiten verbonden met een toets

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

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.

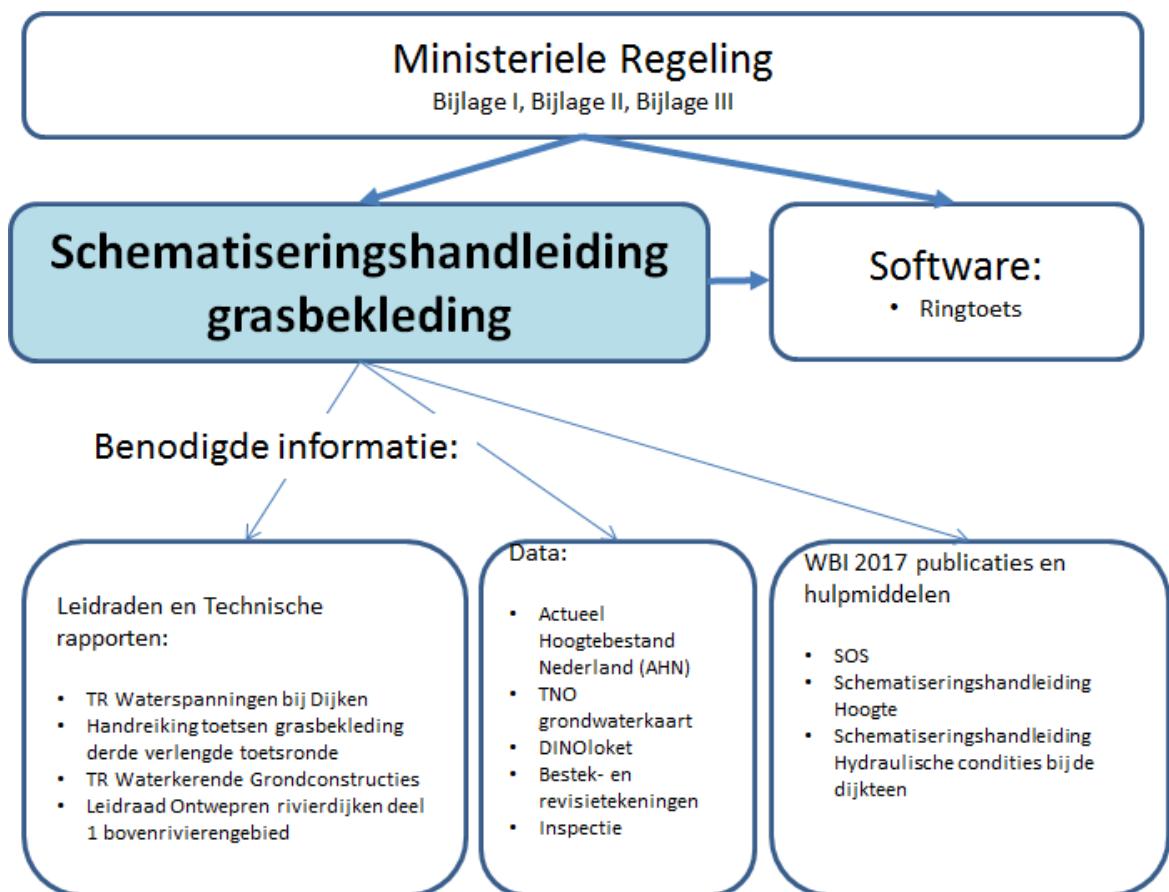
Doelgroep

De schematiseringshandleiding is geschreven voor een deskundig gebruiker die bekend is met de voorschriften en de (deel)faalmechanismes 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 kleiner of gelijk aan $0,1 \text{ l/s/m}^2$ ($1.10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ in SI eenheden)) dan worden beide toetssporen beoordeeld, waarbij uit de eenvoudige toets van GABI overigens direct het oordeel *voldoet* volgt. Bij een rekenwaarde van het golfoverslagdebiet dat groter is dan $0,1 \text{ l/s/m}^2$ ($1.10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ in SI eenheden) wordt alleen beoordeeld volgens het toetsspoor GABI. Het overslagdebiet wordt hierin berekend als HBN (Hydraulisch Belasting Niveau) bij de trajectnorm.
- Voor het genereren van synthetische reeksen van belastingverlopen voor GrasBuiten komt mogelijk via de Helpdesk een excel-tool ter beschikking. Deze excel-tool is op het moment van schrijven nog niet beschikbaar.
- Ditzelfde geldt voor het rekenen met de formules voor de controle op instabiliteit van de bekleding van het binnentalud bij golfoverslag.

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
Voorbeeld	Hoofdstuk 7

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*.

2

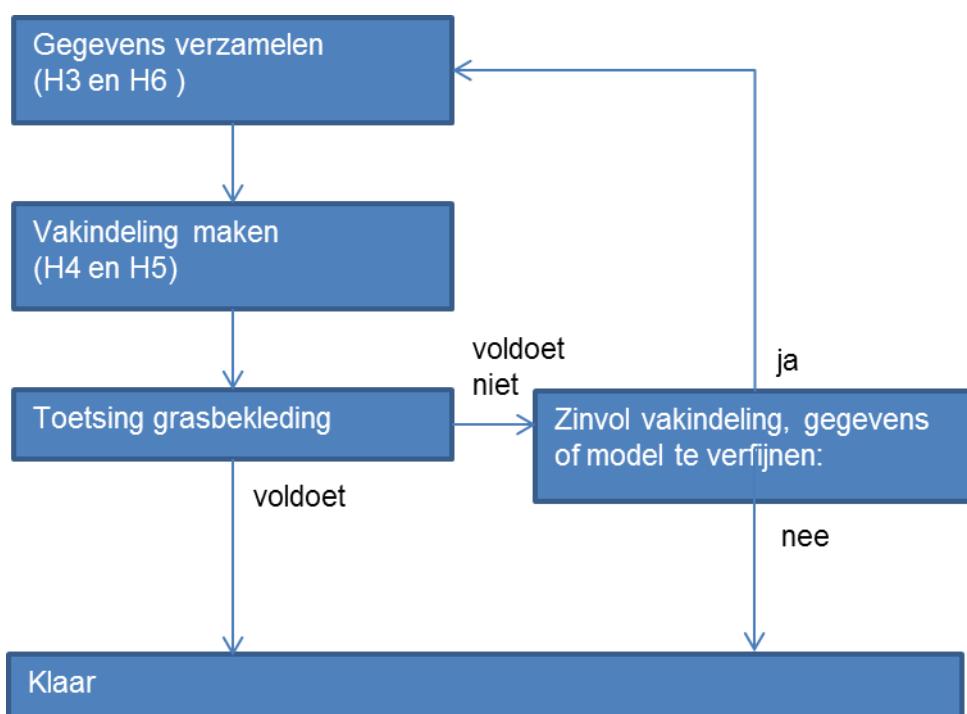
Stappenplan

De beoordeling van de grasbekleding omvat vier toetssporen:

- 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 toetsspoor GABI of de toets op Microstabiliteit binnentalud uitgevoerd moet worden (zie ook Schematiseringshandleiding Microstabiliteit).

Voor elk van de toetssporen wordt het volgende cyclische stappenschema gevuld, 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 sterke- 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 tot goedkeuren kan worden gekomen. De cyclus wordt doorlopen totdat er voor alle dijkvakken een eindoordeel is.

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 golfterugtrekking heerst er een ongunstig buitenwaarts gericht verhang over de kleilaag, waardoor deze kan opdrukken en/of afschuiven. Afschuiven kan plaatsvinden in de golfklapzone, het taludeel tussen de waterstand bij de norm en het niveau met een kans van overschrijden van 1/10 per jaar. Beide niveaus worden via Ringtoets beschikbaar gesteld.

Het rekenmodel voor de *gedetailleerde toets* is een empirische rekenregel, waarin de dikte en het gewicht van de kleilaag, de taluhelling en de significante golfhoogte staan. De belasting in het model bestaat uit de significante golfhoogte. De beoordeling wordt semi-probabilistisch uitgevoerd. De rekenwaarde van de significante golfhoogte wordt beschikbaar gesteld via Ringtoets.

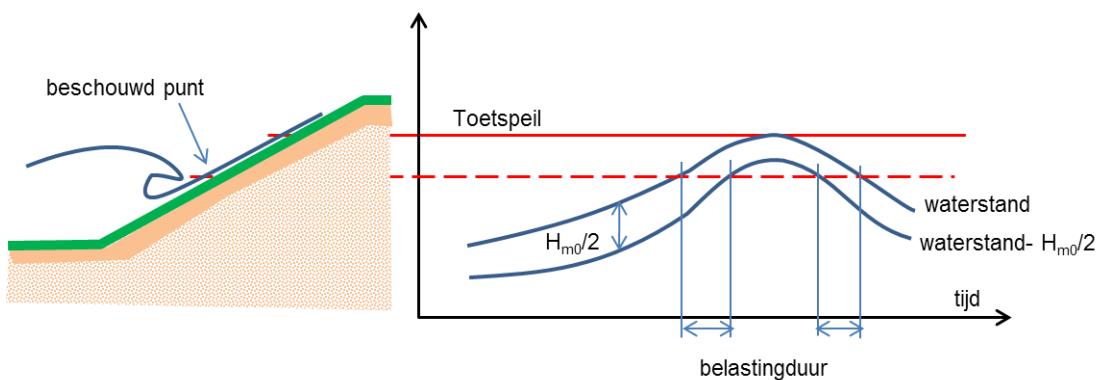
Andere belastingen worden niet beschouwd. Aangenomen wordt dat andere belastingen geen significante bijdrage leveren aan de kans op overstromen van het achterland en/of worden gedekt door de 30% faalkansruimte voor overige toetssporen.

3.2

Erosie buitentalud

Erosie van de grasbekleding op het buitentalud kan optreden als gevolg van golfklappen of als gevolg van golfoploop. Een dijk met een grasbekleding in zowel de golfklapzone als in de golfoploopzone, 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 golfoploop.

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

De beoordelingen op erosie door golfklappen en golfoploop worden semi-probabilistisch uitgevoerd. De rekenwaarden van de belastingen wordt via Ringtoets beschikbaar gesteld. Bij de bepaling van de hydraulische belasting moet rekening worden gehouden met de aanwezigheid van voorland en/of havendammen.

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

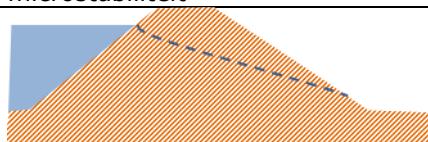
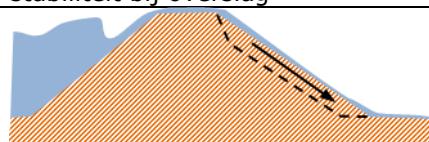
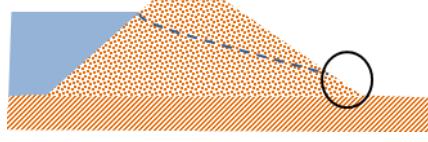
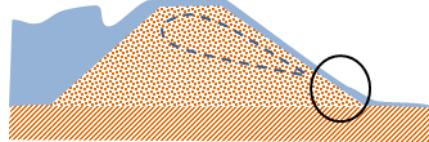
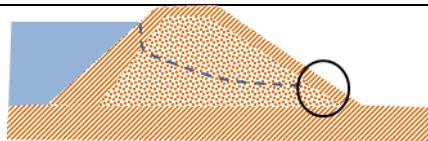
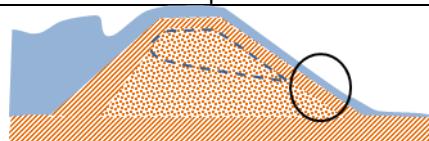
3.3

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. Als er geen sprake is van golfoverslag, 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. Bij een meer gedetailleerde beoordeling, binnen de *gedetailleerde toets*, kan ook het waterstandsverloop worden meegenomen. De hydraulische belastingen worden via Ringtoets verkregen.

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

Type dijk	microstabiliteit	stabiliteit bij overslag
kleidijk	 geen probleem	 infiltratie en afschuiven
zanddijk	 uitspoelen	 infiltratie en uitspoelen
zanddijk met kleibekleding	 afdrukken of afschuiven en/of uitspoelen	 infiltratie en afdrukken of afschuiven en/of uitspoelen

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

Bij deze figuur wordt opgemerkt dat de geschatste 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 geschatste 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. Elk golfvolume dat over de kruin slaat geeft gedurende een korte tijd een stroomsnelheid en een waterlaagdikte op het talud. De maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid is een maat voor de belasting.

De overslagvolumes hebben een statistische verdeling die afhankelijk is van het overslaggebiet en de bijbehorende golfcondities. Een golfoverslaggebiet 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 dijkslaande 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 overslaggebiet 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 aanwezigheid van voorland en/of havendammen.

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

4 Vakindeling

4.1 Inleiding

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

De beoordeling van de vier toetssporren 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 vakindeling.

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 overstromingskans, welke via Ringtoets 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 Ringtoets kan voor de uitvoerpunten langs de dijk golfhoogte worden opgevraagd. Voor een eerste dijkvakindeling kan dan onderscheid worden gemaakt tussen **1)** vakken met een golfhoogte kleiner dan 0,7 m, **2)** dijkvakken met een golfhoogte tussen 0,7 en 0,9 m en **3)** dijkvakken waar de golfhoogte 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 boren, 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:

- Aanwezigheid grasbekleding in golfklapzone, onder de waterstand bij de norm.
- Aanwezigheid fragmentarische zode in deze zone.
- Significante golfhoogte kleiner of groter dan 0,25 m.
- Taludhelling.
- Zodekwaliteit 'open zode' of 'gesloten zode'.

Deze aandachtspunten zijn onderstaand nader toegelicht.

De aanwezigheid van een fragmentarische zode wil zeggen dat er geen grasbekleding met een sterke betekenis aanwezig is. Dijkvakken met een fragmentarische zode kunnen alleen nog het oordeel 'voldoet' krijgen als er voldoende reststerkte aanwezig is.

Voor de beoordeling is 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 golfovloopbelasting.

Een derde aandachtspunt is de golfhoogte met een overschrijdingskans gelijk aan de norm, die via Ringtoets 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 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 golfovloopzone 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 golfoploop is er een aanzienlijk verschil in standtijd tussen de open zode en de gesloten zode.

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.
- Overslagdebit.
- 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 overslagdebit van $0,1 \text{ l/s/m}'$ ($1.10^{-4} \text{ m}^3/\text{s/m}'$ 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 overslagdebit 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),, aanwezigheid van voorland en of voorliggende dammen en beschikbare strijklengte.

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

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

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

5

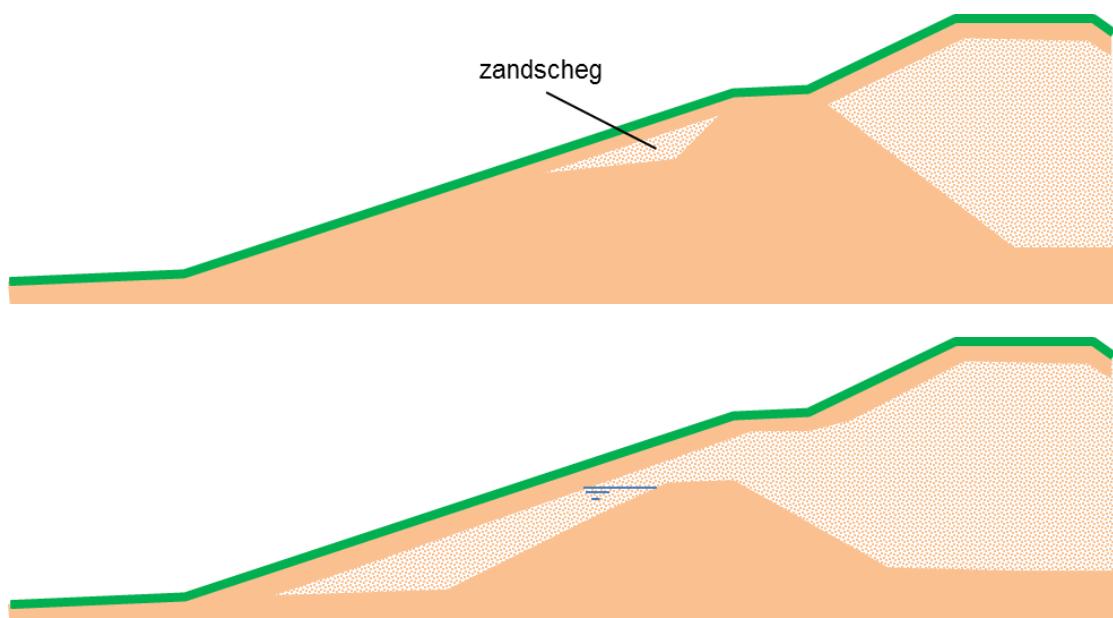
Schematisering per vak

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

5.1

Afschuiven bekleding buitentalud

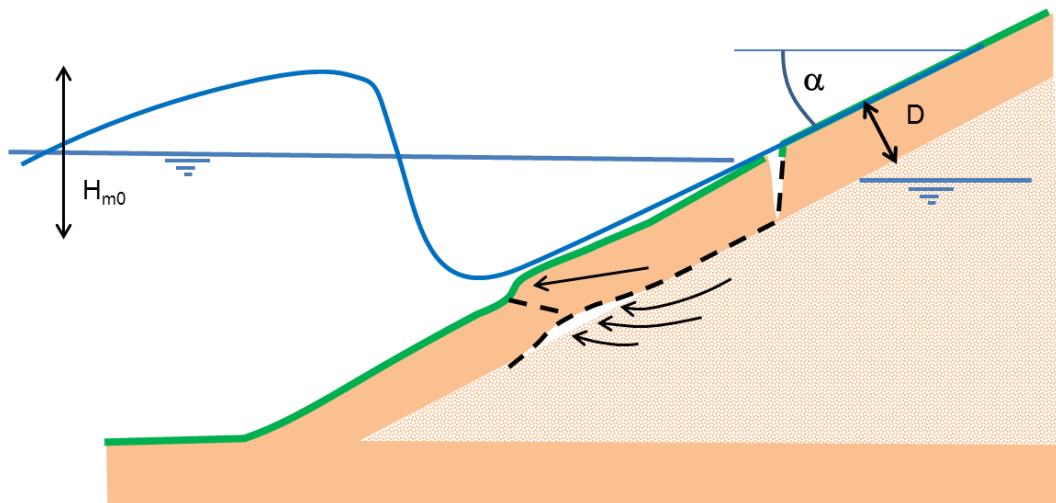
Voor de *eenvoudige toets* is voor de schematisering alleen het onderkennen van een zandscheg of zandinsluiting van belang. Die kan voorkomen als bij een versterking een oude kleidijk is overlaagd door een zandlichaam met kleibekleding (Figuur 5.1).



Figuur 5.1 Zandscheg en zandinsluiting onder talud

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

Voor de *gedetailleerde toets* zijn alleen de kleilaagdikte, het gewicht van de kleilaag, de taludhelling en de golfhoogte van belang, zie Figuur 5.2.



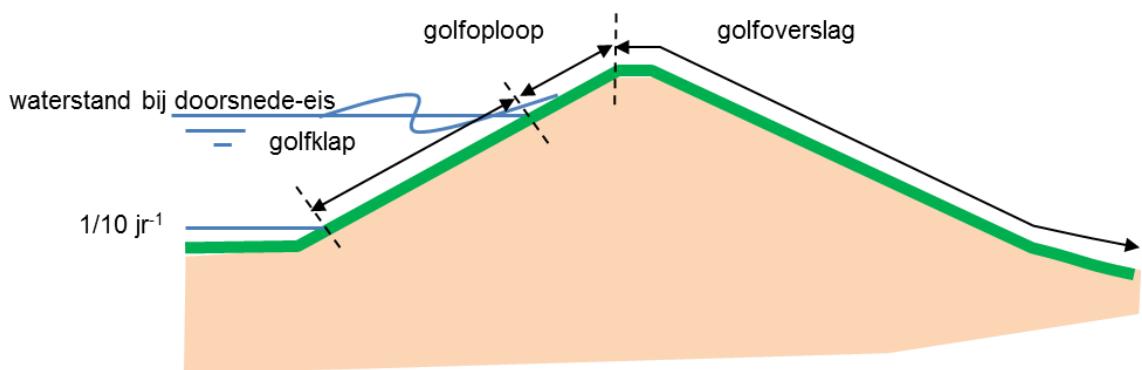
Figuur 5.2 Schematisering afschuiving bekleding buitentalud

Alleen het bekledingdeel onder de stilwaterlijn 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 golfovloop. Bij de toets worden de golfklapzone en de golfovloopzone onderscheiden, zie Figuur 5.3. Het niveau van de waterlijn in deze figuur correspondeert met het waterstands niveau uit de marginale waterstandsstatistiek met een overschrijdingss kans gelijk aan de doorsnede-eis van het mechanisme erosie buitentalud.



Figuur 5.3 Schematische weergave dijkprofiel met verschillende belastingzones

De toepassingsvooraarde 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 golfovloopzone een grasbekleding worden beoordeeld in het toetsspoor Gras Erosie Buitentalud (GEBU) 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 bestaat de Schematiseringshandleiding hoogte.

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

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 microstabilité, 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:

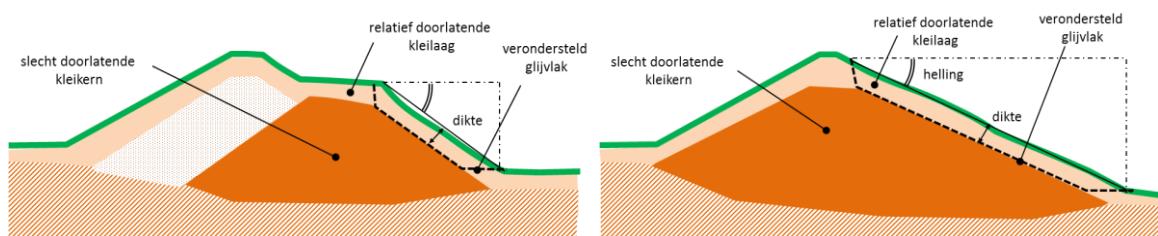
- Karakterisering van de dijkopbouw en ondergrond.
- Geohydrologische karakterisering.
- Geotechnische schematisering.
- Keuze te beoordelen dwarsprofielen.

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 taluhelling 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 uitreedt.

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 dunne 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 golfoverslagdebit van meer dan $0,1 \text{ l/s/m}'$ ($1.10^{-4} \text{ m}^3/\text{s/m}'$ 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.

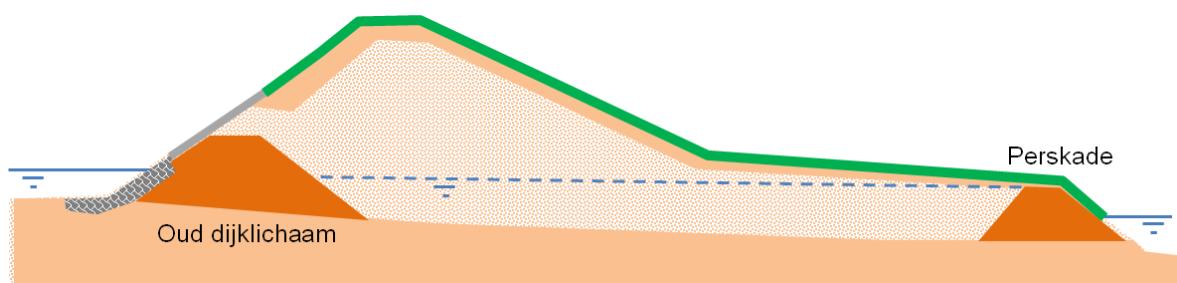
Zanddijken

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 dijklachamen die relatief ondoorlatend zijn, zie Figuur 5.5, waardoor regenwater dat in het dijklichaam infiltrert 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:

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

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

- c' Effectieve cohesie [kPa].
 ϕ' Effectieve hoek van inwendige wrijving [$^\circ$].
 γ_n Verzadigd gewicht van de afschuivende grondlaag [kN/m³].
 γ_w Gewicht water [kN/m³].

De schematisering van de geotechnische parameters (gewicht en wrijvingseigenschappen) 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. Vermijd 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 gedetailleerde beoordeling de grasbekleding op erosie van kruin en het binnentalud wordt gebruik gemaakt van golfoverslagberekeningen. Hiervoor dient de geometrie van het buitentalud en eventueel voorland te worden geschematiseerd, waarvoor de schematiseringshandleiding hoogte is opgesteld [18].

De sterkte van de grasbekleding wordt in de *gedetailleerde toets* gekarakteriseerd door een kansverdeling van het kritisch overslagdebit. 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).

Het effect van overgangen en objecten op de erosiebestendigheid van de grasbekleding wordt niet meegenomen.

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 toetsspoeren 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 van deze schematiseringshandleiding.

6.3 Geometrie van de dijk

Wat is het

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

Extra aandacht is nodig voor de schematisering van het dwarsprofiel aan de buitenzijde van de dijk inclusief de kruinhoogte. Dit deel van de geometrie wordt gebruikt voor de golfoploopberekeningen waarvoor de Schematiseringshandleidingen hoogte [18] en schematisering hydraulische belasting bij de dijkteen [19] zijn opgesteld.

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.

Uit de geometrie worden verder de volgende parameters bepaald:

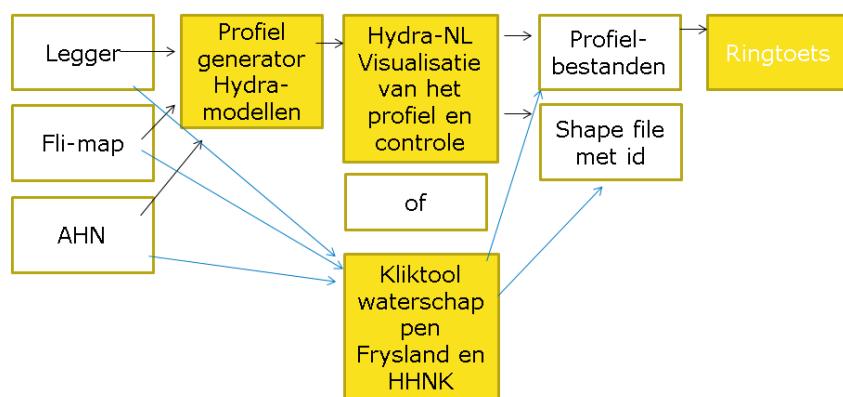
- Helling van het binnentalud.
- Hoogte van de binnenteen.
- Helling van het buitentalud.
- Hoogte buitenteen.
- Evaluatiehoogte, hoogte van de overgang van een harde bekleding (bijvoorbeeld asfalt of steen) naar grasbekleding.

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 het inmeten door een veldploeg of door het inmeten met behulp van laseraltimetrie (FLI-MAP). Ook kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN). Voor het omzetten van de leggerdata, FLI-MAP data, en AHN data zijn er twee tools ontwikkeld het kliktool van de waterschappen (ontwikkeld bij DAM) en de profielgenerator ontwikkeld in 2005 door Rijkswaterstaat, Provincie Zuid Holland en Waterschap Rivierenland. De profiel formats van Hydra-NL worden ook geaccepteerd door Ringtoets na een toevoeging van id-informatie (de koppeling met de shapefile) en RD coördinaten in het bestand.

Keten van bouw van schematisaties voor voorlanden, dammen en dijkprofielen



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 golfoploopberekening, zie Schematiseringshandleiding hoogte. Wanneer het dwarsprofiel is gebaseerd op laseraltimetrie of het AHN 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 of het AHN moet er op worden toegezien dat de maatgevende (meest kritische) 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 volgens het toetsspoor *grasbekleding afschuiven buitentalud* in de golfklapzone 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 golfoogte. Het mechanisme is daarmee zodanig beperkt van omvang dat het heel onwaarschijnlijk is dat een berm ook afschuift.
- Voor de beoordeling volgens het toetsspoor *grasbekleding afschuiven binnentalud* bij golfoverslag moet uit de geometrie een representatieve 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 tussen talud en kruin en talud en 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 *gedetailleerde toets* wordt ook de lengte van het talud meegenomen en dient het langste steilste taluddeel te worden beoordeeld. Indien het langste taluddeel niet het steilste taluddeel is, dan dienen beide taluddelen te worden beoordeeld.
 - Voor zanddijken, al dan niet met een kleibekleding, is het taluddeel van belang tussen de grondwaterstand in de zandkern ter plaatse van het binnentalud en de binnenteen. Eenvoudigheidshalve kan worden uitgegaan van de helling van het taluddeel tussen het niveau van de waterstand bij de 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 dijkgebouw 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 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 dijkgebouw mogelijk zijn, onder meer bij oude dijkdoorbraken. Deze plekken verdienen extra aandacht bij het plannen van grondonderzoek, zodat de afwijkende dijkgebouw in kaart kan worden gebracht.
- De inspanning van een grondonderzoek is aanzienlijk, dus het is aan te bevelen om het onderzoek naar het dijktype te combineren met gevraagde kennis over de dijkgebouw en bodemopbouw die nodig is voor de andere toetssporen.

6.4.2 *Dikte en onderwatergewicht kleibekleding buitentalud*

Wat is het

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

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 Ringtoets beschikbaar gesteld. Er wordt gerekend met de significante golfhoogte op basis van marginale statistiek en wordt bepaald bij een overschrijdingss kans gelijk aan de norm.

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	Symbol (eenheid)	Bron
Eenvoudige beoordeling		
Significante golfhoogte, op basis van marginale statistiek bij de norm	H_{m0} (m)	Paragraaf 6.5.2; Ringtoets
Waterstand, op basis van marginale statistiek bij de norm	- (m NAP)	Paragraaf 6.5.3; Ringtoets
Hoogte kleikern	- (m NAP)	Paragraaf 6.4.1
Graskwaliteit	- (gesloten, open, fragmentarisch-)	Paragraaf 6.5.1
Waterstand op basis van marginale statistiek bij doorsnede-eis GEBU	- (m NAP)	Paragraaf 6.5.4; Ringtoets
Geometrie (ingemeten dwarsproefiel, voorland)	- (m NAP)	Paragraaf 6.3
Helling buitentalud	- (graden)	Paragraaf 6.3
Gedetailleerde beoordeling		
Parameters software Gras Buitentalud - Oloop		
Evaluatiehoogte: hoogte overgang harde bekleding naar grasbekleding	- (m NAP)	Paragraaf 6.3
Coëfficiënt voor berekening ololopsnelheid en oloophoogte van de golven	c_u (-)	Default 1,1
Valversnelling	- (m/s^2)	Default 9,81
Optie 'schaling'	- (-)	Default aangevinkt
Aantal golven bij schaling	N fixed (-)	Default 10.000
Kritische stroomsnelheid	U_c (m/s)	Paragraaf 6.5.1
Kritische cumulatieve overbelasting	D_{crit} (m^2/s^2)	Default 7.000
Coëfficiënt voor verhogen belasting bij overgangen en objecten	Alpha M (-)	Default 1
Coëfficiënt voor verlagen sterkte bij overgangen en objecten	Alpha S (-)	Default 1
Dijknormaal tov Noord	- (graden)	Paragraaf 6.3; Schematiseringshandleiding Hoogte
Geometrie lijnstukken voor schematisering olooppberekening: X begin (m) , Y begin (m NAP), X eind (m), Y eind (m NAP)	- (-)	Paragraaf 6.3; Schematiseringshandleiding Hoogte
Ruwheid lijnstuk voor olooppberekening	- (-)	Paragraaf 6.3; Schematiseringshandleiding Hoogte
Hydraulische belastingtype	- (directe invoer/ synthetische storm)	Default Synthetische storm
Tijdstap	Delta T (u)	Default 0,25
Coëfficiënt omrekening gemiddelde golfperiode uit de spectrale golfperiode	$C_{tm-tm10}$ (-)	Default 0,92
Waterstandverloop – tijdstappen	Tijd (u tov start hoogwater)	Paragraaf 6.5.5

Waterstandverloop – waterstand per tijdstap	Zswl (m NAP)	Paragraaf 6.5.5
Belasting bekledingen– Buitenwaterstand bij golfcondities	Zswl (m NAP)	Ringtoets; Bijlage II Hydraulische Belastingen
Belasting bekledingen – Significante golfhoogte bij buitenwaterstand	H_{m0} (m)	Ringtoets; Bijlage II Hydraulische Belastingen
Belasting bekledingen – Spectrale golfperiode bij buitenwaterstand	T_{mm10} (s)	Ringtoets; Bijlage II Hydraulische Belastingen
Belasting bekledingen – golfrichting bij buitenwaterstand	θ (graden tov Noord)	Ringtoets; Bijlage II Hydraulische Belastingen
Gedetailleerde beoordeling		
Parameters software Gras Buitentalud – Golfklap		
Verticale stapgrootte te beoordelen punten op het buitentalud	Delta Z (m)	Default 0,1
Ondergrens significante golfhoogte in de standtijdlijn voor golfklapbeoordeling	Min. significante golfhoogte (m NAP)	Default coëfficiënt c; paragraaf 6.5.1
Bovengrens significante golfhoogte in de standtijdlijn voor golfklapbeoordeling	Max. significante golfhoogte (m NAP)	Default coëfficiënt a+c; paragraaf 6.5.1
Ondergrens waterstand waarvoor de beoordeling wordt uitgevoerd	Min. waterstand (m NAP)	Default laagste waterstand uit waterstandverloop
Bovengrens waterstand waarvoor de beoordeling wordt uitgevoerd	Max. waterstand (m NAP)	Default 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 6.5.7
Dikte kleilaag + gras	- (m)	Paragraaf 6.5.8
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 $1/10 \text{ jr}^{-1}$ op basis van marginale statistiek waterstand (Bijlage II Hydraulische Belastingen)
Hoogste punt van de grasbekleding waarvoor de beoordeling wordt uitgevoerd	Zgrass,max (m NAP)	Bovenzijde grasbekleding begrensd door waterstand op basis van marginale statistiek bij doorsnede-eis GEBU (paragraaf 6.5.4)
Hydraulische belastingtype	- (directe invoer/ synthetische storm)	Default Synthetische storm
Tijdstap	Delta T (u)	Default 0,25
Waterstandverloop – tijdstappen	Tijd (u tov start hoogwater)	Paragraaf 6.5.5
Waterstandverloop – waterstand per tijdstap	Zswl (m NAP)	Paragraaf 6.5.5
Belasting bekledingen – Buitenwaterstand bij golfcondities	Zswl (m NAP)	Ringtoets; Bijlage II Hydraulische Belastingen
Belasting bekledingen – Significante golfhoogte bij buitenwaterstand	H_{m0} (m)	Ringtoets; 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 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

	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 worden gebruikt (Tabel 6.3). Ook hiervoor geldt dat voor deze waarden wordt uitgegaan van een sustraat 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

	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 $0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$) van de afstand tussen planten waar deze uit de grond komen.

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

- gesloten 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 $0,15 \times 0,15 \text{ m}^2$ zijn en gemiddeld over 25 m^2 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 dijktalud 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 een plag te steken in representatieve strekkingen met dezelfde aanblik. Deze controle kan nodig zijn omdat de bovengrondse plantendelen niet altijd eenduidig de doorworteling representeren. De controle verschafft 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 losgesneden van ongeveer $0,25 \times 0,3 \text{ m}$, die als plag van circa 7 à 10 cm dikte wordt opgetild, de kwalificatie van de doorworteling is als volgt:

- Dicht wortelnet (dichte zode): Het vergt enige moeite om een losgestoken zodeplag (ca. $0,25 \times 0,3 \text{ m}^2$) uiteen te trekken: zo blijft een plag van een dichte zode grotendeels intact bij losmaken van de ondergrond met een spade.
- 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 gestoken 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 het grondoppervlak te nemen (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 gemaaid 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 consistenter. De kennis over de beoordeling wordt op elkaar geijkt. Oefening baart kunst.
- Veruit de meeste grasbekledingen liggen op een kleilaag, echter er zijn in Nederland ook grasbekledingen op primaire waterkeringen op een zandondergrond. Voor deze grasbekledingen zijn binnen de gedetailleerde beoordeling geen rekenwaarden van de sterkte beschikbaar. Deze grasbekledingen kunnen in een toets op maat worden beoordeeld.

6.5.2

Significante golfhoogte

Wat is het

Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 6.4.3.

Hoe te bepalen

De golfhoogte wordt bepaald met Ringtoets. In de *eenvoudige toets* wordt gebruik gemaakt van de golfhoogte op basis van marginale statistiek van golfhoogtes met een overschrijdingskans gelijk aan de norm. In de *gedetailleerde toets* wordt gebruik gemaakt van een verloop van de golfcondities in tijd op basis van berekeningen met de Belastingen bekledingen module, zie hiervoor 6.5.6.

6.5.3 *Waterstand bij de norm*

Wat is het

De *waterstand bij de norm* is de waterstand op basis van marginale statistiek van waterstanden met een jaarlijkse overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de norm. Deze waterstand wordt gebruikt in de eenvoudige beoordeling.

Hoe te bepalen

De *waterstand bij de norm* wordt met Ringtoets bepaald.

6.5.4 *Waterstand bij doorsnede-eis*

Wat is het

De waterstand bij de doorsnede-eis is de waterstand op basis van marginale statistiek van waterstanden met een jaarlijkse overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de doorsnede-eis (zie paragraaf 6.2). Deze waterstand wordt gebruikt in de gedetailleerde beoordeling voor het onderscheid tussen de golfklapzone en de golfoploopzone en wordt 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 de doorsnede-eis wordt met Ringtoets bepaald, onder het toetsspoor Dijken en dammen – Grasbekleding erosie buitentalud.

6.5.5 *Waterstandverloop*

Wat is het

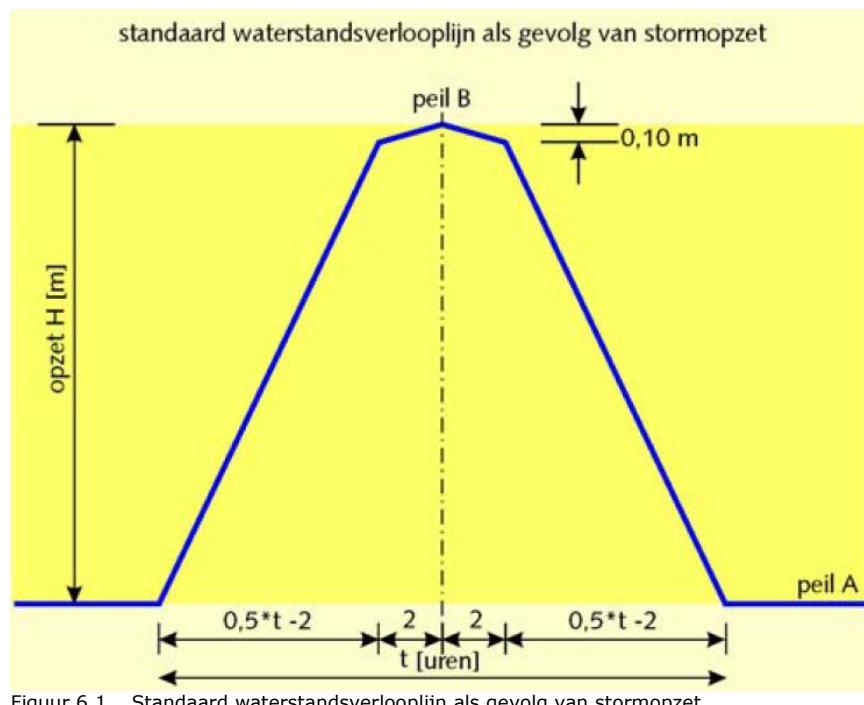
Het waterstandverloop is het verloop van de buitenwaterstand tegen de tijd welke wordt gebruikt bij de gedetailleerde beoordeling van de bekleding. Opgemerkt wordt dat dit waterstandverloop specifiek is bedoeld voor bekledingen en anders is dan voor de beoordeling van bijvoorbeeld het faalmechanisme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

Hoe te bepalen

Het waterstandsverloop wordt op dezelfde manier geschematiseerd als voor steen- en asfaltbekledingen. Dit is beschreven in paragraaf 5.7 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
Westerschelde	35	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])
IJsselmeer	35	Figuur 6.1
Markermeer	35	Figuur 6.1
Randmeren	35	Figuur 6.1
Noordzee	35	Figuur 6.1
Waddenzee	45	Figuur 6.1
Benedenrivieren, deelgebied 1 en 2 (Figuur 6.2)	35	Figuur 6.3
Benedenrivieren, deelgebied 3 t/m 5 (Figuur 6.2)	12	Constante waterstand
Bovenrivieren	12	Constante waterstand
Ander gebied	vrij te kiezen	Figuur 6.1 (peil A = NAP)



Figuur 6.1 Standaard waterstandsverlooplijn als gevolg van stormopzet.

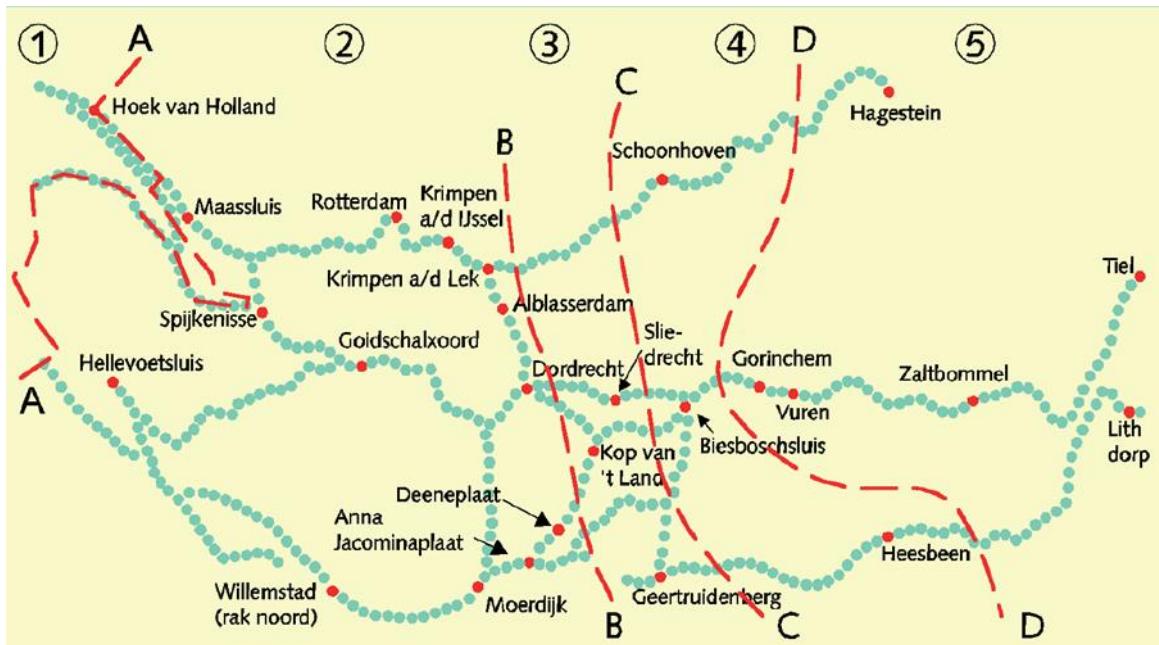
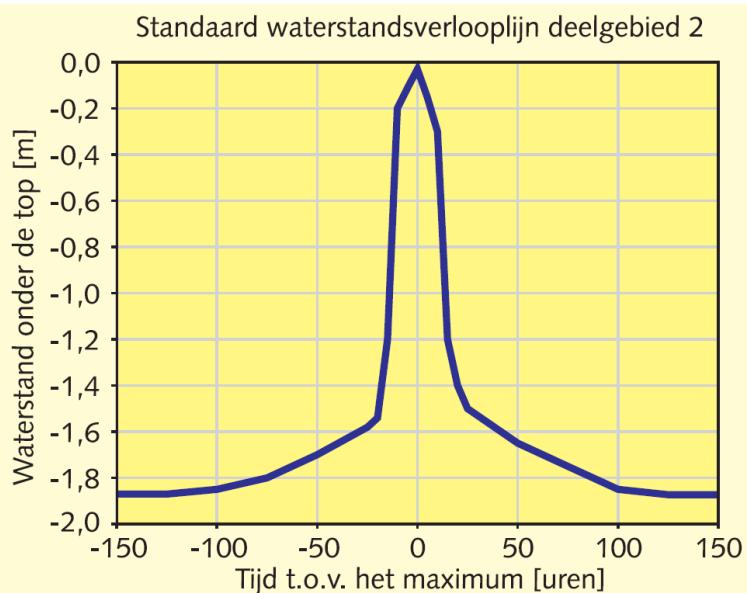


Figure 6.2 Indeling deelgebieden Benedenrivierengebied met standaard waterstandsverlooplijnen.

Tijd t.o.v. maximum [uren]	Waterstand onder de top [m]
-150	-1,87
-125	-1,87
-100	-1,85
-75	-1,80
-50	-1,70
-25	-1,58
-20	-1,54
-15	-1,20
-10	-0,20
-5	-0,10
0	0,00
5	-0,15
10	-0,30
15	-1,20
20	-1,40
25	-1,50
50	-1,65
75	-1,75
100	-1,85
125	-1,87
150	-1,87



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

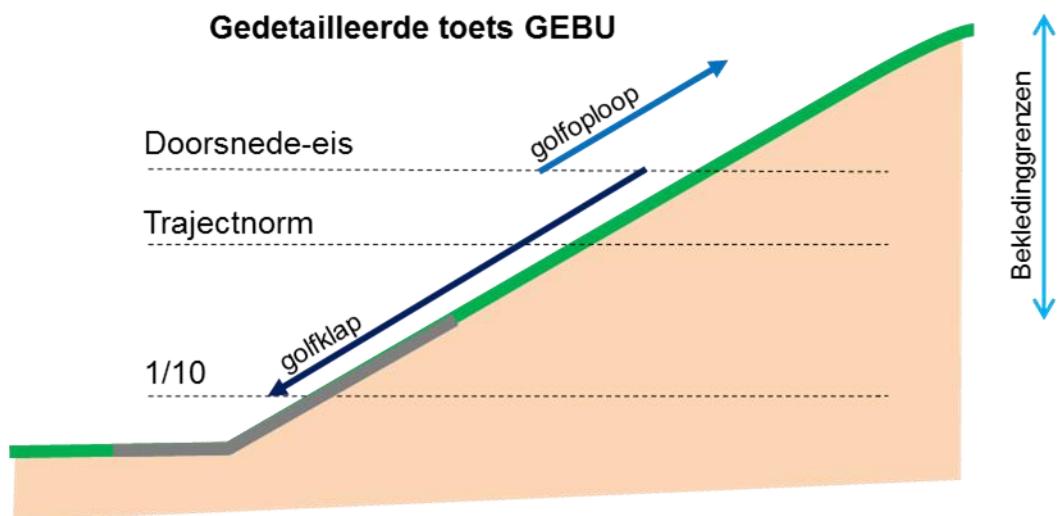
6.5.6 Belasting bekledingen

Wat is het

De belasting van de bekleding zijn de combinaties van golfcondities (golfhoogte, golfperiode en richting) en waterstand waarmee de grasbekleding wordt beoordeeld. De combinaties van belastingen worden bepaald met Ringtoets. In de gedetailleerde beoordeling worden belastingcombinaties gebruikt met een overschrijdingskans gelijk aan de doorsnede-eis. Samen met het waterstandverloop (paragraaf 6.5.5), vormt de belasting de zogenaamde 'synthetische storm' welke wordt gevraagd in de gedetailleerde beoordeling van erosie van gras op het buitentalud (Tabel 6.1).

Hoe te bepalen

De belastingen bekledingen worden afgeleid met Ringtoets, onder toetsspoor Dijken en dammen – Grasbekleding erosie buitentalud. Voor het bepalen van de belastingen kunnen in Ringtoets een aantal grenzen en de stapgrootte worden opgegeven. Voor de grenzen en de tussenliggende stappen 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 op basis van marginale statistiek bij een kans van voorkomen van $1/10 \text{ jr}^{-1}$. Voor golfoploop wordt hier niet de evaluatiehoogte gebruikt, de overgang tussen de harde bekleding en de grasbekleding (zie tabel 6.1), omdat bij oploop de golven beneden deze overgang naar de grasbekleding breken, maar wel zorgen voor golfoploop boven dit niveau.
- Bovengrens waterstand: niveau van de marginale waterstand bij de doorsnede-eis.
- Ondergrens waterstand: waterstand op basis van marginale statistiek bij een kans van voorkomen van $1/10 \text{ jr}^{-1}$.
- Stapgrootte: voor de meeste dijken kan hier 0,5 m worden aangehouden. Bij relatief kleine verschillen tussen onder en bovengrenzen kan ervoor worden gekozen een kleinere stapgrootte te kiezen.

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

- Bovengrens van de bekleding: bovengrens van de grasbekleding in de golfklapzone. Als de grasbekleding hoger eindigt dan wordt hiervoor de marginale waterstand bij doorsnede-eis gebruikt.
- Ondergrens van de bekleding: hoogste van onderstaande punten:

- Ondergrens bekleding voor zover gelegen onder de marginale waterstand bij doorsnede-eis.
- Buitenteen van de dijk.
- waterstand op basis van marginale statistiek bij een kans van voorkomen van $1/10 \text{ jr}^{-1}$. Niveau's onder deze waterstand vallen niet meer onder de beoordeling op veiligheid.
- Bovengrens waterstand: niveau van de marginale waterstand bij de doorsnede-eis.
- Ondergrens waterstand: waterstand op basis van marginale statistiek bij een kans van voorkomen van $1/10 \text{ jr}^{-1}$.
- Stapgrootte: voor de meeste dijken kan hier 0,5 m worden aangehouden. Bij relatief kleine verschillen tussen onder en bovengrenzen kan ervoor worden gekozen een kleinere stapgrootte te kiezen.

6.5.7 *Zandgehalte in kleilaag*

Wat is het

Het zandgehalte is het massapercentage van korrels groter dan $63 \mu\text{m}$ 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 $63 \mu\text{m}$ vind plaats door middel van zeven.

6.5.8 *Dikte kleilaag*

De dikte van de kleilaag wordt gebruikt bij de gedetailleerde beoordeling van een grasbekleding in de golfklapzone. De dikte wordt gerekend loodrecht op het talud en is de afstand tussen het maaiveld en de onderkant van de kleilaag, dus inclusief de sterk doorwortelde toplaag. In de gedetailleerde beoordeling wordt de laagdikte tot en met 0,5 m beschouwd. Dikkere kleilagen kunnen eventueel in het kader van een toets op maat worden meegenomen in de veiligheidsbeoordeling. Voor de verdere beschrijving wordt verwezen naar paragraaf 6.4.2.

6.6 **Afschuiven bekleding binnentalud**

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 stoomt. Het symbool is q . Het debiet wordt uitgedrukt in liter per strekkende meter dijk per seconde l/m/s of in Ringtoets in $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$.

Hoe te bepalen

Het overslagdebiet wordt bepaald met behulp van een hydraulische belastingniveau berekening (HBN) in Ringtoets bij een kans gelijk aan de norm. Deze rekenoptie bevindt zich onder het tabblad Dijken en dammen – Grasbekleding erosie kruin en binnentalud in Ringtoets. Bij een ingewikkelde geometrie van het buitentalud kan (in een Toets op Maat) deze berekening worden aangescherpt door het uitvoeren van een berekening met PC-Overslag, waarbij gebruik wordt gemaakt van de hydraulische belastingen uit het illustratiepunt van de probabilistische berekening.

Aandachtspunten

- Hetzelfde overslagdebiet, op basis van een HBN berekening in Ringtoets bij de norm, is ook nodig in de beoordeling van het faalmechanisme microstabiliteit.
- In Ringtoets wordt het overslagdebiet gegeven in $m^3/s/m'$ in plaats van het tot dusver in de praktijk gangbare $l/s/m'$.
- Het gemiddeld overslagdebiet is de maat van een tijdgemiddeld debiet. De verdeling van overslagvolumes is sterk afhankelijk van de golfhoogte. Een overslagdebiet van $1 l/s/m'$ 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 dijktype 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 dijktype kan bekend zijn uit archiefgegevens, bestektekeningen of revisietekeningen. Indien de dijkgebouw 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 dijkgebouw mogelijk zijn, onder meer bij oude dijkdoorbraken. Deze plekken verdienen extra aandacht bij het plannen van grondonderzoek, zodat de afwijkende opbouw in kaart kan worden gebracht.
- De inspanning van grondonderzoek is aanzienlijk, dus het is aan te bevelen om het onderzoek naar het dijktype te combineren met grondonderzoek naar de dijkgebouw en bodemopbouw die nodig is voor de andere toetssporen.
- Bij het uitvoeren van grondonderzoek naar het dijktype moet tevens worden gedacht aan de andere eventueel benodigde parameters, zoals de volumieke massa van de kleibekleding, de schuifsterke van de kleibekleding (ongeroerde monstername) 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

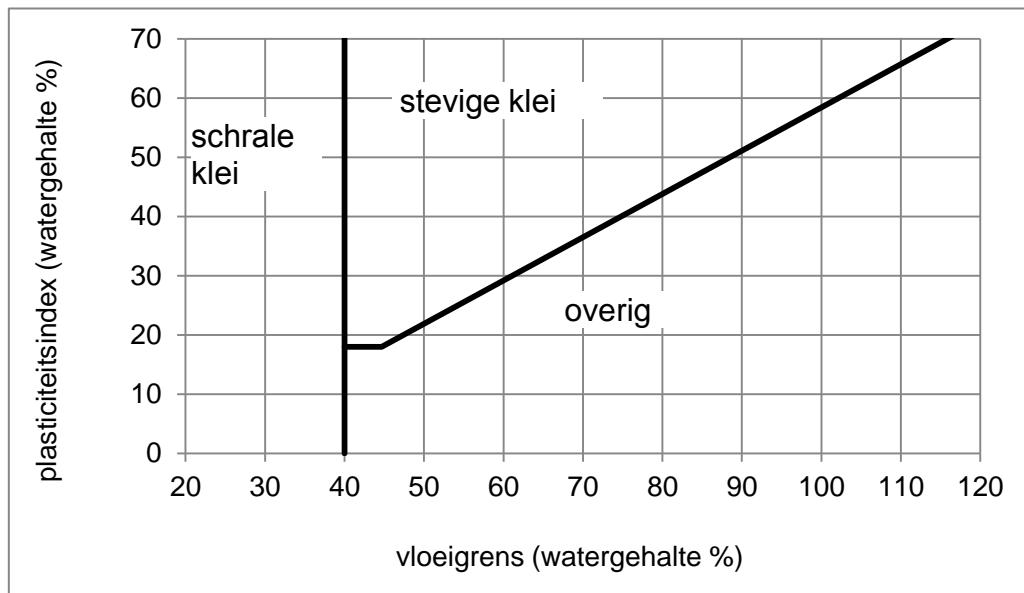
Wat is het

De kleikwaliteit is een maat voor de plasticiteit of affinitet 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 significanten 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 schaaltje 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/m^3] 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 stabieler 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 m 2) die een stukje in de dijk worden gedrukt en gevuld met water. De afname van de waterstand in deze buizen en kokers per tijdseenheid is de infiltratiecapaciteit. De gemeten infiltratiecapaciteit kan met behulp van formules worden teruggerekend naar een doorlatendheid, waarbij overigens opgemerkt dat de infiltratiecapaciteit vaak een redelijke schatting is van de verzwigde 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 doorgedreven. 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 infiltrert 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]:

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

Waarin:

k_{rep}	Karakteristieke waarde van de doorlatendheid [m/s].
$(\log k)_{gem}$	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 dijktipe en dijkgebouw 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

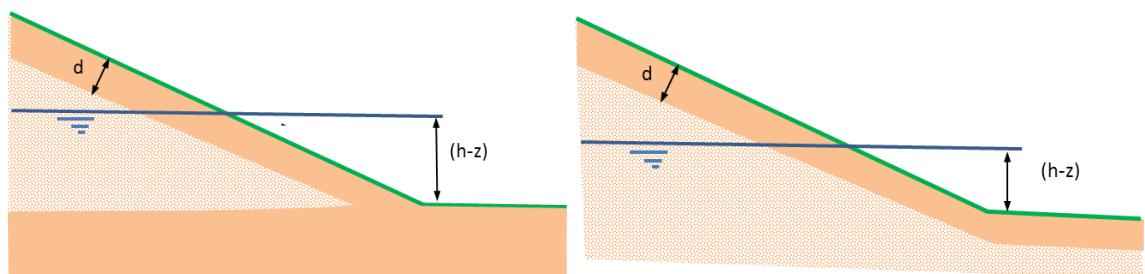
- Een zanddijk op een zandondergrond is zeldzaam in Nederland. De kans is wat groter in Limburg en, minder, in het overige bovenrivierengebied, langs de zee- en estuariakusten waar zanddijken buitendijks zijn aangelegd en bij voormalige dijkdoorbraken.

6.6.8

Grondwaterstand binnenteen ten opzichte van teen niveau ($h-z$)

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 teen niveau 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 ($h-z$)

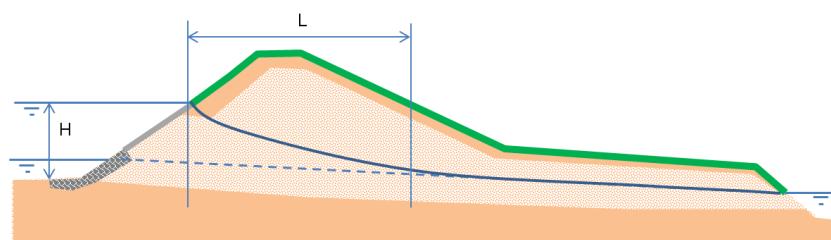
In de gedetailleerde toets wordt uitgegaan van het linker scenario in Figuur 6.6. In het rechter scenario heeft de dijk een zandberm, waardoor het water ter plaatse van de teen niet wordt opgesloten.

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 aannname. 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*).

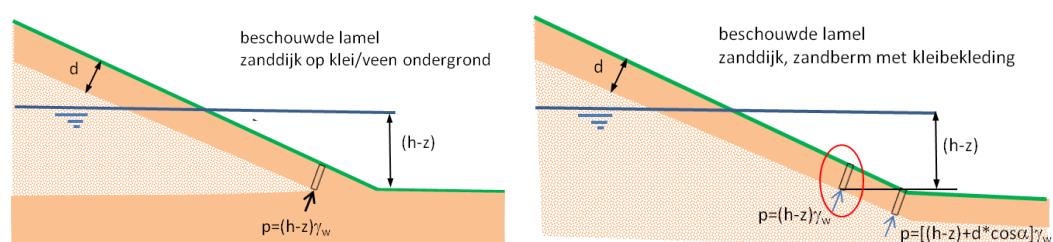
- 3 Het effect van infiltratie door golfoverslag wordt berekend door de infiltratiecapaciteit van de kleibekleding en de duur dat het talud nat is als gevolg van golfoverslag met elkaar te vermenigvuldigen en te delen door de porositeit van de zandkern. Aangenomen wordt dat deze schijf grondwater instantaan 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 potentieel toename van het freatisch vlak van 10^{-4} m/s * $3600 / 0,35 = 1,02$ m/uur. Uitgaande van het boven genoemde 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 Ringtoets onder het spoor Gras erosie kruin en binnentalud. 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 Hoofdstuk 7). 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 conservatieve 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

- 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 triaxialproeven.

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 triaxialproeven 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 triaxialproeven proeven, maar is het resultaat van extrapolatie van metingen naar het punt $\sigma' = 0$ in een grafiek van schuifsterkte τ (y-as) tegen effectieve spanning σ' (x-as). Daarom is voorzichtigheid bij het bepalen van cohesie geboden.
- Om de bezwijkomhullende en de cohesie vast te stellen worden de resultaten van proeven op verschillende monsters gecombineerd. Door lineaire regressie toe te passen op de gemeten resultaten van proeven op grondmonsters die een enigszins afwijkende samenstelling hebben, kan de cohesie ook (deels) het gevolg zijn van de heterogeniteit van de onderzochte grondmonsters. De cohesie is dan het gevolg van het toepassen van lineaire regressie en hoeft niet een eigenschap van de onderzochte grondmonsters te zijn.
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 triaxialproeven 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 Ringtoets. De geometrie en de oriëntatie van de dijk, eventueel het voorland en voorliggende dam, wordt ingevoerd in Ringtoets met behulp van een .prfl – file. De oriëntatie van de dijk, de dijkhoogte en het gebruik van voorland en een voorliggende dam in de berekeningen kan in Ringtoets worden ingevoerd. Zoals in de tabel aangegeven wordt de schematisering van het profiel behandeld in de Schematiseringshandleiding hoogte [18].

Tabel 6.5 Parameterlijst erosie buittentalud

Parameter	Symbol (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 tot Noord)	Schematiseringshandleiding Hoogte
Dam - gebruik	- (false, true)	Schematiseringshandleiding Hoogte; Bijlage II Hydraulische Belastingen
Voorlandgeometrie - gebruik	- (false, true)	Schematiseringshandleiding Hoogte; Bijlage II Hydraulische Belastingen
Kritisch overslagdebiet verwachtingswaarde	μ ($m^3/s/m$)	Paragraaf 6.7.4
Kritisch overslagdebiet standaardafwijking	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 *erosie kruin en binnentalud*.

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 golfhoogteklaasse bij de keuze voor het gemiddelde en de standaardafwijking van het kritisch overslagdebiet (zie paragraaf 6.7.4). De golfhoogte wordt bepaald door het uitvoeren van een HBN berekening met Ringtoets bij 0,1 l/s/m gegeven de doorsnede eis voor het faalmechanisme GEKB.

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.

6.7.4

Gemiddelde en standaardafwijking kritisch overslagdebiet

Wat is het

Het gemiddelde en de standaard afwijking van het kritisch overslagdebiet bepalen de ligging van de kansverdeling van het kritisch overslagdebiet. Deze kansverdeling represeneert de erosiebestendigheid van de kruin en het binnentalud bij golfoverslag. Er wordt gebruik gemaakt

van een lognormale kansverdeling. De eenheid van beide parameters is $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$. De parameters worden gebruikt bij de gedetailleerde beoordeling in Ringtoets.

Hoe te bepalen

Het gemiddelde 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 Gemiddelde μ en standaardafwijking σ voor het kritieke overslagdebiet bij verschillende golfhoogteklassen en zodekwaliteit

Golfhoogteklasse	Gesloten zode		Open zode	
	$\mu [\text{l/s/m}']$	$\sigma [\text{l/s/m}']$	$\mu [\text{l/s/m}']$	$\sigma [\text{l/s/m}']$
0-1 m	225	250	100	120
1-2 m	100	120	70	80
2-3 m	70	80	40	50

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

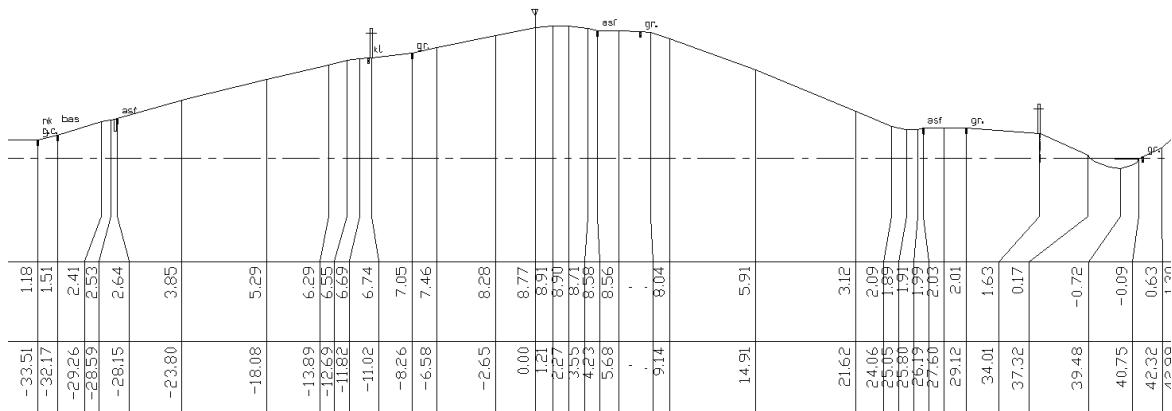
Voorbeeld afschuiven bekleding binnentalud

7.1

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 (Figuur 7.1). Binnen het vak is de waterstand met een overstromingskans gelijk aan de norm overall 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.



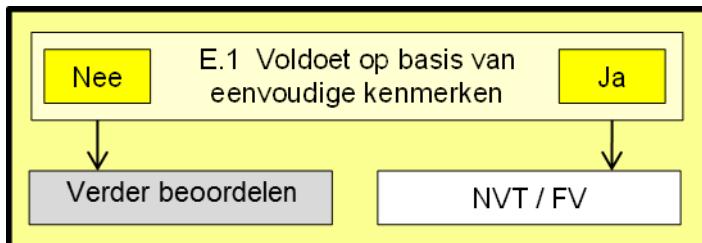
Het dijktraject heeft een norm overstromingskans (ondergrens) van $1/1.000 \text{ jr}^{-1}$ en een signaleringskans van $1/3.000 \text{ jr}^{-1}$. In deze case wordt gerekend met de signaleringskans. Het mechanisme afschuiven van de bekleding van het binnentalud heeft geen eigen faalkansruimte. Het veiligheidsformat 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 Ringtoets wordt daarom nauwelijks ingegaan. Meer informatie hierover is te vinden in [18].

7.2

De eenvoudige toets

De eenvoudig toets bestaat uit het voldoen aan voorwaarden (Figuur 7.2).



Figuur 7.2 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 overslagdebit q is kleiner dan $0,1 \text{ l/s/m}$ (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 golfoverslagdebit van $0,1 \text{ l/s/m}$ ($\text{Ringtoets hanteert } 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s/m}$) bij de norm is eveneens benodigd om te kijken of een toets op microstabiliteit nodig is. Het overslagdebit bij de norm wordt bepaald met behulp van een HBN berekening met Ringtoets (HBN: Hydraulisch Belastingniveau). Deze rekenoptie bevindt zich onder het tabblad Dijken en dammen – Grasbekleding erosie kruin en binnentalud in Ringtoets.

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. Ringtoets geeft voor dit voorbeeld een HBN van $0,1 \text{ l/s/m}$ ($10^{-4} \text{ m}^3/\text{s/m}$) van NAP +9,13 m, waardoor niet aan de voorwaarde wordt voldaan.

7.3

De gedetailleerde toets

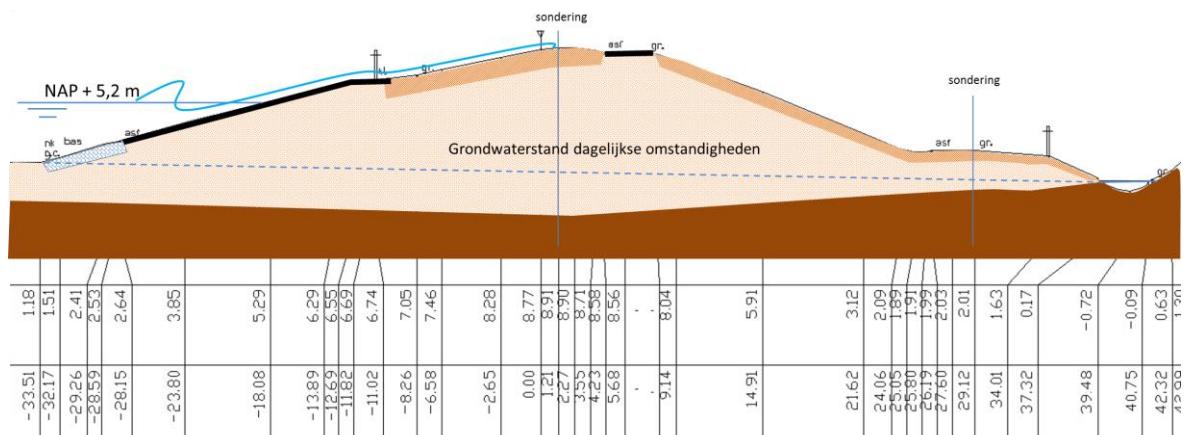
7.3.1

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 (Figuur 7.3). Omdat deze kleilaag in de orde van 1 m of dunner is wordt er vooralsnog van uitgegaan dat deze relatief doorlatend is.



Figuur 7.3 Opbouw van de dijk en geohydrologische schematisering

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

7.3.2

Verhoging freatisch vlak door hoge buitenwaterstand

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

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

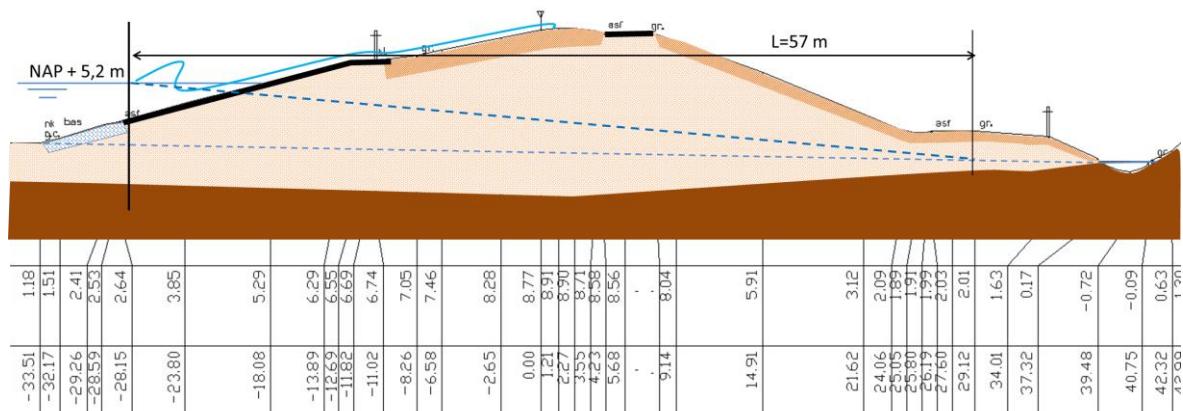
Hierbij wordt bij de berekening impliciet van de conservatieve aanname uit gegaan dat de bekleding, ook het asfalt, open is. Bekend is dat het zand in de kern van de dijk fijn is, echter er zijn geen zeefkrommes of doorlatendheidbepalingen beschikbaar. Daarom wordt in eerste instantie uitgegaan van een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

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

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

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

Bij een talud dat over de volle hoogte doorlatend is wordt het intredepunt genomen op het snijpunt tussen de hoogste waterstand en het buitentalud. Echter in dit geval bevindt zich een dichte asfaltbekleding op het buitentalud tot boven de buitenwaterstand. Daarom wordt de onderzijde van de dichte asfaltbekleding aangehouden als het intredepunt (Figuur 7.4). Hierin is het effect van golfoverslag nog niet meegenomen.



Figuur 7.4 Schematisering verhoging freatisch vlak in de zandkern als gevolg van een hoge buitenwaterstand.

7.3.3

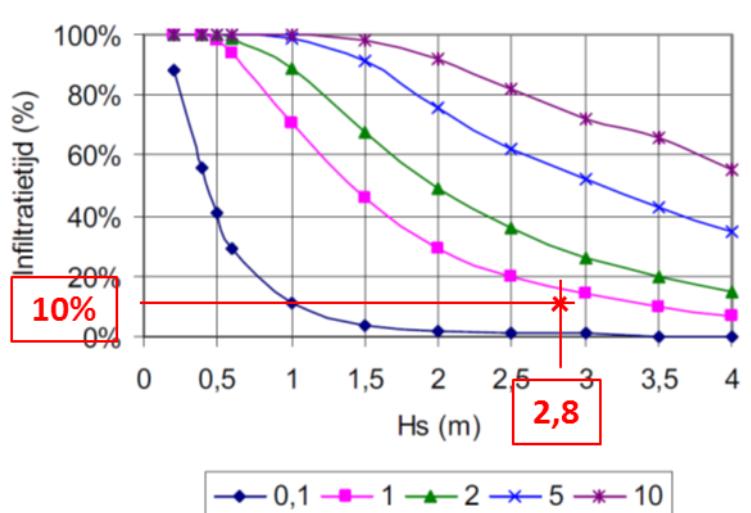
Verhoging freatisch vlak door golfoverslag

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 waternaambod is keer de infiltratiecapaciteit van het dijktalud. Deze hoeveelheid water gedeeld door de porositeit van het zand is gelijk aan de potentiele 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 waternaambod geeft op het binnentalud. Aangenomen wordt dat als het overslagdebiet kleiner of gelijk is aan $0,1 \text{ l/s/m}^2$ ($1.10^{-4} \text{ m}^3/\text{s/m}^2$ 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 $0,1 \text{ l/sm}$ golfoverslag is. Binnen de gedetailleerde beoordeling wordt uitgegaan van een overslagduur van 6 uur met een overslagdebiet dat gelijk is aan het piek overslagdebiet tijdens de storm. In een toets op maat kan dit worden aangescherpt.

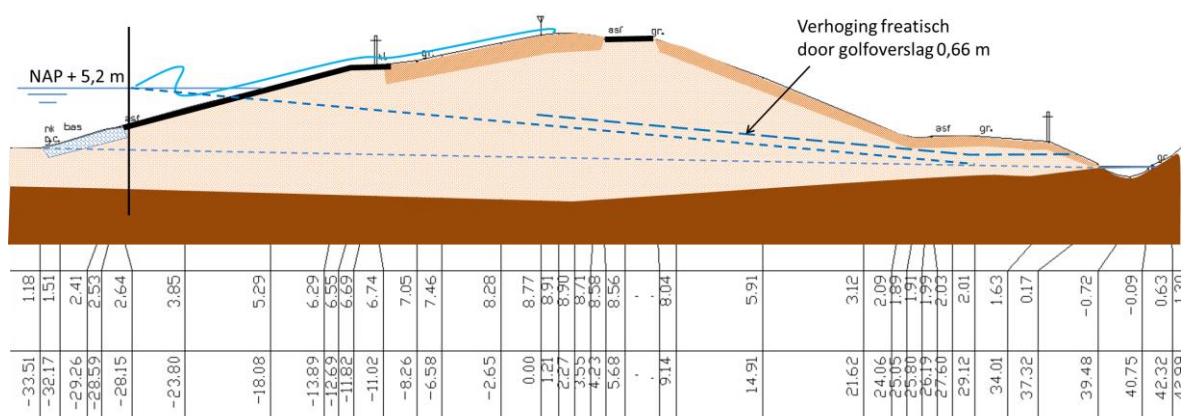
Met behulp van Ringtoets wordt berekend dat het overslagdebiet tijdens de piek van de storm, bij een normkans van $1/3.000 \text{ jr}^{-1}$ (signaalwaarde) en een kruinhoogte van NAP +8,9 m gelijk is aan $0,8 \text{ l/s/m}$. Ringtoets geeft eveneens de golfcondities in het illustratiepunt. De golfhoogte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

Omdat het in dit geval gaat om relatief hoge golven en een laag overslagdebiet zal het talud niet gedurende de hele 6 uur nat zijn. Golfoverslag beperkt zich in dit geval tot af en toe een golf die over de kruin slaat, waarna het talud weer 'droog' valt, ofwel er geen wateraanbod aanwezig is voor infiltratie. De aanscherping van deze tijd vindt plaats met behulp van Figuur 7.5 uit [9]. Aangenomen wordt dat H_s gelijk is aan H_{m0} .



Figuur 7.5 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 $0,1 \text{ l/s/m}$ ($1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s/m}^2$ 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 $1 \times 10^{-4} \cdot 0,6 \cdot 3600 = 0,22 \text{ m}^3$ water per m^2 . Met een porositeit van het zand van 0,33 [-] geeft dit een potentiele stijging van het freatisch vlak van circa 0,66 m.



Figuur 7.6 Schematische weergave verhoging freatisch vlak onder het binnentalud als gevolg van hoog buitenwater en infiltratie van golfoverslag

Zoals te zien in Figuur 7.6 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.

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).

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 Toetsschema's en foutenboom grasbekledingen, WTI 2017 Onderzoek en ontwikkeling landelijk toetsinstrumentarium.* Deltares, projectnummer 1220086-001, september 2015.
- [13] *Studie voor richtlijnen klei op dijktaluds 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 dijkring	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 dijkring	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 dijkring	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 dijkring	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 Velipsebroek (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 dijkring	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 dijkring	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 toetsspoor grasbekleding afschuiven binnentalud

De formules voor de controle van de stabiliteit van de bekleding bij golfoverslag zijn grotendeels ontleend aan *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies* [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] zoals geprogrammeerd in de binnen het WBI beschikbaar gestelde software. Omdat deze software 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):

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

Waarin:

$\tan \phi'$ Tangens van de effectieve hoek van inwendige wrijving [$^{\circ}$].

$\gamma_{m,\phi}$ 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 [$^{\circ}$].

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:

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

De factor $1/\gamma_d \cdot \gamma_n$ hoort niet bij de sterkte en niet bij de belasting en is daarom los van de breuk geschreven. De safety factor SF_{EJ} wordt getoetst aan 1,0 (groter of gelijk is 'voldoet', kleiner is 'voldoet niet').

En als Z-functie, inclusief partiële factoren:

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

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

D.2

Zanddijk met kleibekleding

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 $\gamma_n * \gamma_d$ 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.

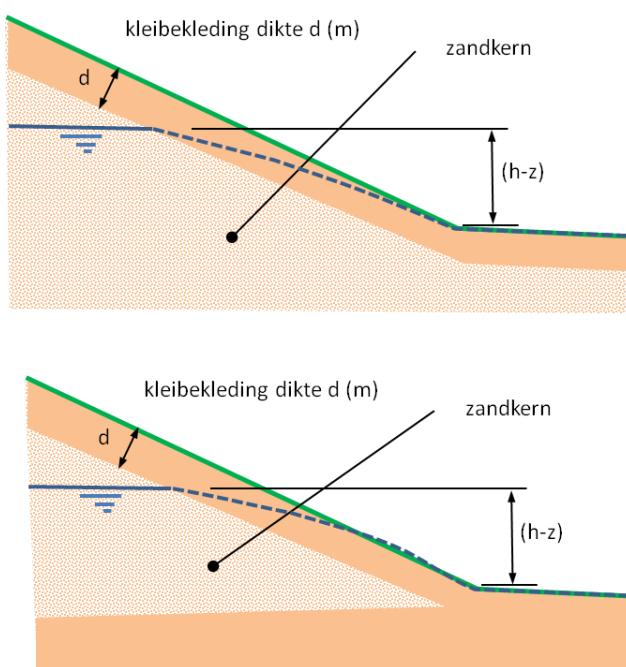
Graverij ter plaatse van de binnenteen van de dijk of onderaan het talud kunnen eveneens leiden tot gaten in de kleibekleding waardoor zand kan uitspoelen. Risicovol zijn gaten die bij inspecties niet opvallen, maar wel kunnen leiden tot uitspoelen van zand. Konijnen en vossenholen tot in de zandkern 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 overloopproeven op echte dijken, met veel muizen en mollengangen, is gebleken dat bij kleilagen van 60 à 70 cm dikte er geen gangen of nestholtes waren die doordrongen tot de zandkern. Bij een kleilaag van enkele decimeters bleek dit echter wel het geval en leverde dit in combinatie met een slechte graszode al snel uitspoeling op.

Verwacht wordt dat een kleibekledingslaag, inclusief een eventueel aanwezig laagje teelaarde, van 0,8 m of dikker een acceptabel klein risico zal hebben op scheuren of graverij die leiden tot gevaar voor uitspoelen. Bij dundere 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 ontgrond 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:

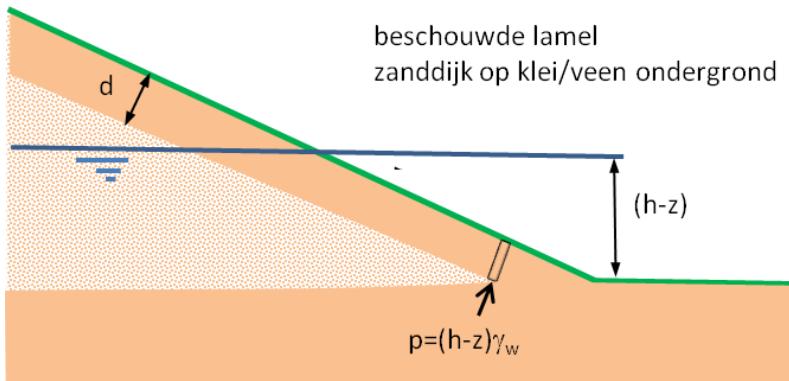
- De ligging van het freatisch vlak aan het begin van het hoogwater.
- Het waterstandsverloop in de tijd en eventueel golven en golfoverslag.
- De opbouw van de dijk en de ondergrond, de doorlatendheid en het bergend vermogen van de diverse grondlagen en bekledingen. Met het bergend vermogen wordt bedoeld,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

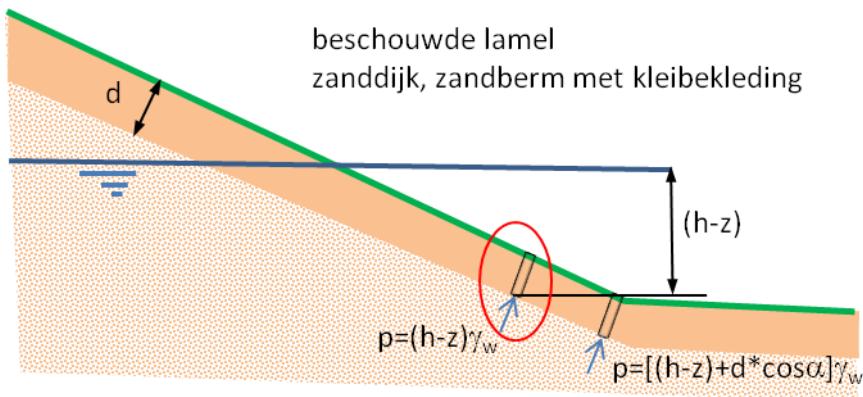
D.2.1 Opdrukken van de kleibekleding

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/m^3].
- ρ_w Volumieke massa water [kg/m^3].
- $\gamma_{m,\rho}$ Partiële veiligheidsfactor op volumieke massa grond ($=1,0$) [-].
- α Taludhelling [$^\circ$].
- d Laagdikte [m].
- $(h-z)$ Ligging van het freatisch vlak onder het binnentalud ten opzichte van teen niveau [m].
- $\gamma_d \cdot \gamma_n$ Modelfactor x schadefactor ($=1,1 \times 1,1 = 1,21$) [-].

In safety-factor vorm:

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

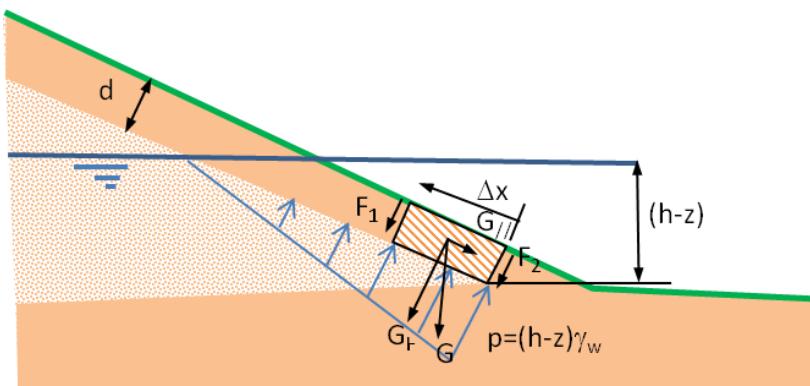
Net als bij de eerder formule in safety-factor vorm wordt getoetst aan 1.

De formule als Z-functie:

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

Net als bij de eerdere Z-functie wordt getoetst aan 0.

Een meer gedetailleerde formule houdt wel rekening met de wrijving langs de randen van de opgedrukte grondmoot, zie Figuur D.4.



Figuur D.4 Schematische weergave loodrecht evenwicht grondmoot met diverse krachten

De krachten F_1 en F_2 werken langs de randen van de beschouwde grondmoot. Aangenomen wordt dat F_1 gelijk is aan de cohesie c' keer de dikte en dat bij F_2 naast het effect van de cohesie ook de parallelle component van het gewicht keer de wrijvingshoek wordt opgeteld $G// * \tan \phi'$.

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

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

Waarin:

$\tan \phi'$	Tangens van de effectieve hoek van inwendige wrijving [$^{\circ}$].
$\gamma_{m,\phi}$	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 [$^{\circ}$].
g	Zwaartekrachtversnelling [m/s^2].
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:

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

In de vorm van een Z-functie:

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

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 overlooppoef op een steile dijk bij Wissenkerke in 1993 trad water dat infiltrerde in het talud geconcentreerd uit onderaan het talud. Hierbij werd grond/zand meegevoerd en bezweek het binnentalud binnen een uur bij een overstroomdebiet in de orde van 1 l/s/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 ondernijnde in korte tijd het talud, waarna de golfoverslag verder afrekende met de bekleding. De waarnemingen tonen aan dat sommige dijken gevoelig kunnen zijn voor het uitspoelen van zand door een kleibekleding, zeker indien dit optreedt in combinatie met overloop of overslag.



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

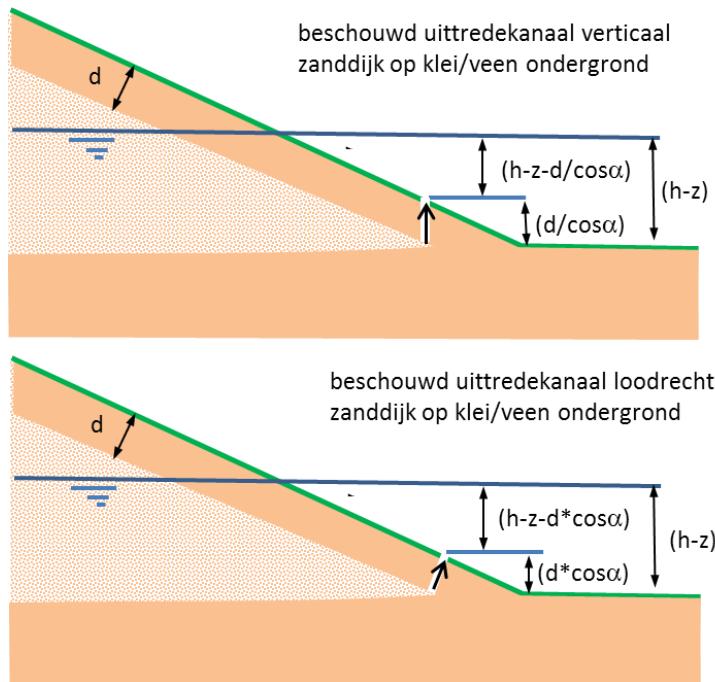
Het uitspoelen van zand uit de kleilaag kan worden gemodelleerd door het optredende verhang te vergelijken met een kritisch verhang. Het optredend verhang kan worden geschat door het verschil tussen de grondwaterstand in de zandkern en de ligging van de bovenkant van het uittredekanaal, gedeeld door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

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

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

Als het uittredekanaal een gevolg is van opdrukken of opbarsten van de kleilaag of het gevolg van een scheur door te nat aangebracht materiaal, dan is het waarschijnlijk dat het uittredekanaal een oriëntatie heeft die loodrecht op het talud tot verticaal is. Alleen als het uittredekanaal een gevolg is van graverij, of een slechte inkassing van de kleilaag op de ondergrond dan kan de oriëntatie flauwer worden. Voor sterk van verticaal afwijkende oriëntaties van het uittredekanaal is onbekend in hoeverre het kritisch verhang afneemt. Het verdient de aanbeveling om de kans op voorkomen van deze situaties en de gevolgen voor de

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



Figuur D.6 Schematische weergave oriëntatie uittredekanaal met verval gegeven een grondwaterstand ($h-z$) in de zandkern

Het verhang over het uittredekanaal voor de drie bovenstaande gevallen is gelijk aan:

$$i_{vertikaal} = \frac{h-z - \frac{d}{\cos\alpha}}{\frac{d}{\cos\alpha}} = \frac{(h-z)}{d} \cos\alpha - 1$$

$$i_{loodrecht} = \frac{h-z - d \cos\alpha}{d} = \frac{h-z}{d} - \cos\alpha$$

Voor het kritisch verhang kan bijvoorbeeld, zonder verdere onderbouwing of onderzoek, bij benadering worden uitgegaan van:

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

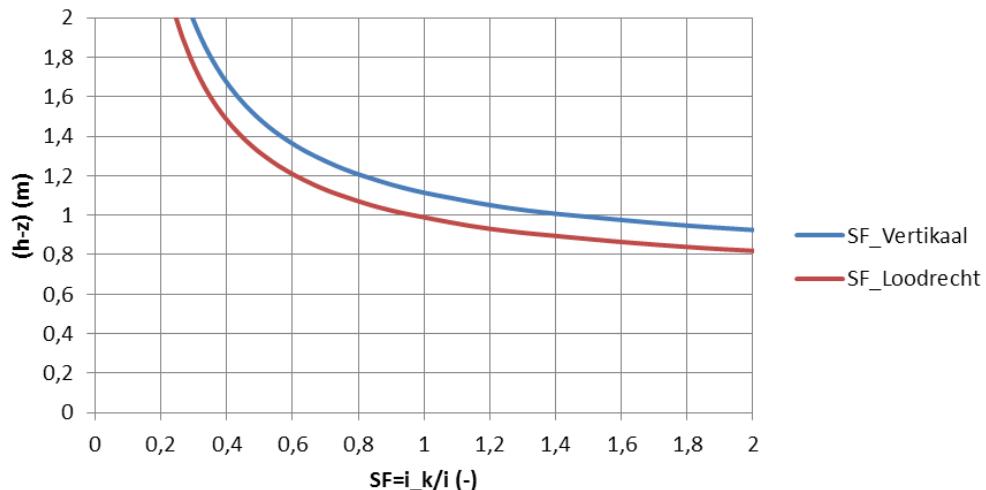
$$i_{k,loodrecht} = \cos\alpha \cdot 0.5$$

Door het kritische verhang te delen door het optredende verhang kan een veiligheidsfactor (SF; safety factor) worden berekend. Dit leidt tot de volgende formules:

$$SF_{\text{verticaal}} = \frac{i_{k,\text{verticaal}}}{i_{\text{verticaal}}} = \frac{0.5}{\frac{(h-z)}{d} \cos \alpha - 1} = \frac{0.5d}{(h-z) \cos \alpha - d}$$

$$SF_{\text{loodrecht}} = \frac{i_{k,\text{loodrecht}}}{i_{\text{loodrecht}}} = \frac{0.5 \cos \alpha}{\frac{h-z}{d} - \cos \alpha} = \frac{0.5 \cdot d \cdot \cos \alpha}{(h-z) - d \cdot \cos \alpha}$$

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.

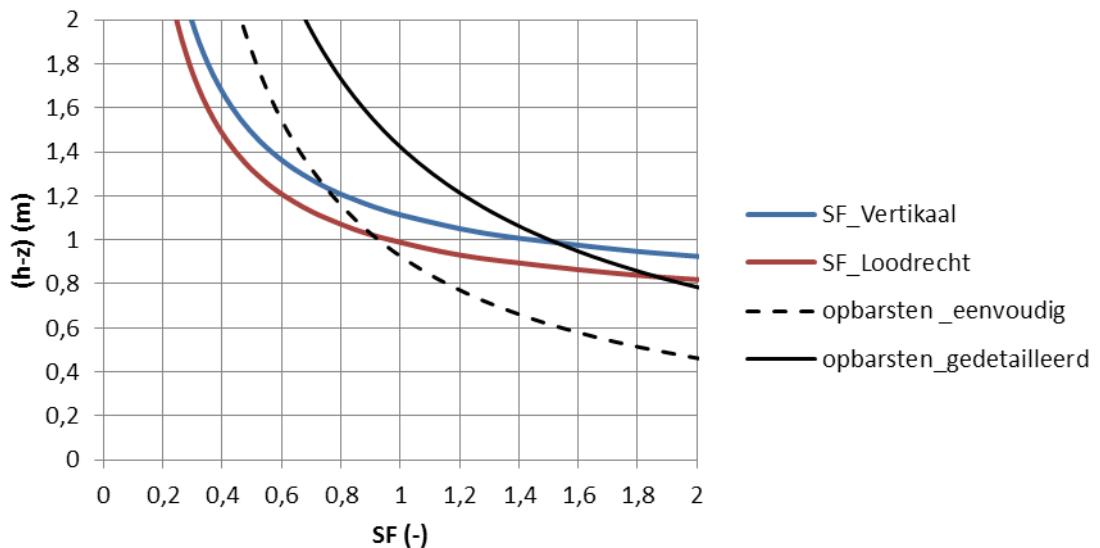


Figuur D.7 SF tegen ($h-z$) voor twee scenario's: verticaal uittredekanaal, loodrecht uittredekanaal en een horizontaal uittredekanaal

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 voor het kritische verhang de veilige waarde van 0,5 [-] is aangehouden.

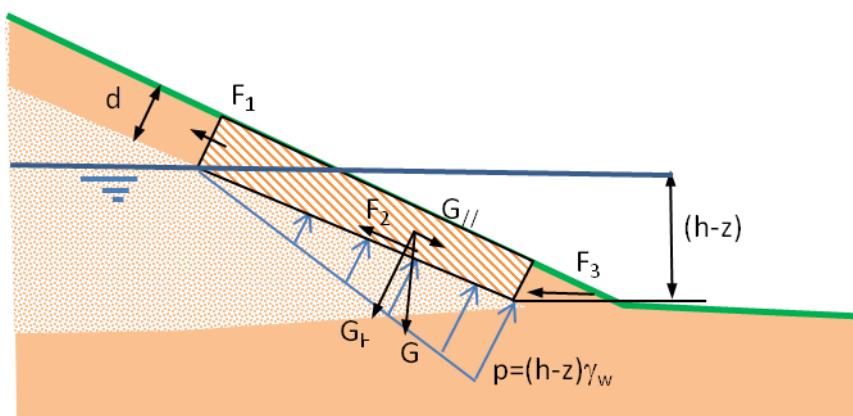
Indien kan worden aangetoond dat de kleibekleding aanvankelijk geen gaten of scheuren in de teen van de dijk heeft (zie inleidende tekst bij par.C.2), dan zal eerst opdrukken van de kleilaag moeten optreden voordat uitspoeling van zand mogelijk is. Hiervoor gelden de formules zoals beschreven in paragraaf 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 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.

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

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

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

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 .

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

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:

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

In Z-functie vorm wordt dit:

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

En in SF-vorm:

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

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/m ³].
ρ_w	Volumieke massa water [kg/m ³].
$\gamma_{m,\phi}$	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/m ³].
ρ_w	Volumieke massa water [kg/m ³].
α	Taludhelling [°].
g	Zwaartekrachtsversnelling [m/s ²].
$\gamma_d \cdot \gamma_n$	Modelfactor x schadefactor (=1,1x1,1=1,21) [-].

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:

$$Z = R - S = \frac{\tan \phi'}{\gamma_{m,\phi}} - \gamma_n \cdot \gamma_d \frac{\rho_g \cdot \sin \alpha}{\rho_g \cdot \cos \alpha - \frac{\rho_w}{\cos \alpha}}$$

En in SF-vorm:

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

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 toetsspoor GABI buiten beschouwing gelaten. Voor de volledigheid worden ze toch gegeven.

De aandrijvende kracht voor het uitspoelen van zandkorrels uit een onderwatertalud en het afschuiven van een zandtalud onder water is het buitenwaarts gerichte verhang i_{\perp} [-]. Bij een talud onder water zal het grondwater loodrecht uittreten. 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 $i_\perp = 0,34758 \text{ [m/m]}$.

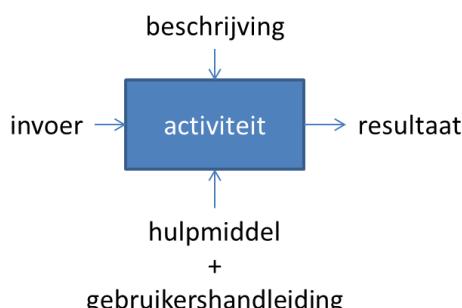
E Schema werkwijze beoordeling grasbekleding

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.



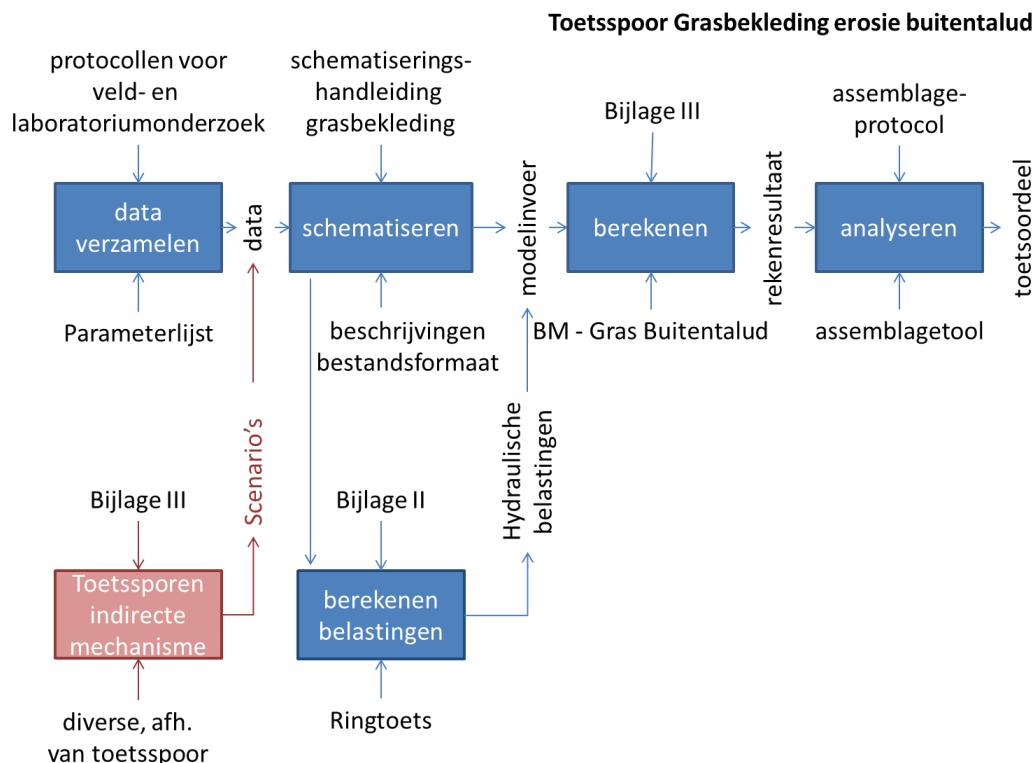
Figuur E.1 Het algemene schema van een activiteit. Een aaneenschakeling van benodigde activiteiten bij een beoordeling geeft de schematische werkwijze van de beoordeling weer.

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 wegenbouw die te vinden zijn bij CROW en NEN.

Referenties hulpmiddel activiteit

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

E.3.2

Activiteit 'schematiseren'

Referenties beschrijving activiteit

- Schematiseringshandleiding 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 dijkeen, 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.* Deltas, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017.* Deltas, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017.* Deltas, 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.* Deltas, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017.* Deltas, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017.* Deltas, Delft, september 2016.
- *BM – Gras Buitentalud, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen.* Deltas, Delft, september 2016.
- *Basis Module Gras Buitentalud, Stand alone tool voor Grasbekleding erosie buitentalud, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017.* Deltas, Delft, september 2016.
- *Basis Module Gras Buitentalud, Stand alone tool voor Grasbekleding erosie buitentalud, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017.* Deltas, 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, Deltas rapport 1230086-010-GEO-0001, Delft, juni 2016.

Referenties hulpmiddel activiteit

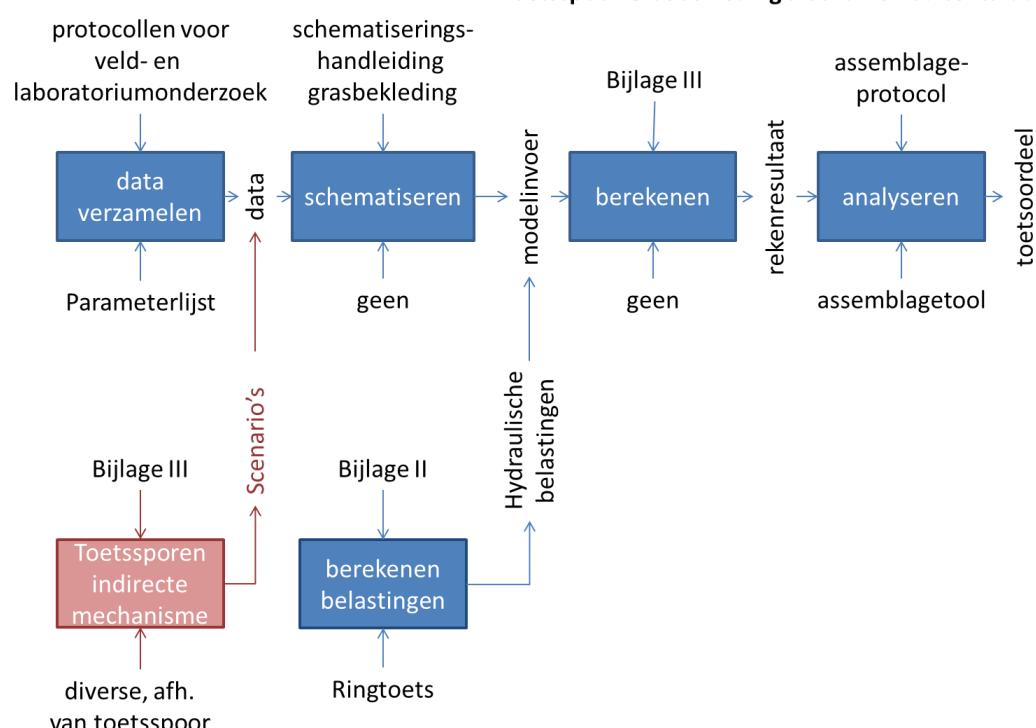
- *Assemblagetool WBI2017*. Nog in ontwikkeling.

E.3.6 Toelichting bij de referenties

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

Toetsspoor Grasbekleding afschuiven buitentalud



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 wegenbouw die te vinden zijn bij CROW en NEN.

Referenties hulpmiddel activiteit

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

E.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

- *Ringoets, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltas, Delft, september 2016.
- *Ringoets, Installatiehandleiding, Wetelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltas, Delft, september 2016.
- *Ringoets, Gebruikershandleiding, Wetelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltas, 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

- *Ringoets, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltas, Delft, september 2016.
- *Ringoets, Installatiehandleiding, Wetelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltas, Delft, september 2016.
- *Ringoets, Gebruikershandleiding, Wetelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltas, 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, Deltas rapport 1230086-010-GEO-0001, Delft, juni 2016.

Referenties hulpmiddel activiteit

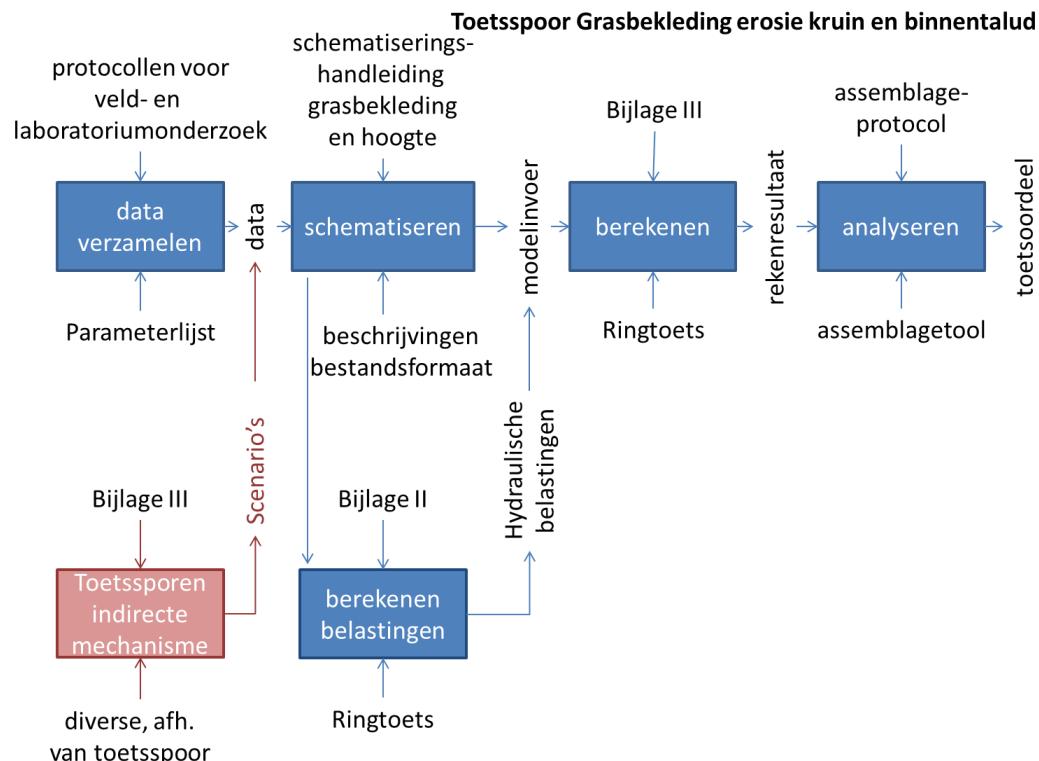
- *Assemblagetool WBI2017*. Nog in ontwikkeling.

E.5.6 Toelichting bij de referenties

Het softwareprogramma Ringoets kan verschillende (sub)activiteiten ondersteunen bij het berekenen van de hydraulische belastingen en bij het berekenen van het rekenresultaat. Daarom wordt Ringoets 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 wegenbouw die te vinden zijn bij CROW en NEN.

Referenties hulpmiddel activiteit

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

E.7.2 Activiteit 'schematiseren'

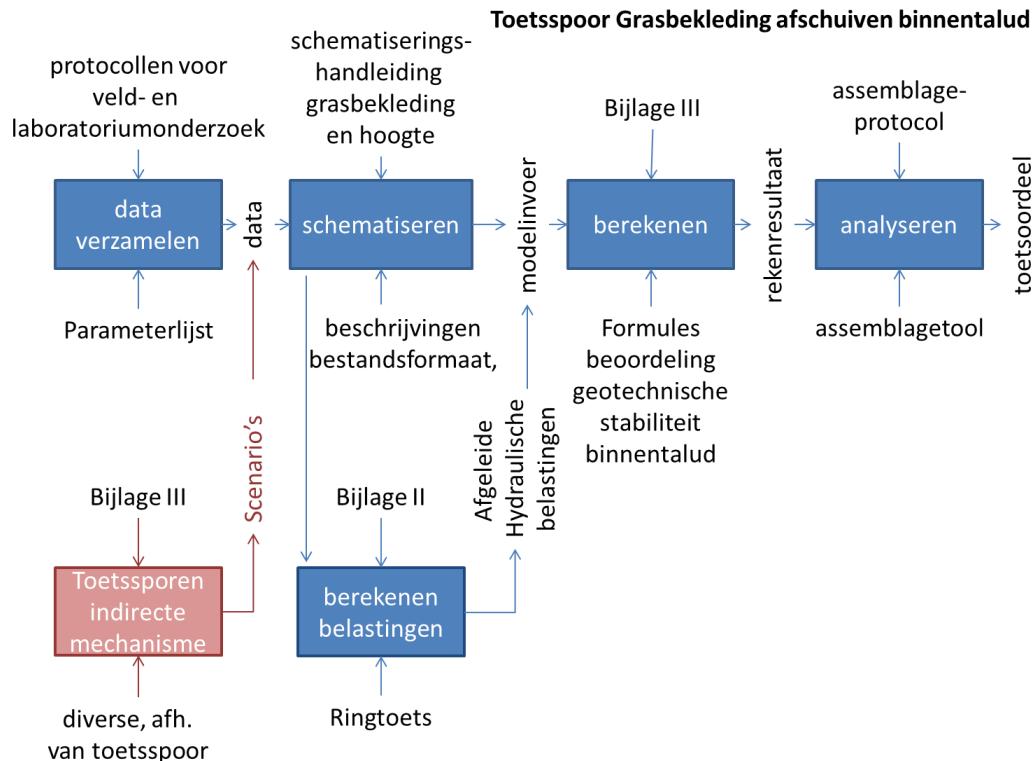
Referenties beschrijving activiteit

- 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 Ringtoets kan verschillende (sub)activiteiten ondersteunen bij het berekenen van de hydraulische belastingen en bij het berekenen van het rekenresultaat. Daarom wordt Ringtoets 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 wegenbouw die te vinden zijn bij CROW en NEN.

Referenties hulpmiddel activiteit

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

E.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 dijkeen, 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 Ringtoets kan verschillende (sub)activiteiten ondersteunen bij het berekenen van de hydraulische belastingen en bij het berekenen van het rekenresultaat. Daarom wordt Ringtoets 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.