

Schematiseringshandleiding voor toetsing grasbekledingen

WTI-2017, cluster 5, Product 5.27



Schematiseringshandleiding voor toetsing grasbekledingen

WTI-2017, cluster 5, Product 5.27

Andre van Hoven

1220086-003

Titel

Schematiseringshandleiding voor toetsing grasbekledingen

Opdrachtgever Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	Project 1220086-003	Kenmerk 1220086-003-HYE-0002	Pagina's 49
---	-------------------------------	--	-----------------------

Trefwoorden

Schematiseringshandleiding, toetsing, WTI2017, faalmechanismen, grasbekleding, erosie, afschuiven, stabiliteit, dijkhoogte, product 5.27

Samenvatting NL

In het kader van WTI2017 is een schematiseringshandleiding geschreven die de toetsers helpt bij het schematiseren van grasbekledingen ten behoeve van de toetsing op veiligheid in de vierde toetsronde. De toetsing van de grasbekleding bestaat uit vier sporen, namelijk erosie van het buitentalud, afschuiven van de bekleding van het buitentalud, erosie van de kruin en het binnentalud en afschuiven van de bekleding van het binnentalud. Voor elk van de vier deelsporen wordt aangegeven hoe data moet worden ingewonnen, geïnterpreteerd en verwerkt tot modelparameters welke moeten worden gebruikt in het WTI2017.

Samenvatting Engels

This report is a schematisation manual focusing on one specific failure mechanism erosion and slip failure of grass revetments. The manual has been set up in the framework of the research programme WTI-2017 assigned by Rijkswaterstaat. It will form part of the collection of background documents underlying the statutory assessment procedure on the quality of the water retaining network in the Netherlands.

Schematisation concerns the procedure to organise, interpret and transform the available data to input data for the safety assessment method. The assessment may either be qualitative, or through calculations which have been partially included in the over-all assessment software model 'Ringtoets'.

The schematisation manual gives instructions on how to use data from the field, laboratory tests, drawings, engineering judgement and other available information to make a schematisation and determine parameters to perform the safety assessment. It contains a guideline in flow diagrams and covers the inventarisation of the available data, the hydraulic boundary conditions, determining the boundaries of dike sections and the input parameters. The working procedure is illustrated by means of an example.

Referenties

WTI projectplan '15, cluster 5, Toetsregels dijkbekledingen, versie 2, Deltares kenmerk 1209437-020-HYE-0004, december 2014; Product 5.27

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	aug. 2015	Andre van Hoven		Mark Klein Breteler		Leo Voogt	
				Theo Stoutjesdijk			
				Marieke de Visser			
2	dec. 2015	André van Hoven		Mark Klein Breteler		Leo Voogt	

Status

definitief

Titel
Schematiseringshandleiding voor toetsing
grasbekledingen

Opdrachtgever Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	Project 1220086-003	Kenmerk 1220086-003-HYE-0002	Pagina's 49
---	-------------------------------	--	-----------------------

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Doel	2
1.3	Doelgroep	2
1.4	Uitgangspunten	2
1.5	Leeswijzer	3
2	Stappenplan	5
3	Belastinggevallen	7
3.1	Afschuiven bekleding buitentalud	7
3.2	Erosie buitentalud	7
3.3	Afschuiven bekleding binnentalud	8
3.4	Erosie kruin en binnentalud	9
4	Vakindeling	11
4.1	Inleiding	11
4.2	Afschuiven bekleding buitentalud	11
4.3	Erosie buitentalud	12
4.4	Afschuiven bekleding binnentalud	13
4.5	Erosie kruin en binnentalud	13
5	Schematisering per vak	15
5.1	Afschuiven bekleding buitentalud	15
5.2	Erosie buitentalud	16
5.3	Afschuiven bekleding binnentalud	17
5.3.1	Karakterisering van de dijkopbouw en ondergrond	17
5.3.2	Geohydrologische karakterisering	18
5.3.3	Geotechnische schematisering	20
5.4	Erosie kruin en binnentalud	21
6	Parameters	23
6.1	Inleiding	23
6.2	Geometrie van de dijk	23
6.3	Afschuiven bekleding buitentalud	25
6.3.1	Kernmateriaal	25
6.3.2	Dikte en onderwatergewicht kleibekleding buitentalud	25
6.3.3	Significante golfhoogte	25
6.4	Erosie buitentalud	26
6.4.1	Graskwaliteit	26
6.4.2	Significante golfhoogte	28
6.4.3	Toetspeil	29
6.4.4	Zandgehalte in kleilaag	29
6.4.5	Dikte kleilaag	29
6.5	Afschuiven bekleding binnentalud	29
6.5.1	Golfoverslagdebiet	29
6.5.2	Type dijk	30

6.5.3	Kleikwaliteit	31
6.5.4	Dikte en gewicht kleibekleding binnentalud	33
6.5.5	Doorlatendheid kleibekleding	33
6.5.6	Doorlatendheid zandkern	36
6.5.7	Doorlatendheid ondergrond	37
6.5.8	Grondwaterstand binnenteen ten opzichte van teenniveau (h-z)	37
6.5.9	Wrijvingseigenschappen klei en zand	40
6.6	Erosie kruin en binnentalud	41
6.6.1	Overslagdebiet	41
6.6.2	Kleilaagdikte	42
6.6.3	Significante golfhoogte	42
6.6.4	Graskwaliteit	42
6.6.5	Objecten en overgangen	42
7	Voorbeeld afschuiven bekleding binnentalud	45
7.1	Dijkopbouw en geometrie	45
7.2	Toetslaag 1	45
7.3	Toetslaag 2	46
7.3.1	Overslagdebiet	46
7.3.2	Geohydrologische schematisering	47
7.3.3	Verhoging freatisch vlak door hoge buitenwaterstand	48
7.3.4	Verhoging freatisch vlak door golfoverslag	49
8	Referenties	53
Bijlage(n)		
A	Voorbeeldfoto's graszode	A-1
A.1	Gesloten zode	A-1
A.2	Open zode	A-2
A.3	Fragmentarische zode	A-3
A.4	Steken van een plag	A-4

1 Inleiding

1.1 Algemeen

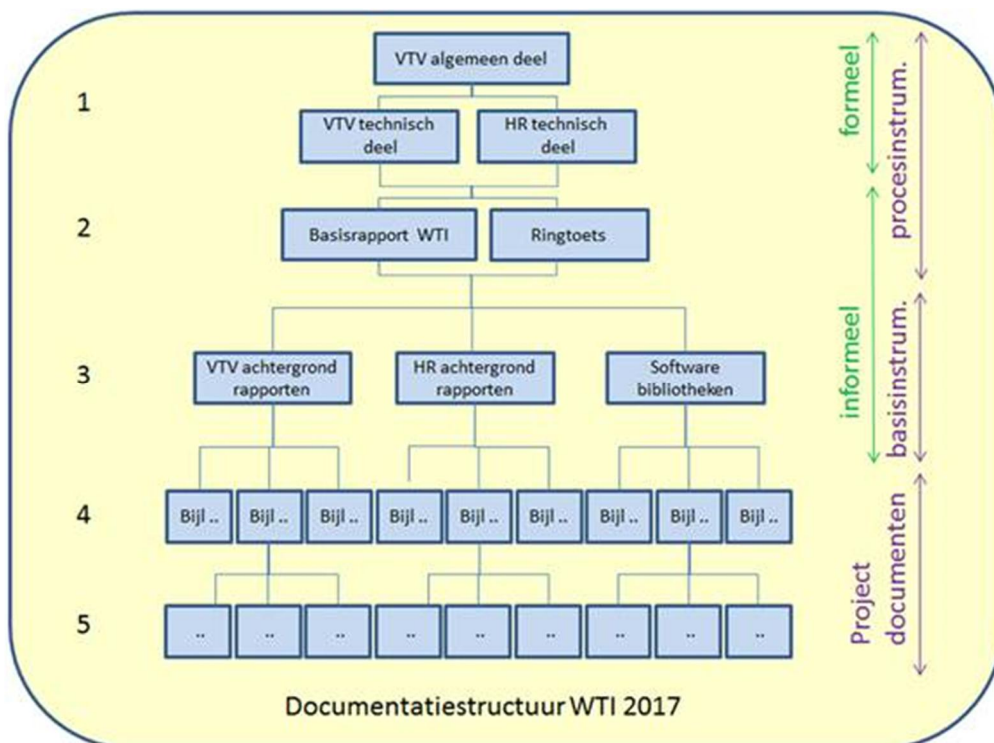
Deze schematiseringshandleiding is opgesteld in het kader van het Wettelijk Toets Instrumentarium 2017 (WTI2017).

Het Wettelijk Toets Instrumentarium 2017 (afgekort WTI 2017) is opgebouwd uit de volgende vier wettelijke onderdelen:

1. *Voorschrift Toetsen op Veiligheid, Algemeen deel* (VTV Algemeen deel). Dit deel geeft de belangrijkste kaders en definities, beschrijft het toetsproces en geeft de beoordelings- en rapportageverplichtingen.
2. *Voorschrift Toetsen op Veiligheid, Technisch deel* (VTV Technisch deel). Dit deel geeft de inhoudelijke uitwerking van alle voorkomende toetsprocedures.
3. *Hydraulische Randvoorwaarden, Technisch deel* (HR Technisch deel). Dit deel geeft de maatgevende hydraulische belastingen voor primaire keringen ten behoeve van de toetsing.
4. *Software (Ringtoets)*. Dit betreft de software voor het uitvoeren van de eenvoudige toets (toetslaag 1) en de gedetailleerde toets (toetslaag 2).

Naast de wettelijke onderdelen, worden bij het WTI2017 ook bouwstenen ontwikkeld die *niet wettelijk* worden vastgesteld. Deze schematiseringshandleiding is een van deze bouwstenen.

Algemeen geldt dat er een nauwe verwevenheid is tussen de schematiseringshandleidingen en het toetsproces (VTV technisch deel). De schematiseringshandleidingen zijn daarom onderdeel van de VTV achtergrondrapporten (laag 3 in Figuur 1.1).



Figuur 1.1 Documentatiestructuur WTI 2017

1.2 Doel

Deze schematiseringshandleiding geeft aanwijzingen en is daarmee een hulpmiddel voor het op objectieve en uniforme wijze schematiseren van het toetsspoor vanuit veld-, laboratorium- en meetgegevens en kennis en ervaring, waardoor de eindresultaten van de toetsing beter met elkaar zijn te vergelijken.

Schematiseren wordt hier gedefinieerd als het vertalen of interpreteren van de beschikbare gegevens uit het veld naar invoer voor de methode (meestal een rekenmodel al dan niet in software) waarmee een bepaald faalmechanisme wordt beoordeeld. Beschikbare gegevens kunnen gegevens zijn uit het veld, laboratorium of tekeningen, maar ook kennis en ervaring. Hierbij speelt de beschikbare hoeveelheid gegevens en de kwaliteit ervan een grote rol. Bij weinig (betrouwbare) gegevens is de schematisering grof of globaal en conservatief. Naarmate er meer en betere gegevens beschikbaar zijn, wordt de schematisering fijner en preciezer.

Schematiseren is in veel gevallen een iteratief proces: er kan voor gekozen worden om te starten met veilige keuzes. Als gevolg van een onvoldoende toetsresultaat en/of het inwinnen van extra gegevens, kan de schematisatie worden verfijnd en aangescherpt. Het is uiteraard ook mogelijk om meteen een verfijnde schematisering op te stellen.

1.3 Doelgroep

De schematiseringshandleiding is geschreven voor een deskundig gebruiker die bekend is met de (deel)faalmechanismes en modellen die van toepassing zijn binnen het toetsspoor.

1.4 Uitgangspunten

Voor deze schematiseringshandleiding gelden de volgende uitgangspunten:

- Het is geen voorschrift, maar geeft aanwijzingen en aandachtspunten voor het opstellen van een goede schematisering.
- Het is specifiek opgesteld voor primaire waterkeringen.
- Het kan worden gebruikt voor toetslagen 1, 2a en 2b. Voor toetslaag 3, de Toets op Maat, zijn geen aanwijzingen opgenomen in de schematiseringshandleiding.
- De wijze waarop gegevens ingewonnen moeten worden (bijvoorbeeld hoe veldonderzoek of labonderzoek uitgevoerd wordt) is geen onderdeel van de schematiseringshandleiding. Deze handleiding geeft wel aanwijzingen voor het type en de benodigde hoeveelheid aan onderzoek om tot een goede schematisering te kunnen komen.
- Voor de schematiseringen die in Ringtoets worden ingelezen wordt een format voorgeschreven. Het format sluit aan bij de Aquo standaard. Verdere informatie hierover is te vinden in de Handleiding Datamanagement voor het uitvoeren van een toets met het WTI2017.
- Het ondersteunt gebruikers in het omzetten van (veld)gegevens naar goede schematiseringen die in de beoordelingsmethoden in Ringtoets kunnen worden toegepast. Binnen Ringtoets vindt soms nog een bewerking tot modelinvoer plaats.

- Het geeft tevens aanwijzingen voor conservatieve default waarden die voor parameters aangehouden kunnen worden als gegevens die een andere waarde rechtvaardigen niet aanwezig zijn.
- Deze handleiding is specifiek opgesteld voor het toetsen van primaire waterkeringen en kan daarom niet zomaar worden toegepast voor andere doeleinden (regionale keringen, ontwerp, etc).

1.5 Leeswijzer

Het *stappenplan in hoofdstuk 2* vormt de basis van de schematiseringshandleiding. Dit stappenschema geeft een overzicht van de te volgen stappen in het proces van 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.

De algemene opbouw is als volgt:

Onderwerp	Locatie
Stappenplan	Hoofdstuk 2
Belastinggevallen	Hoofdstuk 3
Vakindeling	Hoofdstuk 4
Schematisatie per vak	Hoofdstuk 5
Parameters	Hoofdstuk 6
Voorbeeld	Hoofdstuk 7

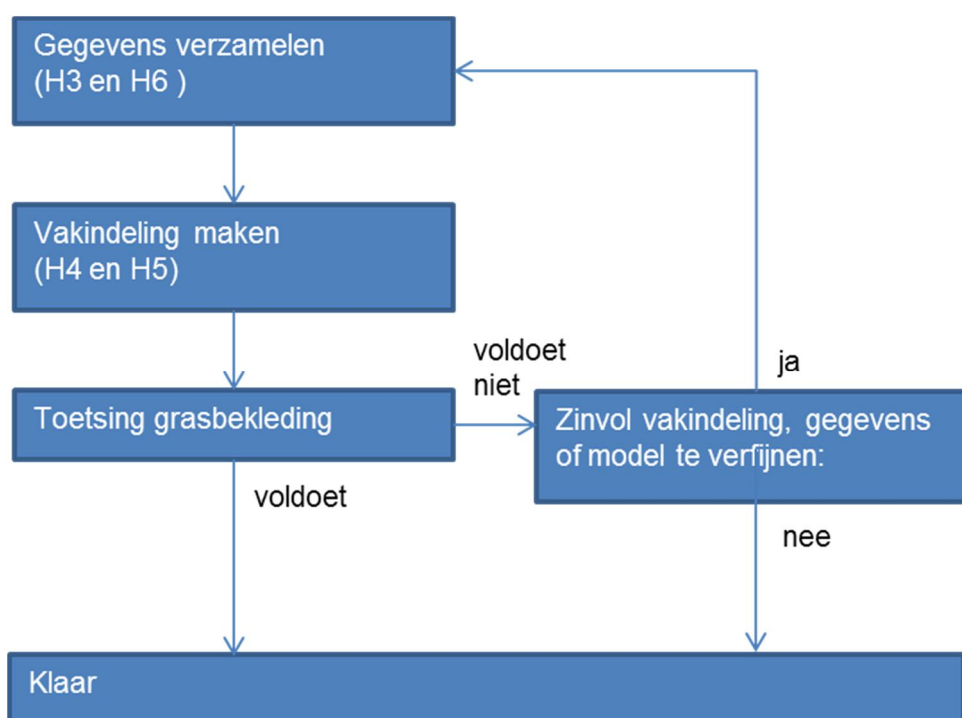
Voor vragen of opmerkingen over de schematiseringshandleiding kan contact opgenomen worden met de Helpdesk Water.

2 Stappenplan

De toetsing van de grasbekleding bestaat uit vier sporen:

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

Voor de toetsing van elk van de sporen wordt het volgende cyclische stappenplan gevolgd (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 toetsingen, bestek- en revisietekeningen, gegevens uit het SOS (Stochastische Ondergrond Schematisering), hydraulische randvoorwaarden 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. In de eerste cyclus zal dit minimaal gebeuren op basis van parameters die nodig zijn voor de eenvoudige toetsing. 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 getoetst. 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 toetsing verfijnd. Hierbij kan worden gedacht aan het verzamelen van meer gegevens, het verfijnen van de dijkvakindeling en het gebruik van meer geavanceerde rekenmodellen, zowel binnen de gedetailleerde toetsing 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 taluddeel tussen het toetspeil en het niveau met een kans van overschrijden van 1/10 per jaar. Beide niveaus worden via Ringtoets beschikbaar gesteld.

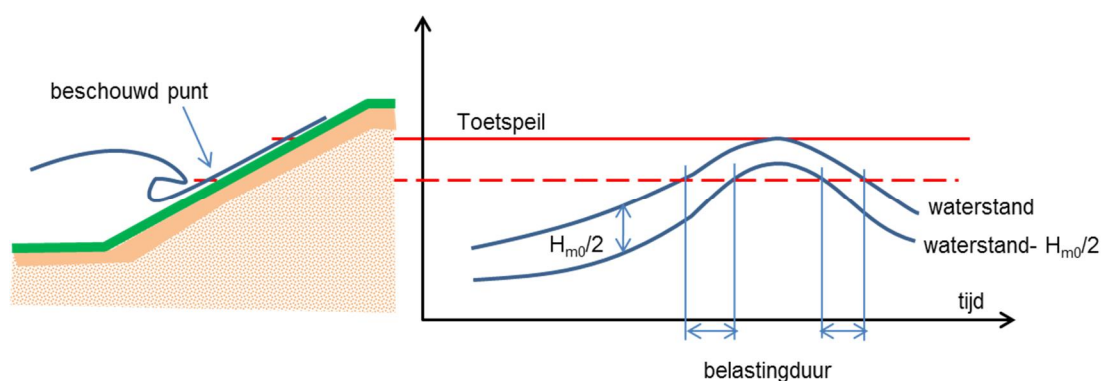
Het model waarmee gedetailleerd wordt getoetst is een empirische rekenregel, waarin de dikte en het gewicht van de kleilaag, de taludhelling en de significante golfhoogte staan. De belasting in het model bestaat uit de significante golfhoogte. De beoordeling wordt semi-probabilistisch uitgevoerd. De 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 mechanismen.

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 getoetst op golfklappen, omdat de klapbelasting altijd eerst tot falen van de bekleding zal leiden. Alleen dijken waar de golfklapzone wordt beschermd door een ander type bekleding met daarboven een grasbekleding worden getoetst 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 (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 6.3.3)

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

De beoordelingen op erosie door golfklappen en golfploop worden semi-probabilistisch uitgevoerd. De rekenwaarden van de de belastingen wordt via Ringtoets beschikbaar gesteld.

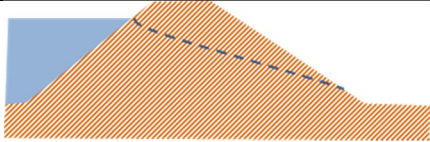
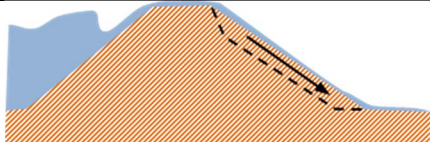
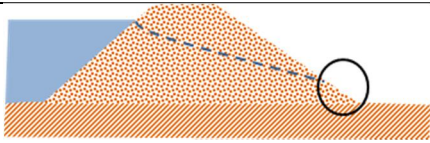
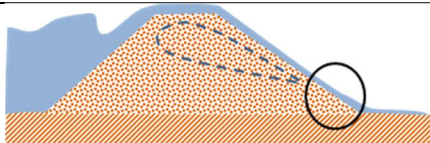
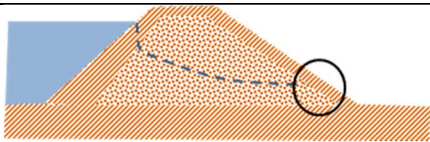
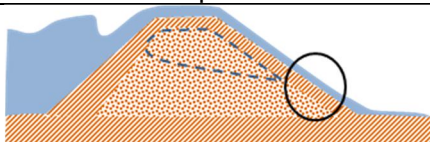
Andere belastingen, zoals ijsgang, aanvaringen, de extra erosieve werking van drijvend materiaal et cetera worden in de toetsing niet beschouwd. Bekend is dat drijvend materiaal een extra erosieve werking kan hebben bij een golfklapaanval, maar hiervan is onvoldoende bekend om het in rekening te brengen.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

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 getoetst onder het spoor microstabiliteit (Figuur 3.2).

Er wordt gerekend met een rekenwaarde van de belasting, die per te toetsen 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 toetsing, kan ook het waterstandverloop worden meegenomen. De hydraulische condities worden via Ringtoets beschikbaar gesteld.

Andere belastingen, zoals aardbevingen, externe belastingen (zoals bv door verkeer) en neerslag worden niet als aparte te toetsen belastingsscenario'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 geschetste ligging van het freatisch vlak puur illustratief is. Vooral bij infiltratie door golfoverslag bij een zanddijk en een zanddijk met een kleibekleding is de ligging van het freatisch vlak boven in de dijk onzeker en situatie afhankelijk. Het is mogelijk dat infiltratie van water op de kruin en de bovenzijde van het talud alleen via onverzadigde stroming in de dijk zakt en daar het freatisch vlak verhoogt. De geschetste bovenste freatische lijn is in dat geval niet aanwezig.

3.4 Erosie kruin en binnentalud

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

De beoordeling wordt volledig probabilistisch uitgevoerd.

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

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 het meest ongunstige profiel worden gekozen voor het uitvoeren van de toetsing. Indien dit niet leidt tot een acceptabele faalkans, ofwel een oordeel 'voldoet', dan wordt het dijkvak indien mogelijk opgesplitst.

De beoordeling van de vier toetssporen is verschillend, waardoor ook de criteria om dijkvakgrenzen te leggen verschillen. De dijkvakindelingen voor de verschillende sporen hoeven dan ook niet overeen te komen. In de navolgende paragrafen wordt per deelspoor 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 het mechanisme wordt beoordeeld:

- 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. In dat geval volgt uiteindelijk een toets op maat. 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 is 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 boringen, of kan worden gekeken of met

een lage schatting van de kleilaagdikte van 0,7 m een oordeel voldoet kan worden gekregen in de gedetailleerde toets.

Daarnaast is ook de taludhelling van belang. Dijkvakken waarbij de golfhoogte groter is dan de kleilaagdikte, worden gedetailleerd getoetst, maar alleen als de taludhelling flauwer is dan 1:2,5. Steilere taluds kunnen niet worden getoetst in de gedetailleerde toetsing. 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 mechanisme erosie grasbekleding op het buitentalud zijn:

- aanwezigheid grasbekleding in golfklapzone, onder het toetspeil;
- 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 sterkte van betekenis aanwezig is. Dijkvakken met een fragmentarische zode kunnen alleen nog het oordeel 'voldoet' krijgen als er voldoende reststerkte aanwezig is.

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

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 toetsing van grasbekledingen in de golfklapzone. Vermijd hierbij in teveel detail. Langs een dijkstrekking met min of meer dezelfde oriëntatie en geometrie zal weinig variatie in de golfhoogte hebben. Indien de golfhoogte bijvoorbeeld varieert tussen de 0,2 en 0,3 m over een lange dijkstrekking dan kan hiervoor in eerste instantie beter een lang dijkvak worden gedefinieerd waarbij het profiel met de grootste golfhoogte van 0,3 m als maatgevend wordt beschouwd. De kans is groot dat dan het hele dijkvak met één berekening kan worden goedgekeurd.

Dijkvakken met een grasbekleding in de golfklapzone worden getoetst met een erosiemodel dat alleen mag worden toegepast als de taludhelling flauwer is of gelijk is aan 1:2,5. Bij steilere taluds volgt een toets op maat. Dijkvakken met alleen een grasbekleding in de golfploopzone hebben geen modeltoepasbaarheidsrestrictie ten aanzien van de taludhelling, maar het is wel een belangrijke parameter in het model.

Aan de sterktekant wordt nog onderscheid gemaakt tussen de open zode en de gesloten zode. Veruit het meest voorkomend is de gesloten zode. Alleen op problematische plekken

waar bijvoorbeeld onvoldoende mogelijkheden zijn om een effectief beheer uit te voeren, of door andere invloeden zoals weinig zon op noordhellingen of natte plekken, kan ook een 'open zode' voorkomen. Zowel bij de beoordeling op golfklappen als 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 microstabiliteit. Het kan daarom efficiënt zijn om de dijkvakindeling gecombineerd te maken. Aandachtspunten voor het maken van een vakindeling voor het mechanisme afschuiven van de bekleding van het binnentalud zijn:

- taludhelling;
- overslagdebiet;
- dijktype (zanddijk, zanddijk met een kleibekleding, kleidijk);
- kleilaagdikte op het binnentalud;
- aanwezigheid van een goedwerkende drainage.

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

Een overslagdebiet van 0,1 l/s/m is een criterium bij de beoordeling van dit mechanisme. In het kader van de eenvoudige toets kan het overslagdebiet worden geschat met een conservatieve formule afhankelijk van de golfhoogte, waterstand en kruinhoogte (zie formule 6.1). De waterstand en golfhoogte worden via Ringtoets beschikbaar gesteld. Voor het maken van de dijkvakindeling moeten op representatieve plekken, afhankelijk van dijk oriëntatie, geometrie van het buitentalud en de dijkhoogte berekeningen te worden gemaakt om het overslagdebiet te bepalen. Let op dat bij de bepaling van de kruinhoogte rekening wordt gehouden met kruindaling gedurende de toetsperiode (paragraaf 6.2). De resultaten worden gebruikt bij het bepalen van dijkvakgrenzen.

Voor de gedetailleerde toets is het dijktype van belang. Kleidijken worden getoetst 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 [2] en een update van de formules in [13]). De kleilaagdikte kan binnen de gedetailleerde toetsing 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:

- golfoverslagdebiet (afhankelijk van dijk oriëntatie, kruinhoogte, geometrie buitentalud, golfhoogte);

- zodekwaliteit (fragmentarisch, open en gesloten);
- taludhelling binnentaludkleilaagdikte.

Net als voor de stabiliteit van de bekleding op het binnentalud is ook voor erosie van de grasbekleding het overslagdebiet belangrijk, met dien verstande dat voor erosie er voor de eenvoudige toets drie grenswaarden zijn: 0,1, 1 en 5 l/s/m.

De aanwezigheid van een fragmentarische zode op een dijkstrekking wil zeggen dat er geen grasbekleding met een sterkte van betekenis aanwezig is. Dijkvakken met een fragmentarische zode in combinatie met een overslagdebiet groter dan 0,1 l/s/m kunnen alleen nog het oordeel 'voldoet' krijgen via de toets op maat.

Een derde aandachtspunt is de golfhoogteklasse die wordt gebruikt in de gedetailleerde toetsing. Bij de bepaling van het overslagdebiet voor de toetsing, of voor het maken van een dijkvakindeling, wordt de door Ringtoets gegeven golfhoogtes gebruikt, die horen bij de norm overstromingskans van het betreffende dijktraject. Als dijkvakgrenzen worden de klassen van significante golfhoogtes gehanteerd: een golfhoogte van 0 -1 m, 1 - 2 m, 2 - 3 m en 3 m en hoger.

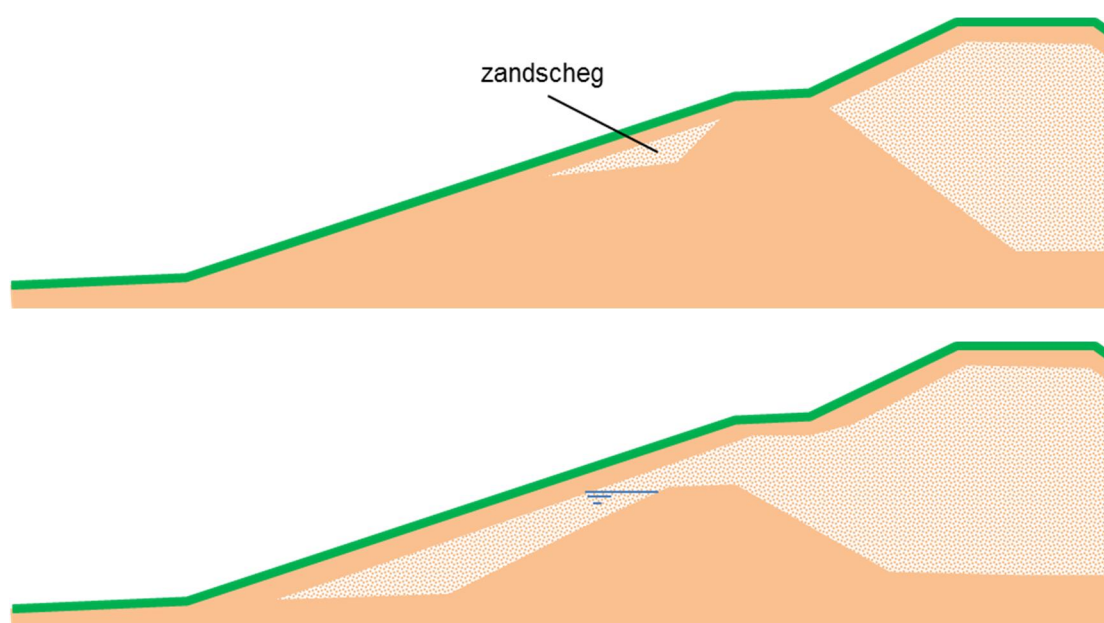
Zanddijken en zanddijken met een heel dunne kleibekleding, dunner dan 0,4 m, zijn gevoeliger voor erosie dan kleidijken en zanddijken met een dikkere kleibekleding, ondanks de aanwezigheid van een graszode. Ook de taludhelling is hierbij van belang. Zanddijken met een binnentalud steiler dan 1:4 en zanddijken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

5 Schematisering per vak

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

5.1 Afschuiven bekleding buitentalud

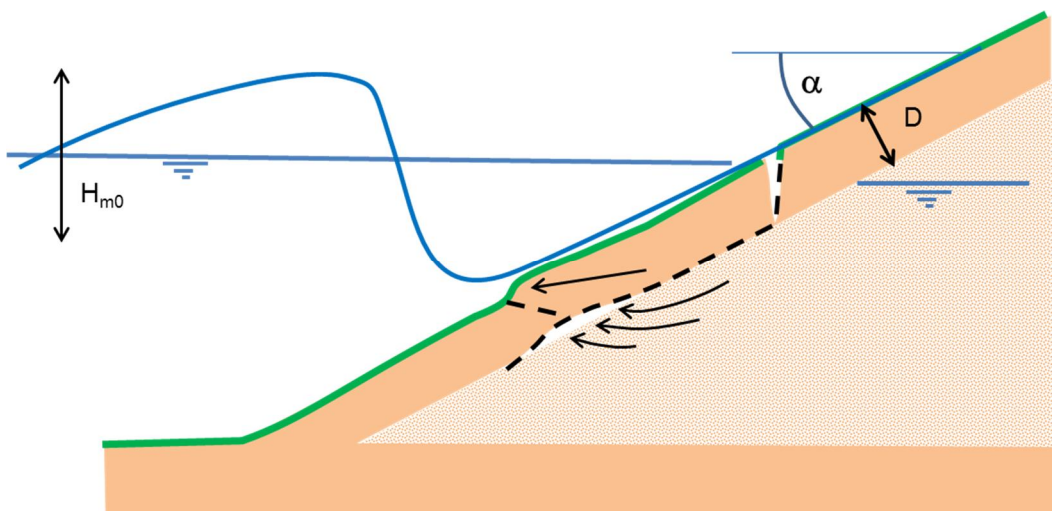
Voor de eenvoudige toetsing is alleen de schematisering van een zandscheg of zandinsluiting van belang. Dit kan voorkomen als bij een versterking een oude kleidijk is overlaagd door een zandlichaam met kleibekleding (Figuur 5.1).



Figuur 5.1 Zandscheg en zandinsluiting onder talud

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

Voor de gedetailleerde toetsing zijn alleen de kleilaagdikte, het gewicht van de kleilaag, de taludhelling en de golfhoogte van belang (Figuur 5.2).

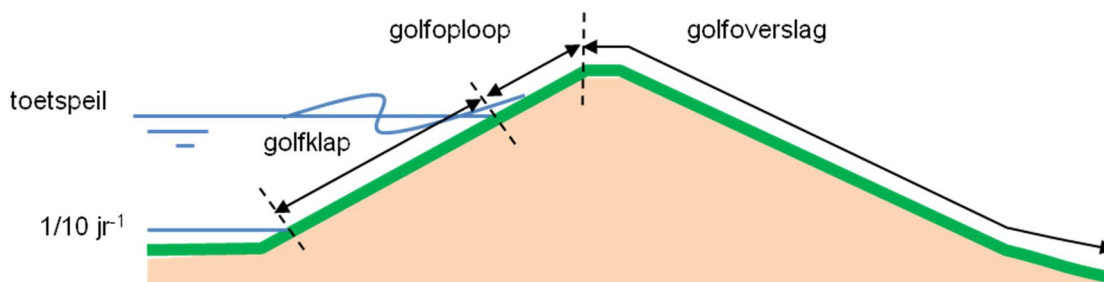


Figuur 5.2 Schematisering afschuiving bekleding buitentalud

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

5.2 Erosie buitentalud

Erosie van de grasbekleding op het buitentalud kan worden veroorzaakt door golfklappen en door golfoploop. Bij de toetsing worden de golfklapzone en de golfoploopzone onderscheiden (Figuur 5.3).



Figuur 5.3 Schematische weergave dijkprofiel met verschillende belastingzones

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

Dijken waar in de golfklapzone een harde bekleding ligt en in de golfoploopzone een grasbekleding worden getoetst 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 een aparte schematiseringshandleiding [14].

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 toetsing. Opgemerkt wordt dat de schematisering voor dit mechanisme grote overeenkomsten heeft met het mechanisme microstabiliteit, maar bij de schematisering van met name de waterspanningen zijn er belangrijke verschillen.

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

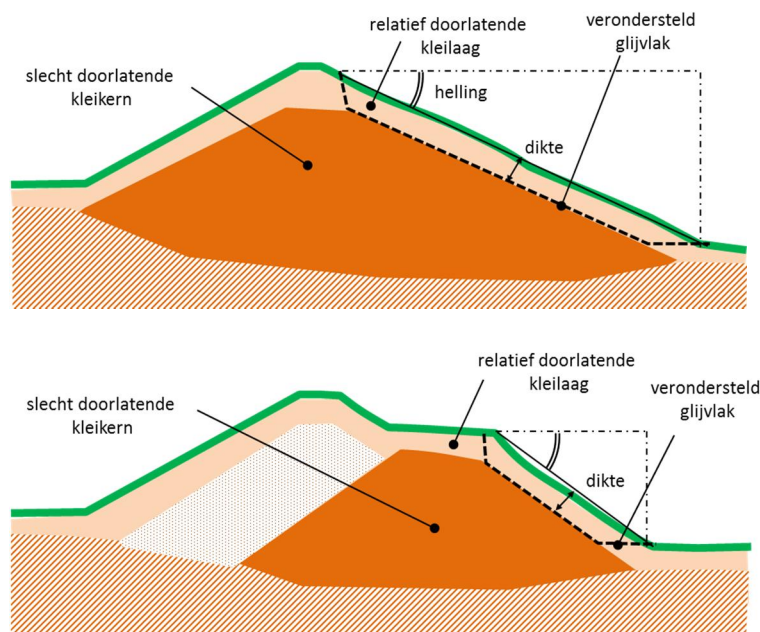
- Karakterisering van de dijkopbouw en ondergrond.
- Geohydrologische karakterisering.
- Geotechnische schematisering.
- Keuze te beoordelen dwarsprofielen.

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

5.3.1 Karakterisering van de dijkopbouw en ondergrond

Kleidijken

Voor de schematisering van kleidijken is naast de taludhelling hoofdzakelijk de dikte van de afschuivende laag van belang. De buitenste laag klei met bodemstructuur met een dikte van circa 1 m kan afschuiven over een kleikern. Dit kan ook een kleikern zijn van een oude dijk, die later buitenwaarts is versterkt met zand (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 [2] wordt in de gedetailleerde toetsing standaard uitgegaan van een dikte van 1 m, tenzij er vanuit ervaring of vanuit aanleg/ontwerp aanwijzingen zijn dat er overgangen in de grond zijn op een andere diepte. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn indien er voor de bekledingslaag een ander type klei is gebruikt dan voor de kern. Eventueel kan de dikte van de afschuivende laag in een meer gedetailleerde studie nader worden bepaald met behulp van veldonderzoek. Duidelijke overgangen in bodemstructuur en/of samenstelling van de klei is een reden om af te wijken van 1 m. De ondergrond, waarop de kleidijk is opgebouwd is voor dit mechanisme nauwelijks van belang. Uit praktijkwaarnemingen en berekeningen blijkt dat het afschuifvlak onderaan het talud horizontaal uittreedt.

Zanddijken

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

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

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

5.3.2 Geohydrologische karakterisering

Kleidijken

De geohydrologische schematisering van een kleidijk met een kleibekleding is relatief eenvoudig. Bij een golfoverslagdebiet van meer dan 0,1 l/s/m, zullen de macroporiën in de bekleding snel verzadigen [1], 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 formules waarmee het mechanisme wordt gecontroleerd in toetslaag 2 (Edelman Joustra criterium). Indien in toetslaag 3 gebruik wordt gemaakt van de methode Spencer – Van der Meij [8], zoals geprogrammeerd in DGeostability, 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.

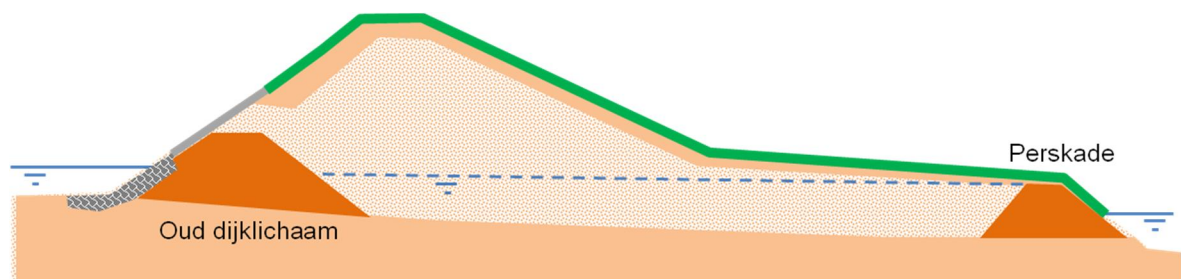
Zanddijken

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 [6]. Onderstaand worden enkele aandachtspunten gegeven toegespitst op het mechanisme afschuiven van de bekleding bij golfoverslag. Opgemerkt wordt dat in [6] de effecten van hevige of extreme neerslag worden beschouwd, terwijl deze in het kader van het toetsen op veiligheid juist niet worden meegenomen. Ook in [7] staan diverse handreikingen voor het geohydrologisch schematiseren en wordt de achtergrond gegeven van de analytische modellen die in toetslaag 2 worden gebruikt.

Voor de geohydrologische schematisering, zowel in toetslaag 2 als in toetslaag 3, zijn de randvoorwaarden van belang. Binnendijs 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 binnendijs 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 binnendijs maaiveld.

Buitendijs wordt het toetspeil opgelegd. Vaak liggen zanddijken op een relatief ondoorlatende ondergrond van klei en of veen, in welk geval de randvoorwaarde 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 randvoorwaarden binnen- en buitendijs. Echter, door een specifieke dijkopbouw kan het voorkomen dat het freatisch vlak in de dijk onder dagelijkse omstandigheden al vrij hoog is. Dit kan gebeuren als gevolg van de aanwezigheid van perskaden en of oude dijklichamen die relatief ondoorlatend zijn (Figuur 5.5), waardoor regenwater dat in het dijklichaam infiltreert wordt opgesloten.



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

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

Specifiek voor golfoverslag moet ook infiltratie van water in de golfoploopzone, de kruin en het binnentalud in rekening worden gebracht. Eventueel aanwezige kleibekledingen in de oploopzone, op de kruin en het binnentalud worden meegenomen in de schematisering. Werkend van grof naar fijn kan er in eerste instantie vanuit worden gegaan dat de doorlatendheid van deze kleibekledingen even groot is als die van de zandkern, om dit alleen indien nodig later te optimaliseren. De toename van de waterspanning als gevolg van infiltratie door golfoverslag kan voor toetslaag 2 in rekening worden gebracht volgens [1] en in toetslaag 3 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) [13], 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 [9].

De formule voor de correctiefactor Cr is:

$$Cr = d^{\frac{1}{L/D}}$$

Waarin:

L	Lengte van het talud (m)
D	Dikte van de afschuivende laag (m)
d	constante =4,451 (-)

De voorwaarden waaraan moet worden voldaan zijn:

- 1) De helling moet flauwer zijn dan 1V:1.5H.
- 2) Cohesie moet voor 50% of meer bijdragen aan de schuifsterkte, ofwel

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

c'	effectieve cohesie (kPa)
ϕ'	effectieve hoek van inwendige wrijving ($^{\circ}$)
γ_n	verzadigd gewicht van de afschuivende grondlaag (kN/m^3)
γ_w	gewicht water (kN/m^3)

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

Zanddijken

Voor de stabiliteitsberekeningen is een set analytische formules beschikbaar [13] waarmee de stabiliteit van de kleilaag op een zandkern en uitspoelen van zand onder invloed van een uittredeverhang op een eenvoudige manier kan worden beoordeeld. Voor deze analytische berekeningen zijn schematiseringen van de volgende parameters nodig:

- taludhelling
- dikte kleibekleding
- gewicht en wrijvingseigenschappen van de kleibekleding
- gewicht en wrijvingseigenschappen van het zand.

Enkele aandachtspunten bij het schematiseren:

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

5.4 Erosie kruin en binnentalud

Bij de gedetailleerde beoordeling de grasbekleding op erosie van kruin en het binnentalud wordt gebruik gemaakt van golfoverslagberekeningen. Hiervoor dient de geometrie van het buitentalud te worden geschematiseerd, waarvoor een aparte schematiseringshandleiding is opgesteld [14].

De sterkte van de grasbekleding wordt in de gedetailleerde toetsing gekarakteriseerd door een kansverdeling van het kritisch overslagdebiet. Het gemiddelde en de standaardafwijking van de kansverdeling zijn afhankelijk van de kwaliteit van de zode (open zode of gesloten zode), van de golfhoogteklasse waar de dijk in valt en van de eventuele aanwezigheid van objecten en of overgangen.

Indien objecten en overgangen worden meegenomen in de toetsing (bij het maken van dit document nog onzeker):

De aanwezige objecten en overgangen in de grasbekleding worden niet in detail geschematiseerd. Bij de gedetailleerde toetsing hoeft alleen te worden aangegeven of er wel of geen objecten en overgangen aanwezig zijn. Dit is onderstaand nader toegelicht.

Geen objecten en overgangen wil zeggen dat het gaat om een groene dijk. Hierop zijn geen overgangen, zoals wegen en fietspaden, of overgangen in bekledingtype aanwezig en geen objecten met een diameter groter dan 0,15 m (doorsnede met de grasbekleding). Paaltjes en hekjes kunnen hierbij dus wel worden toegelaten. Ook de overgang van het talud naar een berm of het achterland hoort bij de toegestane overgangen.

Wel overgangen en objecten betekent dat op de dijk bijvoorbeeld bomen, taludtrappen en ander dijkmeubilair groter dan 0,15 m kunnen staan, evenals wegen en fietspaden. Er wordt hierbij wel vanuit gegaan dat de grasbekleding rondom de overgangen en objecten in orde is. Panden en kunstwerken worden uitgesloten. Deze grote objecten kunnen een dusdanig grote verandering van de belasting geven dat het effect hiervan mogelijk niet wordt gedekt in de huidige gedetailleerde toetsmethode.

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 deelsporen van belang, voor de rest zijn de parameters geclusterd per deelspoor.

6.2 Geometrie van de dijk

Wat is het?

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

Extra aandacht is nodig voor de schematisering van het dwarsprofiel aan de buitenzijde van de dijk inclusief de kruinhoogte. Dit deel van de geometrie wordt gebruikt voor de golfoplopberekeningen en hiervoor is een aparte schematiseringshandleiding opgesteld [14].

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 de toetsing 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 gebiedsafankelijk 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 [14]).

Uit de geometrie worden verder de volgende parameters bepaald:

- helling van het binnentalud;
- hoogte van de binnenteen.

Deze parameters zijn noodzakelijk voor de beoordeling van afschuiven van de bekleding van het binnentalud.

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).

Aandachtspunten

- Het dwarsprofiel moet 'lang' genoeg zijn om de schematisering voor de verschillende mechanismen te bevatten. Binnendijs is een profiel tot en met de teensloot voldoende. Buitendijs moet het dwarsprofiel voldoende lang zijn om tegemoet te komen aan de profiel vereisten voor het uitvoeren van een golfploopberekening [14]. 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 toetsing op afschuiven van de bekleding van het 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.
- Voor het toetsen op afschuiven van het 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 toetsing het steilste taluddeel, boven of onder bermniveau, maatgevend. Bij de gedetailleerde toetsing 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 Toetspeil 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.

6.3 Afschuiven bekleding buitentalud

6.3.1 Kernmateriaal

Wat is het?

De parameter is een voorwaarde in de eenvoudige toets. Indien er onder de kleibekleding een kleikern ligt, dan volgt direct het oordeel 'voldoet'.

Hoe te bepalen?

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

Aandachtspunten

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

6.3.2 Dikte en onderwatergewicht kleibekleding buitentalud

Wat is het?

Zandkernen worden beschermd tegen erosie door het aanbrengen van een kleilaag. Deze heeft een dikte d (m) loodrecht op het talud en een onderwatergewicht $(\Delta d)_{\text{kleilaag}}$ (m). Hierin is Δ de relatieve dichtheid van de kleilaag die gelijk is aan $\rho_g/(\rho_g - \rho_w)$ waarin ρ_g de soortelijke massa van de verzadigde kleilaag (kg/m^3) en ρ_w de soortelijke massa van het water (kg/m^3).

Hoe te bepalen?

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

De soortelijke massa van de kleilaag ρ_g kan in het laboratorium worden bepaald op monsters die met behulp van steekbussen uit de bekleding worden gehaald (NEN 5110/ 5111).

Aandachtspunten

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

6.3.3 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. Het gaat om een rekenwaarde. 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 overschrijdingskans gelijk aan de norm.

6.4 Erosie buitentalud

6.4.1 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 golfploopzone 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 6.1).

Tabel 6.1 *Renewaarden U_c voor erosiemodel oploopzone*

	Gesloten zode	Open zode
U_c (m/s)	5,1	3,3

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 6.2).

Tabel 6.2 *Rekenwaarden a, b en c voor erosiemodel golfklapzone*

	Gesloten zode		Open zode	
	$H_{m0}^* \leq 1$ m	$H_{m0}^* > 1$ m	$H_{m0}^* \leq 1$ m	$H_{m0}^* > 1$ m
a	1	1,75	0,8	1,4
b	-0,035	-0,07	-0,035	-0,07
c	0,25	0,25	0,25	0,25
H_{m0} met overschrijdingskans gelijk aan norm overstromingskans				

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 [1]. Ten aanzien van de toetsing op veiligheid zou het beheer moeten worden gericht op het verkrijgen van een dicht wortelnet, ofwel een gesloten zode.

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

Hoe te bepalen?*Graskwaliteit bepalen door visuele inspectie*

De drie categorieën zodekwaliteit kunnen worden herkend met visuele inspectie. De inspectie omvat het schatten van de bedekking van een recentelijk gemaaid talud bij het lopen over de grasbekleding. Regelmatig, vooral als het gras hoger is dan ca. 0,1 m, moet in meer detail de dichtheid van de begroeiing aan het grondoppervlak na worden gegaan. De representatieve grootte van open plekken tussen de planten wordt hier als criterium gehanteerd voor de mate van openheid van de begroeiing. De representatieve plantafstand is het visueel globaal geschatte gemiddelde (voor een stuk van zo'n 0,3 x 0,3 m²) van de afstand tussen planten waar deze uit de grond komen.

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

- gesloten graszode: Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar globale visuele inspectie, een representatieve grootte van open plekken tussen de planten minder dan ongeveer 0,1 m, welke in niet meer dan 10 % van het oppervlak tot 0,2 m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1 m) beschadigingen per vierkante meter van de grasmat groter dan 0,15 x 0,15 m² zijn en gemiddeld over 25 m² niet meer dan 5 van zulke beschadigingen.
- open graszode: Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar visuele inspectie, een representatieve grootte van open plekken tussen de planten minder dan ongeveer 0,1 m, welke in niet meer dan 25 % van het oppervlak tot 0,25 m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1 m) beschadigingen per vierkante meter van de grasmat groter dan 0,15 x 0,15 m² zijn en gemiddeld over 25 m² niet meer dan 5 van zulke gaten.
- fragmentarische zode: Taludbegroeiing met meer dan 25 % van het oppervlak plantafstanden groter dan 0,25 m. Dit betreft veelal slechts individuele, losstaande planten, of pollen waartussen eventueel bodembedekkende kleinere planten die geen gesloten grasmat vormen.

Het beheer is een dominante factor voor de mate van ruwheid van een dijktaalud met grasbekleding. Een gesloten graszode vormt zich niet als het microreliëf (binnen 1/10de m²) 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 verschaft daarnaast informatie over eventuele afwijkingen in de opbouw van de zode en aard van de grond in de zode die, waar nodig geacht, genoteerd kunnen worden voor gebruik bij beheer. Er wordt met een spade een stuk zode losgesneden van ongeveer 0,25 x 0,3 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 x 0,3 m²) 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 x 0,3 m²) 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 x 0,3 m²) 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 gemaaide zode.
- Het is bijna onvermijdelijk dat beschadigingen aan de grasbekleding worden aangetroffen. Dit kunnen bijvoorbeeld rijsporen zijn, schade als gevolg van graafwerk of plukken met brandnetels en of distels (pioniersplanten die als eerste weer groeien op plekken waar de zode beschadigd is). Dit zijn zwakke plekken in de bekleding, waar bij het optreden van extreme condities als eerste schade zal optreden. Deze plekken moeten door middel van een ingreep in het beheer (zorgplicht) worden verholpen en dit is daarom niet direct een reden om de graszode in een dijkvak in te delen in de categorie 'fragmentarisch'. Bij de toetsing wordt een vooruitblik gemaakt naar het einde van de toetsperiode. Bij deze vooruitblik vormt een goed beheer en onderhoud, gericht op een gesloten zode, het uitgangspunt. Alleen als de beschadigingen structureel zijn en het er zodanig veel zijn dat het niet beheersbaar is, dan volgt het oordeel fragmentarische zode.
- Door jaarlijks gezamenlijk en ook met collega's van andere waterschappen een beoordeling uit te voeren wordt de methode consistent. De kennis over de beoordeling wordt op elkaar geijkt. Oefening baart kunst.

6.4.2 Significante golfhoogte

Wat is het?

Voor de significante golfhoogte die wordt gebruikt in de eenvoudige toetsing wordt verwezen naar paragraaf 6.3.3.

In de gedetailleerde toetsing wordt gebruik gemaakt van een golfhoogte die wordt berekend via Ringtoets met de Q-variant, gegeven een overschrijdingskans gelijk aan de norm.

Hoe te bepalen?

De golfhoogte wordt beschikbaar gesteld via Ringtoets. In toetslaag 1 wordt gebruik gemaakt van de golfhoogte met een overschrijdingskans gelijk aan de norm overstromingskans. In toetslaag 2 wordt gebruik gemaakt van een verloop van de golfcondities in tijd op basis van berekeningen met de Q-variant. Dit verloop van golfcondities in tijd wordt met behulp van Ringtoets gegenereerd.

6.4.3 Toetspeil

Wat is het?

Het toetspeil wordt gebruikt voor de beoordeling of de grasbekleding in de golfklapzone ligt of in de golfploopzone. Het toetspeil is de waterstand met een jaarlijkse overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de normoverstromingskans van het dijktraject waarin het te toetsen dijkvak zich bevindt.

Hoe te bepalen?

Het toetspeil wordt via Ringtoets beschikbaar gesteld.

6.4.4 Zandgehalte in kleilaag

Wat is het?

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

Hoe te bepalen?

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

6.4.5 Dikte kleilaag

Voor de beschrijving wordt verwezen naar paragraaf 6.3.2.

6.5 Afschuiven bekleding binnentalud

6.5.1 Golfverslagdebiet

Wat is het?

Als de waterstand lager is dan de kruin en golven slaan over de kruin dan is er sprake van golfverslag. De overslaande golven geven een tijdsgemiddeld debiet dat over de kruin van de dijk stroomt. Het symbool is q . Het debiet wordt uitgedrukt in liter per strekkende meter dijk per seconde $l/m/s$ of in $m^3/s/m$.

Hoe te bepalen?

In de eenvoudige toets wordt het overslagdebiet bepaald met een vereenvoudigde conservatieve formule op basis van de kruinhoogte, de waterstand en de golfhoogte.

$$q = 0.2 \cdot \sqrt{g \cdot H_{m0}^3} \cdot e^{\frac{-2.6(h_k - h)}{H_{m0}}} \quad (0.1)$$

Waarin:

- h_k (kruin)hoogte waarbij het ingevoerde overslagdebiet q optreedt (m tov NAP)
- h waterstand (m tov NAP)
- H_{m0} Significante golfhoogte, gebaseerd op spectrum (m)
- q Overslagdebiet gegeven (kruin)hoogte h_k ($m^3/s/m'$)

De golfhoogte en de waterstand worden gegeven voor verschillende overschrijdingskansen (1/terugkeertijd). Om de juiste parameter voor de toetsing te bepalen moet hiervoor de normoverstromingskansen worden genomen. Deze wordt voor alle te toetsen dijktrajecten via Ringtoets beschikbaar gesteld. Zowel de waterstand als de golfhoogte worden bepaald op grond van hun marginale statistiek.

Bij de gedetailleerde toetsing wordt via Ringtoets een probabilistische berekening uitgevoerd naar het golfoverslagdebiet met een overschrijdingskans gelijk aan de norm overstromingskansen. Bij een ingewikkelde geometrie van het buitentalud kan deze berekening worden aangescherpt door het uitvoeren van een berekening met PC-Overslag, waarbij gebruik wordt gemaakt van de hydraulische randvoorwaarden uit het illustratiepunt van de probabilistische berekening. Het op deze manier bepaalde golfoverslagdebiet is lager dan welke dan die is bepaald met formule (0.1) in de eenvoudige toets.

Aandachtspunten

- Het in toetslaag 2 met behulp van Ringtoets berekende golfoverslagdebiet is een aanscherping van het in toetslaag 1 met formule (0.1) berekende debiet. Indien met dit aangescherpte debiet via toetslaag 1 alsnog tot het oordeel voldoet kan worden gekomen (GABI, GEB en GEKB), dan kan een verdere gedetailleerde toetsing achterwege blijven.
- 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 6.5.8 bij de bepaling van de grondwaterstand in de dijk onder invloed van infiltratie.

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

Aandachtspunten

- In de praktijk is gebleken dat grote variaties in dijkopbouw mogelijk zijn, onder meer bij oude dijkdoorbraken. Deze plekken verdienen extra aandacht bij het plannen van grondonderzoek, zodat de afwijkende opbouw in kaart kan worden gebracht.
- De inspanning van grondonderzoek is aanzienlijk, dus het is aan te bevelen om het onderzoek naar het dijkttype te combineren met grondonderzoek naar de dijkopbouw en bodemopbouw die nodig is voor de beoordeling van de andere faalmechanismen.
- Bij het uitvoeren van grondonderzoek naar het dijkttype moet tevens worden gedacht aan de andere eventueel benodigde parameters, zoals de volumieke massa van de kleibekleding, de schuifsterke van de kleibekleding (ongeroerde 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.

6.5.3 Kleikwaliteit

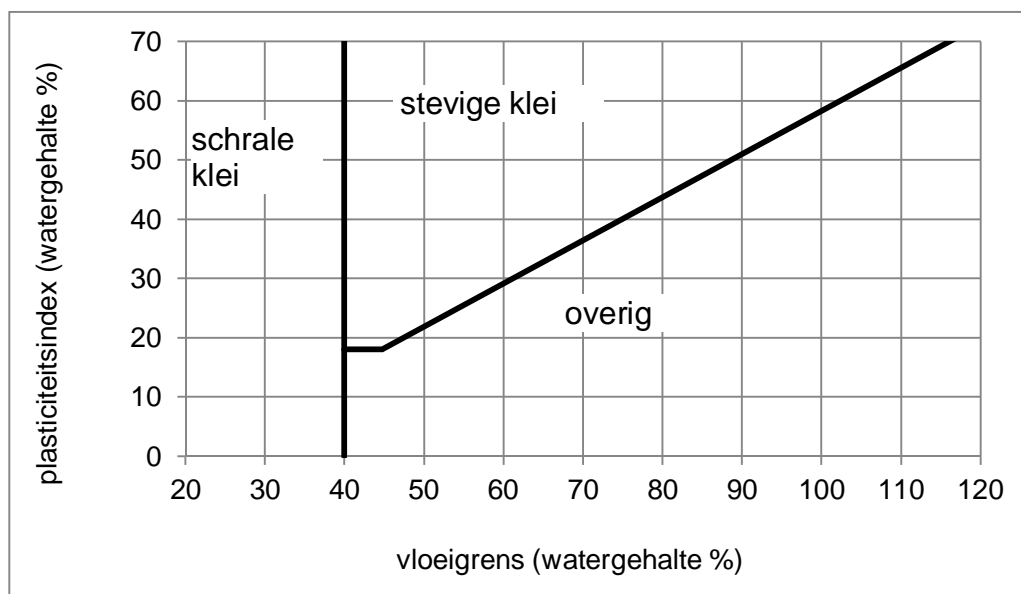
Wat is het?

De kleikwaliteit is een maat voor de plasticiteit of affiniteit met water van de klei. Deze parameter wordt gebruikt in de eenvoudige toetsing. 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 6.1):

- I. Stevige klei
- II. Schrале klei
- III. Overig



Figuur 6.1 Atterberg diagram met daarin de indeling in stevige klei, schrale klei en overige grond

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

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

Verder geldt voor een stevige klei:

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

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

Aandachtspunten

- De in Nederland voorkomende klei ligt vaak boven de A-lijn: $0,73 \times (\text{Vloeigrens} - 20)$. In de praktijk komt het voor dat 'stevige klei' toch in de categorie 'schrale klei' komt. Mogelijk komt dit door afwijkingen bij het volgens de norm bepalen van de Atterbergse grenzen. Enkele aandachtspunten bij de bepaling zijn:

- Verwijderen van eventueel aanwezige wortels. Een hoog organische stof gehalte leidt tot een hoge schatting van de vloeigrens, waardoor de klei onder de A-lijn komt.
- Het schaalpje van Cassagrande (of vloeigrens apparaat) moet worden schoongemaakt met water en 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.

6.5.4 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 stabielere de kleilaag. Voor het gewicht wordt het gemiddelde van de waarnemingen aangehouden.

Aandachtspunten

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

6.5.5 Doorlatendheid kleibekleding

Wat is het?

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

De doorlatendheid van een kleibekleding wordt grotendeels bepaald door de mate van vorming van bodemstructuur. Onder invloed van verschillende bodemstructuur vormende processen (wisselingen in watergehalte door uitdroging en neerslag, vorst, flora en fauna

activiteiten) wordt een kleibekleding relatief doorlatend ten opzichte van natuurlijk afgezette kleilagen onder de grondwaterstand en goed verdicht aangebrachte kleilagen die zich buiten de invloedssfeer van deze processen bevinden. Natuurlijk afgezette kleilagen onder het freatisch vlak kunnen bijvoorbeeld een doorlatendheid hebben in de orde van 10^{-8} m/s, een kleikern in een dijk, ook boven het freatisch vlak, kan een doorlatendheid hebben van orde 10^{-6} m/s, maar een kleibekleding kan een doorlatendheid hebben van 10^{-4} à 10^{-5} m/s. Dit is dezelfde orde van grootte als de doorlatendheid van een zandkern. Meer informatie hierover is te vinden in [1] en [10].

Hoe te bepalen?

De doorlatendheid van de kleibekleding is lastig te bepalen. Van belang is de bulk doorlatendheid van de klei met bodemstructuur. Voor de bepaling van een afgeleide van de doorlatendheid, de infiltratiecapaciteit [1], 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 (1x1 m²) die een stukje in de dijk worden gedrukt en gevuld met water. De afname van de waterstand in deze buizen en kokers per tijdseenheid is de infiltratiecapaciteit. De gemeten infiltratiecapaciteit kan met behulp van formules worden teruggerekend naar een doorlatendheid, waarbij overigens opgemerkt dat de infiltratiecapaciteit vaak een redelijke schatter is van de verzadigde bulk doorlatendheid die in berekeningen wordt gebruikt. Bij wat dikkere kleilagen, bijvoorbeeld van 0,8 m en dikker, kan het noodzakelijk zijn om inzicht te krijgen in het verloop van de doorlatendheid over de dikte. De doorlatendheid net onder de zode, tot ongeveer 0.4 m zal waarschijnlijk aanzienlijk hoger zijn dan die op een diepte van 0.6 à 0.8 m, waar de mate van bodemstructuur afneemt. Naast de bovengenoemde veldinfiltratiemetingen bestaan er ook systemen waarbij infiltratie in een boorgat wordt gemeten. Hiermee kan ook op grotere diepte, in dikke kleilagen of in de zandkern, een meting worden verricht van de infiltratiecapaciteit die kan worden teruggerekend naar een doorlatendheid.

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

Aandachtspunten

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

6.5.6 Doorlatendheid zandkern

Wat is het?

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

Hoe te bepalen?

Er zijn diverse manieren om de doorlatendheid te bepalen. Er wordt gewerkt van grof naar fijn. Omdat het uitvoeren van een berekening veel minder inspanning vergt dan het bepalen van een doorlatendheid in het veld of in het laboratorium wordt eerst een berekening gemaakt met een veilige schatting van de doorlatendheid. Voor zanddijken bestaande uit matig fijn zand (of fijner) is een veilige schatting bijvoorbeeld $0,5 \times 10^{-3}$ m/s. Indien een veilige schatting niet leidt tot een oordeel 'voldoet', dan kan de doorlatendheid worden bepaald met correlaties tussen de korrelverdeling en de doorlatendheid [11] en [12]. 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 [12]:

$$k_{rep} = \exp\left((\log k)_{gem}\right) + t_{N-1}^{0,95} \frac{s_{\log k}}{\sqrt{N}} \quad (0.2)$$

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 dijkttype en dijkopbouw relatief veel (geroerde) zandmonsters te verzamelen en hiervan enkele tientallen zeefkrommes uit te laten voeren, waarmee de doorlatendheid kan worden berekend. Zeefkrommes zijn relatief voordelig ten opzichte van veld- en laboratoriumbepalingen van de doorlatendheid. Voor een dijkvak van bijvoorbeeld één of enkele kilometers wordt zo een beeld verkregen van een eventuele variatie in dwarsprofiel en of in de lengterichting van het dijkvak. Op basis hiervan kan eventueel worden besloten om de verzameling (en het dijkvak) op te delen. De doorlatendheid op basis van zeefkrommes kan worden

geverifieerd of eventueel worden bijgesteld met veldmetingen en of doorlatendheid metingen in het laboratorium.

6.5.7 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 toetsing. 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 het 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.

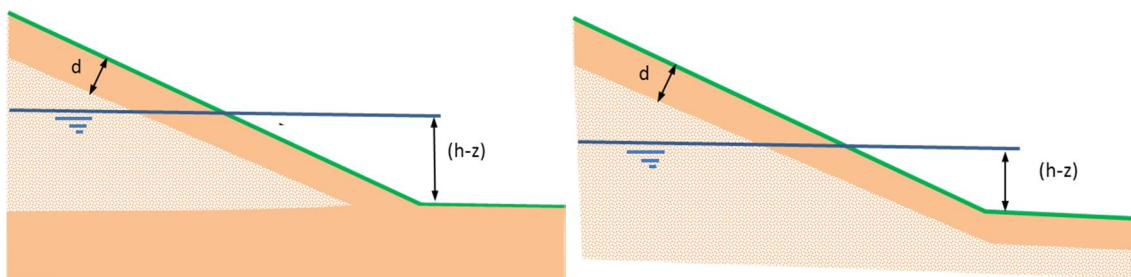
Aandachtspunten

- 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.

6.5.8 Grondwaterstand binnenteen ten opzichte van teenniveau (h-z)

Wat is het?

In de gedetailleerde toetsing van een zanddijk met een kleibekleding met behulp van analytische formules bestaat de belasting uit de grondwaterstand in de zandkern h (m+NAP) ten opzichte van het binnendijkse teenniveau z (m+NAP) (Figuur 6.2). 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 6.2 Schematische weergave parameter grondwaterstand binnenteen ten opzichte van teen niveau (h-z)

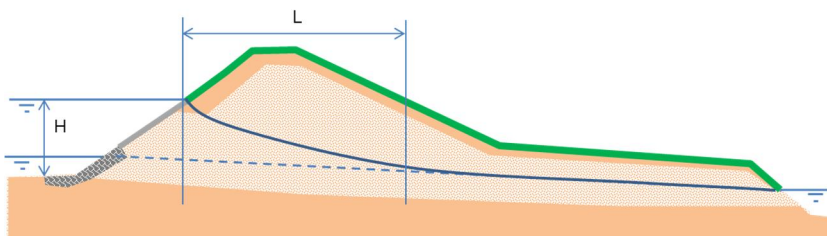
In de gedetailleerde toetsing wordt uitgegaan van het linker scenario in Figuur 6.2. In het rechter scenario heeft de dijk een zandberm, waardoor het water ter plaatse van de teen niet wordt opgesloten.

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 [1]:

- 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 (0.3) [6]:



$$L = \sqrt{\frac{2HkT}{n}} \quad (0.3)$$

Waarin:

- L indringingslengte (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 de lengte L het binnentalud bereikt, dan wordt aanbevolen een 2D grondwaterstromingsberekening uit te voeren en daarbij ook het effect van golfoverslag mee te nemen. Als L de

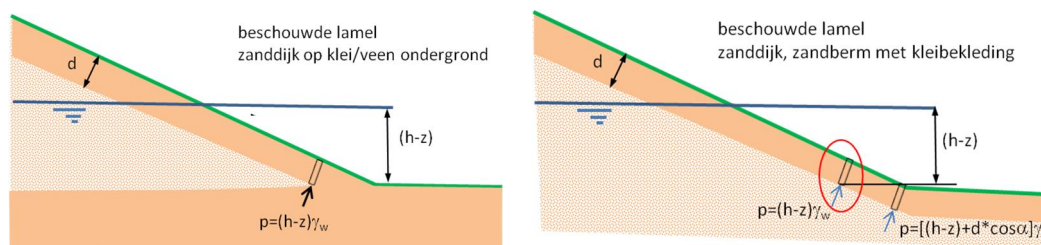
- binnenteen niet bereikt, dan kan ervan worden uitgegaan dat indringing van een hoge buitenwaterstand geen effect heeft.
- 3 Het effect van infiltratie door golfoverslag wordt berekend door de infiltratiecapaciteit van de kleibekleding en de duur dat het talud nat is als gevolg van golfoverslag met 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.
- 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 6.5.5). *Opgemerkt wordt dat de veilige waarde van 10^{-4} m/s in deze vereenvoudigde benadering leidt tot een potentiële toename van het freatisch vlak van 10^{-4} m/s * 3600 / 0,35 = 1,02 m/uur. Uitgaande van het bovengenoemde gemiddelde van de infiltratiecapaciteit $2,3 \times 10^{-5}$ m/s uit diverse proeven zou dit circa 0,24 m/uur zijn.*
 - De tijd dat het talud nat is als gevolg van golfoverslag en er infiltratie optreedt kan worden berekend, door na te gaan gedurende hoeveel tijd van de beschouwde storm er een significante hoeveelheid golfoverslag is (meer dan 0,1 l/s/m). Voor de piek mag worden uitgegaan van het golfoverslagdebiet gegeven een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de normoverstromingskans uit Ringtoets. Op basis van het waterstandverloop en het (geschatte) verloop van de golfhoogte in de tijd kan op enkele momenten in de storm met PC-Overslag worden berekend hoe groot het golfoverslagdebiet is. Dit geeft een beeld van de combinatie van overslagdebiet en golfhoogte. Met behulp van paragraaf 6.3.2 uit [1] kan daarmee de tijd dat het talud nat is worden gecorrigeerd voor kleine overslagdebieten waarbij het talud niet 100% van de tijd nat is. Uiteindelijk levert deze stap de tijd gedurende de storm dat er infiltratie optreedt.
 - Delen van het product uit a. en b. door de porositeit van de zandkern, die beschikbaar is voor waterberging, bijvoorbeeld 0,35 (-), levert de schijf water die potentieel wordt toegevoegd aan het freatisch vlak. Let op dat de tijd die hiervoor nodig is niet in deze afschattende berekening tot uiting komt, waardoor het eindresultaat conservatief is.
- 4 Optelling van de resultaten uit stappen 1, 2 en 3 leidt tot de conservatief berekende stijghoogte ter plaatse van de teen van de dijk, waarmee de stabiliteit kan worden gecontroleerd.

De bovengenoemde procedure om de grondwaterstand in de zandkern te bepalen is conservatief. Er wordt vanuit gegaan dat het de 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 toetslaag 3.

Naast het rekenen met meer geavanceerde modellen in toetslaag 3 kunnen binnen de gedetailleerde toetsing ook parameters worden aangescherpt mits dit uitzicht biedt op goedkeuren in toetslaag 2 (zie paragraaf 6.5.5, 6.5.6 en 6.5.7).

Aandachtspunten

- De analytische formules waarmee de stabiliteit van een kleibekleding op een zandkern wordt beoordeeld gaan impliciet uit van het linker scenario van Figuur 6.2. 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 6.3.



Figuur 6.3 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 toetslaag 3 een volledige 2D analyse van de grondwaterstroming en de stabiliteit van de kleilaag worden gemaakt.

6.5.9 Wrijvingseigenschappen klei en zand

Wat is het?

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

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

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

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

Hoe te bepalen?

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

Aandachtspunten

- Een kleibekleding bevindt zich in de onverzadigde zone van de dijk en wordt intensief blootgesteld aan bodemstructuurvormende processen, zoals een wisselend vochtgehalte, vorst en flora en fauna activiteiten. Er is onderzoek uitgevoerd naar het effect van bodemstructuur op de schuifsterkte van de grond [9]. Er is niet gebleken dat door het uitvoeren van gangbare triaxiaalproeven op gangbare monsters uit een klei met bodemstructuur met een diameter van 50 mm of groter een consequente onder- of overschatting van de schuifsterkte wordt gevonden.
- Cohesie wordt niet rechtstreeks gemeten in triaxiaalproeven proeven, maar is het resultaat van extrapolatie van metingen naar het punt $\sigma' = 0$ in een grafiek van schuifsterkte τ (y-as) tegen effectieve spanning σ' (x-as). Daarom is voorzichtigheid bij het bepalen van cohesie geboden.
- Om de bezwijkomhullende en de cohesie vast te stellen worden de resultaten van proeven op verschillende monsters gecombineerd. Door lineaire regressie toe te passen op de gemeten resultaten van proeven op grondmonsters die een enigszins afwijkende samenstelling hebben, kan de cohesie ook (deels) het gevolg zijn van de heterogeniteit van de onderzochte grondmonsters. De cohesie is dan het gevolg van het toepassen van lineaire regressie en hoeft niet een eigenschap van de onderzochte grondmonsters te zijn. *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 [9] wordt verder een procedure beschreven waarmee met behulp van triaxiaalproeven met een (isotrope) consolidatiespanning onder en boven de grensspanning een waarde voor de cohesie kan worden bepaald. Hierbij wordt opgemerkt dat bij lange taluds van kleidijken gecontroleerd dient te worden of het bovenste deel van het talud niet teveel vervormt, ofwel scheurt voordat aan de onderzijde van het talud de volledige schuifsterkte wordt gemobiliseerd. Dit kan worden onderzocht met een EEM-berekening in toetslaag 3.

6.6 Erosie kruin en binnentalud

6.6.1 Overslagdebiet

In de eenvoudige toetsing wordt gebruik gemaakt van het overslagdebiet dat wordt berekend met formule (0.1) in paragraaf 6.5.1. De benodigde waterstand en golfhoogte worden bepaald op basis van hun marginale statistiek bij een overschrijdingskans gelijk aan de norm. De

kruinhoogte wordt bepaald met in acht name van mogelijke kruindaling tijdens de toetsperiode (paragraaf 6.2).

In de gedetailleerde toetsing wordt de kans op overschrijding van een onzeker kritisch overslagdebiet berekend en is er dus geen sprake meer van de bepaling van één overslagdebiet.

6.6.2 Kleilaagdikte

De kleilaagdikte wordt in de eenvoudige toetsing gebruikt. Voor deze parameter wordt verwezen naar paragraaf 6.5.4, met dien verstande dat alleen de laagdikte van belang is bij de toetsing op erosie.

6.6.3 Significante golfhoogte

In de eenvoudige toetsing wordt de golfhoogte H_{m0} gebruikt als voorwaarde voor het toelaten van een gemiddeld overslagdebiet van 5 l/s/m. Deze golfhoogte wordt bepaald op grond van marginale statistiek bij een overschrijdingskans gelijk aan de norm.

De hier te gebruiken waarde van de golfhoogte wordt door Ringtoets beschikbaar gesteld.

6.6.4 Graskwaliteit

Zie paragraaf 6.4.1 voor de omschrijving en de bepaling van de kwaliteit van de zode.

Aandachtspunten

- Bij de toetsing wordt gebruik gemaakt van kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet. Het kritisch overslagdebiet is lognormaal verdeeld en wordt gekarakteriseerd door een gemiddelde waarde μ en een standaardafwijking σ . Deze waarden zijn afhankelijk van de zodekwaliteit en de klasse van de golfhoogte (Tabel 6.3).

Golfhoogteklasse	Gesloten zode		Open zode	
	μ (l/s/m)	σ (l/s/m)	μ (l/s/m)	σ (l/s/m)
0-1 m	225	250	100	120
1-2 m	100	120	70	80
2-3 m	70	80	40	50

Tabel 6.3 Gemiddelde μ en standaardafwijking σ voor het kritieke overslagdebiet bij verschillende golfhoogteklassen en zodekwaliteit

De golfhoogteklasse wordt bepaald aan de hand van de door Ringtoets beschikbaar gestelde waarden voor de golfhoogte op grond van de marginale statistiek en bij een overschrijdingskans gelijk aan de norm. Alleen de linker (lage) staart van de verdeling van het kritische overslag debiet is relevant voor de toetsing.

6.6.5 Objecten en overgangen

(Alleen van toepassing als overgangen en objecten in de toetsing worden meegenomen)

Wat is het?

Objecten en overgangen vormen een onderbreking in de grasbekleding of een overgang van de grasbekleding naar een ander type bekleding. Dit laatste kan bijvoorbeeld ook een overgang van een grasbekleding naar een weg of fietspad zijn. Rondom objecten en

overgangen is de belasting door golfoverslag vaak groter en de sterkte lager. Hier zal eerder falen van de grasbekleding optreden dan elders.

De aanwezige objecten en overgangen in de grasbekleding worden niet in detail geschematiseerd in de huidige gedetailleerde toetsmethode. Bij de gedetailleerde toetsing hoeft alleen te worden aangegeven of er wel of geen objecten en overgangen aanwezig zijn [15]. Dit wordt onderstaand toegelicht.

Hoe te bepalen?

'Geen objecten en overgangen' wil zeggen dat het gaat om een groene dijk. Hierop zijn geen overgangen, zoals wegen en fietspaden, of overgangen in bekledingtype aanwezig en geen objecten met een diameter groter dan 0,15 m (doorsnede met de grasbekleding). Paaltjes en hekjes kunnen hierbij dus wel worden toegelaten. Ook de overgang van het talud naar een berm of het achterland hoort bij de toegestane overgangen. In dit geval kunnen de waarden van μ en een σ uit Tabel 6.3 worden gebruikt.

'Wel overgangen en objecten' betekent dat op de dijk bijvoorbeeld bomen, taludtrappen en ander dijkmeubilair met een diameter groter dan 0,15 m kunnen staan, evenals wegen en fietspaden. Er wordt hierbij overigens wel vanuit gegaan dat de grasbekleding rondom de overgangen en objecten in orde is. In dit geval moeten de waarden van μ en een σ uit Tabel 6.3 vermenigvuldigd worden met 0,1. De op deze wijze verkregen waarden moeten handmatig in Ringtoets worden ingevoerd.

Aandachtspunten

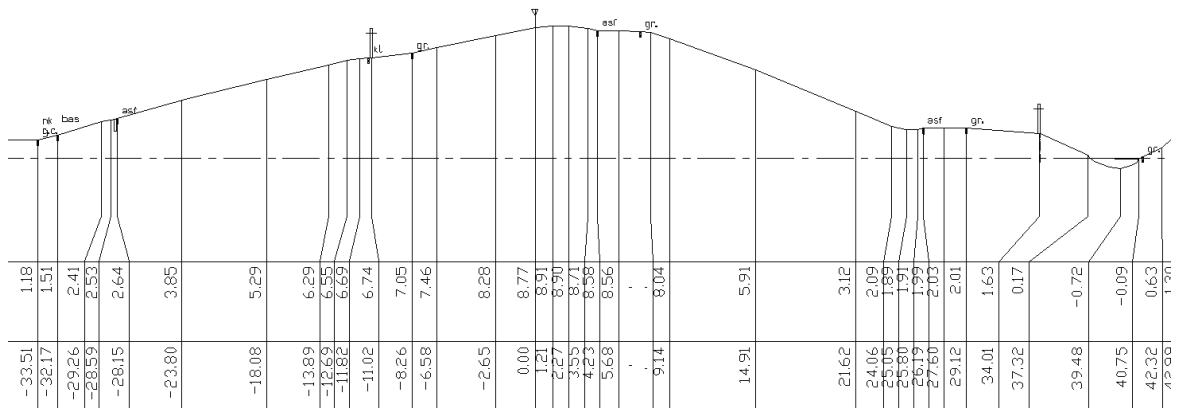
- Panden en kunstwerken worden uitgesloten. Deze grote objecten kunnen een dusdanig grote verandering van de belasting geven dat het effect hiervan mogelijk niet wordt gedekt. Deze objecten worden in de huidige gedetailleerde toetsing buiten beschouwing gelaten. Toetsing hiervan vindt plaats in toetslaag 3.
- Het verschil tussen wel en geen objecten is groot. Nuancering tussen verschillende objecten en overgangen waardoor de correctiefactor van 0,1 misschien groter kan zijn is specialistisch werk dat in het kader van de toets op maat kan worden uitgevoerd.

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 overal gelijk. De golfhoogte H_{m0} met een overschrijdingskans gelijk aan de norm varieert slechts met 0,1 m. Voor de golfhoogte wordt de hoogste golfhoogte in het vak aangehouden.



Figuur 7.1 Maaiveldlijn (links de Waddenzee, rechts de polder)

7.2 Toetslaag 1

In toetslaag 1 wordt gekeken naar de dijkopbouw en het overslagdebiet. De dijk heeft geen werkende drainage, bestaat uit zand en heeft een helling steiler dan 1V:5H. Op basis hiervan kan geen oordeel 'voldoet' worden gegeven. Vervolgens wordt het overslagdebiet berekend. In toetslaag 1 gebeurt dat op een vereenvoudigde manier op basis van door het WTI geleverde randvoorwaarden op basis van de nominale statistiek van waterstand en golfhoogte. De te gebruiken waarden zijn die met een overschrijdingskans gelijk aan de norm overstromingskans. Voor deze dijk is dat een kans van $1/3000 \text{ jr}^{-1}$, waarbij door het WTI een waterstand h wordt gegeven van NAP +5,2 m en een golfhoogte H_{m0} van 2,2 m.

Het overslagdebiet q (l/s/m) wordt in toetslaag 1 berekend met de conservatieve formule:

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

Waarin:

- q Overslagdebiet (l/s/m')
 h_k (kruin)hoogte (m tov NAP)
 h waterstand (m tov NAP)
 H_{m0} Significante golfhoogte, gebaseerd op spectrum (m)

De kruinhoogte h_k 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.

Met deze parameters wordt in toetslaag 1 een overslagdebiet berekend van:

$$q = 200 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 2,2^3} \cdot e^{\frac{2,6(8,9-5,2)}{2,2}} = 380 \text{ l/s/m}$$

Hierbij wordt opgemerkt dat het op deze manier berekende overslagdebiet in dit geval extreem conservatief is (paragraaf 7.3.1 laat zien dat een nauwkeurige berekening leidt tot een overslagdebiet van 0,8 l/s/m). Omdat het groter is dan 0,1 l/s/m kan in toetslaag 1 niet tot het oordeel voldoet worden gekomen en wordt de toets vervolgt in toetslaag 2.

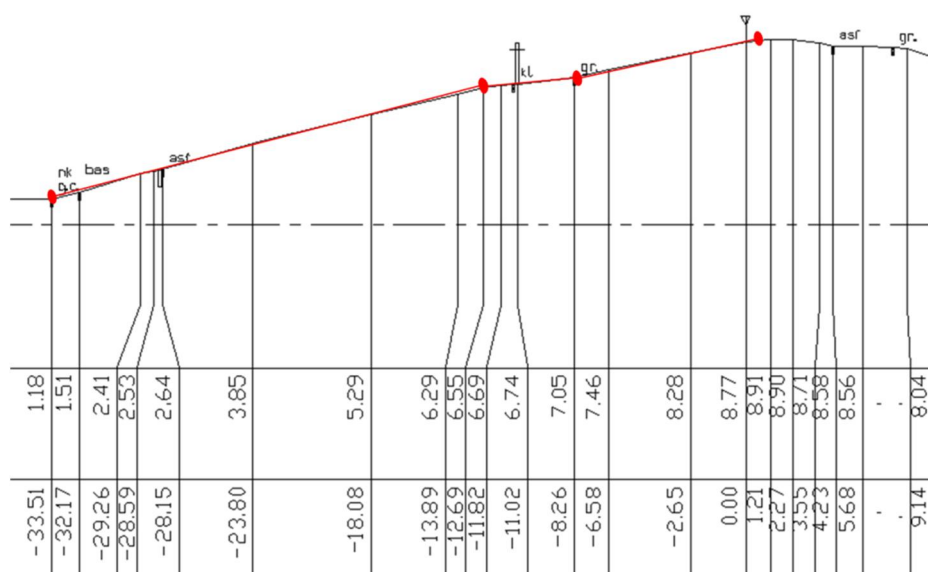
7.3 Toetslaag 2

7.3.1 Overslagdebiet

De eerste stap in toetslaag 2 bestaat uit een meer gedetailleerde bepaling van het overslagdebiet. Het debiet wordt bepaald met door het WTI beschikbaar gestelde software. In toetslaag 2 is het voor het bepalen van het overslagdebiet noodzakelijk om het buitentalud te schematiseren, zodanig dat dit geschikt is voor een golfploopberekening (Figuur 7.2). Hiervoor is een aparte schematiseringshandleiding beschikbaar [14]. Het overslagdebiet wordt bepaald met een overschrijdingskans gelijk aan de norm overstromingskans, in dit geval $1/3000 \text{ jr}^{-1}$.

Uit de WTI software volgt een overslagdebiet tijdens de piek van de storm van 0,8 l/s/m. De WTI software levert tevens de hydraulische condities in het illustratiepunt bij het berekende overslagdebiet. In dit geval een waterstand van NAP +5,1 m, een golfhoogte H_{m0} van 2,0 m, een golfperiode $T_{m-0,1}$ van 5,0 s. De golfrichting is 0° (loodrecht op de dijk aankomende golven).

Omdat het overslagdebiet hoger is dan 0,1 l/s/m kan niet direct het oordeel 'voldoet' worden gegeven, maar moet met gedetailleerde rekenregels worden gekeken of het profiel voldoet.



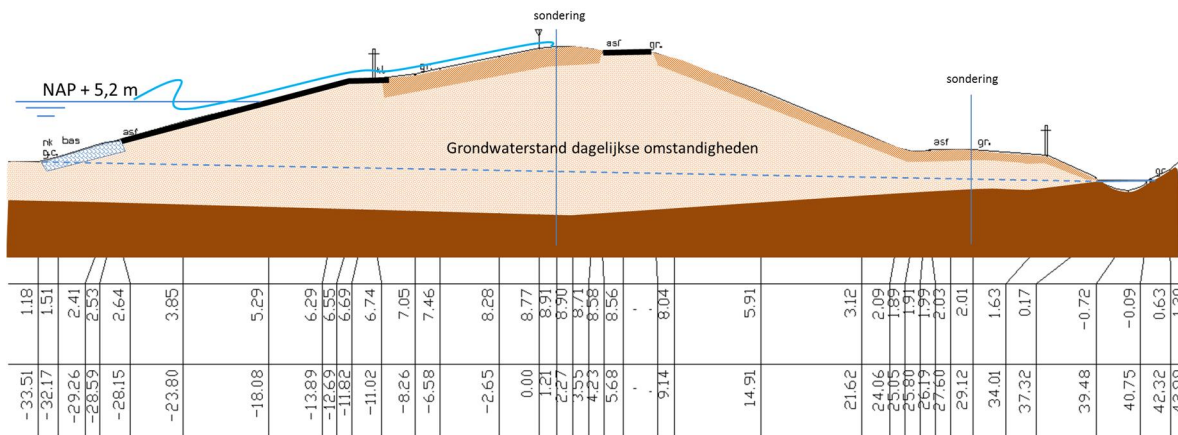
Figuur 7.2 Schematisering buitentalud voor golfloopberekening

Opgemerkt wordt dat vanwege het overslagdebiet dat iets groter is dan 0,1 l/s/m er geen controle in het spoor microstabiliteit hoeft te worden uitgevoerd. Het mechanisme afschuiven van de bekleding van het binnentalud, dat met dezelfde formules wordt gecontroleerd, is vanwege het extra wateraanbod door infiltratie van golfoverslag maatgevend.

7.3.2 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 sonderingen blijkt dat de dijk bestaat uit zand en is opgebouwd op een holoceen 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 uit zand en 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 voornamelijk 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 opbolling van de freatische lijn is als gevolg van neerslag.

7.3.3 Verhoging freatisch vlak door hoge buitenwaterstand

De indringing van een verhoogde waterstand in de dijk wordt geschat met de formule uit paragraaf 6.5.8.

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

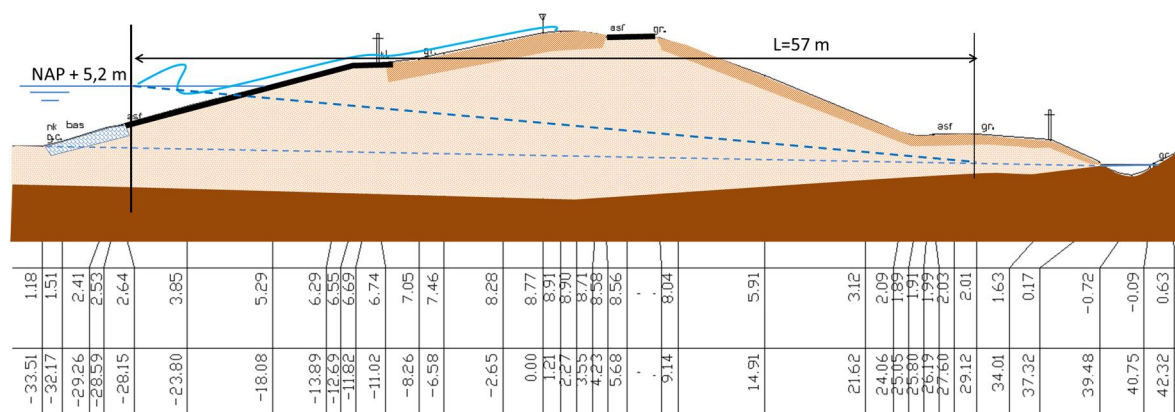
Hierbij wordt bij de berekening impliciet van de conservatieve aanname uit gegaan dat de bekleding, ook het asfalt, open is. Bekend is dat het zand in de kern van de dijk fijn is, echter er zijn geen zeefkrommes of doorlatendheidsbepalingen beschikbaar. Daarom wordt in eerste instantie uitgegaan van een conservatieve doorlatendheid k van $0,5 \times 10^{-3}$ m/s (paragraaf 6.5.6). Voor de porositeit n wordt 0,35 (-) aangehouden. 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:

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

In werkelijkheid zal het freatisch vlak in de dijk tijdens het hoogwater gekromd zijn, maar eenvoudigheidshalve wordt het vlak als een rechte lijn geschematiseerd (conservatief).

Bij een over de hoogte van het talud volledig open bekleding 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).

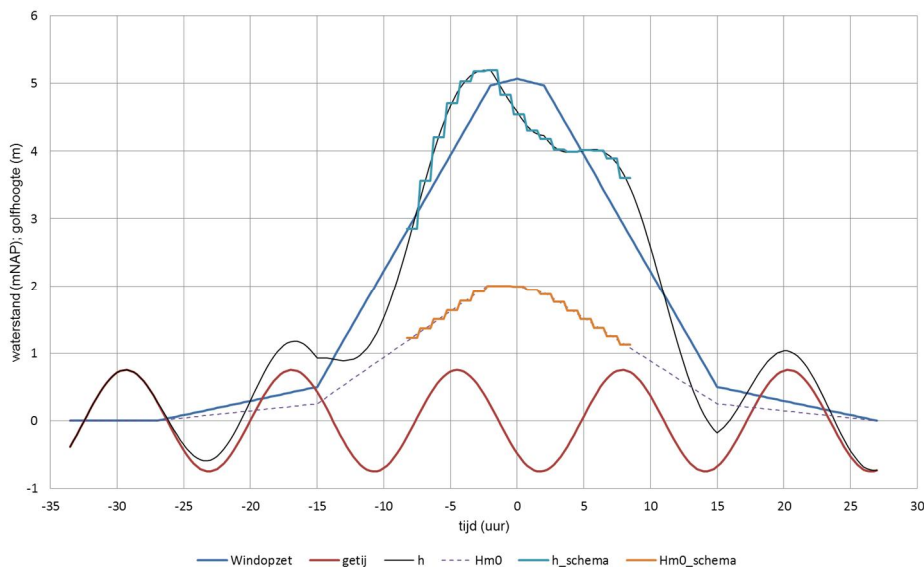


Figuur 7.4 Schematisering verhoging freatisch vlak in de zandkern als gevolg van een hoge buitenwaterstand.

7.3.4 Verhoging freatisch vlak door golfoverslag

Als gevolg van infiltratie van overslaande golven zal het freatisch vlak ter plaatse van de binnentoe verder kunnen stijgen. De hoeveelheid water die door het binnentalud kan infiltreren is gelijk aan de tijd dat er op het talud een wateraanbod is keer de infiltratiecapaciteit van het dijktaald. Deze hoeveelheid water gedeeld door de porositeit van het zand is gelijk aan de potentiële stijging van het freatisch vlak. In toetslaag 2 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 grondwaterstromingsberekeningen blijkt dit een conservatieve aanname, echter dit soort berekeningen kan alleen beter worden uitgevoerd als onderdeel van toetslaag 3.

Eerst wordt berekend hoe lang golfoverslag een wateraanbod geeft op het binnentalud. Aangenomen wordt dat als het overslagdebiet kleiner of gelijk is aan 0,1 l/s/m er geen infiltratie door overslag is en als het groter is dan 0,1 l/s/m wel. Van belang is dus de tijdsduur dat er meer dan 0,1 l/sm golfoverslag is. Om dit te bepalen wordt gekeken naar het waterstandverloop en het verloop van de golfcondities. Deze data worden door WTI- software geleverd. In Figuur 7.5 staat het verloop van de golfhoogte H_{m0} (m) en de waterstand h (mNAP) voor dit geval.



Figuur 7.5 Verloop in tijd van de golfhoogte H_{m0} (m) en de waterstand h (mNAP).

In Figuur 7.5 is geblokt, in stukjes van 1 uur, het geschematiseerde verloop gegeven. Per tijdblokje zal met PC-Overslag het overslagdebiet worden berekend. In het blokje met de hoogste waterstand NAP +5,1 m en golfhoogte 2 m is het overslagdebiet 0,8 l/s/m. Dit blokje is van -2,5 uur tot -1,5 uur, ofwel een half uur voor en na -2 uur.

Tabel 7.1 geeft een overzicht van tijd, waterstand en golfoverslagdebiet, berekend met PC-Overslag.

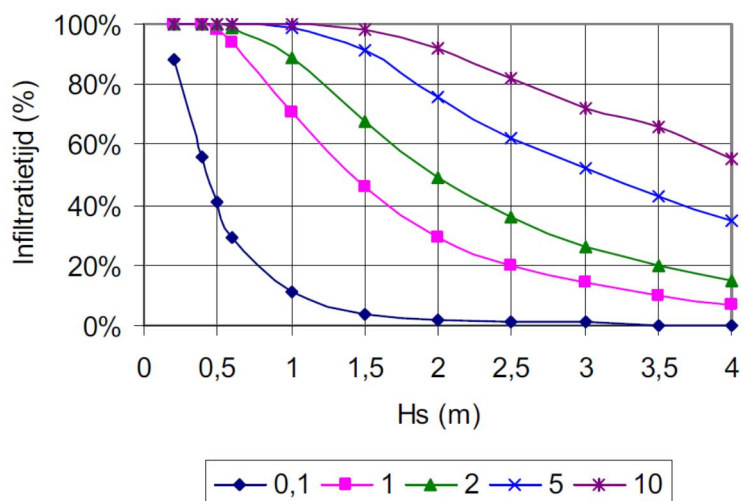
Tabel 7.1 Verloop q (l/s/m) in tijd

Tijd	h (mNAP)	H_{m0} (m)	q (l/s/m)
-5	4,63	1,64	0,1
-4	4,95	1,78	0,3
-3	5,08	1,91	0,5
-2	5,1	2,0	0,8
-1	4,73	1,99	0,4
0	4,44	1,94	0,2
1	4,2	1,88	0,1

Gedurende 5 uur is het overslagdebiet groter dan 0,1 l/s/m. Om de hoeveelheid water die in het binnentalud dringt te berekenen moet de tijd dat het talud nat is worden vermenigvuldigd met de infiltratiecapaciteit. Een conservatieve schatting van de infiltratiecapaciteit is $1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ (par. 6.5.5). Van deze waarde kan worden uitgegaan als er geen metingen beschikbaar zijn. Gemiddeld over circa 23 metingen op dijken in Nederland is dit echter $2,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Metingen leiden dus mogelijk tot een optimalisatie van ongeveer een factor 4.

Als gedurende 5 uur het talud nat zou zijn, dan zou er potentieel $1 \times 10^{-4} \times 5 \times 3600 = 1,8 \text{ m}^3$ water per m^2 dijktaald instromen. Met een porositeit van het zand van 0,35 (-) geeft dit een potentiële stijging van het freatisch vlak van $1,8/0,35 = 5,14 \text{ m}$. Dit is onwaarschijnlijk veel en zou onherroepelijk tot instabiliteit van de kleilaag leiden.

Omdat het in dit geval gaat om relatief hoge golven en een laag overslagdebiet zal het talud niet gedurende de hele 5 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 7.6 uit [1]. Aangenomen wordt dat H_s gelijk is aan H_{m0} .



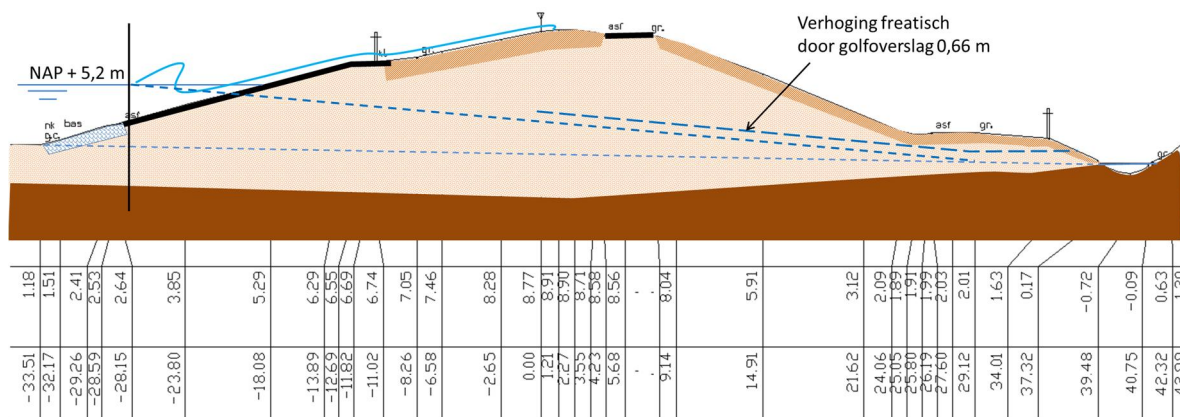
Figuur 7.6 Infiltratietijd als percentage van de tijd dat overslag optreedt, afhankelijk van golfhoogte en overslagdebiet.

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' (Tabel 7.2).

Tabel 7.2 Tijd wateraanbod op het talud

Tijd	h (mNAP)	H_{m0} (m)	q (l/s/m)	Perc. wateraanbod	Tijd wateraanbod (uur)
-5	4,63	1,64	0,1	0	0
-4	4,95	1,78	0,3	10%	0,1
-3	5,08	1,91	0,5	15%	0,15
-2	5,1	2,0	0,8	20%	0,2
-1	4,73	1,99	0,4	15%	0,15
0	4,44	1,94	0,2	5%	0,05
1	4,2	1,88	0,1	0	0
Totaal					0,65 uur

Hieruit volgt dat van de 5 uur dat het overslagdebiet groter is dan 0,1 l/s/m er slechts gedurende 0,65 uur wateraanbod op het talud aanwezig is. Dit leidt potentieel tot een waterinstroom van $1 \times 10^{-4} \times 0,65 \times 3600 = 0,23 \text{ m}^3$ water per m^2 . Met een porositeit van het zand van 0,35 (-) geeft dit een potentiële stijging van het freatisch vlak van $0,23/0,35 = 0,66 \text{ m}$.



Figuur 7.7 Schematische weergave verhoging freatisch vlak onder het binnentalud als gevolg van hoog buitenwater en infiltratie van golfoverslag

Zoals te zien in Figuur 7.7 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.

8 Referenties

- [1] Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde, Rijkswaterstaat 2012
- [2] Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkaden, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, juni 2001
- [3] WTI Onderzoek en ontwikkeling landelijk toetsinstrumentarium Product 5.12 Analyses grass erosion in wave run-up and wave overtopping conditions, Deltares rapportnummer 1209437 -005-HYE-0003, maart 2015
- [4] Black box model voor afschuiving bij steenzettingen', WL|Delft Hydraulics rapport H4635, november 2007
- [5] Aanpassing toetsmethodiek Afschuiving bij steenzettingen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ruud Bosters, 1 september 2008, Rapportnummer PZDT-R-08300
- [6] Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, september 2004, ISBN-90-369-5565-3
- [7] Leidraad voor het ontwerp van rivierdijken, deel 1 bovenriviereengebied, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Staatsuitgeverij 's-Gravenhage september 1985
- [8] Van der Meij, R. and J.B. Sellmeijer, A Genetic Algorithm for Solving Slope Stability Problems: from Bishop to a Free Slip Plane, in 7th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering (NUMGE). 2010, Balkema, Rotterdam: Trondheim
- [9] Cover layer stability during wave overtopping, WTI 2017 Onderzoek en ontwikkeling landelijk toetsinstrumentarium, Deltares 1209437-003, maart 2015
- [10] Studie voor richtlijnen klei op dijktaluds in het riviereengebied, Deltares rapportnummer 1202512-000-GEO-0002, juli 2010
- [11] Den Rooijen, H., Literatuuronderzoek doorlatendheid- korrelkarakteristieken. Grondmechanica Delft 1992 Rapport CO-317710/7
- [12] Technisch Rapport Zandmeevoerende wellen, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, maart 1999
- [13] Product 5.25 Toetsschemas en foutenboom grasbekledingen, WTI 2017 Onderzoek en ontwikkeling landelijk toetsinstrumentarium, Deltares, projectnummer 1220086-001, september 2015
- [14] VOORLOPIG Schematiseringshandleiding faalmechanismen WTI 2017 Hoogte, Deltares rapport met kenmerk 1209432-006-GEO-0006- 15-jvm, juli 2015

- [15] Invloed van overgangen op het kritieke overslagdebiet, Deltares rapport met kenmerk 1220086-016-HYE-0001, WTI2017 Product 5.37, augustus 2015

A Voorbeeldfoto's graszode

A.1 Gesloten zode



A.2 Open zode



A.3 Fragmentarische zode



A.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.