

**Schematiseringshandleiding
zettingsvloeiing**



Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing

dr. G.A. van den Ham

1220078-007

Titel
Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing

Opdrachtgever RWS-WVL	Project 1220078-007	Kenmerk 1220078-007-GEO-0007- jvm	Pagina's 46
---------------------------------	-------------------------------	--	-----------------------

Trefwoorden
WTI, 2017, schematisering, handleiding, zettingsvloeiing, D-FlowSlide

Samenvatting

Deze schematiseringshandleiding is opgesteld als hulpmiddel bij het schematiseren van het faalmechanisme zettingsvloeiing en kan gebruikt worden voor de toetsing met de software D-FlowSlide.


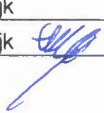

Schematiseren wordt hier gedefinieerd als het vertalen of interpreteren van de beschikbare gegevens naar invoer voor de methode (meestal een rekenmodel al dan niet in software) waarmee een bepaald faalmechanisme wordt beoordeeld. Beschikbare gegevens kunnen gegevens zijn uit het veld of uit het laboratorium,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

De schematiseringshandleiding geeft aanwijzingen voor het op een objectieve en uniforme wijze schematiseren van de modelinvoer voor de toetssporen vanuit genoemde beschikbare gegevens. In dit document worden deze aanwijzingen gegeven voor het schematiseren van de invoer van de beoordelingsmethode(n) voor zettingsvloeiing. De verschillende schematiseringsstappen per toetsstap worden geconcretiseerd in een voorbeeld.

Wat betreft de beschikbare gegevens kan bij zettingsvloeiing onderscheid gemaakt worden in:

- Geometrie.
- Grondgegevens: Grundlagen en –parameters.

De schematiseringshandleiding ondersteunt specialisten in het komen vanuit (veld)gegevens tot goede schematiseringen die in de beoordelingsmethoden voor zettingsvloeiing, bijvoorbeeld DFlowSlide, kunnen worden ingevoerd. Binnen DFlowSlide vindt een bewerking tot modelinvoer plaats.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	dec. 2014	dr. G.A. van den Ham		ir. M.M. de Visser		dr.ir. M.S. Sule	
				ir. T.P. Stoutjesdijk			
2	mei 2015	dr. G.A. van den Ham		ir. T.P. Stoutjesdijk		dr.ir. M.S. Sule	
3	sept. 2015	dr. G.A. van den Ham		ir. T.P. Stoutjesdijk		dr.ir. M.S. Sule	

Status
definitief

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
2.1	Inleiding	5
2.2	Stappenplan	5
3	Belastinggevallen	7
3.1	Inleiding	7
3.2	Morfo-dynamiek	7
3.3	Waterstandsverloop	7
3.4	Aardbevingen	8
4	Inventarisatie gegevens	9
5	Vakindeling	11
5.1	Inleiding	11
5.2	Processtappen vakindeling	11
5.3	Overige informatie	12
6	Schematisering per vak	13
6.1	Grondopbouw	13
6.1.1	Inleiding	13
6.1.2	Dijkmateriaal	14
6.1.3	Stochastische Ondergrondschematisering (WTI-SOS)	14
6.1.4	Lokaal grondonderzoek	16
6.2	Geometrie	17
6.2.1	Inleiding	17
6.2.2	Actuele Geometrie ($t_{actueel}$)	18
6.2.3	Beweeglijkheid van de vooroever	19
6.2.4	Meest ongunstige geulgeometrie in beoordelingsperiode (t_{eind})	20
6.2.5	Vooroeverbestorting	21
7	Parameters	23
7.1	Geometrische parameters	23
7.1.1	Methoden bepaling geometrische parameters onderwatertalud	23
7.1.2	Teen onderwatertalud van meest ongunstige geometrie in beoordelingsperiode	23
7.1.3	Geulrand van meest ongunstige geometrie in beoordelingsperiode	24
7.1.4	Laaglaagwaterstand LLWS/OLW/OLR	24
7.1.5	Equivalente oevermigratiesnelheid V_{lokaal}	25

7.1.6	Lengte vooroeverbesteding vanaf buitenteen dijk	25
7.1.7	Begin- en eindpunt vooroeverbesteding vanuit geul	25
7.2	Grondlagen en eigenschappen per grondlaag	26
7.2.1	Onder- en bovengrens van zand- en siltlagen in onderwatertalud	26
7.2.2	Vergelijken lokaal grondonderzoek met WTI-SOS	27
7.2.3	Eigenschappen per zandlaag	27
7.2.4	Equivalenten parameters	32
8	Voorbeeld	35
8.1	Belastinggevallen	35
8.2	Inventarisatie gegevens	35
8.3	Vakindeling	35
8.4	Eenvoudige toets	36
8.5	Gedetailleerde toets	38
8.6	Conclusies	43
9	Referenties	45
 Bijlage(n)		
A	Parameterlijst	A-1
A.1	Schematisering	A-1
A.2	Modelinvoer	A-1

1 Inleiding

1.1 Algemeen

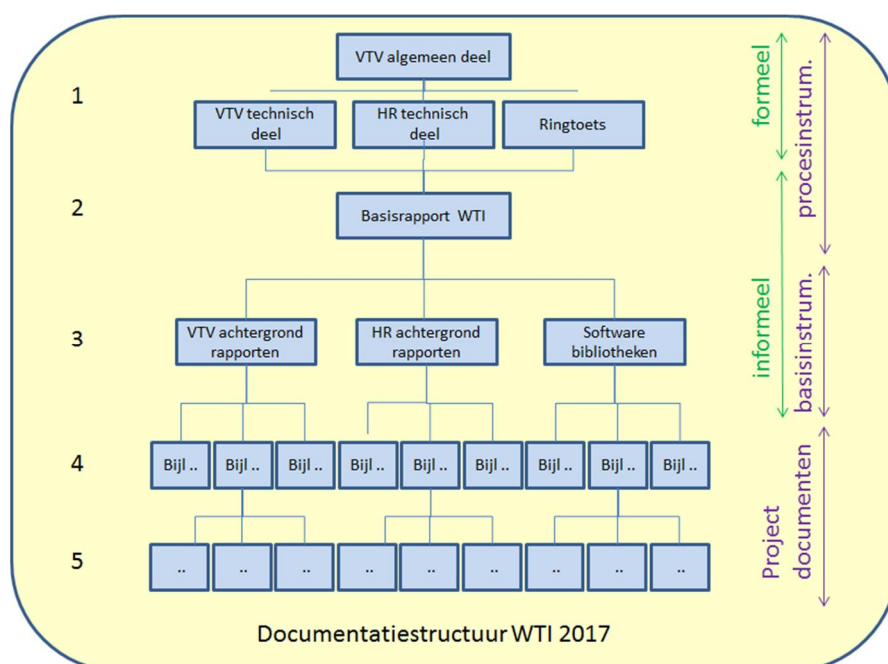
Deze schematiseringshandleiding is opgesteld in het kader van het Wettelijk Toets Instrumentarium 2017 (WTI2017).

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 toetssporen.
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).



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 schematisering 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 DFlowSlide kunnen worden toegepast. Binnen DFlowSlide 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). Onderdelen van deze schematiseringshandleiding zijn mogelijk wel

toepasbaar voor andere doeleinden, maar op punten zal deze handleiding niet van toepassing of onvolledig zijn.

Uitgangspunten specifiek voor het faalmechanisme zettingsvloeiing:

- Voor het schematiseren van de ondergrond is een globale stochastische ondergrond schematisering, WTI-SOS, beschikbaar voor alle primaire waterkeringen in Nederland. Voor het toetsen van een faalmechanisme dient deze globale schematisering als startpunt voor het maken van toepassings specifieke, lokale ondergrondschematisering. In deze schematiseringshandleiding wordt verwezen naar de desbetreffende handleiding. Zie Hijma et al (2015) en Hijma en Kruse (2014).
- Zettingsvloeiing leidt tot een verandering van de geometrie van het voorland van een waterkering of van de waterkering zelf en (daarmee) mogelijk een verandering van de belasting op de waterkering. Daarmee heeft zettingsvloeiing invloed op andere (directe) faalmechanismen zoals overslag/overloop, stabiliteit bekleding buitentalud, piping en buiten- en binnenwaartse macrostabiliteit. In principe wordt zettingsvloeiing onafhankelijk van deze faalmechanismen beoordeeld. Hiervoor zijn criteria afgeleid. Indien dit niet tot een oordeel voldoende voor zettingsvloeiing leidt, worden de veranderde geometrie of belasting als scenario's of stochast met een kansverdeling meegenomen in de beoordeling van de directe faalmechanismen.

1.5 Leeswijzer

Het *stappenschema 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
Stappenschema	Hoofdstuk 2
Belastinggevallen	Hoofdstuk 3
Inventarisatie gegevens	Hoofdstuk 4
Vakindeling	Hoofdstuk 5
Schematisering per vak	Hoofdstuk 6
Parameters	Hoofdstuk 7
Voorbeeld	Hoofdstuk 8

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

2 Stappenplan

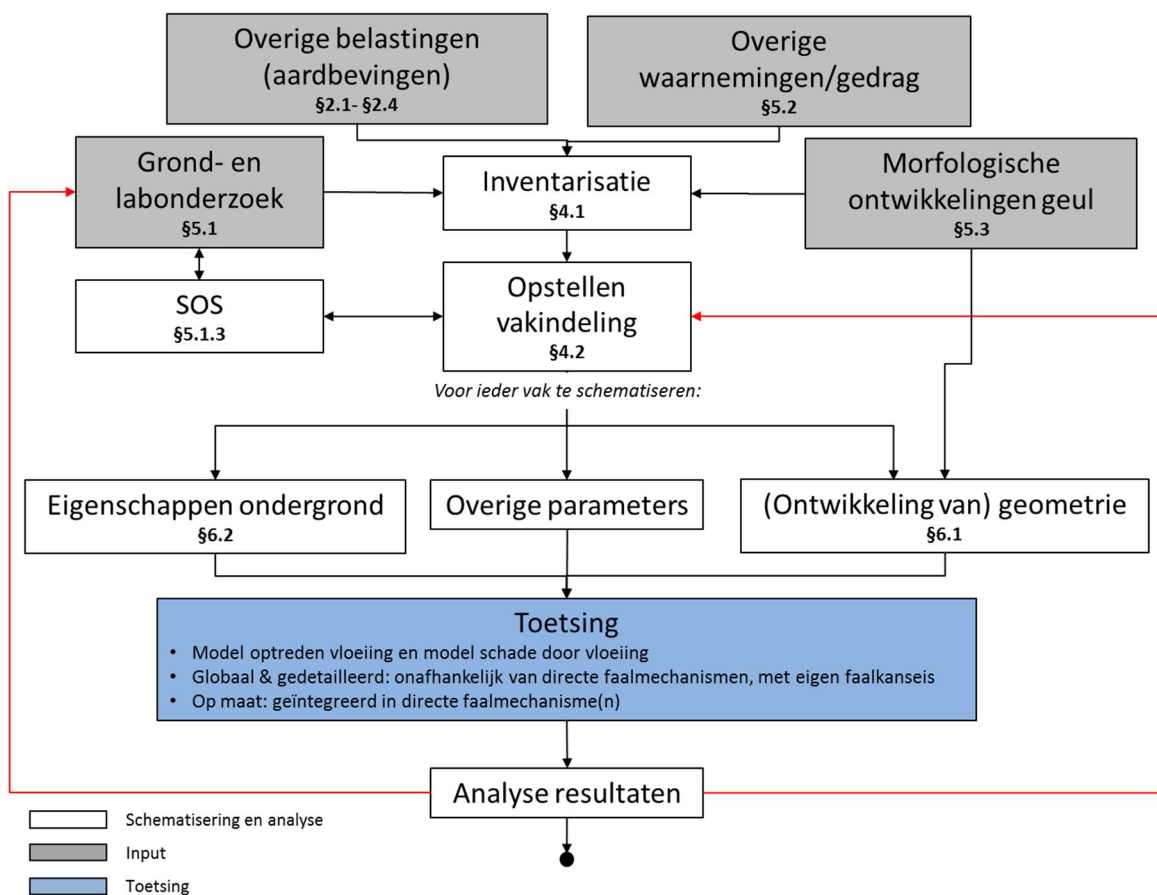
2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een stappenplan dat moet worden doorlopen om tot een schematisering te komen voor de beoordeling van zettingsvloeiing.

Omdat het stappenplan is toegesneden op beoordeling van zettingsvloeiing in de toetsing en instandhoudingstoets (Beheer & Onderhoudscyclus), wordt eerst kort ingegaan op het toetsproces voor zettingsvloeiing.

2.2 Stappenplan

Onderstaande figuur geeft het stappenplan voor de schematisering. Per stap is aangegeven of en in welke paragraaf dit verder is uitgewerkt.



Figuur 2.1 Stappenplan schematisering t.b.v. een beoordeling op zettingsvloeiing in de toetsing en/of instandhoudingstoets

3 Belastinggevallen

3.1 Inleiding

Eén van de voorwaarden voor het optreden van een zettingsvloeiing is het optreden van een inleidend mechanisme. Dit kan een geleidelijke verandering of laterale verplaatsing van de onderwatergeometrie zijn, door erosie of aanzanding, of een snelle belasting, zoals een flinke trilling, bijvoorbeeld door een aardbeving, heien of seismische sonderingen, een kleine afschuiving of een (plotselinge) daling van de waterstand. Waarschijnlijk is in het grootste deel van Nederland, waar zettingsvloeiingsgevoelige ondergrond aanwezig is, de kans dat een snelle belasting optreedt die groter is dan de grootste belasting die meermaals per jaar optreedt, erg klein (behalve in gebieden waar aardbevingen optreden, zie paragraaf 3.4). Dat betekent dat het alleen relevant is of er sprake is van doorgaande geleidelijke verandering van de onderwatergeometrie. Als hier geen sprake van is, mag de kans op een zettingsvloeiing dus ook verwaarloosbaar worden geacht. Indien wel sprake is van doorgaande geleidelijke verandering, zullen snelle belastingen slechts het exacte moment van een vloeiing bepalen. In gebieden waar de onderwatergeometrie sterk veranderlijk is, zal het moment van optreden van een vloeiing wellicht enkele weken vervroegd worden, in minder dynamische gebieden zal dit wellicht enkele maanden zijn.

In de volgende paragrafen wordt achtereenvolgens ingegaan op:

- De hierboven genoemde morfo-dynamische aspecten.
- Het verloop van de waterstand, de enige mogelijk relevante hydraulische belasting.
- Aardbevingen kunnen niet verwaarloosd worden in aardbevingsgevoelige regio's van Nederland. Dit betreft het zuidoosten van Nederland, waar tektonische aardbevingen voorkomen, en delen van Groningen en Noord-Holland, waar man-induced aardbevingen voorkomen.

3.2 Morfo-dynamiek

Geleidelijke verandering kan leiden tot een combinatie van ondergrond en geometrie die kritiek is voor het optreden van verweking of het ontstaan van een bresvloeiing. Dit kan zijn door (1) versteiling of verhoging van het onderwatertalud door erosie aan de teen of sedimentatie aan de top, of (2) door terugschrijding van het gehele talud naar een gedeelte van de ondergrond waar de grondcondities minder gunstig zijn (lossere pakking, fijnere korreldiameter, meer stoorlaagjes) of transgressie van het gehele talud, door aanzanding waarbij het aangezande materiaal minder gunstige grondcondities heeft. Daarnaast kan geleidelijke verandering leiden tot een kleine lokale instabiliteit, die voldoende groot is om een vloeiing te initiëren.

Voor de schematisering dient dus rekening te worden gehouden met de verwachte veranderingen in vorm en locatie van de onderwatergeometrie in de komende toets- of beheer- en onderhoudsperiode. Hierop wordt ingegaan in paragraaf 7.1.

3.3 Waterstandsverloop

Bij gelijkblijvende overige omstandigheden neemt de kans op een *verwekingsvloeiing* toe bij een daling van de buitenwaterstand. Hoe groter en sneller dit plaatsvindt, des te groter de toename van de kans. Waarschijnlijk zal een *bresvloeiing* in de meeste gevallen geïnitieerd worden door een (kleine) *verwekingsvloeiing* of afschuiving ergens in het onderwatertalud.

Daarom zal de kans op het optreden van een *bresvloeïing* waarschijnlijk ook het grootst zijn bij een zo snel en groot mogelijke daling van de buitenwaterstand.

Voor de beoordeling van zettingsvloeïing is dus informatie nodig over laagwaterstanden. Waterstanden met onderschrijdingsfrequenties kunnen gehaald worden uit waternormalen die door Rijkswaterstaat afgeleid zijn uit het landelijk afvoeren- en waterstandsmetnet, o.a. te vinden op de helpdesk water (Referentiewaarden Waterstanden).

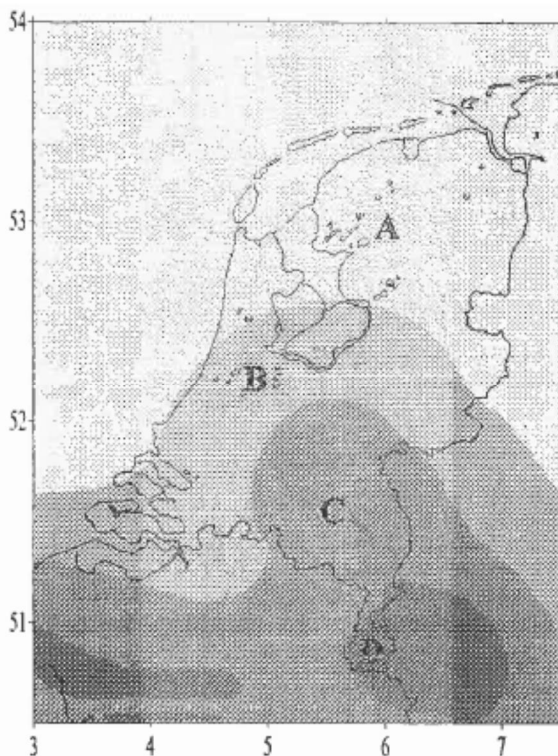
3.4 Aardbevingen

Of in bepaalde regio's van Nederland bij de beoordeling van zettingsvloeïing (of van faalmechanismen in het algemeen) rekening gehouden moet worden met (geïnduceerde of tektonische) aardbevingen is nog onderwerp van discussie/onderzoek. Een richtlijn voor aardbevingen bestaat in Nederland niet, ook niet voor waterkeringen. Verondersteld wordt dat de huidige normen voldoende garantie voor de veiligheid geven bij de in Nederland voorkomende aardbevingen. De Eurocode 8 is dan ook niet van toepassing.

Voorgesteld wordt om aardbevingen in ieder geval niet te beschouwen in locaties die vallen binnen seismische zones A en B volgens de seismische zoneringskaart van De Crook (1996), weergegeven in Figuur 3.1. In deze kaarten is echter geen rekening gehouden met aardbevingen gerelateerd aan gaswinning- en opslag, zoals in Groningen en rondom Bergen (NH). Hiervoor zou de zoneringskaart moeten worden aangepast.

In zones A en B bedraagt de ontwerpwaarde van de horizontale grondversnelling (gedefinieerd volgens Eurocode 8) respectievelijk $<0,1 \text{ m/s}^2$ en $0,22 \text{ m/s}^2$. Volgens de Eurocode 8 (die zoals aangegeven in Nederland formeel niet van toepassing is) hoeven in deze zones aardbevingen niet beschouwd te worden in de beoordeling van constructies.

Een beoordelingsmethode voor gebieden buiten zones A en B moet nog afgeleid worden.



Figuur 3.1 Seismische zoneringskaart van Nederland van De Crook (1996)

4 Inventarisatie gegevens

Voordat aan de indeling in vakken begonnen wordt (volgende hoofdstuk), worden de beschikbare gegevens geïnventariseerd. Daarmee kan op hoofdlijnen het te toetsen traject worden beoordeeld. In deze beoordeling wordt gekeken naar alle beschikbare gegevens. Denk daarbij aan:

- Recente dijkverbeteringen en maatregelen op de vooroever zoals bestortingswerken of suppleties.
- WTI-SOS dat bestaat uit segmenten van honderden meters tot meerdere kilometers.
- Beschikbaar grond- en laboratoriumonderzoek, aanvullend op WTI-SOS (boringen en sonderingen in DinoLoket zijn meestal al gebruikt voor WTI-SOS).
- Historische vakindeling.
- Tijdreeksen van bathymetriën waaruit de morfologische ontwikkelingen af te leiden zijn.
- Informatie over aanwezige bestortingen.
- Ervaringen van de beheerder.

Deze inventarisatie dient om inzicht te krijgen in de situatie, de omvang en aard van eventueel aanvullend grondonderzoek, de toetsing en het verkrijgen van een vakindeling en een plan om van grof naar fijn te werken. Hierbij kunnen de volgende onderdelen beschouwd worden:

- WTI-SOS scenario's, eerste screening van ongunstige scenario's.
- Hoeveelheid en kwaliteit van de beschikbare gegevens.
- Zwaartepunten voor de toetsing.

Op basis van de inventarisatie kan een vakindeling gemaakt worden. Dit is verder uitgewerkt in het volgende hoofdstuk.

5 Vakindeling

Dit hoofdstuk geeft voor het faalmechanisme zettingsvloeiing de overwegingen om vakgrenzen te bepalen.

5.1 Inleiding

Bij de vakgrootte en –grenzen moet rekening worden gehouden met lengte-effect, maar ook de hoeveelheid beschikbare data en spreiding in de data. Het is mogelijk om van grof naar fijn te werken en dijkvakken in een latere fase op te knippen.

Zolang zettingsvloeiing onafhankelijk van de directe faalmechanismen wordt beoordeeld (zie Van den Ham 2015b, Toetsproces), hoeft geen rekening gehouden te worden met de vakindeling voor de directe faalmechanismen. Indien in een eventuele toets op maat verstoringsprofielen ten gevolge van zettingsvloeiing als geometrie-scenario's bij de directe faalmechanismen worden beschouwd, zal de vakindeling mede bepaald worden door de vakindeling van de directe faalmechanismen.

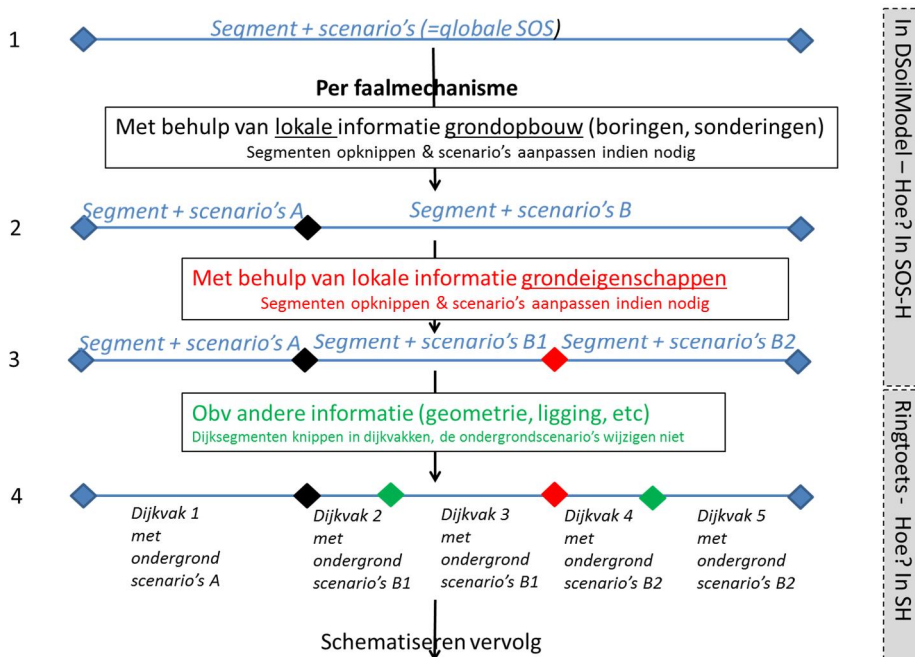
De minimale lengte van het vak wordt bepaald door de minimale omvang van een zettingsvloeiing. Hiervoor lijkt een waarde van 50 m redelijk. In principe is er geen maximum aan de te kiezen vaklengte.

5.2 Processtappen vakindeling

Onderstaand schema geeft de (voor alle faalmechanismen generieke) processtappen om te komen tot een vakindeling. Startpunt (stap 1) zijn de segmenten en scenario's uit het WTI-SOS. Op basis van lokaal grondonderzoek en/of lokale informatie over grondeigenschappen (bijvoorbeeld laboratoriumproeven) kan het aantal segmenten en scenario's worden aangepast (stappen 2 en 3). Op basis van "overige informatie" wordt uiteindelijk tot een (dijk)vakindeling gekomen (stap 4).

Stappen 1 t/m 3 worden in principe uitgevoerd in DSoilModel. Eigenschappen van de grondopbouw die relevant zijn voor zettingsvloeiing zijn de aanwezigheid, dikte en pakking van zand- en siltlagen, de korrelverdeling van deze zand- en siltlagen en de frequentie van klei- en veenlagen binnen deze zand- en siltlagen. Deze stappen worden nader beschreven in de SOS-handleiding (Hijma et al, 2015).

Stap 4 wordt beschreven in de volgende paragraaf.



Figuur 5.1 Processtappen vakindeling

5.3 Overige informatie

Overige informatie bestaat uit:

- Aanwezige administratieve grenzen, zoals:
 - Beheerdersgrenzen. Daar waar de waterkering verandert van beheerder kan om praktische redenen een knip worden gelegd.
 - Categorie van waterkering. De categorie van de waterkering kan a, b, c of d zijn. Daar waar de categorie van de waterkering verandert, wordt een grens gelegd.
 - Normklasse.
 - Historische vakgrenzen.
- Verder kan een knip gelegd worden op die locaties waar een duidelijke verandering is in de volgende sterkte- en belastingsparameters (uitgezonderd ondergrond, die reeds in de vorige paragraaf is beschreven):
 - Hoogte, gemiddelde helling en vorm van het onderwatertalud. Bij "vorm" gaat het met name om de aanwezigheid en locatie van lokale steile gedeelten.
 - Lengte van het voorland tot aan de buitenteen van de waterkering.
 - Aanwezigheid van bestorting op het onderwatertalud.
 - Morfologische ontwikkelingen van de vooroever: ontwikkeling geulgeometrie in de tijd (belangrijkste belasting).

Deze aspecten worden in het volgende hoofdstuk (schematisering per vak) nader beschreven. Dit geeft aan dat de bepaling van de vakindeling en de schematisering per vak een iteratief proces is.

6 Schematisering per vak

Dit hoofdstuk geeft aanwijzingen en aandachtspunten voor het opstellen van een schematisering per dijkvak.

Dit betreft bijvoorbeeld het omgaan met scenario's en/of bepalen van een karakteristieke doorsnede.

De methoden en procedures ter bepaling van de parameters zelf worden in hoofdstuk 7 beschreven.

6.1 Grondopbouw

6.1.1 Inleiding

Om in de toetsing berekeningen te kunnen uitvoeren met de methoden/modellen waarmee beoordeeld kan worden of een zettingsvloeiing kan optreden en/of schadelijk is, moet de opbouw van de ondergrond worden geschematiseerd. Hierbij gaat het om de grondopbouw in het voorland van de waterkering. De ligging van de verschillende bodemlagen en de relevante parameters dienen door middel van onderzoek te worden vastgesteld.

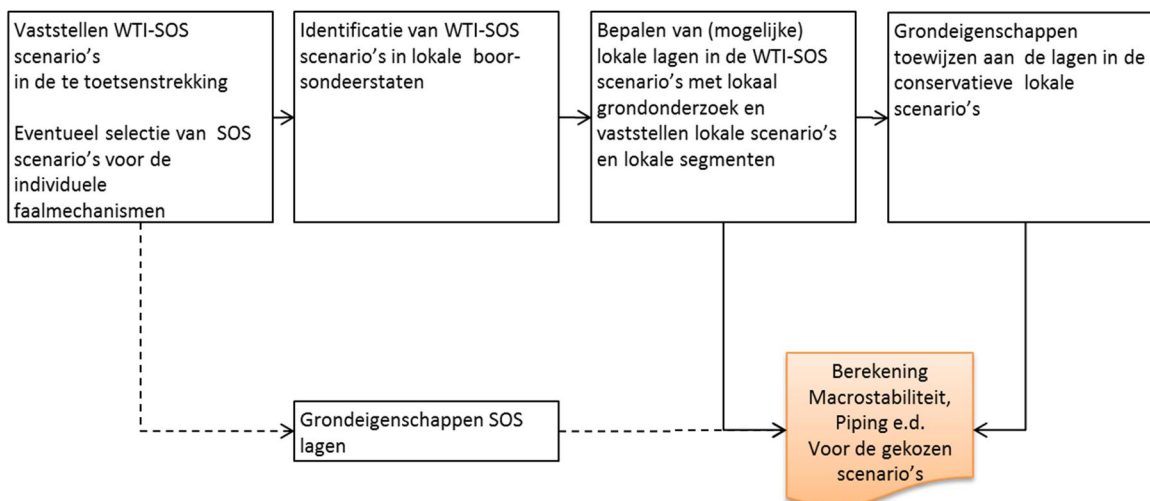
Een overzicht van de grondkarakteristieken, die bekend moeten zijn om de kans op het optreden van een zettingsvloeiing te kunnen beoordelen, is gegeven in Tabel 6.1. Ook voor de bepaling van het verstoringsprofiel zijn de grondopbouw en eigenschappen van de grondlagen van belang. Zoals in Van den Ham (2015c) (Faalmechanismebeschrijving) beschreven kan een zettingsvloeiing een verwekingsvloeiing, een bresvloeiing of een combinatie van beide zijn. De verwekingsgevoeligheid van een zand- of siltlaag is een functie van de pakking (uitgedrukt in de state parameter) in combinatie met de *in situ* spanningssituatie en de aard van het zand of silt. De technieken voor het bepalen van de state parameter en de verwekingsgevoeligheid van het zand als functie van de state parameter verschillen. De kans op het optreden van een bresvloeiing wordt hoofdzakelijk bepaald door de korrelverdeling van de zand- en siltlagen.

	Grondlagen	Schuifsterkte klei- en veenlagen	Pakking zand- en siltlagen	Korrelverdeling zand- en siltlagen
Optreden verwekingsvloeiing	Relevant tot 0,5 maal de taludhoogte onder de teen van het talud	Enigszins relevant (stoorlagen)	Zeer relevant	Enigszins relevant (tijdsduur wateroverspanningen)
Optreden bresvloeiing	Relevant tot teen talud	Enigszins relevant (stoorlagen)	Enigszins relevant (kans neemt toe met lossere pakking)	Zeer relevant
Verstoringsprofiel	Relevant tot teen talud	Niet relevant	Nauwelijks relevant (inscharingslengte groter bij lossere pakking)	Relevant

Tabel 6.1 Grondkarakteristieken in het voorland relevant voor verwekingsvloeiing/zettingsvloeiing
Voor bepaling van de bodemopbouw zijn in principe twee bronnen beschikbaar:

- Het WTI-SOS.
- Lokaal grond- en laboratoriumonderzoek.

Op basis van deze twee bronnen kan een lokale schematisering opgesteld worden die relevant is voor het beoordelen van de kans op zettingsvloeiing. Hoe te komen tot een lokale schematisering staat beschreven in Hijma et al. (2015). In Figuur 6.1 wordt schematisch de samenhang en relatie van deze twee bronnen met de beoordeling van het faalmechanisme, in dit geval zettingsvloeiing, weergegeven.



Figuur 6.1 Schema koppeling lokaal grondonderzoek met WTI-SOS scenario's

6.1.2 Dijkmateriaal

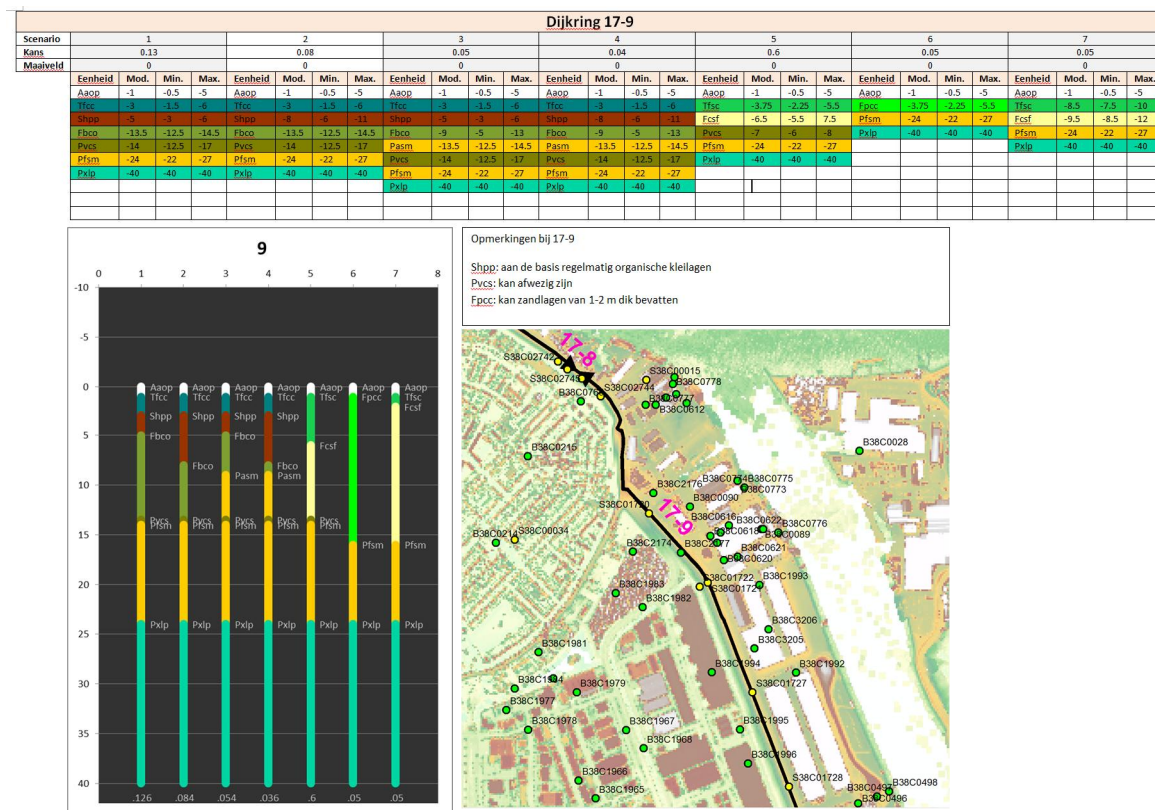
Bij de beoordeling of schade aan de dijk ten gevolge van een zettingsvloeiing toelaatbaar is of niet, kan de samenstelling van het dijklichaam een rol spelen. In geval van een kleidijk zou schade aan de bekleding wellicht eerder toelaatbaar geacht kunnen worden dan in geval van een zanddijk. Vastgesteld moet daarom worden of sprake is van een dijk met een kleikern of zandkern.

6.1.3 Stochastische Ondergrondschematisering (WTI-SOS)

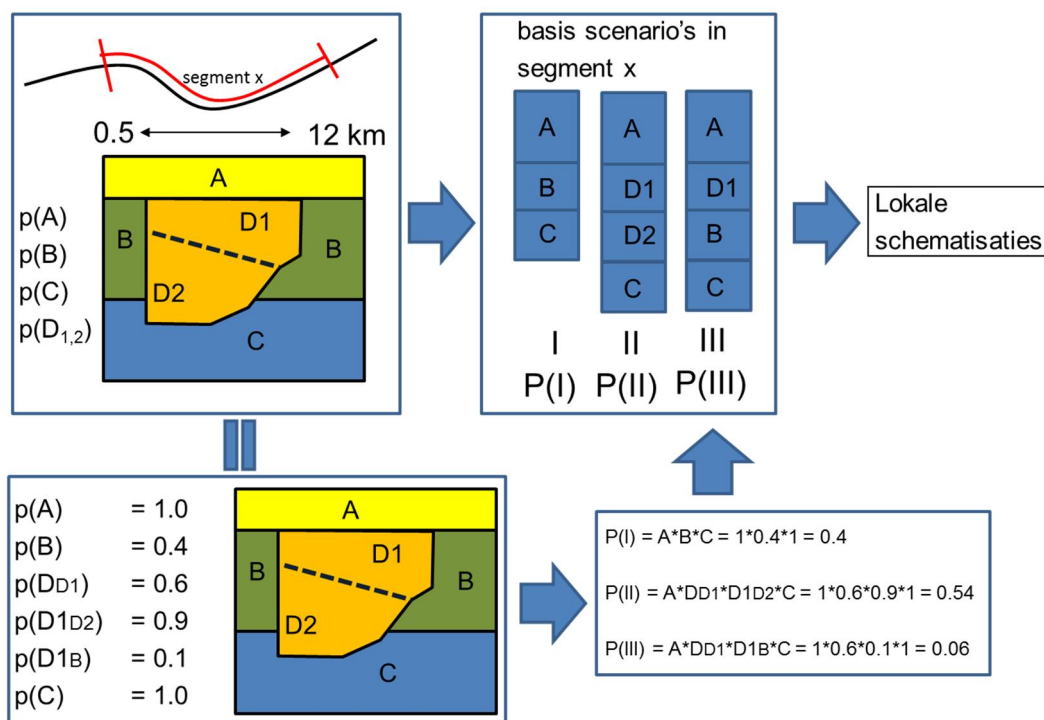
Voor heel Nederland is een globale Stochastische Ondergrondschematisering (WTI-SOS) opgesteld met daarbij scenariokansen. Met deze globale Stochastische Ondergrondschematisering wordt de onzekerheid over de opbouw van de ondergrond in rekening gebracht. Een stochastisch ondergrondmodel bevat de verschillende mogelijkheden van de opbouw van de ondergrond in een gebied met de bijbehorende kans van voorkomen van de scenario's. Het stochastisch ondergrondmodel is opgesteld op basis van feitelijke gegevens, zoals sonderingen en boringen, en op basis van geologische kennis over de ontstaansgeschiedenis van een gebied. De opbouw van de ondergrond kan heel variabel zijn. Vaak is een grondmechanisch onderzoek onvoldoende omvangrijk om alle variaties in de ondergrond in beeld te brengen. Ook op korte afstand van een sondering of boring kan de opbouw van de ondergrond anders zijn dan ter plaatse van de sondering of boring. Met een stochastisch ondergrondmodel wordt deze onzekerheid in rekening gebracht.

In de globale Stochastische Ondergrondschematisering is Nederland opgedeeld in geologische segmenten. Deze segmenten zijn enkele honderden meters tot enkele kilometers lang. Voor elk van deze segmenten is een aantal scenario's van de ondergrondopbouw vastgesteld met de bijbehorende kans van voorkomen. De scenario's bestaan uit een 1D opbouw van de ondergrond. Het aantal scenario's per geologisch segment is 1 tot orde 5 tot soms 10 scenario's en maximaal 16 scenario's. In deze scenario's

komen meerdere grondlagen voor. Verschillende grondlagen komen in meerdere scenario's voor. Ook in naastgelegen geologische segmenten komen vaak dezelfde grondlagen voor.



Figuur 6.2 Overzicht van de informatie die het WTI-SOS verschaft, zoals beschikbaar tijdens het opstellen en het uitvoeren van de pilots. In de toekomst zal al deze informatie beschikbaar zijn binnen D-Soil Model. Voor een dijksegment worden grondopbouwscenario's gegeven bestaande uit eenheden die gespecificeerd zijn in termen van de aard van de grond en algemene aspecten van de diepteligging ervan in de scenario's. De kaart geeft de ligging van het segment weer en de gekleurde staafjes en de tabel de opbouw van de scenario's. In de bovenste rij van de tabel staat het dijkkring- en segment nummer. In dat segment zijn 7 scenario's onderscheiden met elk een kans van aantreffen. Vervolgens wordt de diepteligging van de onderkant van de eenheden gegeven, met daarbij een minimale en maximale dieptebereik van een onderkant van een eenheid is het bereik waarbinnen de onderkant met enige zekerheid kan worden aangetroffen. Het is dus mogelijk dat binnen het segment de diepteligging in extreme gevallen buiten dit bereik valt



Figuur 6.3 Bij het opstellen van de WTI-SOS wordt de mogelijke grondopbouw in een segment samengevat in een aantal scenario's. Elke laag in een scenario heeft een eigen kans van voorkomen. Het product van die kansen leidt tot een berekende kans van aantreffen voor elk scenario. De scenario's vormen de basisscenario's voor de lokale schematisering die tijdens WTI 2017 opgesteld zal worden. Het figuur geeft een voorbeeld van de berekening van de kans van aantreffen van de verschillende scenario's. Laag A en Laag C komen altijd voor. Laag D1 heeft een kans van 60% om aangetroffen te worden. Laag D2 kan alleen aangetroffen worden als Laag D1 ook aanwezig is en zijn kans van aantreffen ligt daarom genest binnen de kans van aantreffen van Laag D1. Ook de kans op Laag B onder Laag D1 ligt genest binnen de kans van aantreffen van Laag D1. De som van de kansen van de geneste lagen is 100%

Op basis van de globale SOS moet aan de hand van lokaal grondonderzoek, zoals boringen en sonderingen, een lokale ondergrondschematisering worden opgesteld. Voor het faalmechanisme zettingsvloeiing moet de focus dan ook liggen op een ondergrondschematisering voor dit specifieke faalmechanisme. De manier waarop het SOS kan worden toegepast voor het opstellen van een lokale ondergrondschematisering voor het betreffende dijkvak met bijbehorende scenariokansen is uitgewerkt in de Handleiding Lokaal schematiseren met WTI-SOS (Hijma et al 2015).

6.1.4 Lokaal grondonderzoek

In Tabel 6.2 is een indicatie gegeven van de mogelijke omvang van het grondonderzoek en andere metingen als functie van het niveau van diepgang of fase van toetsing op zettingsvloeiing. Verder hangt de mate van detaillering van het grondonderzoek samen met de grondgesteldheid (aanwezigheid stoorlagen, eventuele losse pakking) en de gewenste/benodigde analysemethoden. De intensiteit van grondonderzoek wordt groter naarmate de toetsing verfijnder wordt of de bodemopbouw meer risico's met zich meebrengt. Het WTI-SOS is gebaseerd op sonderingen en boringen die binnendijks zijn uitgevoerd. Met name als er sprake is van een breed voorland en/of een dynamische vooroever (te bepalen op basis van een tijdreeks van peilingen, zie paragraaf 6.2.3), kan de grondopbouw in het

voorland aanzienlijk afwijken van die ter plaatse van de dijk. In die gevallen is het aan te raden sonderingen en boringen in het voorland uit te voeren, zo dicht mogelijk bij de oever of zelfs in het onderwatertalud. Dit kan betekenen dat grondonderzoek vanaf het water moet worden uitgevoerd.

Fase beoordeling	Indicatie van benodigd grondonderzoek	
Globaal	Geen grondonderzoek, de globale beoordeling is een puur geometrische beoordeling	
Gedetailleerd	<ul style="list-style-type: none"> - WTI-SOS - sonderingen tot $0,5 \cdot H_R$ **) onder bodem: minimaal 4 per km talud, hoewel dit geheel afhankelijk is van de verwachte variabiliteit volgens het WTI-SOS (Hijma et al, 2015). Bij voorkeur in het voorland - eventueel extra (seismische) sonderingen, afhankelijk van ruimtelijke variatie van losgepakt zand- en siltlagen en/of korrelverdeling daarvan (volgens WTI-SOS). Bij voorkeur in voorland - eventueel boringen ter bepaling van soort zand, stoorlaagjes, etc. Bij voorkeur in voorland 	
Toets op maat	Faalmechanisme	
	Verwekingsvloeïng	Bresvloeïng
	<ul style="list-style-type: none"> - archief- en kaartmateriaal (aanvullend t.o.v. WTI-SOS) - extra boringen en sonderingen (bij voorkeur in voorland) afhankelijk van ruimtelijke verdeling losgepakte zand- en siltlagen. - Ter bepaling van de pakking van zand- en siltlagen eventueel: (in aanvulling op sonderingen) <ul style="list-style-type: none"> - bevroren monsters - elektrische dichtheidsmetingen (met ijking) ter bepaling van pakking - serie triaxiaalproeven (bv. natte of droge kritieke dichtheidsproeven) en samendrukkingsproeven Plus maatwerk afhankelijk van de situatie	<ul style="list-style-type: none"> - archief- en kaartmateriaal (aanvullend t.o.v. WTI-SOS) - extra boringen en sonderingen tot geulbodem (bij voorkeur in voorland), afhankelijk van ruimtelijke variatie van de korrelgrootte van de zandlagen. Hiermee kan tevens gelaagdheid beter in beeld gebracht worden als er stoorlagen zijn - classificatieproeven zand (met name korrelverdeling) Plus maatwerk afhankelijk van de situatie
**) Definitie H_R gegeven in Figuur 6.4		

Tabel 6.2 Globale indruk van benodigd grondonderzoek bij verschillende fasen van toetsing

6.2 Geometrie

6.2.1 Inleiding

De geometrie van het onderwatertalud en de snelheid waarmee deze in vorm (hoogte en/of helling) verandert of waarmee deze zich verplaatst, beïnvloedt in sterke mate de kans op een vloeïng en, indien een vloeïng optreedt, de eventuele vervolgschade (het verstoringprofiel). Zettingsvloeïngen hebben, wat de geometrie van het onderwatertalud betreft, de kleinste optredingskans bij:

- Een flauwe helling.
- Geringe taludhoogte.

- Een holle taludvorm (taludhelling onderin flauwer dan bovenin).

Bij het toetsen op zettingsvloeiing moet van de binnen de beoordelingsperiode te verwachten meest ongunstige geometrie worden uitgegaan. Daarnaast is in de huidige gedetailleerde beoordelingsmethode, die gebaseerd is op de statistiek van opgetreden vloeiingen in Zeeland, de snelheid van verandering van de geometrie van het onderwatertalud en snelheid waarmee het onderwatertalud migreert (achter- of voorwaarts) een belangrijke invoerparameter.

Hiervoor is dus informatie nodig over de te verwachten beweeglijkheid van de vooroever. Hierop wordt ingegaan in paragraaf 6.2.3.

Voor de geometrische criteria zoals die in de globale en gedetailleerde beoordelingsmethode worden gehanteerd is het van belang te weten in hoeverre het grondmassief onder water ligt en in hoeverre boven water. Dit laatste is van belang, om twee redenen:

- Verweking van zandlagen onder water is een functie van (onder andere) de spanningstoestand in die zandlagen. Deze wordt mede bepaald door de geometrie boven water.
- Om te bepalen of een vloeiing, indien die optreedt, wel of niet schadelijk is (al dan niet via directe faalmechanismen).

6.2.2 Actuele Geometrie (t_{actueel})

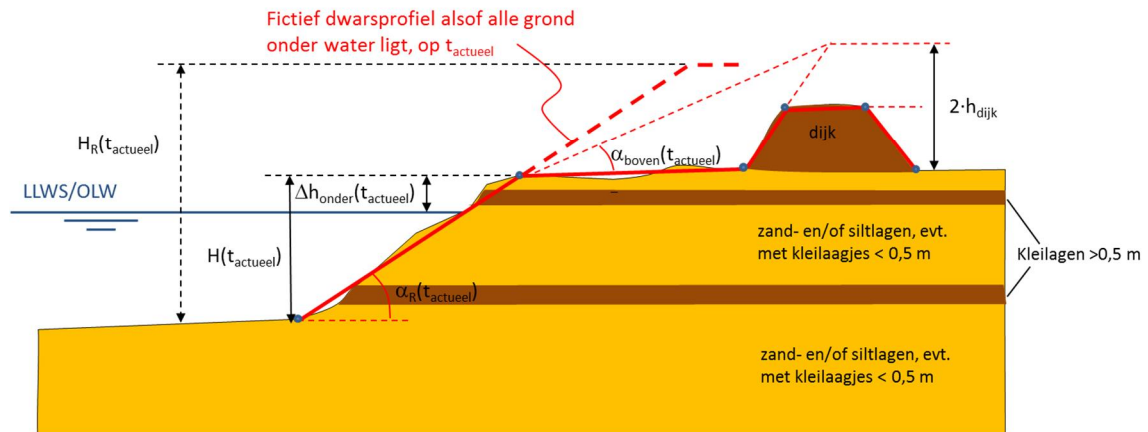
Bij dijken langs een getijgeul of rivier kan de bestaande geometrie worden bepaald uit peilingen (singlebeam of multibeam echolodungen). Bij voorkeur worden peilingen bij hoogwater uitgevoerd, om zo een zo groot mogelijke overlap met de hoogtegegevens boven water te krijgen. Peilingen dienen beschikbaar te zijn tot aan de tegenoverliggende oever, omdat de geulgeometrie invloed kan hebben op de uiteindelijke inscharingslengte.

Het effectieve gewicht van zand is boven water groter dan onder water. Om dat in rekening te brengen wordt voor de analyse van *verweking* een fictief onderwater dwarsprofiel beschouwd waarin de verticale effectieve korrelspanningen gelijk zijn aan die van een profiel dat daadwerkelijk geheel onder water ligt. Dat profiel wordt verder vereenvoudigd tot een profiel met één constante taludhelling. Die helling wordt hier met de **rekentaludhelling** α_R aangeduid en is gelijk aan de daadwerkelijke geulhelling. De fictieve taludhoogte wordt aangeduid met **rekentaludhoogte** H_R . Zie Figuur 6.4. Voor de bepaling van H_R moet langs de kust en in de estuaria uitgegaan worden van LLWS (zeegebied), OLW (benedenrivierengebied) of OLR (bovenrivierengebied). Deze waarden kunnen gevonden worden in het Rijkswaterstaat document "Referentiewaarden waterstanden" (Rijkswaterstaat, 1985). Voor een verdere toelichting zie paragraaf 1.1.1.

Het bovenwatergedeelte van de geometrie kan bepaald worden uit AHN2 (Actueel Hoogtebestand Nederland) of uit het legger- en beheerregister van de keringbeheerder. Vervolgens dienen de peilingen van het onderwatergedeelte gecombineerd te worden met de hoogtemetingen boven water. Uit deze gecombineerde dataset kunnen dwarsprofielen worden gegenereerd vanaf de waterlijn van de tegenoverliggende oever tot aan de buitenkruin van de waterkering.

Voor de bepaling van de geuldiepte en rekengeuldiepte wordt als ondergrens de geulbodem genomen, *mits hier zand aanwezig is*. Anders wordt als ondergrens de onderkant van de diepste zandlaag boven de geulbodem genomen.

$$H_R(t_{actueel}) = H(t_{actueel}) + \Delta h_{onder}(t_{actueel}) + 2 \cdot h_{dijk} \cdot \frac{\cot \alpha_R(t_{actueel})}{\cot \alpha_{boven}(t_{actueel})}$$



Figuur 6.4 Geschematiseerde geometrie ($t_{actueel}$), met bepaling rekentaludhoogte H_R en rekentaludhelling α_R , ten behoeve van globale en gedetailleerde beoordelingsmethode voor zettingsvloeiing

6.2.3 Beweeglijkheid van de vooroever

Een voorspelling van de toekomstige geometrie kan gemaakt worden op basis van extrapolatie van peilingen van de afgelopen jaren, tenzij verwacht wordt dat belangrijke veranderingen worden aangebracht in het stroompatroon of als er op basis van de opbouw van de ondergrond een hogere of lagere erosiesnelheid verwacht wordt. In het geval van verwachte veranderingen in het stroompatroon (bijvoorbeeld door de aanleg van een strekdam of een bestorting) kan de geometrie voorspeld worden middels een voorspelling van de toekomstige stroming, alsmede van de resulterende aanzanding en erosie, met hydraulische en morfologische modellen zoals SOBEK of Delft3D. Uiteraard kan men de geometrie vastleggen met behulp van een taludbescherming, soms ook een bodembescherming.

Vereiste frequentie peilingen vooroever

In principe wordt de vereiste frequentie waarmee peilingen dienen te worden uitgevoerd bepaald door twee factoren:

- hoe ver het beschouwde traject van afkeuren op zettingsvloeiing zit volgens de toegepaste beoordelingsmethoden.
- De mate waarin de kans op afkeuren door zettingsvloeiing af- of toeneemt door beweeglijkheid van de vooroever.

Om het tweede aspect vast te kunnen stellen kan het zinvol zijn om op basis van peilingen uit het verleden de kans op zettingsvloeiing grafisch uit te zetten tegen de tijd (hetgeen betekent dat de gedetailleerde beoordelingsmethode, of een andere probabilistische methode, meerdere keren moet worden uitgevoerd). Indien er in de afgelopen 10 jaar regelmatig (bijvoorbeeld elk jaar) een peiling is uitgevoerd, zal vrij nauwkeurig een voorspelling van de geulontwikkeling gemaakt kunnen worden. Daarbij moet uiteraard wel gelet worden op de grondopbouw in de geul. Indien de geul insnijdt in een kleilaag en deze bijna op doorbreken staat, kunnen metingen uiteraard niet geëxtrapoleerd worden. Indien regelmatige peilingen over de afgelopen jaren ontbreken, is een voorspelling lastiger en zal (in eerste instantie) frequenter gemonitord moeten worden met een combinatie van technieken en systemen (grondonderzoek, peilingen en modellering). Van belang is verder de te kiezen toelaatbare faalkans. Indien getoetst wordt of een vloeiing tot schade aan een eventueel aanwezige bestorting leidt, zal de toelaatbare faalkans waaraan getoetst wordt uiteraard hoger zijn dan wanneer getoetst wordt of de kans op een overstroming ten gevolge van een zettingsvloeiing voldoende klein is. Dat kan betekenen dat minder snel maatregelen genomen hoeven te worden.

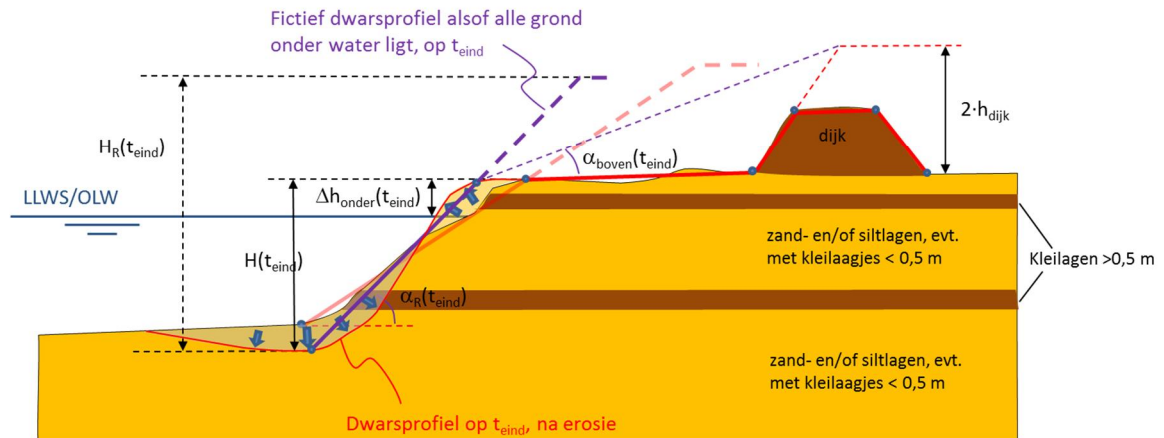
Bij de dimensionering van stormvloedkeringen, uitwateringssluizen, brugpijlers en andere stroomvernauwingen is een voorspelling nodig van kuildiepte en hellingen. Die hangen sterk af van het stromingspatroon (wervelstraten, turbulentie), dat op zijn beurt bepaald wordt door onder meer het ontwerp van de constructie (o.a. mate van stroomvernauwing) en de lengte van de bodembescherming. Bij bestaande constructies kan men de helling van de kuilen beïnvloeden door bestortingen aan te brengen.

Zie paragraaf 7.1 voor bepaling van de parameter die de beweeglijkheid van de vooroever in de globale en gedetailleerde beoordelingsmethode representeert.

6.2.4 Meest ongunstige geulgeometrie in beoordelingsperiode (t_{eind})

De beoordeling op zettingsvloeiing dient plaats te vinden op basis van de meest ongunstige geometrie gedurende de beoordelingsperiode (afhankelijk of beoordeeld wordt in kader van zorgplicht of toetsing, zie Van den Ham (2015b), Toetsproces). Hiervoor kan de in paragraaf 6.2.3 beschreven beweeglijkheid van de vooroever worden gebruikt.

$$H_R(t_{eind}) = H(t_{eind}) + \Delta h_{\text{onder}}(t_{eind}) + 2 \cdot h_{\text{dijk}} \cdot \frac{\cot \alpha_R(t_{eind})}{\cot \alpha_{\text{boven}}(t_{eind})}$$



Figuur 6.5 Geschematiseerde meest ongunstige geometrie in beoordelingsperiode (t_{eind}), na erosie aan de teen of aanzanding aan de top van het onderwatertalud, met bepaling rekentaludhoogte H_R en rekentaludhelling α_R , ten behoeve van globale en gedetailleerde beoordelingsmethode voor zettingsvloeiing

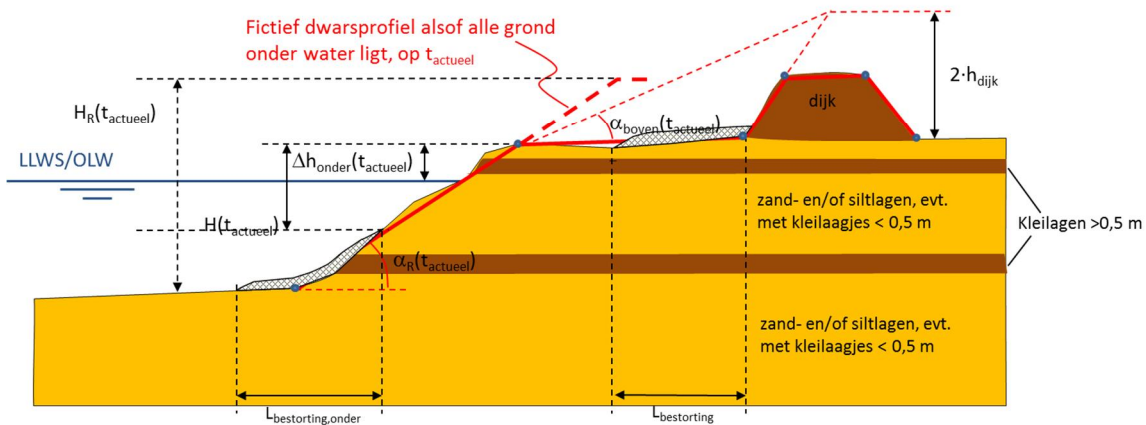
Zie verder paragraaf 7.1 voor de bepaling van de relevante parameters.

6.2.5 Vooroeverbestorting

Daar waar het onderwater talud bestort is, kan geen erosie plaatsvinden en is dus ook geen initiatiemechanisme voor verweking of bresvloeiing aanwezig. Dit heeft consequenties voor de bepaling van de rekengulhoogte- en helling die gebruikt worden voor het bepalen of een vloeiing kan optreden en voor de inscharingslengte indien een vloeiing optreedt.

Welke rekengulhoogte precies in rekening gebracht (alleen de onbestorte hoogte of ook de bestorte hoogte meenemen) moet worden wordt nog verder uitgezocht (bijvoorbeeld in een toets op maat). Aanbevolen wordt voorsnog het volgende: als een deel van de oever is bestort of als voor een deel van de oever vaststaat dat het materiaal niet verwekingsgevoelig is, kan dat als volgt worden verwerkt: bestorting of niet-verwekingsgevoelige lagen onderin de gul hoeven niet te worden beschouwd bij dit criterium, maar de gehele oever erboven moet worden meegerekend als verwekingsgevoelig. Dit geldt dus ook voor eventuele bestortingen die aansluiten op de teen.

$$H_R(t_{actueel}) = H(t_{actueel}) + \Delta h_{onder}(t_{actueel}) + 2 \cdot h_{dijk} \cdot \frac{\cot \alpha_R(t_{actueel})}{\cot \alpha_{boven}(t_{actueel})}$$



Figuur 6.6 Definitie lengte bestoring vanaf buitenteen ($L_{bestorting}$) dijk en vanuit geul ($L_{bestorting,onder}$) voor de actuele situatie ($t_{actueel}$), met definitie van rekentaludhoogte H_R en rekentaludhelling α_R , ten behoeve van globale en gedetailleerde beoordelingsmethode voor zettingsvloeiing

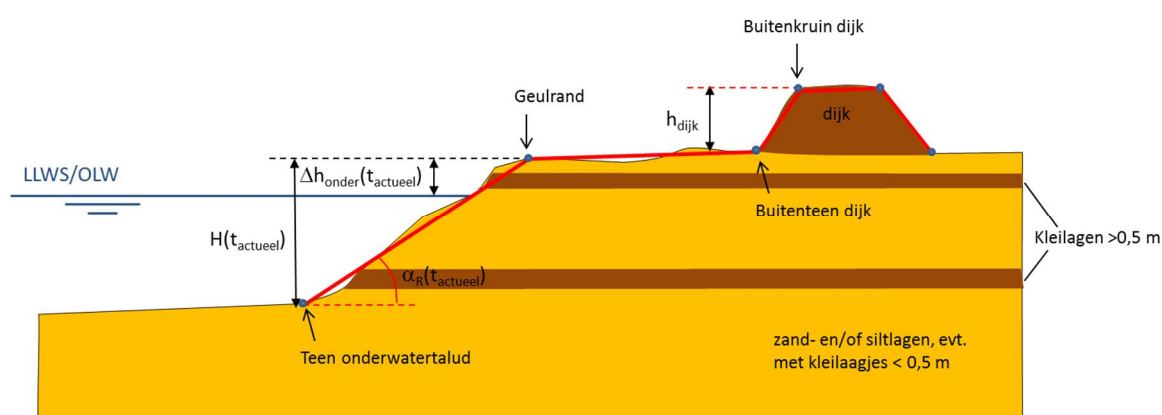
Zie verder paragraaf 7.1 voor de bepaling van de relevante parameters.

7 Parameters

Dit hoofdstuk geeft aanwijzingen voor de waardebepaling van de relevante parameters. Per parameter wordt aangegeven wat de parameter precies inhoudt, hoe de waarde kan worden bepaald en welke aandachtspunten er zijn. In hoofdstuk 8 wordt dit uitgewerkt in een voorbeeld. In de parameterlijst in de bijlage wordt per parameter aangegeven of deze wel of niet als stochastische variabele gemodelleerd wordt. Indien dat wel het geval wordt aangegeven of deze een continue of discrete verdeling heeft (in het tweede geval wordt met scenario's gewerkt) en welk type verdeling aangenomen moet worden.

7.1 Geometrische parameters

Figuur 7.1 geeft een overzicht van een aantal te bepalen geometrische parameters van een geometrie op een bepaald tijdstip. Naast de actuele (meeste recente) geometrie is de snelheid van verandering van de onderwatergeometrie in de komende toets- of beoordelingsperiode een invoerparameter en benodigd om de meest ongunstige geometrie in de beoordelingsperiode te bepalen.



Figuur 7.1 Definitie geschematiseerde geometrische parameters

7.1.1 Methoden bepaling geometrische parameters onderwatertalud

Voor alle geometrische parameters die betrekking hebben op het onderwatertalud geldt dat deze bepaald moeten worden uit tijdreeksen van peilingen (singlebeam- of multibeamlodingen) in de geul. Zie ook de opmerkingen hierover in paragraaf 6.2.1.

7.1.2 Teen onderwatertalud van meest ongunstige geometrie in beoordelingsperiode

Wat is het?

De overgang van het onderwatertalud naar de geulbodem [m t.o.v. NAP].

Benodigd voor bepaling van de (reken)hoogte en (reken)helling van het geschematiseerde onderwatertalud van de meest ongunstige geometrie in de komende beoordelingsperiode ($H(t_{eind})$ en $\alpha_R(t_{eind})$) en voor bepaling van de inscharingslengte (het verstoringprofiel). Opgemerkt wordt dat voor de bepaling van de geuldiepte en de rekengeuldiepte als ondergrens de geulbodem genomen wordt, *mits hier zand aanwezig is*. Anders wordt als ondergrens de onderkant van de diepste zandlaag boven de geulbodem genomen.

Hoe te bepalen

Zie paragraaf 7.1.1 en Figuur 7.1.

Het is niet altijd meteen duidelijk waar de overgang van onderwatertalud naar geulbodem zich bevindt. Het punt dient zo gekozen te worden dat, tezamen met de keuze van de geulrand, een zo groot mogelijke kans op zettingsvloeiing wordt berekend. Dit is dus een enigszins iteratief proces.

Aandachtspunten

Voor bepaling van de rekentaludhoogte en helling (H_R , zie paragraaf 6.2.2 en 6.2.4), die in de globale en gedetailleerde beoordelingsmethode gebruikt wordt om te toetsen aan het optredingscriterium of de optredingskans te berekenen, geldt het volgende: als een deel van de oever is bestort of als voor een deel van de oever vaststaat dat het materiaal niet verwekingsgevoelig is, kan dat als volgt worden verwerkt: bestorting of niet-verwekingsgevoelige lagen onderin de geul hoeven niet te worden beschouwd bij dit criterium, maar de gehele oever erboven moet worden meegerekend als verwekingsgevoelig. Dit geldt dus ook voor eventuele bestortingen die aansluiten op de teen.

7.1.3 Geulrand van meest ongunstige geometrie in beoordelingsperiode

Wat is het?

De overgang van het onderwatertalud naar het voorland. Indien geen voorland aanwezig is, kan de laagwaterlijn genomen worden [m t.o.v. NAP].

Hoe te bepalen

Zie paragraaf 7.1.1 en Figuur 7.1. Het is niet altijd meteen duidelijk waar de geulrand zich bevindt. Het punt dient zo gekozen te worden dat tezamen met de keuze van de teen van het onderwatertalud tot een zo hoog mogelijke kans op zettingsvloeiing leidt. Dit moet dus iteratief bepaald worden.

7.1.4 Laaglaagwaterstand LLWS/OLW/OLR

Wat is het?

LLWS: Het meerjarig gemiddelde van het laagste springlaagwater ten opzichte van NAP, geldig in het kustgebied en de estuaria.

OLW: Overeengekomen Laag Water ten opzichte van NAP, geldig in het benedenrivierengebied (in Waal stroomafwaarts van Tiel).

OLR: Overeengekomen Lage Rivierstand ten opzichte van NAP, geldig in het bovenrivierengebied (in Waal stroomopwaarts van Tiel), hetgeen overeenkomt met de Overeengekomen Lage Afvoer bij Lobith.

Het OLW sluit vloeiend aan op het LLWS en het OLR.

Hoe te bepalen

LLWS, OLW en OLR zijn te vinden in Rijkswaterstaat (1985).

7.1.5 Equivalente oevermigratiesnelheid V_{lokaal}

Wat is het?

Beweeglijkheid van het onderwatertalud [m/jaar]. De snelheid van verandering wordt gebruikt om de meeste ongunstige geometrie gedurende de beoordelingsperiode te bepalen.

Hoe te bepalen

Zie de opmerkingen in paragraaf 6.2.3 en paragraaf 7.1.1.

Kwantificeer de te verwachten beweeglijkheid van de oever met de snelheid V_{lokaal} . Dit kan gedaan worden met een trendanalyse van (jaarlijkse) peilingen van de afgelopen 10 jaar.

De snelheid V_{lokaal} kan vervolgens bepaald worden door de grootste waarde te nemen van:

- de snelheid van de terugschrijding of vooruitgang van de waterlijn,
- de terugschrijding of vooruitgang van het gemiddelde talud
- de snelheid van de verdieping aan de teen maal $\cot\alpha_R$.

Aandachtspunten

Het is ook mogelijk dat de onderwatergeometrie gedurende de beoordelingsperiode gunstiger wordt, bijvoorbeeld als sprake is van aanzanding aan de teen. De meest ongunstige geometrie is dan de actuele geometrie.

7.1.6 Lengte vooroeverbestorting vanaf buitenteen dijk

Wat is het?

Lengte van de vooroeverbestorting vanaf de buitenteen van de dijk [m in horizontale richting t.o.v. buitenteen dijk]. Zie Figuur 6.6

Hoe te bepalen

Tekeningen waarop maatregelen op de vooroever zoals bestortingswerken of suppleties staan. Voor het gedeelte van de bestorting dat niet boven water geïnspecteerd kan worden: op locaties waar uit peilingen volgt dat sprake is van erosie (verschilbathymetriën), volgt vaak ook de locatie van bestortingen, omdat daar geen erosie plaatsvindt. Technieken om de aanwezigheid (dikte, continuïteit) van vooroeverbestortingen te controleren zijn nog in ontwikkeling. De meeste geschikte thans beschikbare techniek voor het vaststellen van de aanwezigheid van bestorting onder water is side scan sonar.

Aandachtspunten

Bij een geheel bestorte vooroever kan een vloeïng in de meeste gevallen niet optreden. Dit geldt echter niet in aardbevingsgevoelige gebieden, zoals gedefinieerd in paragraaf 3.4.

7.1.7 Begin- en eindpunt vooroeverbestorting vanuit geul

Wat is het?

Begin en eindpunt van de vooroeverbestorting onderaan het onderwatertalud [m in horizontale richting t.o.v. geulrand]. Zie Figuur 6.6.

Hoe te bepalen

Tekeningen waarop maatregelen op de vooroever zoals bestortingswerken of suppleties staan. Op locaties waar uit peilingen volgt dat sprake is van erosie (verschilbathymetriën), volgt vaak ook de locatie van bestortingen. Technieken om de aanwezigheid (dikte, continuïteit) van vooroeverbestortingen te controleren zijn nog in ontwikkeling. De meeste

geschikte thans beschikbare techniek voor het vaststellen van de aanwezigheid van bestorting onder water is side scan sonar.

Aandachtspunten

Zie paragraaf 7.1.6.

7.2 Grondlagen en eigenschappen per grondlaag

Zoals aangegeven in paragraaf 6.1 kunnen per vak meerdere grondopbouwscenario's voorkomen.

De bepaling van de grondopbouwscenario's per vak vindt plaats in twee stappen:

- Interpretatie van lokale sonderingen, zoals beschreven in paragraaf 7.2.1.
- Vergelijking van de in de vorige stap geïnterpreteerde sonderingen met de grondopbouwscenario's in het globale SOS, zie paragraaf 6.1.4.

In een volgende stap worden van de geïdentificeerde zand- en siltlagen de relevante grondparameters bepaald. Deze komen aan de orde in paragraaf 7.2.1.

7.2.1 Onder- en bovengrens van zand- en siltlagen in onderwatertalud

Wat is het?

Onder- en bovengrens van alle zand- en siltlagen dikker dan 1 m, tussen het niveau op $0,5H_R$ onder de teen van het onderwatertalud en de geulrand, of de gemiddelde waterstand indien deze hoger ligt dan de geulrand [m t.o.v. NAP].

Hoe te bepalen

Minimaal dient een standaard (elektrische) druksondering met meting van de kleeft of mantelwrijving te worden uitgevoerd. De nauwkeurigheid kan vergroot worden door het gebruik van een piezoconus, bij voorkeur met een zogenaamde u2 waterspanningssensor. Als er grindhoudende lagen zijn, of andere harde lagen, zijn bijzondere maatregelen nodig om met een sondering op diepte te komen. Soms is het voldoende om de techniek van 'spoelonderingen' toe te passen. In andere situaties kan het nodig zijn om eerst een boring uit te voeren, door de harde laag heen, om vervolgens een sondering uit te voeren in de onderliggende, zachtere lagen.

Voor wat betreft de locatie en dichtheid van sonderingen wordt verwezen naar paragraaf 6.1.4.

Met behulp van de sonderingen kunnen grondlagen worden geclassificeerd. Een mogelijkheid om de grondlagen vast te stellen die op basis van alleen grondeigenschappen gevoelig zijn voor verwekings- en bresvloeiing is het gebruik van de methode van Jefferies & Davies (1991), waarin de soil type index $I_{c,JD}$ berekend wordt:

$$I_{c,JD} = \sqrt{\left(3 - \log Q_t \cdot (1 - B_q)\right)^2 + (1,5 + 1,3 \log F_r)^2} \quad [-] \quad (7.1)$$

waarin:

B_q de genormaliseerde wateroverdruk: $B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_t - \sigma'_{v0}} [-]$,

waarin u_2 [-] de poriewaterdruk is gemeten achter de conus en u_0 [-] de steady state poriewaterdruk is.

$$F_r \quad \text{het genormaliseerde wrijvingsgetal: } F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{v0}} \quad [-]$$

$$Q_t \quad \text{de genormaliseerde conusweerstand: } Q_t = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \quad [-]$$

met:

q_t conusweerstand gecorrigeerd voor poriewaterdruk [MPa],
 σ_{v0} totale verticale spanning [MPa], waarbij σ_{v0} kan worden geschat uit de diepte ten opzichte van het maaiveld en het volumiek gewicht van de bovenliggende grondlagen.
 σ'_{v0} effectieve verticale spanning [MPa]: $\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u_0$.

Onderstaande tabel geeft soil types voor de verschillende ranges van $I_{c,JD}$.

$I_{c,JD}$	Soil type
$I_{c,JD} > 3,22$	Organische grond, veen
$2,82 < I_{c,JD} < 3,22$	Kleien
$2,54 < I_{c,JD} < 2,82$	Silt mengsels – kleiige silt tot siltige klei
$1,90 < I_{c,JD} < 2,54$	Zand mengsels – siltig zand tot zandige silt
$I_{c,JD} < 1,90$	Zanden – schoon zand tot siltige zanden

Aandachtspunten

Volgens Van den Ham (2015a) blijkt deze methode in vergelijking met andere classificatiemethoden de meest geschikte voor de Nederlandse ondergrond. Indien daar aanleiding voor is kunnen uiteraard kunnen ook andere classificatiesystemen gebruikt worden op basis van sonderingen, zoals waarin andere aspecten worden meegenomen die waarschijnlijk invloed hebben op de verwekingsgevoeligheid van zand:

- Schnaid et al (2004), waarin ook de aspecten aging en cementatie worden beschouwd, welke mogelijk van belang zijn voor verwekingsgevoeligheid van zand.
- Schneider et al (2008) waarin onderscheid wordt gemaakt in de mate van drainage tijdens het indringen van de conus.

Volgens Van den Ham (2015a) zouden deze methoden eerst verder onderzocht moeten worden om vast te stellen of dit (betere) alternatieven zijn voor de methode van Jefferies & Davies.

7.2.2 Vergelijken lokaal grondonderzoek met WTI-SOS

Het updaten van het WTI-SOS met lokaal grondonderzoek tot een lokaal stochastisch ondergrondmodel wordt beschreven in Hijma et al (2015).

7.2.3 Eigenschappen per zandlaag

7.2.3.1 $F_{cohesivelayers}$

Wat is het?

Maat voor de aanwezigheid van klei- en/of veenlaagjes binnen de voor zettingsvloeiing gevoelige zand- en siltlagen die aanwezig zijn in de vooroever tussen de geulrand en $0,5 \cdot H_R$

onder de teen van de geul, volgens de definitie in Figuur 6.4. Indien de samenstelling van de zand- en siltlaag overeenkomt met die in een “gemiddelde” grondopbouw in Zeeland, geldt $F_{cohesivelayers} = 1$. De aanwezigheid van veel klei- en veenlaagjes leidt tot een grotere kans op een onbeheerste bresvloeiing.

Hoe te bepalen

De parameter heeft voornamelijk een vrij kwalitatief karakter. Daarom kunnen er geen duidelijke criteria gegeven worden voor de wijze van bepaling. Wellicht kan een koppeling met de eenheden in het globale SOS gemaakt worden. Er wordt niet verwacht dat dit op korte termijn (voor 2017) verbeterd kan worden.

(0,5m < laagdikte < 5m)	$F_{cohesivelayers}$
Vrijwel geen klei- en/of veenlaagjes	1/3
Beperkt aantal klei- en/of veenlaagjes	1
Groot aantal klei- en/of veenlaagjes	3

7.2.3.2 d_{50}

Wat is het?

De 50-percentielwaarde van de korrelverdeling

Hoe te bepalen

Inschatting op basis van SOS of op basis van korrelverdelingbepaling op monsters conform Eurocode 7.

Te bepalen voor alle zand- en siltlagen waarvan de onder- en bovengrenzen zijn bepaald in paragraaf 7.2.1.

7.2.3.3 d_{15}

Wat is het?

De 15-percentielwaarde van de korrelverdeling

Hoe te bepalen

Inschatting op basis van SOS of op basis van korrelverdelingbepaling op monsters conform Eurocode 7.

Te bepalen voor alle zand- en siltlagen waarvan de onder- en bovengrenzen zijn bepaald in paragraaf 7.2.1.

7.2.3.4 State parameter ψ

Wat is het?

De waarde van de state parameter wordt bepaald volgens de methode van Shuttle en Jefferies (1998), voor de zand- en siltlagen waarvan de onder- en bovengrenzen zijn bepaald op basis van het WTI-SOS of op basis van de methode beschreven in paragraaf 7.2.1. In dat geval moeten alleen de lagen beschouwd waarin $I_{C,JD} < 2,54$ over minimaal 0,5 m.

Binnen een zand- of siltlaag wordt niet één waarde van de state parameter bepaald. Het betreft dan ook geen directe invoerparameter voor de beoordelingsmethoden. In paragraaf 7.2.4.1 wordt beschreven hoe de verschillende waarden van de state parameter die binnen elk van de relevante zand- of siltlagen zijn bepaald kunnen worden omgerekend in een karakteristieke waarde van de overall parameter ψ_{5m} .

Hoe te bepalen

De state parameter kan het makkelijkst bepaald worden uit een sondering. Minimaal moet een standaard (elektrische) druksondering met meting van de kleeft of mantelwrijving worden uitgevoerd. Extra informatie kan verkregen worden door het gebruik van een piëzoconus, bij voorkeur met een zogenaamde u_2 waterspanningssensor. Nog meer nauwkeurigheid kan behaald worden met een seismische sondering. In navolgende stappenplan worden echter defaultwaarden gegeven voor bepaalde parameters indien geen seismische sondering kan worden of is uitgevoerd.

Als er grindhoudende lagen zijn, of andere harde lagen, zijn bijzondere maatregelen nodig om met een sondering op diepte te komen. Soms is het voldoende om de techniek van 'spoelsonderingen' toe te passen. In andere situaties kan het nodig zijn om eerst een boring uit te voeren, door de harde laag heen, om vervolgens een sondering uit te voeren in de onderliggende, zachtere lagen.

Op basis van Van den Ham (2015a) wordt aanbevolen de methode van Shuttle en Jefferies (1998) te gebruiken:

Bepaal de state parameter ψ van minimaal 0,5 m dikke lagen waarvoor volgens vergelijking (7.1) $I_{C,JD} < 2,54$ is:

$$\psi = -\frac{\ln(Q_p/k)}{m} \quad (7.2)$$

waarin Q_p de genormaliseerde dimensieloze conusweerstand is:

$$Q_p = \frac{(q_t - p)}{p'} \quad (7.3)$$

waarin:

q_t	conusweerstand gecorrigeerd voor poriewaterdruk [MPa],
p	gemiddelde totale spanning; $p = 1/3 (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$ [MPa],
p'	gemiddelde effectieve spanning; $p' = 1/3 (\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3)$ [MPa].

In de praktijk kan p' worden geschat door σ'_1 als verticale effectieve spanning (σ'_{v0}) te nemen en $\sigma'_2 = \sigma'_3 = K_0 \cdot \sigma'_1$, waarin $K_0 \approx 1 - \sin(\varphi)$.

$\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u_0$, waarin u_0 de steady state poriewaterdruk is.

σ_{v0} kan worden geschat uit de diepte ten opzichte van het maaiveld en het volumiek gewicht van de bovenliggende grondlagen.

$$k = (f_1(G_0/p') \cdot f_2(M) \cdot f_3(N) \cdot f_4(H) \cdot f_5(\lambda) \cdot f_6(v))^{1,45} \quad (7.4)$$

$$m = 1,45 \cdot f_7(G_0/p') \cdot f_8(M) \cdot f_9(N) \cdot f_{10}(H) \cdot f_{11}(\lambda) \cdot f_{12}(v) \quad (7.5)$$

De functies f_1 tot f_{12} zijn:

$$\begin{aligned}
f_1(G_0/p') &= 3,79 + 1,12 \ln(G_0/p') \\
f_2(M) &= 1 + 1,06(M - 1,25) \\
f_3(N) &= 1 - 0,30(N - 0,2) \approx 1,0 \\
f_4(H) &= (H/100)^{0,326} \\
f_5(\lambda) &= 1 - 1,55(\lambda - 0,01) \\
f_6(\nu) &= 1,0 \\
f_7(G_0/p') &= 1,05 + 0,46 \ln(G_0/p') \\
f_8(M) &= 1 - 0,40(M - 1,25) \\
f_9(N) &= 1 - 0,30(N - 0,2) \approx 1,0 \\
f_{10}(H) &= (H/100)^{0,15} \\
f_{11}(\lambda) &= 1 - 2,21(\lambda - 0,01) \\
f_{12}(\nu) &= 1,0
\end{aligned}$$

waarin:

G'_0	small strain shear modulus [MPa]
p'	in situ gemiddelde effectieve spanning [MPa]
M	helling van de critical state line in het p' - q vlak [-]
N	scaling parameter voor de stress dilatancy, een NorSand model parameter [-]
H	plastic hardening modulus, een NorSand model parameter [-]
λ	helling van de critical state line in het e - $\ln p'$ vlak [-]
ν	Poisson's ratio [-]

De small strain shear modulus G_0 kan worden afgeleid uit de seismische schuifgolfsnelheid V_s :

$$G_0 = (\gamma_{nat}[kPa]/9,81 [m/s^2] \cdot V_s^2[m/s]) / 1000 [MPa] \quad (7.6)$$

Indien geen seismische sondering is uitgevoerd kan $G_0/p' = 1500$ worden aangehouden. Voor een nauwkeurige bepaling zouden M , λ en H bepaald moeten worden op basis van triaxiaalproeven op grondmonsters in het lab. Als zand minder dan 5% fines bevat ($I_{c,JD} < 1,90$) kunnen deze triaxiaalproeven op opgebouwde monsters worden uitgevoerd. Indien de zand- en siltlagen meer dan 8% klei bevatten, kunnen triaxiaalproeven uitgevoerd worden op ongeroerde monsters, verkregen met standaard monsternametechnieken. In andere gevallen zijn bevroren monsters nodig. In het geval dat geen triaxiaalproeven beschikbaar zijn, kunnen de parameters geschat worden met de volgende correlaties:

$$\lambda = \frac{1/(34 - 10 \cdot I_{c,JD})}{2,303} \quad (7.7)$$

H kan als volgt, iteratief, geschat worden:

$$H_{start} = 150 \quad (7.8)$$

Met $H = H_{start}$ wordt ψ_{start} berekend met vergelijkingen 7.2 – 7.9,.

Dan:

$$H_{update} = 150 - 400 \cdot \psi_{start} \quad (7.9)$$

Daarna wordt ψ berekend met vergelijkingen 7.2 – 7.9 met $H = H_{update}$. Door deze update zal de state parameter toenemen met circa 0.05 a 0.1.

M kan worden berekend uit de (kritieke) inwendige hoek van wrijving φ' met:

$$M = \frac{6 \sin \varphi'}{3 - \sin \varphi'} \quad (7.10)$$

Als de (kritieke) inwendige hoek van wrijving niet bekend is, kan $M = 1,26$ worden genomen (overeenkomstig $\varphi' = 32^\circ$).

Aandachtspunten

Als het zand > 5% fines bevat en het zand zich gedeeltelijk gedraineerd gedraagt tijdens conus indringing, dus $B_q \neq 0$ of $I_{c,JD} > 1,90$, is de methode van Shuttle en Jefferies in principe niet geldig, omdat deze alleen voor volledige gedraineerde conusindringing is afgeleid. Een methode voor niet volledige drainage is thans nog niet beschikbaar. Een optie is om de indringingsnelheid van de conus zodanig te reduceren, dat wel volledige drainage kan plaatsvinden, dus $B_q = 0$, of vast te houden aan de standaard indringingsnelheid van 2 cm/s en een overschatting van de state parameter voor zanden waarin geen volledige drainage plaatsvindt ($B_q \neq 0$) te accepteren.

7.2.4 Equivalente parameters

Met equivalente parameters worden parameters bedoeld met één waarde die van toepassing is voor alle zand- en siltlagen die gevoelig zijn voor zettingsvloeiing die voorkomen tussen het niveau op $0,5H_R$ onder de teen van het onderwatertalud en de geulrand, of de gemiddelde waterstand indien deze hoger ligt dan de geulrand. Deze equivalente parameters zijn nodig voor de gedetailleerde beoordelingsmethode. Het betreffen karakteristieke waarden.

Het plan bestaat om voor alle WTI-SOS eenheden waarvoor is vastgesteld dat die relevant zijn voor zettingsvloeiing (in totaal ca. 12 eenheden) default karakteristieke waarden voor deze equivalente parameters bepaald gaan worden. Zolang deze waarden nog niet bepaald zijn of indien er aanleiding is te veronderstellen dat op basis van lokaal grondonderzoek tot een betere bepaling van de karakteristieke waarden kan worden gekomen, kunnen de methoden in de volgende twee paragrafen worden gebruikt.

7.2.4.1 ψ_{5m}

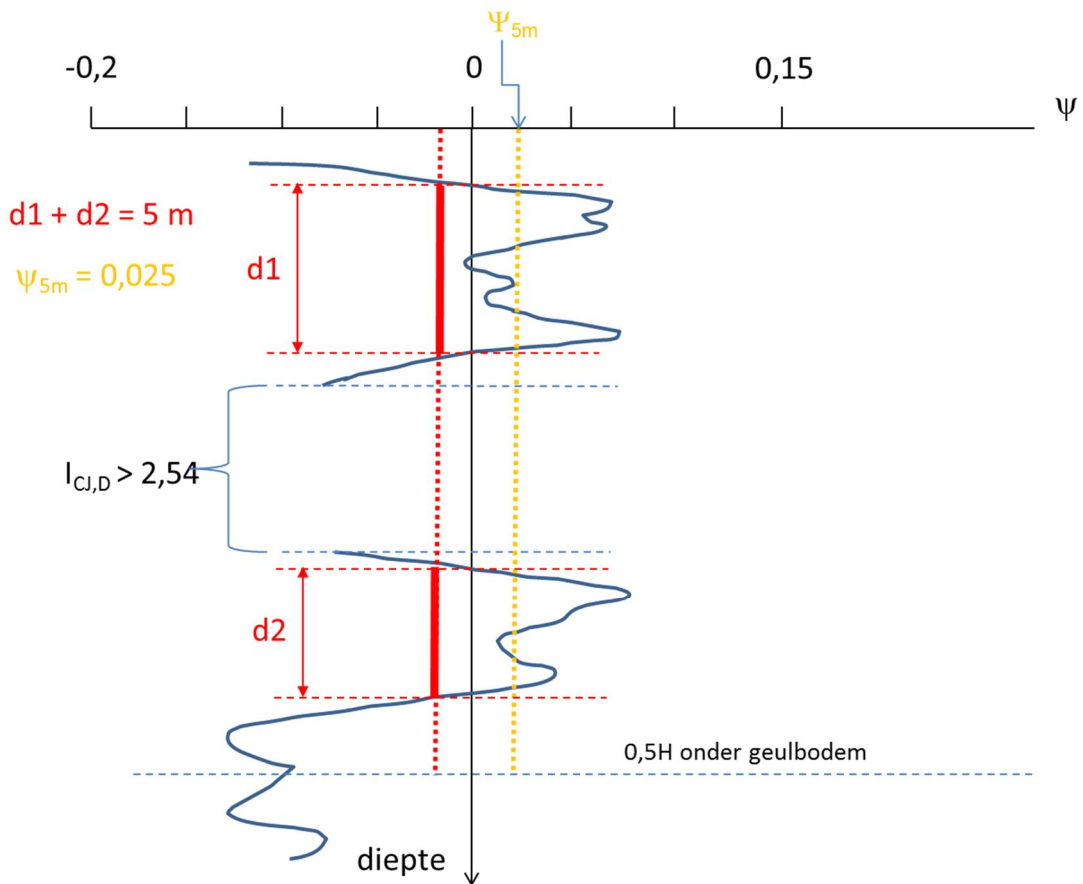
Wat is het?

De waarde van de state parameter ψ over een cumulatieve hoogte van in totaal 5 m zand- en siltlagen, zoals gedefinieerd in paragraaf 7.2.1, tussen het niveau op $0,5H_R$ onder de teen van het onderwatertalud en de geulrand, of de gemiddelde waterstand indien deze hoger ligt dan de geulrand [m t.o.v. NAP.].

Hoe te bepalen

De bepalingswijze is schematisch weergegeven in Figuur 7.2.

Indien de (nog vast te stellen) defaultwaarden uit WTI-SOS eenheid niet worden gebruikt, kan volgens de methode beschreven in paragraaf 1.1.1.1 onderstaand profiel van ψ waarden worden gegenereerd op basis van (lokaal) grondonderzoek. Bij lokaal grondonderzoek gaat het om onderzoek binnen een meetgebied waarbinnen regionale variaties geen rol spelen. Wellicht is dit voor zandlagen enkele honderden meters.



Figuur 7.2 Bepaling ψ_{5m}

Bepaling karakteristieke waarde:

Op basis van de beschikbare sonderingen kan per laag een gemiddelde waarde van ψ_{5m} , $\psi_{5m,gem}$, worden bepaald. Vervolgens moet de spreiding van ψ_{5m} worden bepaald. De onzekerheid van de state parameter heeft twee bronnen: onzekerheid ten gevolge van transformatie van de sondeerwaarden in de state parameter en onzekerheid ten gevolge van ruimtelijke variabiliteit van gemeten sondeerwaarden in zowel verticale als horizontale richting. Een deel van de ruimtelijke variabiliteit wordt gedekt door te werken met ondergrondscenario's. Het gaat hier dus om de ruimtelijke variabiliteit binnen het grondopbouwscenario. De standaardafwijking per grondlaag binnen een scenario kan als volgt bepaald worden: $\sigma(\psi) = \sqrt{\sigma^2(\psi_{methode}) + \sigma^2(\psi_{ruimtelijk})}$.

Aangenomen kan worden dat $\sigma(\psi_{methode}) = 0,03$ a $0,05$.

De waarde van $\sigma(\psi_{ruimtelijk})$ wordt in principe op dezelfde manier bepaald als de spreiding ten gevolge van ruimtelijke variabiliteit van sterkteparameters ten behoeve van macrostabiliteitsberekeningen. Methoden worden beschreven in bijvoorbeeld het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies. Hierin wordt ook beschreven hoe om te gaan met regionale variatie, indien sonderingen uit een groter gebied worden gebruikt.

De karakteristieke waarde van de ψ_{5m} kan dan als volgt bepaald worden:

$$\psi_{5m, kar} = \psi_{5m, gem} - \frac{t_{n-1}^{0,95} \sigma(\psi)}{\sqrt{n}}$$

7.2.4.2 $d_{50, \text{gemiddeld}}$

Wat is het?

De waarde van de 50-percentiel waarden van de korrelverdeling, gemiddeld over alle zand- en siltlagen dikker dan 1 m, zoals die gedefinieerd zijn in paragraaf 7.2.1, in het *onbestorte gedeelte* tussen de teen van het onderwatertalud en de geulrand, of tussen teen en de gemiddelde waterstand, indien deze hoger ligt dan de geulrand [m t.o.v.tov NAP]. De d_{50} per zand- en siltlaag is gedefinieerd volgens de procedure in paragraaf 1.1.1.1.

Hoe te bepalen

In eerste instantie kan gebruik gemaakt worden van de default rekenwaarden van de d_{70} die per WTI-SOS eenheid worden gegeven in schematiseringshandleiding piping (gebaseerd op de VNK database). De karakteristieke waarde van de $d_{50, \text{gemiddeld}}$ kan hieruit afgeleid worden, uitgaande van een uniformiteitscoëfficiënt van 1,5 a 2.

Indien grondmonsters uit de zand- en siltlagen ($I_{C,JD} < 2,54$) beschikbaar zijn kan een korrelverdeling bepaald worden, waarbij de d_{50} van de gehele fractie wordt bepaald (dus niet alleen de fractie $> 0,063$ mm).

7.2.4.3 $d_{15, \text{gemiddeld}}$

Wat is het?

De waarde van de 15-percentiel waarden van de korrelverdeling, gemiddeld over alle zand- en siltlagen dikker dan 1 m, zoals die gedefinieerd zijn in paragraaf 7.2.1, in het *onbestorte gedeelte* tussen de teen van het onderwatertalud en de geulrand, of tussen teen en de gemiddelde waterstand, indien deze hoger ligt dan de geulrand [m t.o.v.tov NAP]. De d_{15} per zand- en siltlaag is gedefinieerd volgens de procedure in paragraaf 1.1.1.1.

Hoe te bepalen

Zie tekst bij $d_{50, \text{gemiddeld}}$.

8 Voorbeeld

8.1 Belastinggevallen

Dit voorbeeld betreft een dijkstuk met een zandige vooroever. De aangelegen rivier heeft invloed op de sedimentatie en erosie van het voorland, wat van invloed is op de schematisering van het dijkstuk. Daarnaast kunnen fluctuerende waterstanden een inleidend mechanisme voor zettingsvloeiing zijn. Aardbevingen worden in dit gebied buiten beschouwing gelaten (gebied ligt in zone B in Figuur 3.1).

8.2 Inventarisatie gegevens

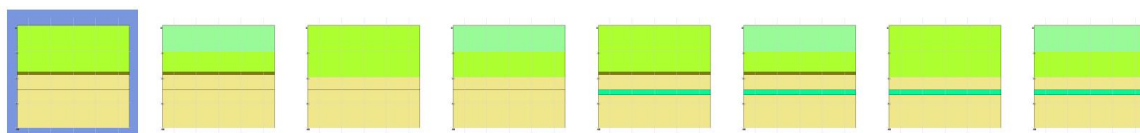
Een inventarisatie van de beschikbare data levert de benodigde informatie om tot een vakindeling te komen. Vanuit oude toetsingen en andere geologische data-bronnen zijn in dit geval de volgende gegevens al beschikbaar:

- WTI-SOS model (dekkend in dit gebied).
- Relatief veel sonderingen (waarvan enkele met meting van waterspanning, u2) uitgevoerd tussen 1990 en 2000 (Dinoloket). Tussenafstand is ca. 100 m.
- Bathymetrische inmetingen (lodingen) tussen 2000 en 2013. Hieruit kunnen actuele profielen worden opgemaakt en morfologische veranderingen worden gedestilleerd.
- Side scan sonar opnames van 2013 ten behoeve van het in kaart brengen van steenbestortingen.

Voor dit voorbeeld is arbitrair een beoordelingsperiode van 5 jaar gekozen.

8.3 Vakindeling

Allereerst wordt de vakindeling conform WTI-SOS aangehouden. Dit segment is ca. 3,0 km lang en bevat 8 ondergrondscenario's in het SOS, zie Figuur 8.1. Op basis van het aantal sonderingen, boringen en andere gegevens kan het segment in meerdere segmenten opgeknipt worden. Daarnaast kunnen scenario's aangepast worden. In dit geval worden scenario's 5 t/m 8 uitgesloten, omdat het voor zettingsvloeiing niet relevant is of er zich wel of geen diepe kleilaag op NAP -24m bevindt (de rest van de profielen zijn identiek aan die van nr. 1 t/m 4). De aanwezige sonderingen komen overeen met de laagopbouw uit het SOS. De exacte opbouw en de parameters per laag wordt pas in de gedetailleerde toets behandeld. Voor de eenvoudige toets is de grondopbouw formeel niet relevant.



Figuur 8.1 WTI-SOS scenario's

Hierna worden dijksegmenten opgeknipt in dijkvakken onder behoud van andere informatie. Hierbij moet de geometrie per dijkvak gelijkwaardig zijn; de ondergrondscenario's wijzigen niet. Op basis van de dwarsprofielen (dijkhoogte, lengte voorland, geulhelling, geuldiepte) en aanwezige informatie zoals bestortingen wordt tot in totaal 7 dijkvakken gekomen.

Overwegingen die hierbij gemaakt zijn, worden onderstaand opgesomd:

- Dijkvakken 2 en 5 zijn in de laatste toetsronde gebleken niet relevant te zijn voor zettingsvloeiing, bijvoorbeeld omdat het talud vastgelegd is (bestort). Op basis daarvan wordt verwacht dat dit dijkvak gemakkelijk goedgekeurd wordt in de eenvoudige toets.
- Het stuk tussen dijkvak 2 en 5 wordt opgeknipt in twee delen, omdat op basis van de peilingen opgemaakt is dat de lengte van het voorland aanzienlijk verschilt (resp. 85 en 35 meter).
- Het zuidelijkste stuk wordt ook opgeknipt, omdat er zich in de bocht van de rivier kribben bevinden. Dit kan een indicatie zijn dat er lokaal meer of minder erosie plaatsvindt.
- De grenzen van dijkvakken 1 en 7 vallen samen met de grenzen van de WTI-SOS-segmenten waarin zij vallen.

De nu gemaakte vakindeling is niet definitief en kan nog worden gewijzigd gedurende de schematisering per vak. Nu zal voor dijkvak 3 worden beschreven hoe de schematisering per dijkvak uitgevoerd kan worden. Dit wordt aan de hand van het toetsproces (Van den Ham 2015b) gedaan, aangezien de verfijning van de schematisering samen gaat met de stappen in de toetsing.

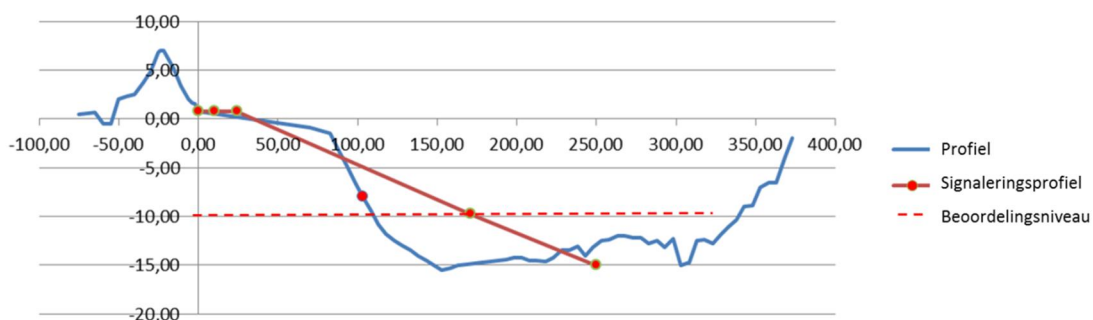
8.4 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets is een geometrische toets, waarbij getoetst wordt of het verwachte meest ongunstige profiel in de beoordelingsperiode (in dit voorbeeld 5 jaar) voldoet aan het schadelijkheids- en optredingscriterium (stappen 1a t/m 1e in het toetsschema). Hiervoor zijn basisgegevens van de geometrie en ontwikkeling van de geometrie in de tijd nodig.

Op basis van de morfologische veranderingen in het verleden en geologische opbouw (aanwezigheid kleilagen) kan een inschatting van de toekomstige geulontwikkeling gemaakt worden. Ter plaatse van de geulteen is in 11 jaar in verticale richting een verandering van ca. -3 tot -1 meter en lokaal van -5 tot -3 meter opgetreden. Gemiddeld komt dit dus neer op -0,3 meter verdieping per jaar. Bij het bestuderen van de morfologische ontwikkelingen is ook te zien dat er meer erosie optreedt dicht bij een brug die zich in één van de vakken bevindt. Voor het hier beoordeelde dijkvak 3 is dit nog niet van belang, maar voor dijkvak 4 zal dit wel zo zijn. In het WTI-SOS (volgende paragraaf) valt te zien dat in enkele WTI-SOS scenario's op NAP-16 m, dus ca. 1 m onder de huidige geulbodem, een kleilaag zit. Mogelijk zal deze kleilaag dus binnen enkele jaren bereikt worden. Waarschijnlijk zal de erosiesnelheid dan sterk afnemen. In de eenvoudige toets kan bij de bepaling van de meest ongunstige geometrie gedurende de beoordelingsperiode van 5 jaar in eerste instantie conservatief aangenomen worden dat de erosiesnelheid gelijk blijft als de kleilaag bereikt wordt.

In Figuur 8.2 geeft de blauwe lijn het meest recente profiel.

Op een gedeelte van het traject is in verband met eerdere maatregelen tegen zettingsvloeiing bestorting op de vooroever aanwezig. De side scan sonar beelden geven de locatie aan van eventuele bestortingen. Te zien is dat ter plaatse van dijkvak 4 en 6 vooroeverbetorting aanwezig is. In het beschouwde dijkvak 3 is er geen bestorting aanwezig. In de toetsing wordt op het beoordelingsniveau gekeken of het signaleringsprofiel landwaarts ligt ten opzichte van het meest ongunstige profiel in de beoordelingsperiode. In Figuur 8.2 is te zien dat dit voor het huidige profiel (blauwe lijn) al ruimschoots niet het geval is, hetgeen betekent dat niet wordt voldaan aan het schadelijkheids criterium in toetsstap 1a. Dus wordt doorgegaan naar toetsstap 1c.



Figuur 8.2 Representatieve profiel voor dijkvak 3 met signaleringsprofiel en beoordelingsniveau ten behoeve van de eenvoudige toets

In toetsstap 1c wordt beschouwd of er sprake is van een kunstmatig opgebouwd talud. Er is geen verdere schematisering voor nodig om te constateren dat hier geen sprake is van een kunstmatig talud. Er wordt daarmee niet voldaan aan toetsstap 1c en er wordt doorgegaan naar toetsstap 1d.

Voor de eenvoudige toetsstappen 1d en 1e moet de geometrie geschematiseerd worden tot een aantal karakteristieke punten, zoals uitgebreid beschreven in paragraaf 7.1. Iteratief wordt tot het meest ongunstige profiel in de beoordelingsperiode gekomen.

In het voorbeeld zou de teen van het onderwatertalud in eerste instantie op $x = 150$ en NAP-15m kunnen worden gekozen, zie Figuur 8.3. Er wordt gecontroleerd of er op dit niveau wel zand aanwezig is, anders zou het niveau te ongunstig gekozen zijn. Volgens het WTI-SOS ligt de bovenkant van de eventueel aanwezige kleilaag op NAP -16 m.

De geulrand wordt gekozen op $x=83$ en NAP-1,3 = m omdat hier een sterke knik in het profiel zit. Echter, dit geschematiseerde profiel zou te weinig recht doen aan de steile helling van de geul, zie onderstaande afbeelding.



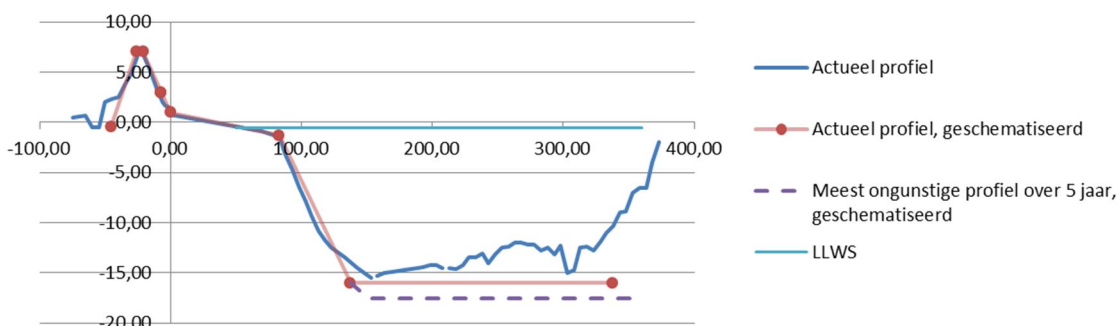
Figuur 8.3 Geschematiseerd profiel dijkvak 3

Het deel van de geulhelling tussen NAP-11 en NAP-15 m is echter wel flauwer, dus het gehele profiel steil schematiseren zou te conservatief zijn. Als indicatie kan aangehouden worden dat het volume grond “links” en “rechts” van de schematisering gelijk moeten zijn. Ook wordt het laagwater-niveau gedefinieerd. In dit geval wordt uit de “referentiewaterstanden” (Rijkswaterstaat 1985) afgeleid dat $OLW = NAP - 0,6$ m.

Om de meest ongunstige geometrie *gedurende de beoordelingsperiode* te berekenen, wordt de oevermigratiesnelheid V_{lokaal} berekend. Extrapolatie van 5 m verdieping over 11 jaar

(tussen 2000 en 2011) levert een (verwachte) geulverdieping op van 0,27 m per jaar, er (conservatief) van uitgaande dat de kleilaag op NAP-16 m die in enkele WTI-SOS scenario's aanwezig is geen remmende werking heeft. De geulbodem na 5 jaar zou dan op NAP-17,4 komen te liggen. Deze snelheid van de verdieping in verticale richting kan omgerekend worden in de equivalente oevermigratiesnelheid door deze snelheid te vermenigvuldigen met $\cot\alpha_R$. Dit komt neer op $0,27 \cdot 3,2 = 0.87m / \text{jaar}$.

Zoals eerder aangegeven zal gegeven de verwachte erosiesnelheid de kleilaag mogelijk al binnen de beoordelingsperiode bereikt worden. Voor de eenvoudige toets wordt er vanuit gegaan dat zodra de kleilaag bereikt is de erosiesnelheid niet vertraagt. Dit is conservatief. In Figuur 8.4 is met de gestippelde lijn de schematisering weergegeven die wordt gebruikt in de toetsing.



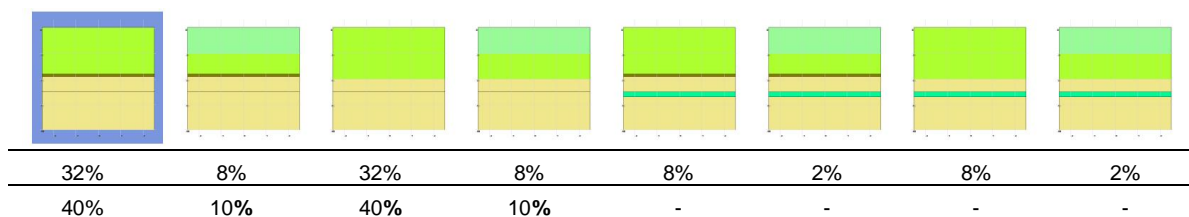
Figuur 8.4 Actueel en geschematiseerd actueel profiel en geschematiseerd aan einde beoordelingsperiode van 5 jaar (meest ongunstig)

Op de side scan sonar beelden is geen bestorting op het voorland en/of het talud te zien. Er hoeft dus geen locatie van het einde van de bestorting gedefinieerd te worden.

Aan de hand van de geschematiseerde geometrie kunnen de toetsstappen 1d en 1e doorlopen worden. Indien er niet voldaan wordt aan deze eenvoudige toets, zal een gedetailleerde toets (2a2) uitgevoerd moeten worden. Hiervoor zal ook de ondergrond geschematiseerd moeten worden.

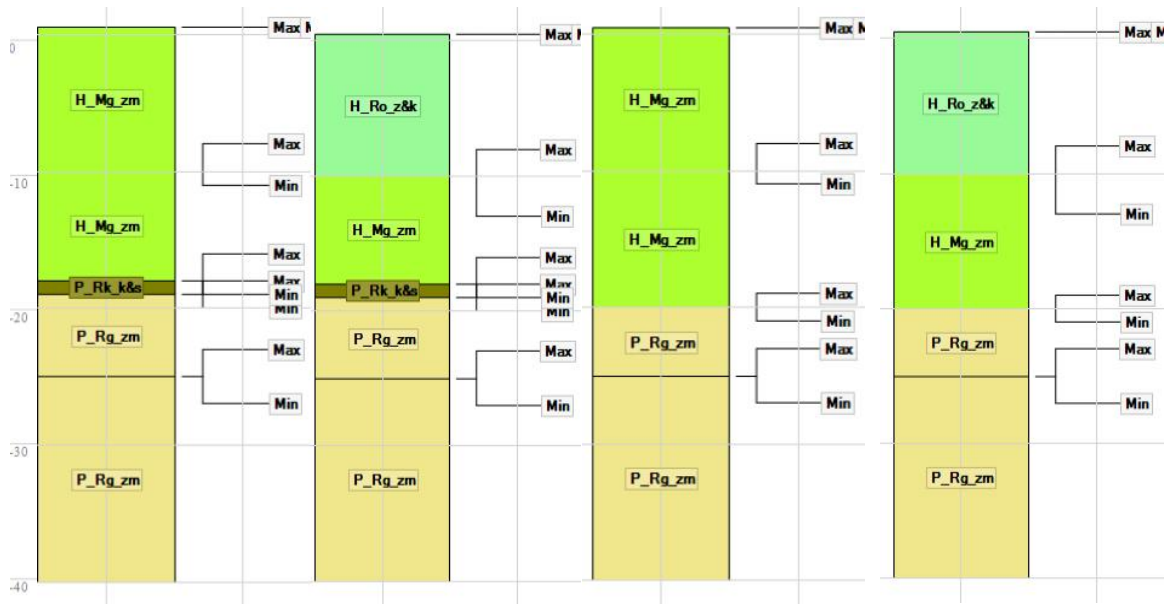
8.5 Gedetailleerde toets

Als een gedetailleerde toets op zettingsvloeiing moet worden uitgevoerd, zal per ondergrondscenario een optredingskans voor zettingsvloeiing moeten worden berekend. In de eenvoudige toets waren al 4 scenario's geëlimineerd, omdat deze onder het invloedsgebied van zettingsvloeiing liggen: invloedsdiepte zettingsvloeiing is maximaal 1,5 keer de geuldiepte = $15 \cdot 1,5 = 22$ meter onder NAP. De scenario-kansen (S_i) worden nu herverdeeld, zie Figuur 8.5.



Figuur 8.5 Herverdeling scenario-kansen ondergrondscenario's dijkvak 3

De scenario's zijn weergegeven in Figuur 8.6. De lagen bestaan uit H_Mg_zm en P_Rg_Zm (1 t/m 4) met al dan niet een toplaag van H_Ro_z&k (2 en 4) en/of een tussenkleilaag P_Rk_k&s waarvan de bovenkant zich op ca. NAP-16 m bevindt (1 en 3).



Figuur 8.6 Ondergrondscenari'o's dijkvak 3

De parameters $\cot \alpha_R$ en V_{lokaal} zijn al vastgesteld en verschillen niet per ondergrondscenario. Rekengeuldiepte H_R verschilt: voor scenario's 1 en 2, waarin de tussenkleilaag voorkomt, wordt aangenomen dat als de geulbodembodem de kleilaag op NAP - 16 m bereikt, de geul niet verder zal verdiepen. Voor scenario's 3 en 4 zal erosie niet beperkt worden en na 5 jaar een diepte van NAP - 17,3 m bereiken.

De karakteristieke waarden van de parameters $\psi_{5m, kar}$, $d_{50, gem, kar}$ en $F_{cohesivelayers}$ moeten nu per ondergrondscenario worden vastgesteld.

Omdat $\psi_{5m, kar}$ lastig is te bepalen (er zijn daarvoor meerdere sonderingen in het dijkvak benodigd, bij voorkeur in het voorland) wordt in een eerste stap een conservatieve inschatting (dus een hoge waarde van $\psi_{5m, kar}$) op basis van ervaring of expert judgement gemaakt. Voor scenario's 1 en 3 zal de state parameter hoger zijn, omdat de afzetting vooral zandig is (H_Mg_zm). Voor scenario's 2 en 4 zal de state parameter wellicht iets lager zijn omdat de toplaag (H_Ro_z&k) zand en klei bevat. Conservatief wordt een state parameter van 0,10 voor scenario 1 en 3 en 0,05 voor scenario 2 en 4 aangehouden.

Per ondergrondscenario moet nu een waarde voor $F_{cohesivelayers}$ gegeven worden. De parameter heeft een kwalitatief karakter, dus voor scenario's 1 en 3 wordt een factor van 1/3 gebruikt, voor scenario's 2 en 4 wordt een factor 1 gebruikt.

Er zijn nog geen boringen beschikbaar in het gebied, dus het voorspellen van de $d_{50, gem, kar}$ is lastig. Er wordt vooralsnog een conservatieve aanname gedaan: $d_{50, gem, kar} = 0,150$ mm.

Met alle bekende parameters kan de optredingskans van zettingsvloeiing per scenario worden berekend (toetsstap 2a2 stap 1). Vervolgens kan de optredingskans zettingsvloeiing voor alle scenario's worden gecombineerd (toetsstap 2a2 stap 2). Vervolgens kan de kans

van overschrijden van de maximale inscharingslengte gegeven een vloeijing (stap 3) en de overschrijdingskans voor het dijkvak (stap 4) berekend worden. In deze stap wordt de kans op een inscharingslengte die voorbij de invloedzone van de dijk komt bepaald. Uit de legger of stabiliteitsberekeningen blijkt dat het voorland 83 m lang is en de invloedzone van de dijk 10 meter. De maximaal toelaatbare inscharingslengte is dus 73 m.

De maximaal toelaatbare faalkans per dijkvak in de gedetailleerde toets is 0,01 per km per jaar. Het beschouwde dijkvak 3 heeft een lengte van 200 m. De toelaatbare faalkans voor dijkvak 3 is dus $0,01/5=0,002$ per jaar.

Als de berekende faalkans voldoet met de deels conservatief geschatte parameters, kan het dijkvak worden goedgekeurd. Is dit niet het geval, dan zal een verfijning van de grondparameters mogelijk verbetering kunnen opleveren. De gedetailleerde toets levert het volgende resultaat op:

Grond parameters	scen 1	scen 2	scen 3	scen 4
$\psi_{5m, kar}$	0,1000	0,0500	0,1000	0,0500
$d_{50, gem, kar}$	1,50E-04	1,50E-04	1,50E-04	1,50E-04
F_{coh}	0,33	3,33E-01	1,00	1,00E+00
V_{lokaal}	0,87	8,70E-01	0,87	8,70E-01
$V_{Zeeland}$	1,00	1,00E+00	1,00	1,00E+00

Optredingskans zettingsvloeiing	scen 1	scen 2	scen 3	scen 4
F(ZV)	2,67E+00	8,54E-01	3,19E+00	1,05E+00
F(ZV) per dijkvak	5,35E-01	1,71E-01	6,38E-01	2,10E-01
P(ZV)	4,14E-01	1,57E-01	4,72E-01	1,89E-01
P(Si)	0,4	0,1	0,4	0,1

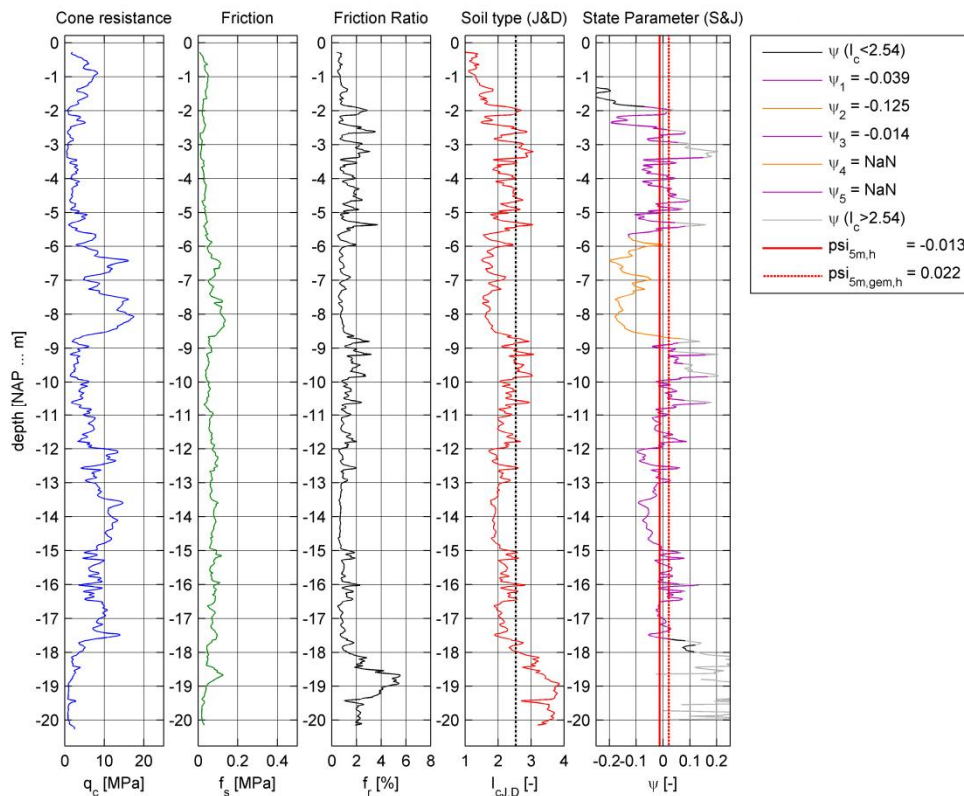
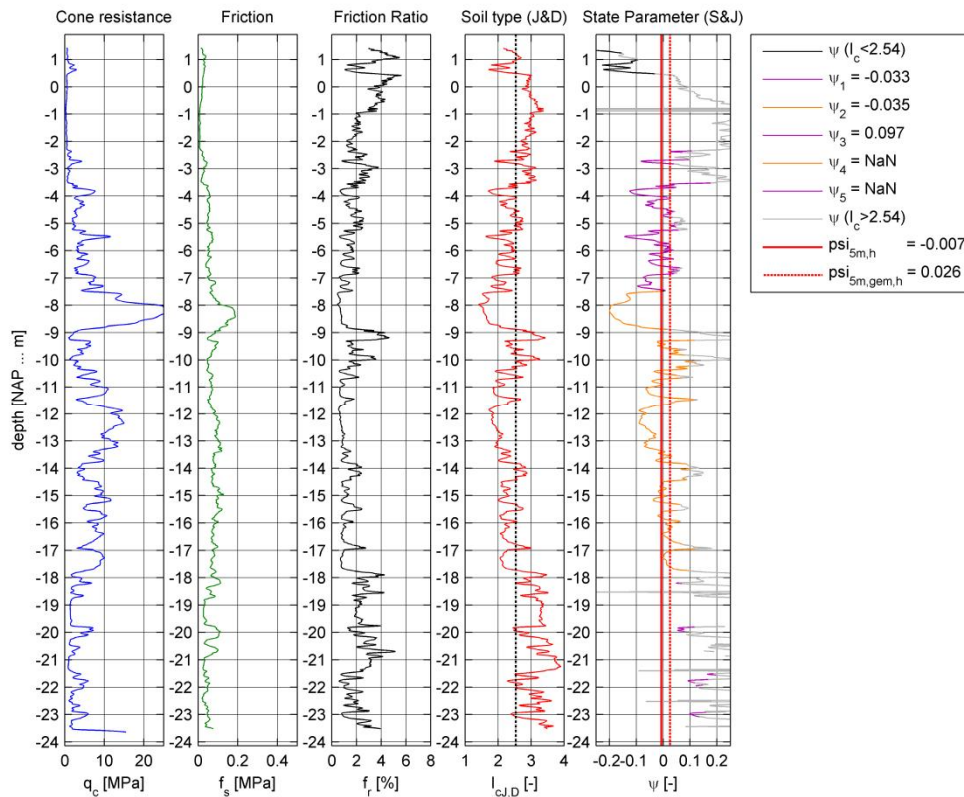
som P(fZV) over Si	3,89E-01	38,90%
P(L>Lforeland)	1,46E-01	14,58%
P(ZV) * P(L>Lforeland)	5,67E-02	5,67%
Norm	2,00E-03	0,20%

voldoet
niet

De kans op zettingsvloeiing die tot in de invloedzone reikt blijkt met 5,67% bijna een factor 30 groter dan de toelaatbare kans.

Voor de bepaling van de vervolgstappen kan gespeeld worden met de parameters om een indruk te krijgen van de relatieve invloed op de faalkans. Het kan zijn dat ψ_{5m} relatief veel bijdraagt aan de faalkans (omdat deze conservatief is aangenomen). Op basis hiervan kan besloten worden of het zinvol is om een of meerdere sonderingen op het voorland te laten doen en hier ψ_{5m} voor uit te werken.

Voor beide scenario's wordt een sondering uitgewerkt. De sonderingen worden geselecteerd op basis van de mate waarin zij overeenkomen met de grondopbouw in de WTI-SOS scenario's. De sonderingen zijn uitgevoerd vanaf de kruin van de dijk. Omdat in dit voorbeeld sprake is van een rivier die zich insnijdt, mag aangenomen worden dat de grondopbouw in het voorland vergelijkbaar is met die onder de dijk. Voor scenario's 1 en 3 wordt de bovenste sondering in Figuur 8.7 representatief geacht. Voor scenario's 2 en 4 wordt de onderste sondering gebruikt. Daarin zijn tussen NAP-1 m en NAP-6 m duidelijk kleilaagjes zichtbaar, hetgeen te zien is aan het grillige verloop van het wrijvingsgetal. Te zien is dat ψ_{5m} gelijk is aan 0,026 respectievelijk 0,022.



Figuur 8.7 Bepaling $\psi_{5m, gem}$ (rechter kolom) uit de sondering die representatief is voor ondergrondscenario's 1 en 3 (boven) en voor ondergrondscenario's 2 en 4 (onder)

Met de gevonden waarden van ψ_{5m} wordt tot de volgende kansen gekomen:

Grondparameters	scen 1	scen 2	scen 3	scen 4
ψ_{5m}	0,0260	0,0220	0,0260	0,0220
$d_{50, gem, kar}$	1,50E-04	1,50E-04	1,50E-04	1,50E-04
F_{coh}	0,33	3,33E-01	1,00	1,00E+00
V_{lokaal}	0,87	8,70E-01	0,87	8,70E-01
$V_{Zeeland}$	1,00	1,00E+00	1,00	1,00E+00

Optredingskans zettingsvloeiing				
F(ZV)	4,97E-01	4,54E-01	6,30E-01	5,80E-01
F(ZV) per dijkvak	9,93E-02	9,08E-02	1,26E-01	1,16E-01
P(ZV)	9,45E-02	8,68E-02	1,18E-01	1,09E-01
P(Si)	0,4	0,1	0,4	0,1

som P(fZV) over Si	1,05E-01	10,48%
P(L>Lforeland)	1,46E-01	14,58%
P(ZV) * P(L>Lforeland)	1,53E-02	1,53%
Norm	2,00E-03	0,20%

voldoet
niet

De berekende kans is nog steeds bijna een factor 8 groter dan de toelaatbare kans. Uiteraard moet hierbij opgemerkt worden dat de waarden van ψ_{5m} voor beide grondopbouwscenario's gebaseerd zijn op telkens slechts één sondering. Er is dus geen rekening gehouden met spreiding door ruimtelijke variabiliteit. Het is dus onduidelijk of de gevonden waarden inderdaad als karakteristieke waarde van ψ_{5m} beschouwd moegen worden. Om $\psi_{5m, kar}$ beter te kunnen bepalen zouden binnen het dijkvak meerdere sonderingen moeten worden uitgevoerd, bij voorkeur in het voorland. Voor de bepaling van de karakteristieke waarde op basis van lokaal grondonderzoek wordt in paragraaf 7.2.4.1 een handreiking gegeven. Indien op basis van meerdere sonderingen blijkt dat $\psi_{5m, kar}$ hoger is dan hier aangenomen, zal dat tot nog hogere berekende kansen leiden.

8.6 Conclusies

In het onderzochte dijkvak 3 kan zowel in de eenvoudige als gedetailleerde toets niet worden aangetoond dat de kans dat een zettingsvloeiing tot in de invloedszone van de waterkering komt voldoende klein is. Er kan in deze toetsniveaus dus niet tot een oordeel "goed" worden gekomen. Mogelijk valt het toetsresultaat nog wat ongunstiger uit indien de karakteristieke waarde van ψ_{5m} zou worden bepaald op basis van meerdere sonderingen.

Er kan nu een afweging gemaakt worden of de toetsing verder verdiept wordt in een toets op maat of dat direct overgegaan wordt tot maatregelen. De kosten van maatregelen ten opzichte van de kosten van aanvullende onderzoek kunnen hierin een rol spelen, maar ook de grootte van het gat tussen de berekende en toelaatbare kans in de gedetailleerde toets. In de meeste gevallen, zoals ook in dit voorbeeld, zal het zinvol zijn om in ieder geval de volgende stappen uit te voeren, omdat deze met redelijk beperkte inspanning uitgevoerd kunnen worden (in principe geen extra grond- en labonderzoek of geavanceerde rekenmodellen nodig):

- Geeft het meenemen van (de kansverdeling van) het verstoringsprofiel bij de (relevante) directe faalmechanismen problemen of niet. Uiteindelijk gaat het erom dat de kans dat een zettingsvloeiing, al dan niet via een direct faalmechanisme zoals overloop, piping, macrostabiliteit, voldoende klein is.
- De herverdeling van faalkansruimte: mogelijk is er bij andere (directe) faalmechanismen faalkansruimte over die aan zettingsvloeiing besteed kan worden.

Als deze twee punten geen oplossing bieden kan gedacht worden aan:

- Meer lokaal grondonderzoek bestaande uit extra sonderingen en/of boringen. Hiermee kunnen wellicht WTI-SOS scenario's geupdate worden en kan de karakteristieke waarde van ψ_{5m} beter bepaald worden.
- Laboratoriumonderzoek, al dan niet in combinatie met geavanceerde rekenmodellen voor verweking en bresvloeiing, zodat de kans op het optreden van een verwekingsvloeiing of een bresvloeiing en het schadeprofiel exacter bepaald kunnen worden.

9 Referenties

CUR113, 2008. CUR Aanbeveling Oeverstabiliteit bij zandwinputten, 2008.

De Crook, Th. De, 1993. Probabilistic seismic hazard assessment for the Netherlands. *Geologie en Mijnbouw* 72: 1-13.

De Crook, Th. De, 1996. A seismic zoning map conforming to Eurocode 8, and practical earthquake parameter relations for the Netherlands, *Geologie en Mijnbouw*, 75, p.p. 11-18.
Handreiking Toetsen Voorland Zettingsvloeiing t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde (25-10-2012), Rijkswaterstaat, oktober 2012.

Hijma, M.P., Kruse, G.A.M., Van der Meij, R., 2015. WTI-SOS: Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS. Deltares rapport 1209432-002, januari 2015.

Hijma, M.P., Kruse, G.A.M. en Lam, K.S., 2015. Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen. Deltares rapport 1209432-003-GEO-006

Jefferies, M.G., Davies, M.P., 1991. Soil classification by the cone penetration test: Discussion. *Canadian Geotechnical Journal* 28, 1, pp 173-468.

Rijkswaterstaat, 1985. Referentiewaarden waterstanden. Rijkswaterstaat. http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Referentiewaarden%20waterstanden_tcm174-326696.pdf

Schnaid, F., Lehane, B. M. and Fahey, M. 2004. In situ test characterisation of unusual soils. Keynote Lecture. Proc. 2nd Int. Conf. Geotech. Geophys. Site Characterisation, Porto 1, 49-74.

Schneider, J.A., Randolph, M.F., Mayne, P.W. and Ramsey, N.R. 2008. Analysis of factors influencing soil classification using normalized piezocone tip resistance and pore pressure parameters. *Journal Geotechnical and Geo-environmental Engrg.* 134 (11): 1569-1586.

Shuttle, D.A., Jefferies. M.G., 1998. Dimensionless and unbiased CPT interpretation in sand. *International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics* 22, pp. 351 - 391.

Stoutjesdijk, T.P., Groot, M.B. de, Lindenberg, J., 1998. Flow slide prediction method: influence of slope geometry. *Can. Geotechnical J.* 35, pp. 34 – 54.

Stoutjesdijk, T.P, Mastbergen, D.R., De Groot, M.B., 2012. Stormvloedkering Oosterschelde: ontwikkeling ontgrondingskuilen en stabiliteit bodembescherming, Hoofdrapport. 1206907-005-GEO-0004.

Van den Ham, G.A., De Groot, M.B., Mastbergen, D.R., 2014. A semi-empirical method to assess flow-slide probability. In: Krastel et al (eds): Proceedings of the 6th International Symposium Submarine mass movements and their consequences, pp. 213 - 223.

Van den Ham, G.A. (2015a). WTI cluster Indirecte faalmechanismen – Update of detailed assessment method on flow slides - final. Deltares rapport, kenmerk 1209439-002-GEO-0001, mei 2015.

Van den Ham, G.A. (2015b). Toetsproces zettingsvloeiing. Deltares rapport, kenmerk 1220078-008-GEO-0001-v1, mei 2015

Van den Ham, G.A. (2015c). Faalmechanismebescrijving zettingsvloeiing. Deltares rapport, kenmerk 1220078-008-GEO-0003, mei 2015

Van Duinen, T.A., Bezuijen, A., Van den Ham, G.A., Hopman, V., 2014. Field Measurements to Investigate Submerged Slope Failures. In: Krastel et al (eds): Proceedings of the 6th International Symposium Submarine mass movements and their consequences, pp. 13 - 21.

Wilderom, N.H., 1979. Resultaten van het vooroveronderzoek langs de Zeeuwse stromen. Rijkswaterstaat, Nota 75.2, januari 1979.

A Parameterlijst

A.1 Schematisering

Toetspoor	ID	letters/symbolen	Bescrip / WTI-parameter	Vertaling	Omschrijving	Grootheid	Eenheid	Hoedigheid	Waardebepalingmethode	Waardebepalingsmethode	AI te leiden uit	Opmerkingen	Object
Zettingsvloeiingen	S01		Geometrie beneden waterlijn afgelopen 10 jaar	Geometry below water line past 10 years	afgelopen 10 jaar, zowel aan zijde dijk als	lengte	m	RD, NAP	Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing	TR Vooiland			Profiel
Zettingsvloeiingen	S02		Geometrie boven waterlijn totaan buitenkruin dijk	Geometry above water line until outer crest dike	Verzameling punten in 3D ruimte	lengte	m	RD, NAP	Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing	TR Vooiland			Profiel
Zettingsvloeiingen	S03		Lengte steenbestorting vanaf buitenree dijk	Length of riprap from toe dike towards the under water slope	Verzameling punten in 3D ruimte	lengte	m	-	Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing	TR Vooiland			Taanbestorting
Zettingsvloeiingen	S04		Laagcheidingmodel van de ondergrond	Subsurface layer model	buitenree dijk en een diepte tot minimaal	lengte	m	NAP	Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing	TR Vooiland		Met V08 itm V12 kans col type index te van	Profiel
Zettingsvloeiingen	S05		D50 per zandlaag > 1m	D50 per sand layer > 1m	korrels uit een zandlaag doorheen gaat. Te	lengte	m	-	Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing	NEN/RAW			Bodemlaag
Zettingsvloeiingen	S06		D15 per zandlaag > 1m	D15 per sand layer > 1m	korrels uit een zandlaag doorheen gaat. Te	lengte	m	-	Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing	NEN/RAW			Bodemlaag
Zettingsvloeiingen	S07		Verzadigd volumiegewicht per grondlaag	soil unit weight saturated (below phreatic level)	Verzadigde volumieke gewichten per grondlaag	dichtheid	kNm ³	-	Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing	TR Vooiland			Bodemlaag
Zettingsvloeiingen	S08		Onverzadigd volumiegewicht per grondlaag	soil unit weight unsaturated (above phreatic level)	grondlaag	dichtheid	kNm ³	-	Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing	TR Vooiland			Bodemlaag
Zettingsvloeiingen	S09	$I_{c,10}$	Soil type index vlg Jefferies & Davies (1991)	Soil type index according to Jefferies & Davies (1991)	consuwestand, wijzingsgetal en bij voorkeur ook u2 (poriewaterdruk achter de conus)	-	-	-	Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing	TR Vooiland			Bodemlaag
Zettingsvloeiingen	S10	ν	State parameter	State parameter	minimale dikte van 0,5 m (lagen waarin $I_{c,10}$)	-	-	-	Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing	TR Vooiland			Bodemlaag

A.2 Modelinvoer

Toetspoor	ID	letters/symbolen	Bescrip / WTI-parameter	Bescrip / WTI-parameter UK	Omschrijving	Grootheid	Object	Eenheid	Hoedigheid	Waardebepalingmethode	Waardebepalingsmethode	AI te leiden uit	Compartiment	Informatieobject
Zettingsvloeiingen	M01	α_{water}	Gemiddelde helling van onderwaterlotaal	Average angle of the under water slope		hoek	-	-	-		TR Vooiland			profiel
Zettingsvloeiingen	M02	H_{water}	Hoogte onderwaterlotaal ten opzichte van gemiddelde waterstand	Height of the under water slope between channel bottom and average water level		hoogte	m	-	-		TR Vooiland			profiel
Zettingsvloeiingen	M03	H_{water}	Hoogte van het fictieve onderwaterlotaal waarin gedeelte geometrie boven de laagwater lijn is verticaal	Height of the fictitious under water slope, in which it is accounted for part of geometry above the low water line		hoogte	m	-	-		TR Vooiland			profiel
Zettingsvloeiingen	M04	α_{water}	Helling steilste 5 m	Steepest slope over 5 m		hoek	-	-	-		TR Vooiland			profiel
Zettingsvloeiingen	M05	S_{cr}	Signaleringspunt	Critical point for flow sliding		lengte	m	-	-		TR Vooiland			profiel
Zettingsvloeiingen	M07		Beoordelingsniveau	Assessment level		lengte	m	-	-		TR Vooiland			profiel
Zettingsvloeiingen	M08	M_{sk}	Marge	Margin		lengte	m	-	-		TR Vooiland			profiel
Zettingsvloeiingen	M09	d_{50}	50%-fractie van de korrel diameter, per zandlaag > 1m tot geulbodem	50% fractile of grain-size distribution, per sand layer > 1 m until channel bottom		diameter	m	-	-		NEN/RAW			bodemmodel
Zettingsvloeiingen	M10	d_{15}	15%-fractie van de korrel diameter, per zandlaag > 1m tot geulbodem	15% fractile of grain-size distribution, per sand layer > 1 m until channel bottom		diameter	m	-	-		NEN/RAW			bodemmodel
Zettingsvloeiingen	M11	k	Doortatendheid	Permeability		doortatendheid	m/s	-	-		TR Vooiland			bodemmodel
Zettingsvloeiingen	M12	ν_{an}	Gemiddelde waarde van state parameter van (cumulatief) 5 m zand- en siltlagen met de hoogste waarde van de state parameter, bepaald tussen de waterlijn en een niveau 0,5 H_{water} onder de teen van de onderwaterhelling	Average value of the state parameter of (cumulative) 5 m sand- and silt layers with the highest value value of the state parameter, determined between the water line and the level of 0.5 H_{water} below the toe of the under water slope		-	-	-	-		TR Vooiland			bodemmodel
Zettingsvloeiingen	M14	$F_{\text{cohesieve}}$	Factor die dikte en aanwezigheid cohesieve lagen bepaalt	Factor that determines thickness and presence of cohesive layers		-	-	-	-		TR Vooiland			bodemmodel
Zettingsvloeiingen	M13	$V_{\text{equivalent}}$	Equivalente oevermigratiesnelheid	Equivalent migration velocity of the under water slope		snelheid	m/jaar	-	-		TR Vooiland			-
Zettingsvloeiingen	M14	P_{sc}	Kans op zettingsvloeiingscenario	Probability on flow slide scenario	Kans op een ondergrondsbouwsceario voor het laa	kans	-	-	-		n.l.b.			keuring