



Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing

WBI 2017

Datum	1 december 2016
Status	Definitief

Colofon

Uitgegeven door	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Informatie	Helpdesk Water, www.helpdeskwater.nl
Contact	helpdeskwater@rws.nl
Uitgevoerd door	Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving
Datum	1 december 2016
Status	Definitief
Versienummer	2.0

Inhoud

Schematiseringshandleidingen en WBI 7

1 Inleiding Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing 9

- 1.1 Uitgangspunten 9
- 1.2 Opbouw 9

2 Stappenschema 11

- 2.1 Inleiding 11
- 2.2 Stappenschema 11

3 Belastinggevallen 13

- 3.1 Inleiding 13
- 3.2 Morfodynamiek 13
- 3.3 Waterstandsverloop 13

4 Inventarisatie gegevens 14

5 Vakindeling 15

- 5.1 Inleiding 15
- 5.2 Processtappen vakindeling 15
- 5.3 Overige informatie 16

6 Schematisering per vak 17

- 6.1 Grondopbouw 17
 - 6.1.1 Inleiding 17
 - 6.1.2 Dijksmateriaal 18
 - 6.1.3 Stochastische Ondergrondschematisering (SOS) 18
 - 6.1.4 Lokaal grondonderzoek 20
- 6.2 Geometrie 21
 - 6.2.1 Inleiding 21
 - 6.2.2 Geometrie 21
 - 6.2.3 Beweeglijkheid van het onderwaterprofiel 22
 - 6.2.4 Vooroeverbrestorting 23
 - 6.2.5 Ontgrondingskuilen in geulbodem 24

7 Parameters 25

- 7.1 Geometrische parameters 25
 - 7.1.1 Methoden bepaling geometrische parameters onderwatertalud 25
 - 7.1.2 Teen onderwatertalud van meest ongunstige geometrie in beoordelingsperiode 25
 - 7.1.3 Geulrand van meest ongunstige geometrie in beoordelingsperiode 25
 - 7.1.4 Laag Laagwaterstand LLWS/OLW/OLR 26
 - 7.1.5 Equivalente oevermigratiesnelheid V_{lokaal} 26
 - 7.1.6 Lengte vooroeverbrestorting vanaf buitenteen dijk 26
 - 7.1.7 Begin- en eindpunt vooroeverbrestorting vanuit geul 27
- 7.2 Grondlagen en eigenschappen per grondlaag 27
 - 7.2.1 Onder- en bovengrens van zand- en siltlagen in onderwatertalud 27
 - 7.2.2 Vergelijken lokaal grondonderzoek met SOS 28
 - 7.2.3 Eigenschappen per zandlaag 28
 - 7.2.3.1 $F_{\text{cohesivelayers}}$ 28
 - 7.2.3.2 d_{50} 29
 - 7.2.3.3 d_{15} 29
 - 7.2.3.4 State parameter Ψ 29

7.2.4	Equivalente parameters	31
7.2.4.1	Ψ_{5m}	32
7.2.4.2	$d_{50, \text{gemiddeld}}$	33
7.2.4.3	$d_{15, \text{gemiddeld}}$	33

8 Voorbeeld 35

8.1	Introductie	35
8.2	Belastinggevallen	35
8.3	Inventarisatie gegevens	35
8.4	Vakindeling	35
8.5	Eenvoudige toets	36
8.6	Gedetailleerde toets	38
8.7	Conclusies	42

A Literatuur45

B Parameterlijst 47

B.1	Schematisering	47
B.2	Modelinvoer	47

C Rekenregels voor gedetailleerde toets op zettingsvloeiing 49

C.1	Stap A - Bepaal optredingskans zettingsvloeiing per ondergrondscenario $P(ZV S_i)$ voor het betreffende vak	49
C.2	Stap B - Bepaling optredingskans zettingsvloeiing voor alle grondopbouwscenario's $P(ZV)$	51
C.3	Stap C - Bepaal overschrijdingskans toelaatbare inscharingslengte gegeven een vloeiing $P(L > L_{\text{toelaatbaar}} ZV)$	51
C.4	Stap D - Bepaal de kans op overschrijding van toelaatbare inscharingslengte door een zettingsvloeiing per dijkvak per jaar $P(L > L_{\text{toelaatbaar}})_{\text{vak}}$	53

D Schema werkwijze beoordeling zettingsvloeiing 55

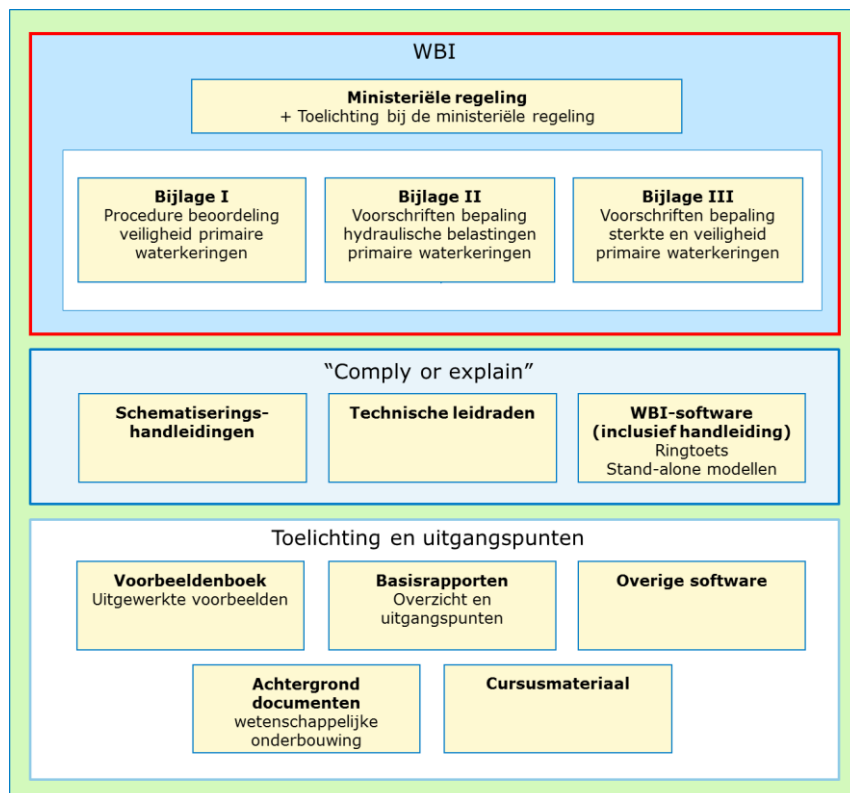
D.1	Toelichting op het schema werkwijze beoordeling	55
D.2	Schema werkwijze beoordeling Zettingsvloeiing voorland (VLZV)	56
D.3	Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Zettingsvloeiing voorland (VLZV)	56
D.3.1	Activiteit 'data verzamelen'	56
D.3.2	Activiteit 'schematiseren'	56
D.3.3	Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen'	57
D.3.4	Activiteit 'berekenen toetsoordeel'	57
D.3.5	Activiteit 'analyseren'	57
D.3.6	Toelichting bij de referenties	57

Schematiseringshandleidingen en WBI

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

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

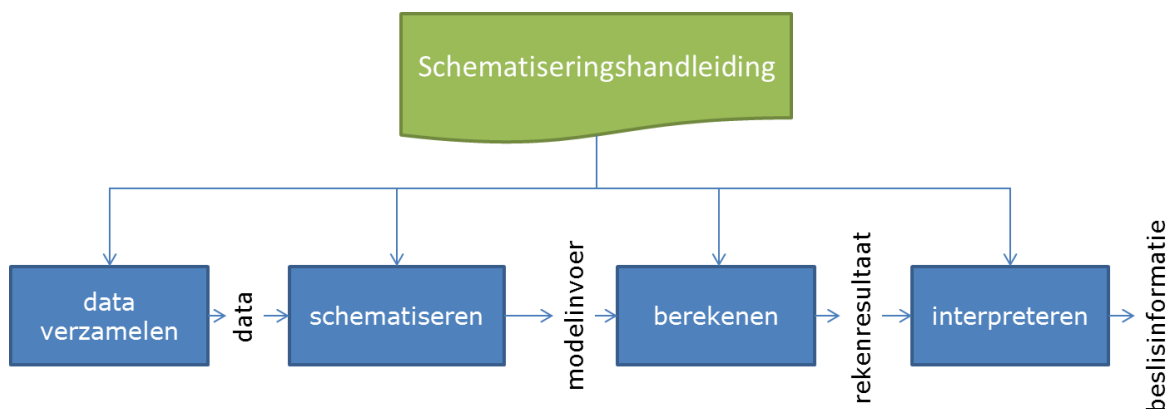
Het WBI bevat de voorschriften voor het uitvoeren van de beoordeling. In deze voorschriften wordt verwezen naar een aantal documenten en applicaties die de beheerder moet gebruiken bij het uitvoeren van de beoordeling, waaronder de schematiseringshandleidingen en de WBI software. Een overzicht van de structuur van het WBI en de daaraan gerelateerde documenten staat in Figuur 1.



Figuur 1 Het WBI 2017 en daaraan gerelateerde documenten

Doel

Het uitvoeren van een toets (eenvoudige toets, gedetailleerde toets per vak of toets op maat) voor het beoordelen van primaire waterkeringen bestaat op hoofdlijnen uit vier activiteiten, zie Figuur 2. In een schematiseringshandleiding wordt, gegeven een rekenmethode of model, de samenhang aangegeven tussen deze vier activiteiten: welke data benodigd is, hoe moet worden geschematiseerd, welke software hiervoor beschikbaar is en in sommige gevallen hoe de resultaten kunnen worden geïnterpreteerd.



Figuur 2 Activiteiten verbonden met een toets

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

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

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

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

Uitgangspunten

Voor alle schematiseringshandleidingen gelden de volgende uitgangspunten:

- Voor de gegevens die in het rekenmodel voor het toetsspoor worden ingevoerd wordt een format voorgeschreven. Het format sluit aan bij de Aquo standaard. Verdere informatie hierover is te vinden in de Handleiding datamanagement WBI [9].
- Deze schematiseringshandleiding ondersteunt gebruikers in het omzetten van (veld)gegevens naar de juiste rekenparameters en goede schematiseringen die in de beoordelingsmethoden kunnen worden toegepast.
- Deze schematiseringshandleiding geeft tevens aanwijzingen voor default waarden die voor parameters aangehouden kunnen worden als meetgegevens niet aanwezig zijn.

Doelgroep

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

1 Inleiding Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing

1.1 Uitgangspunten

Voor deze schematiseringshandleiding geldt:

- Voor het schematiseren van de ondergrond is een globale stochastische ondergrond schematisering, SOS, beschikbaar voor alle primaire waterkeringen in Nederland. Bij een beoordeling van een toetsspoor is deze globale schematisering het startpunt voor het maken van toepassingsspecifieke, lokale ondergrondschematisering. In deze schematiseringshandleiding wordt verwezen naar de desbetreffende handleiding. Zie Hijma en Kruse [10].
- 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.

1.2 Opbouw

De opbouw van de handleiding 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

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

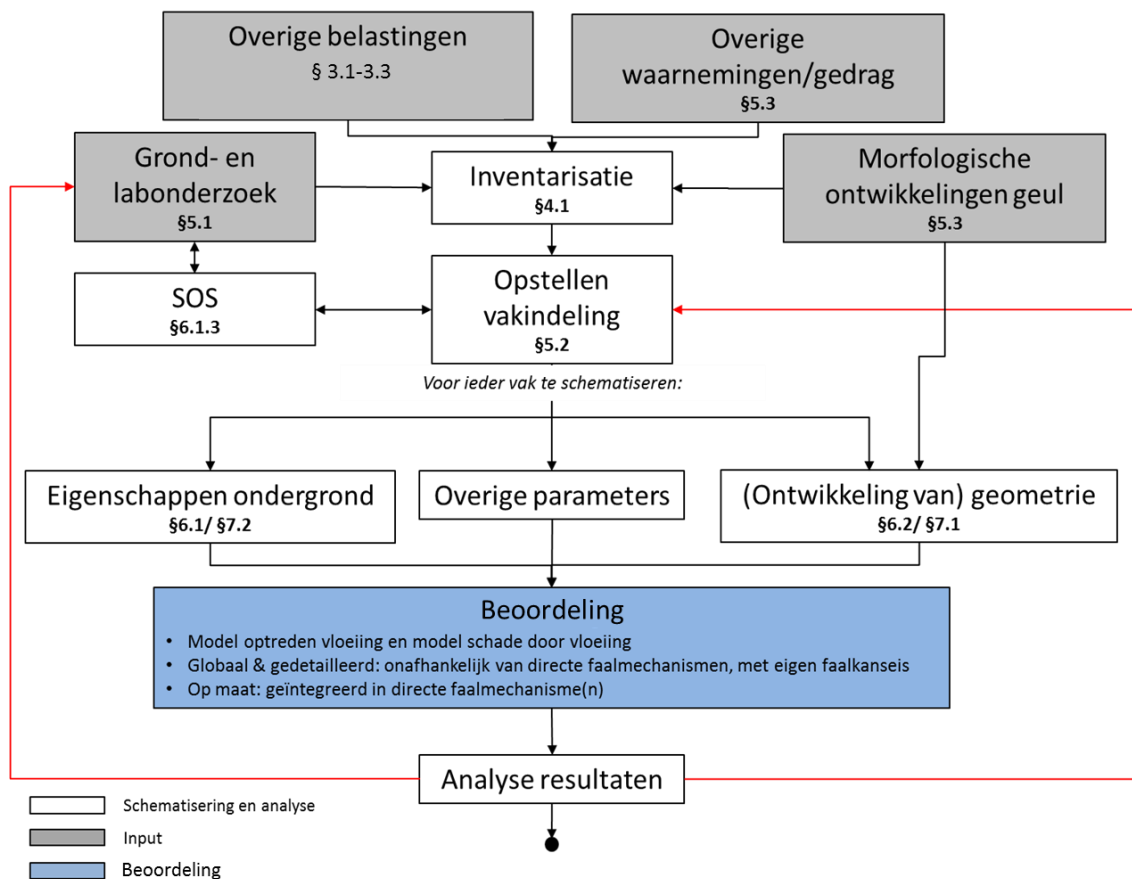
2 Stappenschema

2.1 Inleiding

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

2.2 Stappenschema

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



Figuur 2.1 Stappenschema schematisering t.b.v. een beoordeling op zettingsvloeiing

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. In het grootste deel van Nederland, waar zettingsvloeiingsgevoelige ondergrond aanwezig is, is de kans dat een snelle belasting optreedt die groter is dan de grootste belasting die meermaals per jaar optreedt, erg klein. 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 morfodynamische aspecten.
- Het verloop van de waterstand, de enige mogelijk relevante hydraulische belasting.

3.2 Morfodynamiek

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 korrel diameter, 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 beoordelings- 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 *bresvloeiing* waarschijnlijk ook het grootst zijn bij een zo snel en groot mogelijke daling van de buitenwaterstand.

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

4 Inventarisatie gegevens

Voordat aan de indeling in vakken begonnen wordt (volgende hoofdstuk), worden de beschikbare gegevens geïnventariseerd. Denk daarbij aan:

- Recente dijkverbeteringen en maatregelen op de vooroever zoals bestortingswerken of suppleties.
- SOS dat bestaat uit segmenten van honderden meters tot meerdere kilometers.
- Beschikbaar grond- en laboratoriumonderzoek, aanvullend op SOS (boringen en sonderingen in DinoLoket zijn meestal al gebruikt voor SOS).
- Historische vakindeling.
- Tijdreeksen van bathymetriën waaruit de morfologische ontwikkelingen af te leiden zijn.
- Informatie over aanwezige bestortingen.
- Ervaringen van de beheerder. Informatie van het al dan niet eerder opgetreden zijn van vloeingen geeft een indruk van de gevoeligheid voor vloeingen van een bepaald gebied. Tegenwoordig, nu onderwatergeometrieën gemeten (kunnen) worden met veel meer inzicht in detail dan vroeger, is het zinvol opeenvolgende recentere metingen met elkaar te vergelijken om te kijken naar (sporen van) kenmerken van opgetreden vloeingen/instabiliteiten.

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

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

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 De Bruijn et al 2015), hoeft geen rekening gehouden te worden met de vakindeling voor de directe faalmechanismen. Indien in een eventuele *toets op maat* verstoringprofielen 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.

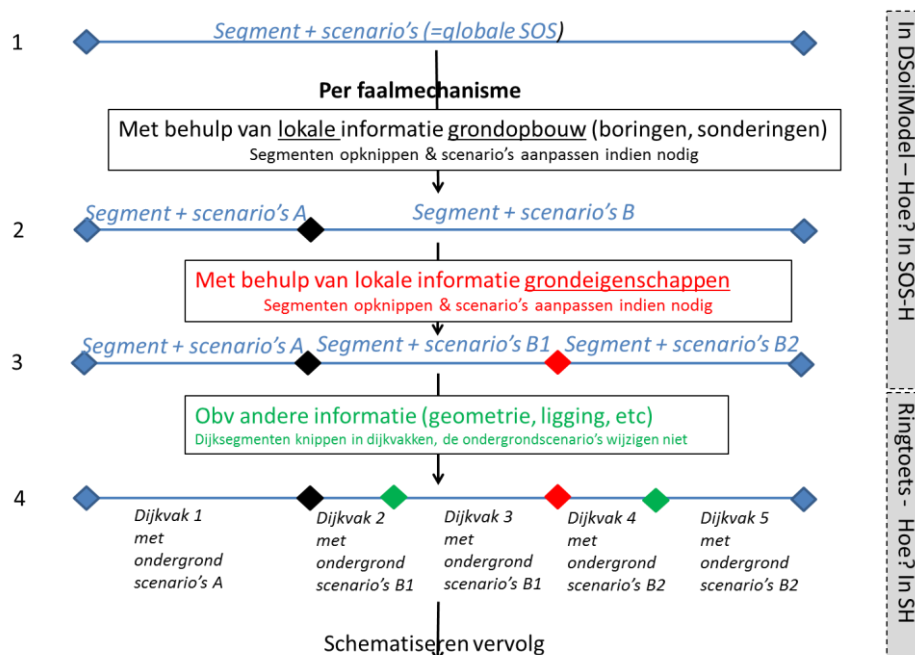
De minimale lengte van het vak wordt bepaald door de minimale omvang van een zettingsvloeiing. Hiervoor lijkt een waarde van 50 m redelijk. In principe is er geen maximum aan de te kiezen vaklengte.

5.2 Processtappen vakindeling

Onderstaand schema geeft de generieke processtappen om te komen tot een vakindeling. Startpunt (stap 1) zijn de segmenten en scenario's uit de 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 en Kruse [10].

Stap 4 wordt beschreven in de volgende paragraaf.



Figuur 5.1 Processtappen vakindeling (generiek voor alle toetssporen waarvoor de opbouw van de ondergrond relevant is) opmerking: voor zettingsvloeiing worden processtap 3 en 4 niet in Ringtoets uitgevoerd, omdat dit faalmechanisme daar geen onderdeel van is. In plaats daarvan kan de software D-FlowSlide gebruikt worden.

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.
 - Normklasse.
 - Historische vakgrenzen.
- Verder kan een knip gelegd worden op die locaties waar een duidelijke verandering is in de volgende sterkte- en belastingparameters (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 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 de Fenomenologische beschrijving [5] is 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.

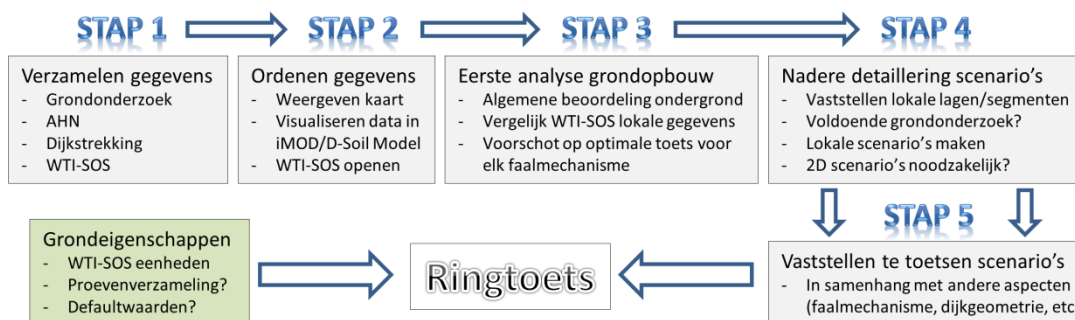
Tabel 6.1 Grondkarakteristieken in het voorland relevant voor verwekingsvloeiing/zettingsvloeiing

	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

Voor bepaling van de bodemopbouw zijn in principe twee bronnen beschikbaar:

- De 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 en Kruse [10]. 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 Overzicht van de vijf stappen die doorlopen moeten worden bij het lokaal schematiseren van de ondergrond. De "Grondeigenschappen" box voegt de benodigde grondeigenschappen toe die behoren bij de WTI-SOS eenheden. Dit kunnen default waarden zijn of lokaal vastgestelde waarden indien er voldoende informatie beschikbaar is. In geval van zettingsvloeiing wordt Ringtoets vervangen door DFlowSlide.

6.1.2

Dijksmateriaal

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.¹

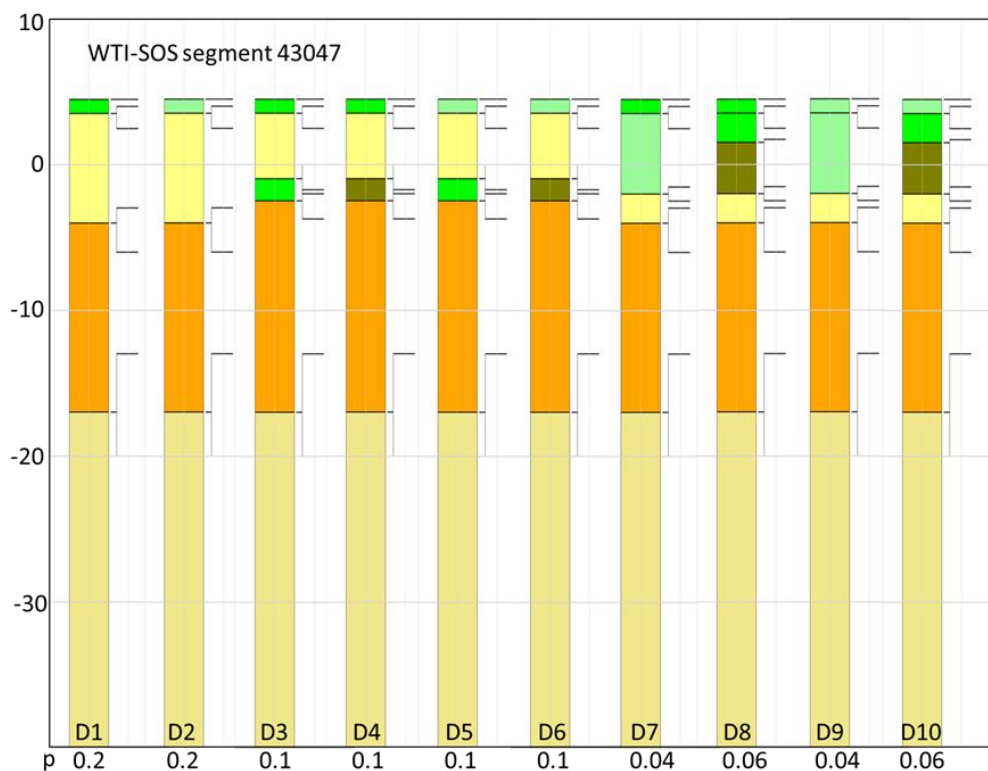
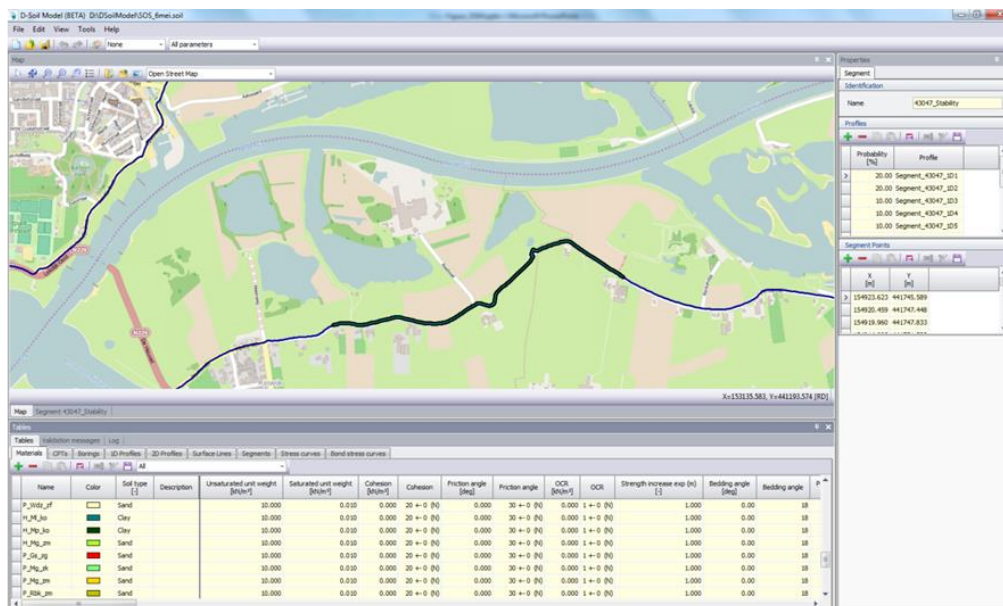
6.1.3

Stochastische Ondergrondschematisering (SOS)

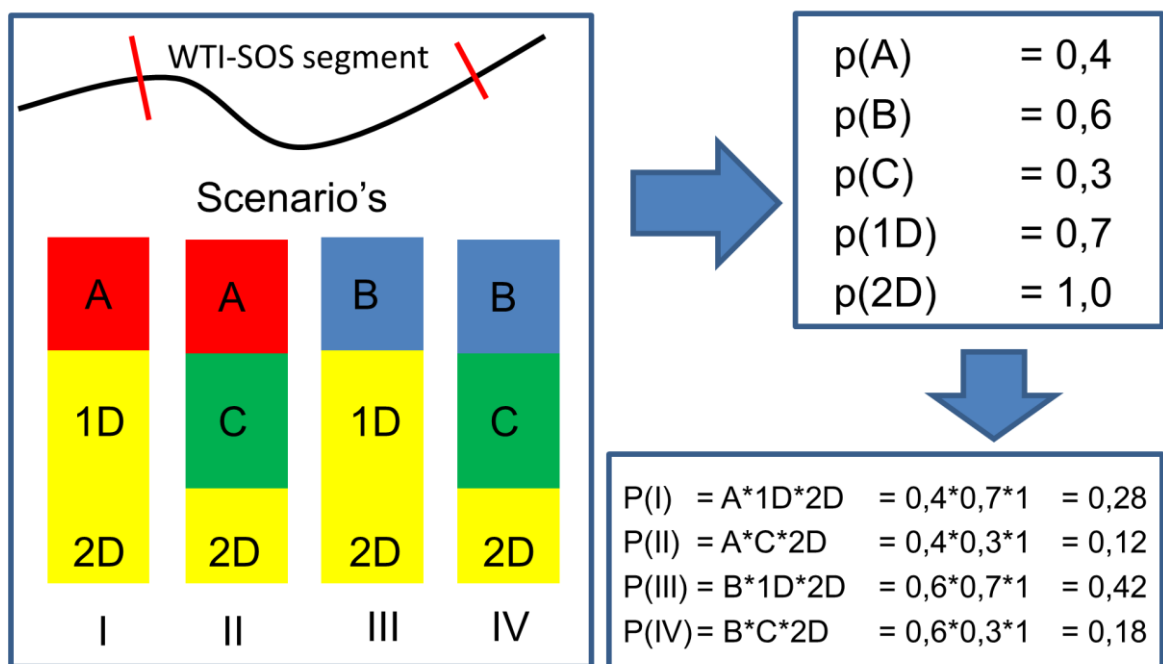
Voor alle primaire keringen in Nederland is een globale Stochastische Ondergrondschematisering (SOS) opgesteld met daarbij scenario's. Met deze globale Stochastische Ondergrondschematisering wordt de onzekerheid over de opbouw van de ondergrond in rekening gebracht. Een stochastisch ondergrondmodel bevat 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.

¹ In de eenvoudige en gedetailleerde toets speelt dit waarschijnlijk niet, omdat daar wordt nagegaan of de kans dat het verstoringsprofiel ten gevolge van een zettingsvloeiing de veiligheidszone van de waterkering overschrijdt voldoende klein is.



Figuur 6.2 Voorbeeld van de informatie uit WTI-SOS zoals beschikbaar in D-Soil Model. De kaart geeft de ligging aan van het WTI-SOS segment, in dit geval segment 43047. Onder de kaart staan de WTI-SOS scenario's voor dat segment, waarbij de minimale en maximale diepteligging van de top van de eenheden wordt aangegeven met streepjes (dit is een compilatie van screenshots uit D-Soil Model). Elk scenario wordt genummerd (D1-D_n) en de kans van aantreffen (p) wordt getoond. Voor dit voorbeeld zijn de namen van de eenheden toegevoegd aan het plaatje (zie voor meer informatie Hijma en Lam [8]).



Figuur 6.3 Bij het opstellen van WTI-SOS wordt de mogelijke grondopbouw in een segment samengevat in een aantal scenario's. Het linkerpaneel laat de scenario's zien die onderscheiden zijn en bestaan uit vier fictieve eenheden (A-D). Eenheid D heeft twee unieke voorkomens en deze voorkomens worden numeriek onderscheiden. Alle eenheden hebben een eigen kans van aantreffen toegekend gekregen (paneel rechtsboven). Door de kansen van aantreffen van de verschillende eenheden te vermenigvuldigen ontstaat er een kans van aantreffen voor het gehele scenario. De kans op aantreffen van scenario I is in dit voorbeeld 0,28 oftewel 28%.

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 de 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 SOS Hijma en Kruse[10].

6.1.4

Lokaal grondonderzoek

In Tabel 6.2 is een indicatie gegeven van de mogelijke omvang van het grondonderzoek en andere metingen behorende bij de verschillende toetsen 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 toets verfijnder wordt of de bodemopbouw meer risico's met zich meebrengt.

De 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.

Tabel 6.2 Globale indruk van benodigd grondonderzoek bij de verschillende toetsen op zettingsvloeiing

Fase beoordeling	Indicatie van benodigd grondonderzoek	
<i>Eenvoudige toets</i>	Geen grondonderzoek, de eenvoudige toets is een puur geometrische beoordeling	
<i>Gedetailleerde toets</i>	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 de SOS, Hijma en Kruse [10]. Bij voorkeur in het voorland eventueel extra (seismische) sonderingen, afhankelijk van ruimtelijke variatie van losgepakt zand- en siltlagen en/of korrelverdeling daarvan (volgens SOS). Bij voorkeur in voorland eventueel boringen ter bepaling van soort zand, stoorlaagjes, etc.	
<i>Toets op maat</i>	Faalmechanisme	
	Verwekingsvloeiing	Bresvloeiing
	archief- en kaartmateriaal (aanvullend t.o.v. 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) 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	archief- en kaartmateriaal (aanvullend t.o.v. SOS) extra boringen en sonderingen tot geulbodembodem (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	

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 vloeiing en, indien een vloeiing optreedt, de eventuele vervolgschade (het verstoringsprofiel). Zettingsvloeiingen hebben, wat de geometrie van het onderwatertalud betreft, de kleinste optredingskansen bij:

- Een flauwe helling.
- Geringe taludhoogte.
- Een holle taludvorm (taludhelling onderin flauwer dan bovenin).

Bij de beoordeling op zettingsvloeiing moet worden uitgegaan van de meest ongunstige geometrie binnen de beoordelingsperiode. 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 *eenvoudige* en de *gedetailleerde toets* 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

Geometrie

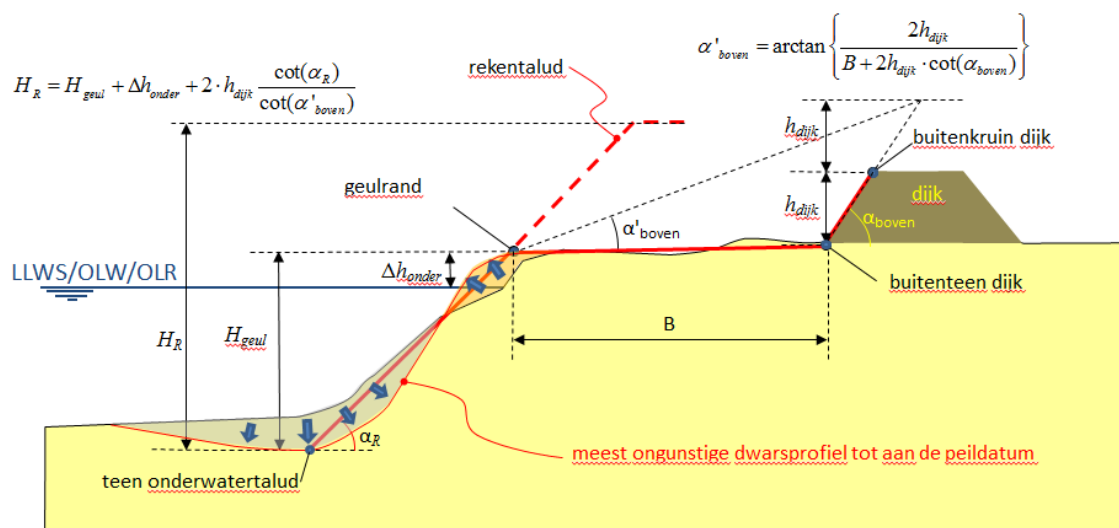
Startpunt voor het bepalen van de meest ongunstige geometrie in de beoordelingsperiode is de bestaande geometrie. Bij dijken langs een getijgeul of rivier kan de bestaande geometrie worden bepaald uit peilingen (singlebeam of multibeam echolodgingen). Bij voorkeur worden peilingen bij hoogwater uitgevoerd, 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. Op basis van de verwachte beweeglijkheid van het onderwaterprofiel (volgende paragraaf) kan een schatting van de meest ongunstige geometrie gemaakt worden.

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 Rijkwaterstaat document "Referentiewaarden waterstanden" [14]. Voor een verdere toelichting zie paragraaf 7.1.4.

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.

De formules waarmee H_R en α_R worden berekend staan in de figuur.



Figuur 6.4 Geschematiseerde geometrie, met bepaling rekentaludhoogte H_R en rekentaludhelling α_R , ten behoeve van de eenvoudige en de gedetailleerde toets voor zettingsvloeiing

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

6.2.3

Beweeglijkheid van het onderwaterprofiel

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.

Overwegingen bij vereiste frequentie peilingen vooroever

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

- hoe ver het beschouwde dijktraject 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 nagegaan wordt of een vloeiing tot schade aan een eventueel aanwezige bestorting leidt, zal de toelaatbare faalkans waar op beoordeeld wordt uiteraard hoger zijn dan wanneer nagegaan 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 stroomvernaauwing) 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 *eenvoudige* en *gedetailleerde toets* representeert.

6.2.4 Vooroeverbetorting

Daar waar het onderwatertalud 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 rekengeulhoogte- en helling die gebruikt worden voor het bepalen of een vloeiing kan optreden en voor de inscheringlengte indien een vloeiing optreedt. Een vooroever kan volledig of gedeeltelijk bestort zijn. Een volledig bestorte vooroever houdt in dat een aaneengesloten bestorting aanwezig is van het diepste punt van de geul tot aan de teenbestorting van de dijk of buitenteen van de dijk. Bij een gedeeltelijk bestorte vooroever kan sprake zijn van een bestorting in het bovenste deel van het talud, die aansluit op de

teenbestorting of buitenteen van de dijk, of een bestorting in het onderste deel van het talud, beginnend vanuit het diepste punt van de geul.²

6.2.5 *Ontgrondingskuilen in geulbodem*

Als de geulbodem niet vlak is maar ontgrondingskuilen heeft, wordt aanbevolen op basis van de globale en gedetailleerde schadelijkheids- en optredingscriteria voor afschuiving voorland en zettingsvloeiing uit WBI 2017 Bijlage III Sterkte en veiligheid toe te passen op de helling van de ontgrondingskuil (gegeven meest ongunstige geometrie in beoordelingsperiode). Startpunt van het signaleringsprofiel in het schadelijkheids criterium is de teen van de geulhelling of onderrand van eventueel aanwezige bestorting. Als daaruit volgt dat een afschuiving of vloeiing in de kuilhelling niet schadelijk is of niet kan optreden, hoeft de ontgrondingskuil niet geschematiseerd te worden. Anders dient de kuil mee geschematiseerd te worden in de bepaling van de (reken)geuldiepte en –helling of dient een toets op maat te worden uitgevoerd.

² Welke (reken)geuldiepte precies in rekening gebracht moet worden voor bepaling van de optredingskansen en inscharringsprofiel (alleen de onbestorte hoogte of ook de bestorte hoogte meenemen) is nog onderwerp van onderzoek (wat bijvoorbeeld in een *toets op maat* kan plaatsvinden). Aanbevolen wordt vooralsnog 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 bepaling van de rekengeuldiepte voor optreden of geuldiepte voor inscharring, maar de gehele oever erboven moet worden meegerekend als verwekingsgevoelig. Dit geldt dus ook voor eventuele bestortingen die aansluiten op de teen.

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 is 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 6.4 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 beoordelingsperiode een invoerparameter en benodigd om de meest ongunstige geometrie in de beoordelingsperiode te bepalen.

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 verstoringsprofiel).).

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 **Error! Reference source not found..**

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 **Error!**

Reference source not found.), die in de eenvoudige en gedetailleerde toets gebruikt wordt om het optredingscriterium te controleren 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.

Als de geulbodem niet vlak is maar erosiekuilen heeft, wordt verwezen naar paragraaf 6.2.5.

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 **Error! Reference source not found..** 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 *Laag Laagwaterstand 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 *Referentiewaarden waterstanden* [14].

7.1.5 *Equivalente oevertmigratiesnelheid 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 **Error! Reference source not found.**

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 vloeiing in de meeste gevallen niet optreden.

7.1.7 *Begin- en eindpunt vooroeverbetorting vanuit geul*

Wat is het

Begin en eindpunt van de vooroeverbetorting onderaan het onderwatertalud [m in horizontale richting t.o.v. geulrand]. Zie **Error! Reference source not found..**

Hoe te bepalen

Tekeningen waarop maatregelen op de vooroever zoals betortingswerken of suppleties staan. Op locaties waar uit peilingen volgt dat sprake is van erosie (verschilbathymetriën), volgt vaak ook de locatie van betortingen. Technieken om de aanwezigheid (dikte, continuïteit) van vooroeverbetortingen te controleren zijn nog in ontwikkeling. De meeste geschikte thans beschikbare techniek voor het vaststellen van de aanwezigheid van betorting 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 de 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 kleef 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 [16], waarin de soil type index $I_{c,JD}$ berekend wordt:

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

Waarin:

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

met:

u_2 de poriewaterdruk gemeten achter de conus [-].

u_0 de steady state poriewaterdruk is [-].

F_r het genormaliseerde wrijvingsgetal: $F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma'_{v0}} [-]$.

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

met:

q_t conusweerstand gecorrigeerd voor poriewaterdruk [MPa],

f_s wrijvingsgetal [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]: $\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u_0$.

Tabel 7.1 geeft soil types voor de verschillende ranges van $I_{c,JD}$.

Tabel 7.1 Relatie tussen $I_{c,JD}$ en soil type

$I_{c,JD}$	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 [18] blijkt deze methode in vergelijking met andere classificatiemethoden de meest geschikte voor de Nederlandse ondergrond. Indien daar aanleiding voor is kunnen uiteraard 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 [12], waarin ook de aspecten aging en cementatie worden beschouwd, welke mogelijk van belang zijn voor verwekingsgevoeligheid van zand.
- Schneider et al [2], waarin onderscheid wordt gemaakt in de mate van drainage tijdens het indringen van de conus.

Volgens Van den Ham [18] zouden deze methoden eerst verder onderzocht moeten worden om vast te stellen of dit (betere) alternatieven zijn voor de methode van Jefferies & Davies [16].

7.2.2 *Vergelijken lokaal grondonderzoek met SOS*

Het updaten van de SOS met lokaal grondonderzoek tot een lokaal stochastisch ondergrondmodel wordt beschreven in Hijma en Kruse [10].

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 vooralsnog 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 de 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 [m].

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 [m].

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 state parameter is een maat voor de verwekingsgevoeligheid van zand. Meer precies is het het verschil tussen het actuele poriëngetal van het zand en het poriëngetal van het zand in critical state bij dezelfde spanning.

Hoe te bepalen

De waarde van de state parameter wordt bepaald volgens de methode van Shuttle en Jefferies [4], voor de zand- en siltlagen waarvan de onder- en bovengrenzen zijn bepaald op basis van de 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} .

De state parameter kan het makkelijkst bepaald worden uit een sondering. Minimaal moet een standaard (elektrische) druksondering met meting van de kleef 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 [18] wordt aanbevolen de methode van Shuttle en Jefferies [4] te gebruiken:

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

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

De coëfficiënten k en m worden gegeven in (7.4) en (7.5). Q_p is de genormaliseerde dimensieloze conusweerstand:

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

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].
- σ_1, σ_2 en σ_3 zijn de spanningen in de drie principiële spanningsrichtingen; het accent geeft aan dat het om effectieve spanningen gaat.

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 de neutrale gronddrukcoëfficiënt is: $K_0 \approx 1 - \sin(\phi')$, waarin ϕ' de effectieve wrijvingshoek is en $\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u_0$, 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:

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

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:

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

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

Aandachtspunten

Als het zand > 5% fines bevat en het zand zich niet volledig gedraineerd gedraagt tijdens conus indringing, dus $B_q \neq 0$ of $I_{c,JD} > 1,90$, is de methode van Shuttle en Jefferies [4] 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 indringingssnelheid 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

Equivalent 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.³

³ Het plan bestaat om voor alle 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}

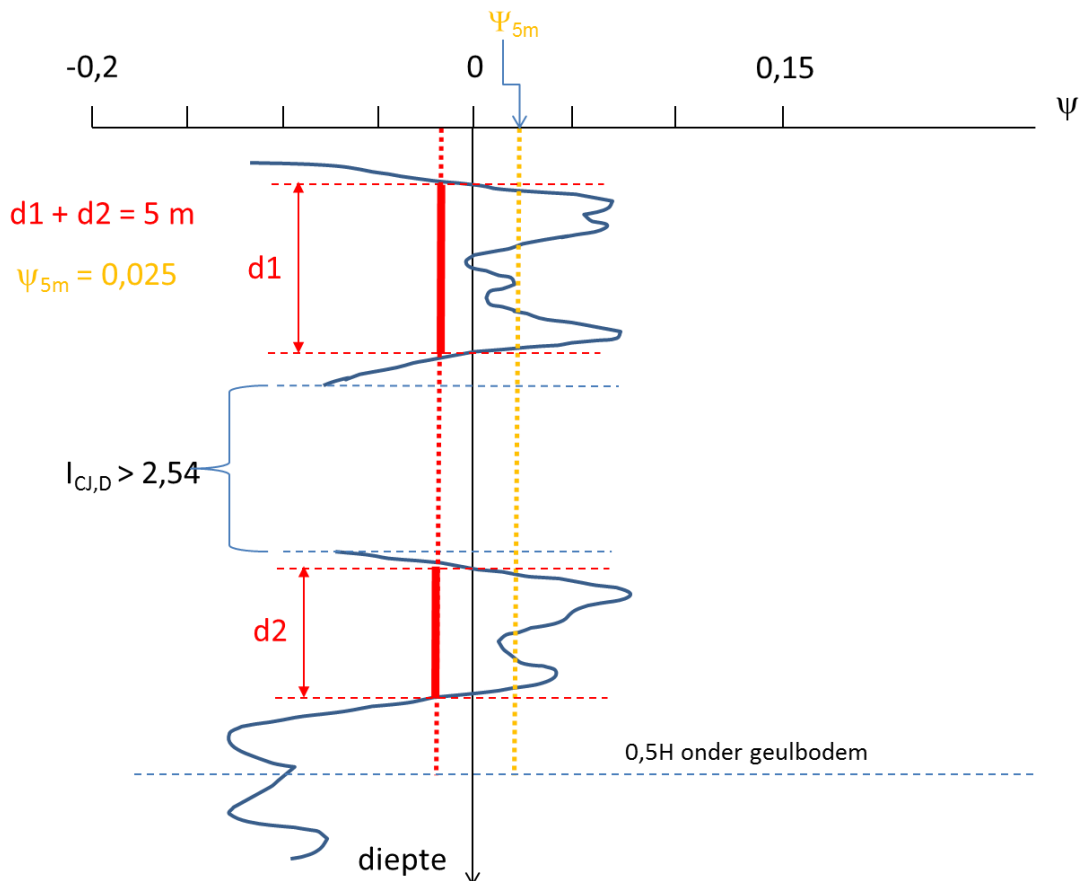
Wat is het

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 bepalingwijze is schematisch weergegeven in Figuur 7.1.

Indien de (nog vast te stellen) defaultwaarden uit SOS eenheid niet worden gebruikt, kan volgens de methode beschreven in paragraaf 7.2.3.4 onderstaand voorbeeldprofiel 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 7.1 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 $d_{50, gemiddeld}$

Wat is het

De waarde van de 50-percentiel waarden van de korrelverdeling [m], 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. NAP]. Het gemiddelde betreft een gewogen gemiddelde, waarbij de weegfactor de dikte van de laag met een bepaalde waarde van d_{50} is. De d_{50} per zand- en siltlaag is gedefinieerd volgens de procedure in paragraaf 7.2.3.2.

Hoe te bepalen

In eerste instantie kan gebruik gemaakt worden van de default rekenwaarden van de d_{70} die per SOS eenheid worden gegeven in schematiseringshandleiding piping (gebaseerd op de VNK database). De karakteristieke waarde van de $d_{50, gemiddeld}$ 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 $d_{15, gemiddeld}$

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. NAP]. Het gemiddelde betreft een gewogen gemiddelde, waarbij de weegfactor de dikte van de laag met een bepaalde waarde van d_{15} is. De d_{15} per zand- en siltlaag is gedefinieerd volgens de procedure in paragraaf 7.2.3.3.

Hoe te bepalen

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

8 Voorbeeld

8.1 Introductie

In dit voorbeeld worden de schematiseringsstappen doorlopen voor de twee toetsen: de *eenvoudige* en de *gedetailleerde toets*.

8.2 Belastinggevallen

Dit voorbeeld betreft een dijkstuk met een zandige vooroever. De aangelegen rivier heeft invloed op de sedimentatie en erosie van het voorland, dat van invloed is op de schematisering van het dijkstuk. Daarnaast kunnen fluctuerende waterstanden een inleidend mechanisme voor zettingsvloeiing zijn.

8.3 Inventarisatie gegevens

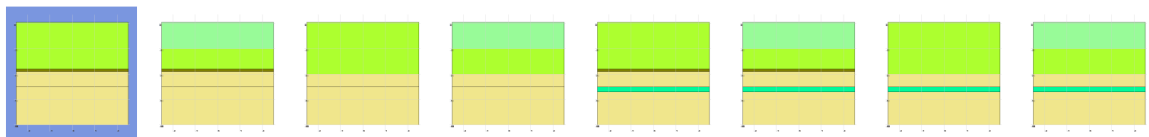
Een inventarisatie van de beschikbare data levert de benodigde informatie om tot een vakindeling te komen. Vanuit eerdere beoordelingen en andere geologische data-bronnen zijn in dit geval de volgende gegevens al beschikbaar:

- SOS model (dekkend in dit gebied).
- Relatief veel sonderingen (waarvan enkele met meting van waterspanning, u_2) 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.

8.4 Vakindeling

Allereerst wordt de vakindeling conform SOS aangehouden. Dit segment is ca. 3,0 km lang en bevat 8 ondergrondscenario's in de 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 de 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 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 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 de toetsprocedure gedaan, aangezien de verfijning van de schematisering samen gaat met de opeenvolgende toetsen.

8.5

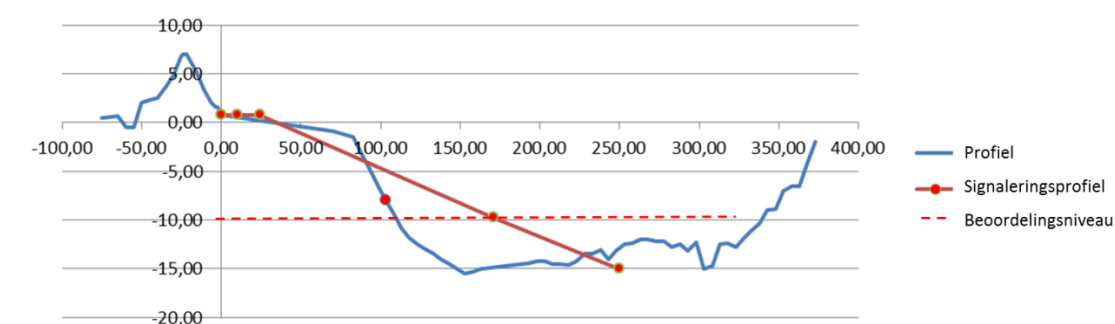
Eenvoudige toets

De *eenvoudige toets* is een geometrische toets, waarbij wordt nagegaan of het verwachte meest ongunstige profiel in de beoordelingsperiode (in dit voorbeeld 5 jaar) voldoet aan het schadelijkheids- en optredingscriterium. 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 de SOS (volgende paragraaf) valt te zien dat in enkele 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 dijktraject 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. Daarop is te zien dat ter plaatse van dijkvak 4 en 6 vooroeverbetasting aanwezig is. In het beschouwde dijkvak 3 is er geen bestorting aanwezig. Op het beoordelingsniveau wordt nagegaan 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 E.1. Dus wordt doorgeslagen naar toetsstap E.2.

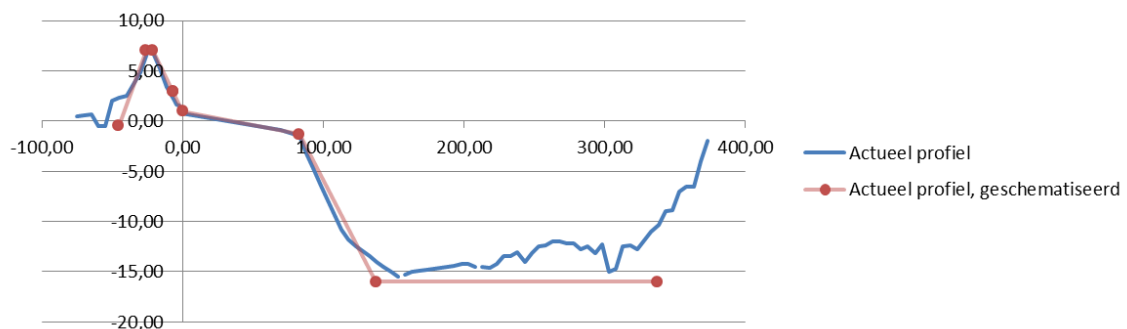


Figuur 8.2 Representatief profiel voor dijkvak 3 met signaleringsprofiel en beoordelingsniveau ten behoeve van de eenvoudige toets

Voor de eenvoudige toetsstappen E.2 en E.3 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 de 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.

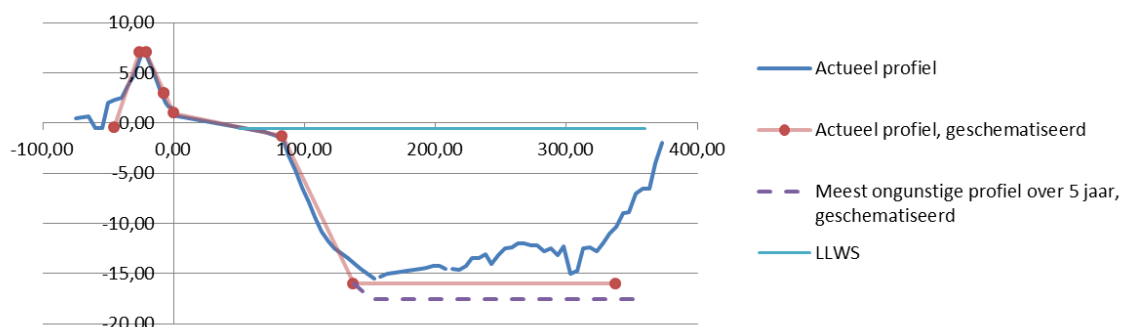


Figuur 8.3 Geschematiseerd profiel dijkvak 3

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" [14] 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 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 $0,27 \cdot 3,2 = 0,87 \text{ m/jaar}$.

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 toets.



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

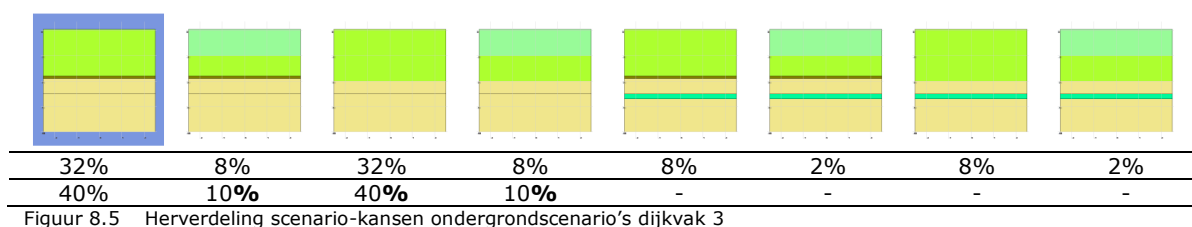
Op de side scan sonar beelden is geen bestorting op het voorland en/of het talud te zien. Er hoeft dus geen locatie van het einde van de bestorting gedefinieerd te worden.

Aan de hand van de geschematiseerde geometrie kunnen de toetsstappen E.2 en E.3 doorlopen worden. Indien er niet voldaan wordt aan deze *eenvoudige toets*, zal volgens de procedure een *gedetailleerde toets* uitgevoerd moeten worden. Hiervoor zal ook de ondergrond geschematiseerd moeten worden.

8.6

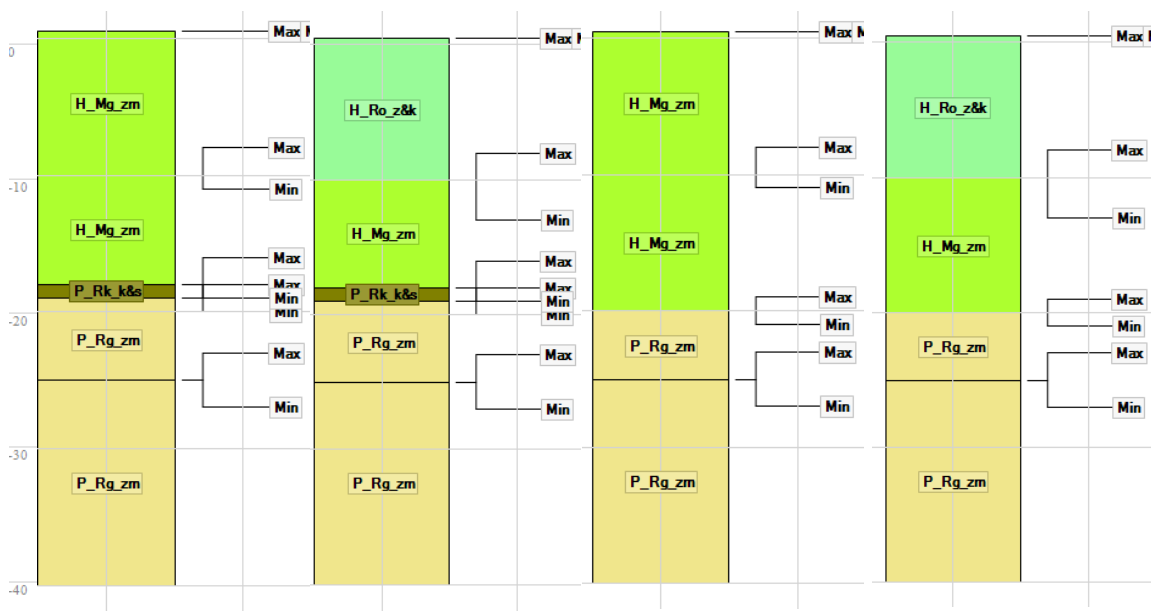
Gedetailleerde toets

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 Hervdeling 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 Ondergrondscenario'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 geulbodem 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 top laag (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. Op basis van de sondeerbeelden lijken er in scenario's 1 en 3 relatief weinig kleilaagjes voor te komen en wordt een factor van 1/3 gebruikt, in scenario's 2 en 4 komen meer kleilaagjes voor en 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 op zettingsvloeiing per scenario worden berekend. Vervolgens kan de optredingskans zettingsvloeiing voor alle scenario's worden gecombineerd. Vervolgens kan de kans van overschrijden van de maximale inscharingslengte gegeven een vloeiing en de overschrijdingskans voor het dijkvak berekend worden. In deze stap wordt de kans op een inscharingslengte die voorbij de invloedszone van de dijk komt bepaald. Uit de legger of stabiliteitsberekeningen blijkt dat het voorland 83 m lang is en de invloedszone 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:

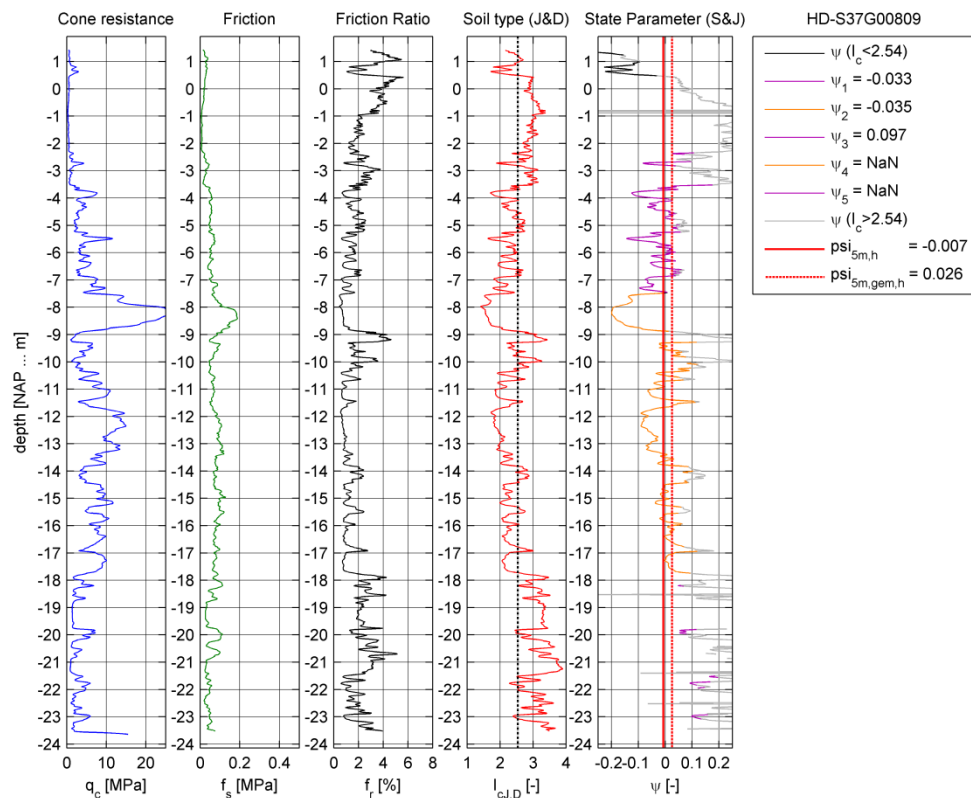
Grond parameters	scen 1	scen 2	scen 3	scen 4
$\psi_{5m, kar}$	0,1000	0,0500	0,1000	0,0500
$d_{50, gem, kar}$	1,50E-04	1,50E-04	1,50E-04	1,50E-04
F_{coh}	0,33	3,33E-01	1,00	1,00E+00
V_{lokaal}	0,87	8,70E-01	0,87	8,70E-01
$V_{Zeeland}$	1,00	1,00E+00	1,00	1,00E+00
Optredingskans zettingsvloeiing				
F(ZV)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

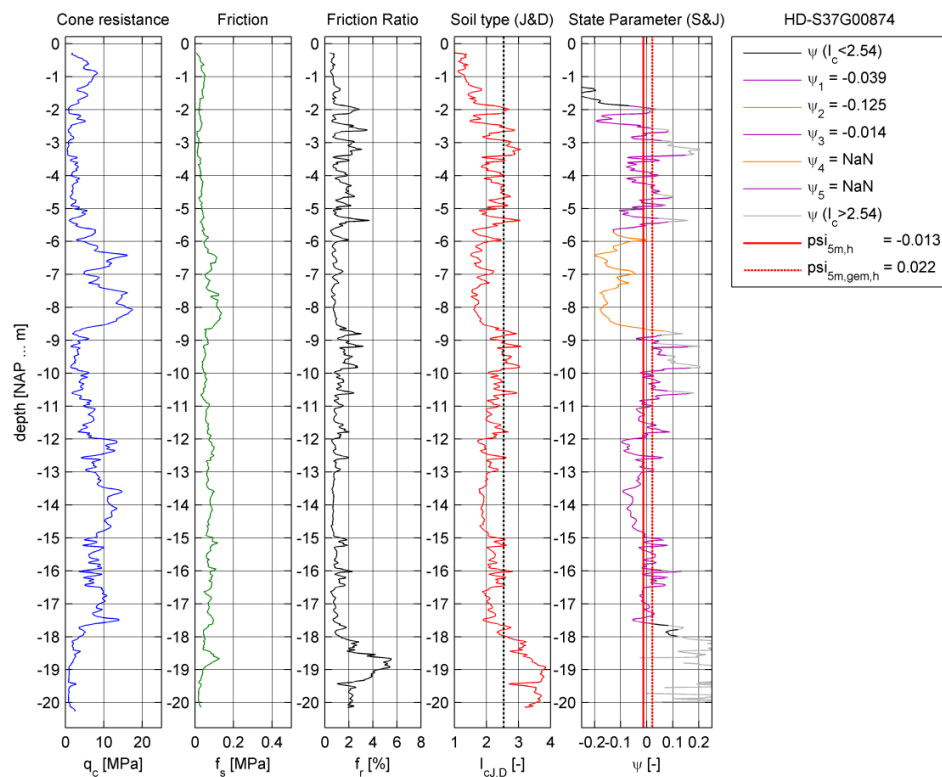
som P(fZV) over Si	3,89E-01	38,90%
P(L>Lforeland)	1,46E-01	14,58%
P(ZV) * P(L>Lforeland)	5,67E-02	5,67%
Norm	2,00E-03	0,20%
	voldoet niet	

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 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 mogen 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.

8.7

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 toetsen dus niet tot een oordeel "goed" worden gekomen. Mogelijk valt het resultaat 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 beoordeling 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 stap uit te voeren, omdat deze met redelijk beperkte inspanning uitgevoerd kan 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.

Als dit punt geen oplossing biedt kan gedacht worden aan:

- Meer lokaal grondonderzoek bestaande uit extra sonderingen en/of boringen. Hiermee kunnen wellicht SOS scenario's aangepast 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.

Verantwoording

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

Schrijver:

G.A. van den Ham (Deltares).

Regie:

J. van der Hammen (RWS).
K.S. Lam (Deltares).
M.M. de Visser (Arcadis).

Review:

T.P. Stoutjesdijk (Deltares).
R. Slomp (RWS).

Eindredactie:

R. 't Hart (Deltares).
A. Bizzarri (RWS).
M. Hazelhoff (RWS).

Eindcontrole:

R.M. Slomp (RWS).
J.G. Knoeff (Deltares).
M. Bottema (RWS).

A Literatuur

- [1] *A semi-empirical method to assess flow-slide probability.* G.A. van den Ham, M.B. de Groot en D.R. Mastbergen. In: Krastel et al (eds): Proceedings of the 6th International Symposium Submarine mass movements and their consequences, pp. 213 - 223. 2014.
- [2] *Analysis of factors influencing soil classification using normalized piezocone tip resistance and pore pressure parameters.* J.A. Schneider, M.F.Randolph, P.W. Mayne and N.R. Ramsey. Journal Geotechnical and Geo-environmental Engrg. 134 (11): 1569-1586. 2008.
- [3] *CUR Aanbeveling Oeverstabiliteit bij zandwinputten.* CUR113. Gouda, 2008
- [4] *Dimensionless and unbiased CPT interpretation in sand.* D.A. Shuttle and M.G. Jefferies. International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics 22, pp. 351 – 391, 1998.
- [5] *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI.* Rijkswaterstaat - Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- [6] *Field Measurements to Investigate Submerged Slope Failures.* T.A. van Duinen, A. Bezuijen, G.A. van den Ham en V. Hopman, In: Krastel et al (eds): Proceedings of the 6th International Symposium Submarine mass movements and their consequences, pp. 13 - 21. 2014.
- [7] *Flow slide prediction method: influence of slope geometry.* T.P. Stoutjesdijk, M.B. de Groot and J. Lindenberg. Canadian Geotechnical Journal 35, pp. 34 – 54. 1998.
- [8] *Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen.* M.P. Hijma, K.S. Lam. Deltares rapport 1209432-000-GEO-0006. Delft, september 2015.
- [9] *Handleiding datamanagement WBI 2017.* Rijkswaterstaat - Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- [10] *Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS.* G. Kruse, M. Hijma . Deltares rapport 1209432-004-GEO-0002, Delft, december 2015.
- [11] *Handreiking Toetsen Voorland Zettingsvloeiing t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde.* Uitgave: Rijkswaterstaat, oktober 2012.
- [12] *In situ test characterisation of unusual soils.* F. Schnaid, B. M. Lehané and M. Fahey, Keynote Lecture. Proc. 2nd Int. Conf. Geotech. Geophys. Site Characterisation, Porto 1, 49–74. 2004.
- [13] *Probabilistic seismic hazard assessment for the Netherlands.* Th. de Crook. Geologie en Mijnbouw 72: 1-13, 1993.
- [14] *Referentiewaarden waterstanden.* Rijkswaterstaat.
http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Referentiewaarden%20waterstanden_tcm174-326696.pdf, Rijkswaterstaat, 1985.
- [15] *Resultaten van het vooroeveronderzoek langs de Zeeuwse stromen.* N.H. Wilderom, Rijkswaterstaat Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Nota 75.2, januari 1979.

- [16] *Soil classification by the cone penetration test: Discussion.* M.G. Jefferies, M.P. Davies, Canadian Geotechnical Journal 28, 1, pp 173-468. 1991.
- [17] *Stormvloedkering Oosterschelde: ontwikkeling ontgrondingskuilen en stabiliteit bodembescherming, Hoofdrapport.* T.P. Stoutjesdijk, D.R. Mastbergen en M.B. de Groot. Deltares rapport 1206907-005-GEO-0004. Delft november 2012.
- [18] *WTI cluster Indirecte faalmechanismen – Update of detailed assessment method on flow slides - final.* G.A. van den Ham, Deltares rapport, kenmerk 1209439-002-GEO-0001, mei 2015.

B Parameterlijst

B.1 Schematisering

Toetspoor	WT-ID	letters/symbolen	Code (Aqso)	Begrip/ WT-parameter	Vertaling	Grootheid (Aqso)	Object (Aqso)	Eenheid (Aqso)	Hoedanigheid (Aqso)	Betrekking op object (Aqso)	Waardebepalingsmethode (Aqso)	Overiglocatie	Waardebepalingsmethode	Toetslaag	Al te leiden uit	Opmmerkingen
Zettingsvloeiingen	S01			Geometrie boven waterlijn (geopiet 10 jaar)	Geometry below water line past 10 years								Schematiseringshandleiding zettingsvloeiingen	1		
Zettingsvloeiingen	S02			Geometrie boven waterlijn totaal buitenkruin dijk	Geometry above water line until outer crest dike								Schematiseringshandleiding zettingsvloeiingen	1		
Zettingsvloeiingen	S03			Langte steenbeshoring vanaf buitenkruin dijk	Length of ramp from toe dike towards the under water slope								Schematiseringshandleiding zettingsvloeiingen	1		
Zettingsvloeiingen	S04			Laagseheidsmodel van de ondergrond	Subsurface layer model								Schematiseringshandleiding zettingsvloeiingen	1		Met V08 om V12 kan soil type index te len
Zettingsvloeiingen	S05	d_{s0}		d_{s0} per zandlaag > 1m	d_{s0} per sand layer > 1m	Korrelgrootte	Zandlaag	m	-		50-percentiel (mediaan)		Schematiseringshandleiding zettingsvloeiingen	1		
Zettingsvloeiingen	S06	d_{s1}		d_{s1} per zandlaag > 1m	d_{s1} per sand layer > 1m	Korrelgrootte	Zandlaag	m	-		15-percentiel		Schematiseringshandleiding zettingsvloeiingen	1		
Zettingsvloeiingen	S07	γ_{sat}		Verzadigd volumiek gewicht per grondlaag	Soil unit weight saturated (below phreatic level)	Volumiek gewicht	Grondlaag	kN/m ³	Verzadigd		-		Schematiseringshandleiding zettingsvloeiingen	1 en 2		
Zettingsvloeiingen	S08	γ_{unsat}		Onverzadigd volumiek gewicht per grondlaag	Soil unit weight unsaturated (above phreatic level)	Volumiek gewicht	Grondlaag	kN/m ³	Onverzadigd		-		Schematiseringshandleiding zettingsvloeiingen	1 en 2		
Zettingsvloeiingen	S09	I_{CL}		Soil type index vlg Jaffres & Davies (1991)	Soil type index according to Jaffres & Davies (1991)	Soort	Grondsoort	dimensieloos					Schematiseringshandleiding zettingsvloeiingen	2		
Zettingsvloeiingen	S10	ν		State parameter	State parameter	Staat parameter	Grondlaag	dimensieloos				Minimale laagdikte van 0,5 m	Schematiseringshandleiding zettingsvloeiingen	2		
Bijlage																
Legenda																
				Verstelt nog verdere toelichting												
				Geen parameter maar coördinaten, constante of een groep van parameters												
				Hydraulische parameter												
Kolommen																
Grootheid				Eik begrip dat een kwalitatieve uitspraak over een kenmerk van een entiteit bevat dat op een numerieke schaal geordend en gemeten kan worden. Voorbeelden: lengte, volume, massa, snelheid, concentratie, golfhoogte												
Object				Voorwerp, zaak of persoon die beschouwd of behandeld wordt als zodanig												
Eenheid				De dimensie van de grootheid waarin een parameter wordt uitgedrukt. Zo mogelijk wordt de dimensie in SI-eenheden volgens NEN-norm 1000 uitgedrukt.												
Hoedanigheid				De vorm waarin de eenheid behorend bij een meetwaarde wordt uitgedrukt of de fractie van de parameter waarop de meetwaarde betrekking heeft. De vorm van de eenheid kan een equivalent zijn waarin de meetwaarde wordt uitgedrukt, als ware het een andere vergelijkbare parameter. Hoedanigheid kan in dit geval ook betrekking hebben op de grootheid												
Betrekking op object				Hoedanigheid die betrekking heeft op het object												
Waardebepalingsmethode				Aanduiding van de manier waarop een reeks meetwaarden (rekenkundig) bewerkt zijn.												

B.2 Modelinvoer

Toetspoor	WT-ID	letters/symbolen	Omschrijving	Grootheid	Object	Eenheid	Hoedanigheid (Aqso)	Betrekking op object (Aqso)	Waardebepalingsmethode (Aqso)	Overiglocatie	Waardebepalingsmethode	Toetslaag	Al te leiden uit
Dimensies													
Zettingsvloeiingen	M01	$\cotan \alpha_R$		Taludhelling		-	-					2	profiel
Zettingsvloeiingen	M02	H_{RS}		Hoogte		m						2	profiel
Zettingsvloeiingen	M03	H_R		Hoogte		m						2	profiel
Zettingsvloeiingen	M04	$\cotan \alpha_{90}$		Helling		-						2	profiel
Zettingsvloeiingen	M05	S_{ZV}		lengte		m	-					2	profiel
Zettingsvloeiingen	M06			lengte		m	-					2	profiel
Zettingsvloeiingen	M07	M_{rel}		lengte		m	-					2	profiel
Materiaaleigenschappen													
Zettingsvloeiingen	M08	d_{50}		Korrel diameter		m	-		NEN/RAW			1 en 2	bodemmodel
Zettingsvloeiingen	M09	d_{15}		Korrel diameter		m	-		NEN/RAW			1 en 2	bodemmodel
Zettingsvloeiingen	M10	k		Doorlatendheid		m/s	-		TR Voorland			2	bodemmodel
Zettingsvloeiingen	M11	V_{90}		-		-	-		TR Voorland			2	bodemmodel
Zettingsvloeiingen	M12	$F_{cohesionlayers}$		Factor	-	-	-		TR Voorland			2	bodemmodel
Overige													
Zettingsvloeiingen	M13	V_{mixal}		Oevermigratiesnelheid		m/jaar	-		TR Voorland			2	-
Zettingsvloeiingen	M14	P_{EG}	Kans op een ondergrondspbouwsenario voor het faill	Kans		-	-		n.t.b.			2	keuring

C Rekenregels voor gedetailleerde toets op zettingsvloeiing

C.1 Stap A - Bepaal optredingskans zettingsvloeiing per ondergrondscenario $P(ZV|S_i)$ voor het betreffende vak

Eerst wordt de frequentie van optreden $F(ZV|S_i)$ berekend met:

$$F(ZV | S_i) = \left(\frac{5}{\cot \alpha_R} \right)^5 \cdot L_{vak} \cdot \frac{V_{lokaal}}{V_{zeeland}} \cdot 0,025 \cdot \left\{ 0,5 \cdot \left(\frac{H_R}{24} \right)^{2,5} \cdot \left(\frac{1}{10} \right)^{-10(0,05 + \psi_{5m,kar})} + 0,5 \cdot \left(\frac{H_{geul}}{24} \right)^5 \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^{-4}}{d_{50, gemiddeld, kar}} \right)^5 \cdot F_{cohesivelayers} \right\} \quad (C.1)$$

Waarin:

L_{vak} de lengte van het dijkvak [km]

Vervolgens kan de frequentie omgerekend worden in een kans van optreden $P(ZV|S_i)$ met:

$$P(ZV | S_i) = 1 - e^{-F(ZV|S_i)} \quad (C.2)$$

De parameters zijn hieronder beknopt beschreven, waarbij de parameters zijn onderverdeeld in parameters die betrekking hebben op de geometrie, de grondeigenschappen en –toestand en de beweeglijkheid van de vooroever.

Geometrie:

De schematisatie van het meest ongunstige *rekentalud* in de beoordelingsperiode wordt gekarakteriseerd door een fictieve taludhoogte H_R [m] en een bijbehorende taludhelling α_R [graden] (zie Figuur C.1 en paragraaf 6.2.2 uit (van den Ham, 2015)). De taludhelling α_R volgt uit de schematisatie van het meest ongunstige dwarsprofiel in de beoordelingsperiode; de fictieve taludhoogte H_R wordt als volgt berekend:

$$H_R = H_{geul} + \Delta h_{onder} + 2 \cdot h_{dijk} \cdot \frac{\cot(\alpha_R)}{\cot(\alpha'_{boven})} \quad (C.3)$$

Met:

$$\alpha'_{boven} = \arctan \left\{ \frac{2h_{dijk}}{B + 2h_{dijk} \cdot \cot(\alpha_{boven})} \right\}$$

Waarin:

H_{geul} geuldiepte [m].

Δh_{onder} hoogte van de geulhelling die bij extreem laagwater boven water ligt: "niveau van geulrand" – "niveau LLWS/OLW/OLR" [m].

h_{dijk} hoogte van het waterkerend grondlichaam ten opzichte van de buitenteen van de dijk [m].

B breedte van het voorland, voor een schaadijk geldt $B = 0$ [m].

$\cot(\alpha)$ cotangens van de taludhelling α [-].

α_R rekenwaarde voor de taludhelling van het fictieve dwarsprofiel = taludhelling van het geschematiseerde onderwatertalud, ten opzichte van horizontaal [graden].

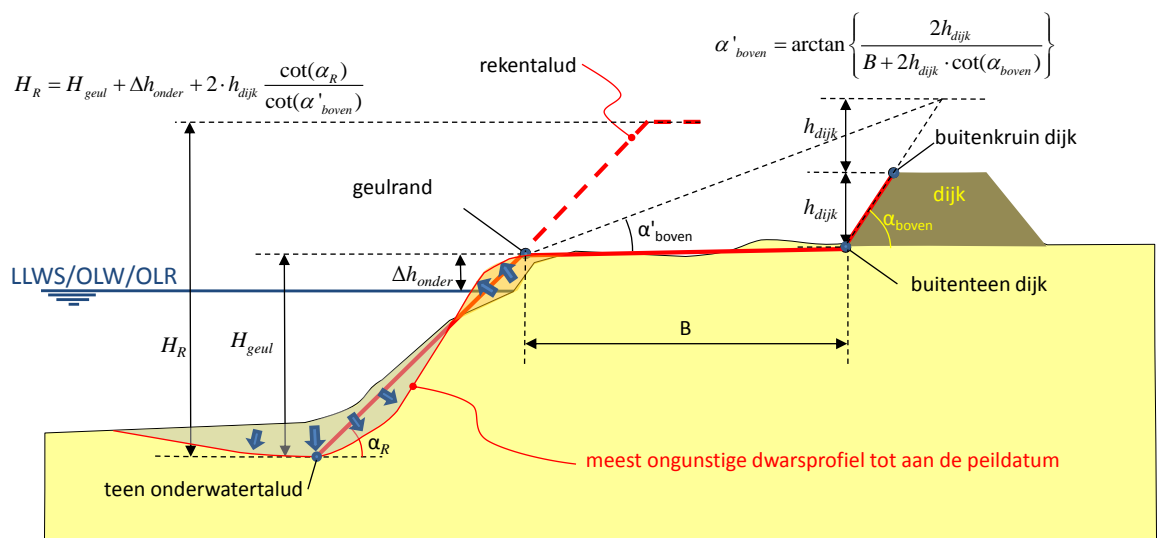
α_{boven} helling van het buitentalud van de buitenteen van de dijk naar de buitenkruinlijn, ten opzichte van horizontaal [graden].

α'_{boven} fictieve taludhelling van de rand van het voorland naar de fictieve buitenkruinlijn van de $2 \cdot h_{dijk}$ -hoge dijk, ten opzichte van horizontaal. Voor een schaadijk geldt $\alpha'_{boven} = \alpha_{boven}$ [graden].

Verder is in onderstaande figuur:

- LLWS 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.

Hoe geulrand, teen onderwatertalud, buitenteen dijk en buitenkruinlijn dijk, bepaald moeten worden staat in meer detail beschreven in de schematiseringshandleiding, zie paragraaf 7.1.



Figuur C.1 Schematisatie van meest ongunstige geometrie in de beoordelingsperiode met bepaling van de rekentaludhoogte H_R en de rekentaludhelling α_R

Materiaalparameters

- $\psi_{5m, kar}$ de karakteristieke waarde van ψ_{5m} [-]. ψ_{5m} is het gemiddelde van de state parameter ψ over in totaal 5 m (verticaal) van de meest zettingsgevoelige (= hoge ψ -waarde) lagen gelegen tussen de geulrand en $0,5 H_R$ onder de geulbodem.
- $d_{50, gemiddeld, kar}$ de karakteristieke waarde van $d_{50, gemiddeld}$ [m]. $d_{50, gemiddeld}$ is de gemiddelde mediane korreldiameter is over alle zand- en siltlagen tussen geulrand en geulbodem.
- $F_{cohesivelayers}$ is een parameter die de invloed van stoorlagen uitdrukt [-].
- Hoe de waarde van bovenstaande parameters te bepalen, is beschreven in de schematiseringshandleiding, zie paragraaf 7.2.

Beweeglijkheid

De beweeglijkheid van de voorlandgeometrie wordt gegeven door een lokaal bepaalde waarde V_{lokaal} en een referentiewaarde $V_{zeeland}$:

- V_{lokaal} een maat voor de beweeglijkheid van de vooroever [m/jaar]. Deze kan 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 $\cot(\alpha_R)$.

De minimale waarde die ingevuld moet worden voor V_{lokaal} is 0,01 m/jaar.

V_{Zeeland} de beweeglijkheid van een gemiddelde Zeeuwse vooroever, waarop de optredingskansformule in de *gedetailleerde toets* gebaseerd is [m/jaar]. Voor V_{Zeeland} kan 1 m/jaar gekozen worden.

C.2 Stap B - Bepaling optredingskans zettingsvloeiing voor alle grondopbouwscenario's $P(ZV)$

Combineer de optredingskans per ondergrondscenario, zoals bepaald met (C.2), tot de totale optredingskans:

$$P(ZV) = \sum_i P(ZV|S_i) P(S_i) \quad (C.4)$$

Waarin:

$P(S_i)$ de kans van aantreffen op scenario S_i is [-]. Hierbij geldt dat $\sum_i P(S_i) = 1$.

C.3 Stap C - Bepaal overschrijdingskans toelaatbare inscharingslengte gegeven een vloeiing $P(L > L_{\text{toelaatbaar}}|ZV)$

Als een zettingsvloeiing plaatsvindt, zal een deel van het vervloeiende materiaal naar de zijanten afvloeien. Door dit tweedimensionale effect zal de oppervlakte van de verdwenen grond bovenin het dwarsprofiel (oppervlak 1 in Figuur C.2) ongeveer een factor 1,4 groter zijn dan de oppervlakte van de grond die er aan de onderkant (oppervlak 2) bijkomt. Het uitvloeingsprofiel heeft ook niet één gelijkmatige taludgradiënt maar bestaat uit ruwweg twee delen; een zeer flauw ondergedeelte en een steiler bovengedeelte. Indien deze verhouding wordt meegenomen, luidt de formule⁴:

$$L = ax - Db \quad (C.5)$$

Met:

$$x = \frac{-cH + \sqrt{(cH)^2 + (1-c) \left(\frac{D^2 b}{a} + H^2 c \right)}}{(1-c)}$$

$$a = \cot \gamma - \cot \alpha$$

$$b = \cot \gamma - \cot \beta$$

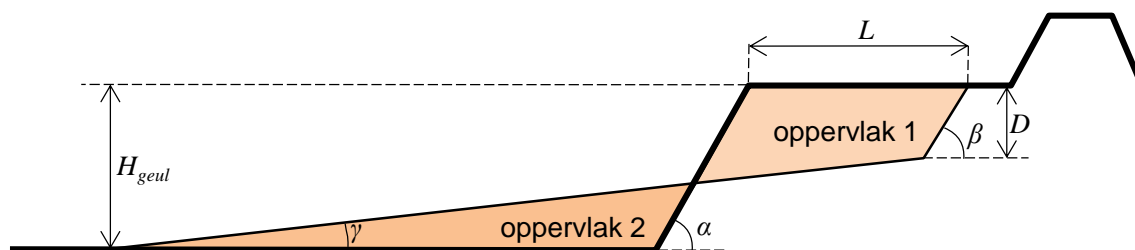
Waarin:

c verhouding tussen oppervlak 1 en oppervlak 2 ($A_1 = cA_2$) [-].

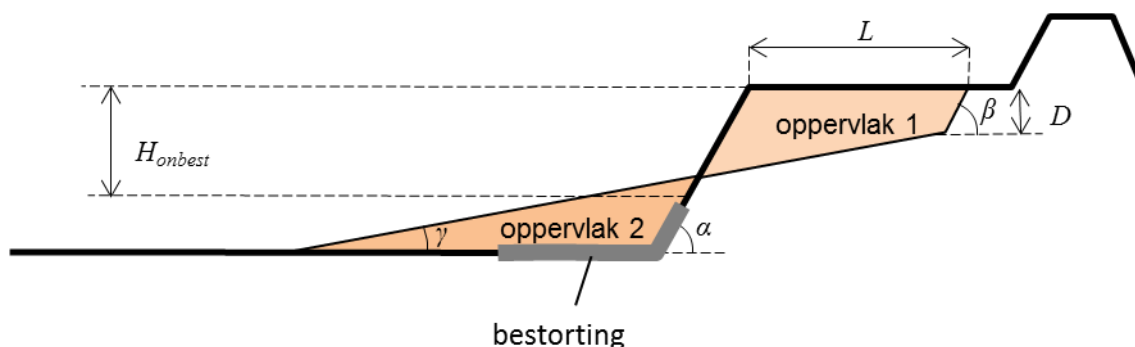
H totale hoogte van het onderwatertalud, moet de werkelijke hoogte tot aan het voorland worden genomen (en dus niet fictieve rekenhoogte H_R) [m]. In geval van een onbestort onder water talud of als sprake is van een bestorting op een gedeelte van het talud, dat niet doorloopt tot in het diepste punt van de geul, geldt: $H = H_{\text{geul}}$. Indien er gedeeltelijk bestorting aanwezig is die begint in het diepste punt van de geul, geldt $H = H_{\text{onbest}}$.

D steile gedeelte van het uitvloeingsprofiel [m].

⁴ Formule geldt alleen als $c \neq 1$. Als $c = 1$ geldt $x = \frac{1}{2} H + \frac{1}{2} \frac{D^2}{H} \cdot \frac{b}{a}$



Figuur C.2 Geschematiseerd restprofiel ten behoeve van de *gedetailleerde toets*



Figuur C.3 Geschematiseerd restprofiel ten behoeve van de *gedetailleerde toets*, voor situatie met gedeeltelijke bestorting die onderin de geul begint

De variabelen in bovenstaande formule zijn onzeker. Op basis van statistische analyse van de geometrische kenmerken van circa 140 vloeiingen in de Zuidwestelijke Delta is voor elke variabele de verwachtingswaarde, standaardafwijking en het type verdeling bepaald. De resultaten zijn weergegeven in Tabel C.1.

Tabel C.1 Overzicht geometrische variabelen. Omrekening verwachtingswaarde en standaardafwijking vanuit het gemiddelde en standaardafwijking van de onderliggende lognormale verdeling $\mu(X)=\exp(\mu(Y))$ en $\sigma(X)=\exp(\mu(Y)+\sigma(Y))-\exp(\mu(Y))$.

X	$\mu(X)$	$\sigma(X)$	Type verdeling	Onderliggende normale verdeling	
				$\mu(Y)$	$\sigma(Y)$
$\cot(\gamma)$	16,8	7,1	Lognormaal	2,82	0,38
$\cot(\beta)$	2,9	1,7	Lognormaal	1,05	0,47
D/H	0,43	0,06	Normaal		
c	1,4	0,1	Normaal		
$\cot(\alpha)$		$0,05 \cdot E(X)$	Normaal		

Voor bepaling van de kans op overschrijding van de toelaatbare inscharingslengte moet de volgende betrouwbaarheidsfunctie opgelost worden:

$$Z = L_{\text{toelaatbaar}} - L \quad (\text{C.6})$$

Deze functie kan exact opgelost worden door de kansdichtheidsfuncties van alle variabelen in bovenstaande tabel mee te nemen (probabilistische berekening op niveau III) of door de functie te lineariseren in het ontwerp punt, waarbij de kansverdeling van elke variabele wordt benaderd door een standaard normale verdeling (probabilistische berekening op niveau II). Dit laatste vindt plaats in een FORM analyse.

Navolgend worden twee methoden beschreven om de overschrijdingskans van de inscharingslengte te berekenen:

- Met de in het kader van WBI 2017 ter beschikking gestelde software wordt de betrouwbaarheidsfunctie met een FORM analyse, aangeroepen uit de probabilistische bibliotheek, opgelost. Daarnaast wordt de volumebalans niet met $L=ax-Db$ opgelost, maar

numeriek. Daarmee kan rekening worden gehouden met beperkte berging, bijvoorbeeld in het geval van een smalle geul.

- In het geval de software niet gebruikt wordt is kan teruggevallen worden op een handmatige FORM berekening, waarin enige vereenvoudigingen worden aangenomen. Deze methode wordt navolgende beschreven.

Uit probabilistische berekeningen blijkt dat $\cot \alpha$, $\cot \beta$, D/H en c een kleine invloed hebben op de overschrijdingskans (d.w.z. de invloedsfactor is klein). Daarom kan de FORM analyse vereenvoudigd worden door deze parameters deterministisch te nemen, dus uit te gaan van de verwachtingswaarden, $\mu(X)$, aangegeven in Tabel C.1.

Met deze kentallen is het mogelijk de overschrijdingskans van L te bepalen en vervolgens de kans dat L groter is dan $L_{\text{toelaatbaar}}$. Als betrouwbaarheidsfunctie wordt

$$Z = L_{\text{toelaatbaar}} - L(\cot \gamma(\beta)) = 0$$

$\cot \gamma = \exp(\mu_{\cot \gamma} + \beta \sigma_{\cot \gamma})$ genomen. Hierin is L de optredende inscharingslengte die berekend wordt met $L = aX \cdot Db$ op basis van de verwachtingswaarde en de standaardafwijking van $\cot \gamma$ en $L_{\text{toelaatbaar}}$. $L_{\text{toelaatbaar}}$ is de aanwezige lengte van het voorland. In dit geval is $\cot \gamma$ de enige stochast, dus kan de betrouwbaarheidsindex β worden bepaald door de volgende vergelijking op te lossen voor $\cot \gamma$, lognormaal verdeeld.

$$Z = L_{\text{toelaatbaar}} - L(\cot \gamma(\beta)) = 0$$

$$\cot \gamma = \exp(\mu_{\cot \gamma} + \beta \sigma_{\cot \gamma}) \quad (\text{C.7})$$

Oplossen van deze vergelijking kan door middel van iteratie. Hiervoor kan het volgende zoekalgoritme worden gebruikt:

- 1 Start met $\beta_i = 1$ en bepaal L voor $\cot \gamma = \exp(\mu_{\cot \gamma} + \beta_i \cdot \sigma_{\cot \gamma})$
- 2 Bepaal de waarde van de relatieve afstand⁵ $L_{\text{toelaatbaar}} / L$
- 3 Gebruik $\beta_{i+1} = \beta_i + (L_{\text{toelaatbaar}} / L - 1)$ als nieuwe waarde voor β en bepaal L voor $\cot \gamma = \exp(\mu_{\cot \gamma} + \beta_{i+1} \cdot \sigma_{\cot \gamma})$
- 4 Herhaal de stappen 1 tot 3 tot een stabiele waarde van β is gevonden, waarvoor $Z = L_{\text{toelaatbaar}} - L(\cot \gamma(\beta)) = 0$

Om te compenseren voor de niet beschouwde stochastische variabelen $\cot \alpha$, $\cot \beta$, D/H en c moet de berekende betrouwbaarheidsindex gecorrigeerd worden. Op basis van een kalibratie, waarbij β is berekend in een FORM-analyse met alle parameters als stochast en een FORM-analyse waarbij alleen $\cot \gamma$ als stochast is meegenomen, blijkt dat de β , berekend volgens de bovenstaande procedure, gedeeld moet worden door een factor 1,10.

Uitgaande van een Gauss-verdeling, wordt de overschrijdingskans van de toelaatbare inscharingslengte vervolgens berekend met:

$$P(L > L_{\text{toelaatbaar}} | ZV) = P(Z < 0) = \Phi(-\beta) \quad (\text{C.8})$$

C.4 Stap D - Bepaal de kans op overschrijding van toelaatbare inscharingslengte door een zettingsvloeijing per dijkvak per jaar $P(L > L_{\text{toelaatbaar}})_{\text{vak}}$

$$P(L > L_{\text{toelaatbaar}})_{\text{vak}} = P(ZV) \cdot P(L > L_{\text{toelaatbaar}} | ZV) \quad (\text{C.9})$$

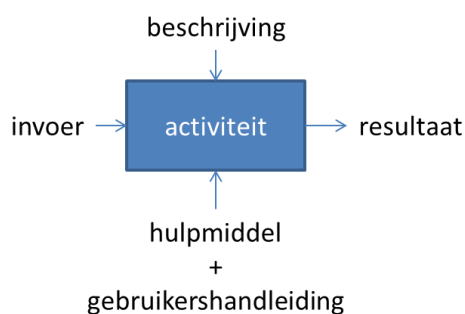
⁵ Een robuuster/stabieler algoritme is door $\ln(L_{\text{toelaatbaar}}) / \ln(L)$ als relatieve afstand te gebruiken. Dit kost meer iteratiestappen, maar voorkomt wel dat de iteratie "uit de bocht schiet" bij hoge beta-waarden

D Schema werkwijze beoordeling zettingsvloeiing

Hieronder is schematisch de werkwijze van de beoordeling van het toetsspoor Zettingsvloeiing voorland (VLZV) weergegeven (Figuur D.2).

D.1 Toelichting op het schema werkwijze beoordeling

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



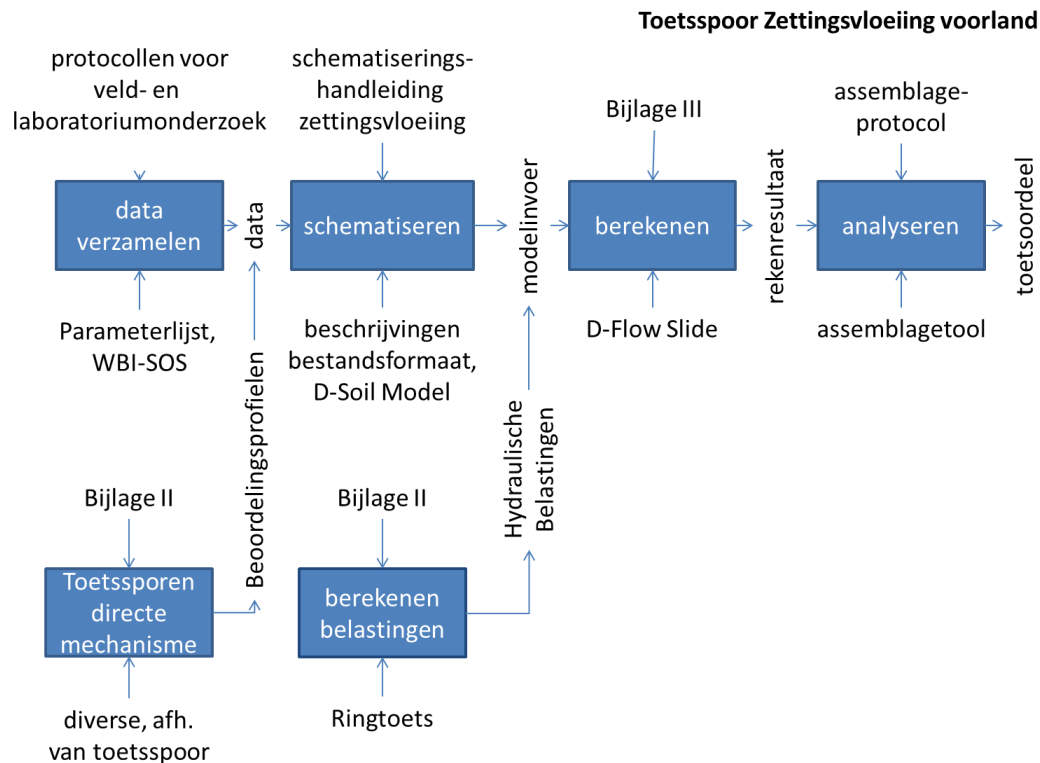
Figuur D.1 Het algemene schema van een activiteit. Een aaneenschakeling van benodigde activiteiten bij een beoordeling geeft de schematische werkwijze van de beoordeling weer.

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

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

D.2

Schema werkwijze beoordeling Zettingsvloeiing voorland (VLZV)



Figuur D.2 Schema werkwijze beoordeling Zettingsvloeiing voorland (VLZV). In het schema zijn alleen de belangrijkste documenten en/of tools/software genoemd. De lijst met alle beschikbare documenten en tools/software die betrekking hebben op een activiteit wordt hieronder beschreven.

D.3

Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Zettingsvloeiing voorland (VLZV)

D.3.1

Activiteit 'data verzamelen'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- WBI-Parameterlijst (bijlage A uit Handleiding Datamanagement WBI 2017)*. K.S. Lam, Deltares-rapport 209432-002-GEO-0002, Delft, september 2016.
- WBI-SOS, Globale stochastische ondergrondschematisatie voor de primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, december 2015. Wordt als bestand meegeleverd met D-Soil Model.
- Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen*. M. Hijma, K.S. Lam. Deltares rapport 1209432-000-GEO-0006, Delft, december 2015.

D.3.2

Activiteit 'schematiseren'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- D-Soil Model, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- D-Soil Model, Ondergrondschematiseringsproces voor geotechnische toepassingen, Handleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.

D.3.3 Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- *Ringtoets, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Waternormalen* (www.rijkswaterstaat.nl/waternormalen). Rijkswaterstaat.

D.3.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- *Rekenregels voor gedetailleerde toets op zettingsvloeiing (Bijlage C uit Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing voorland, WBI 2017)*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- *D-Flow Slide, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- *D-Flow Slide, Gebruikershandleiding*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

D.3.5 Activiteit 'analyseren'

Referenties beschrijving activiteit

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

Referenties hulpmiddel activiteit

- *Assemblagetool WBI2017*. Nog in ontwikkeling.

D.3.6 Toelichting bij de referenties

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

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