

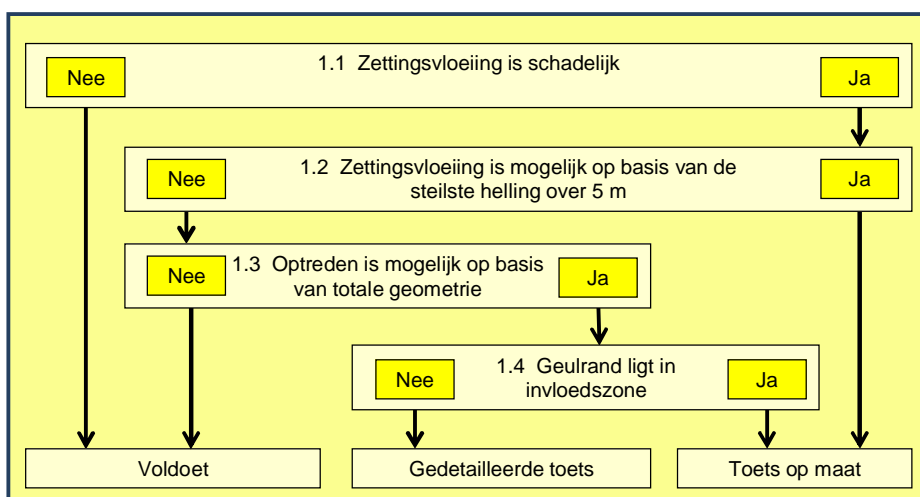
22 Zettingsvloeiing voorland (VLZV)

Het mechanisme zettingsvloeiing voorland wordt in de hier beschreven toetsing beoordeeld als een indirect faalmechanisme. De beoordeling van elk van de beoordelingssporen betreffende het voorland vindt plaats volgens de getrapte procedure zoals beschreven in paragraaf 2.2.4. Voor deze beoordeling wordt gebruik gemaakt van een signaleringsprofiel. Het signaleringsprofiel is het profiel van het voorland dat minimaal aanwezig moet zijn om te voorkomen dat een eventuele golfafslag, afschuiving of zettingsvloeiing schadelijk kan zijn voor de waterkering.

Voor het faalmechanisme zettingsvloeiing wordt getoetst of de bijdrage van een zettingsvloeiing aan de overstromingskans voldoende klein is. In de eenvoudige en gedetailleerde toets wordt hiertoe gecontroleerd of de kans dat het restprofiel het beoordelingsprofiel van de dijk doorsnijdt voldoende klein is. Wanneer dit niet kan worden uitgesloten dient een toets op maat te worden uitgevoerd.

22.1 Eenvoudige toets zettingsvloeiing

De eenvoudige toets vindt plaats op basis van een aantal besliscriteria. Deze zijn weergegeven in het toetsschema voor de Eenvoudige toets, zie Figuur 22.1. Het is een geometrische toets. Grondgegevens en beweeglijkheid van de vooroever kunnen niet ingevoerd worden, maar zijn impliciet conservatief aangenomen. Dat wil zeggen dat er vanuit wordt gegaan dat de gehele vooroever uit verwekings- en bresvloeiingsgevoelig zand bestaat en er sprake is van een grote dynamiek van de vooroever.



Figuur 22.1 Toetsschema Eenvoudige toets op zettingsvloeiingen (VLZV)

Stap 1.1: Zettingsvloeiing is schadelijk.

In deze stap wordt getoetst of, indien een zettingsvloeiing plaatsvindt, deze schadelijk kan zijn voor het waterkerend vermogen van de waterkering. Daartoe moet als eerste het signaleringsprofiel geconstrueerd worden. Het signaleringsprofiel bestaat uit een horizontaal stuk en een lijn onder een hellingshoek. Het horizontale stuk, de zogenaamde marge (M), begint op de rand van de invloedszone van dijk.

De volgende situaties kunnen voorkomen en moeten elk op verschillende wijze beoordeeld worden. Voor alle situaties moet uitgegaan worden van het *meest ongunstige profiel dat kan*

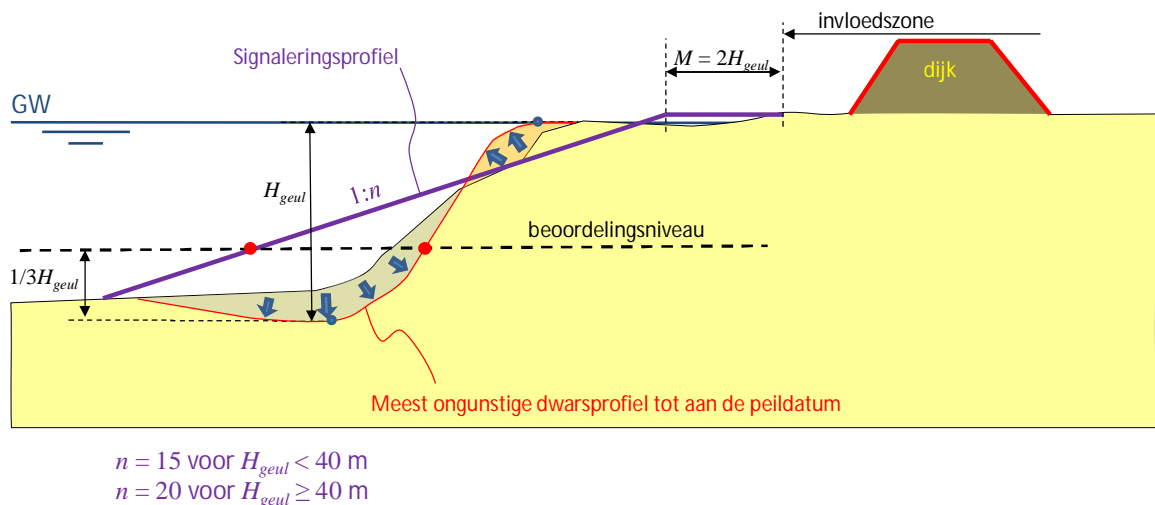
ontstaan tot aan de peildatum. De wijze van bepaling wordt beschreven in de schematiseringshandleiding (van den Ham, 2015):

- Een volledig bestorte vooroever: zettingsvloeiing kan niet optreden.
- Een vooroever zonder vooroeverbestorting: $M = 2 \cdot H_{geul}$. In Figuur 22.2 is aangegeven hoe H_{geul} is gedefinieerd. De helling van het hellende deel is 1:15 voor $H_{geul} < 40$ m en 1:20 voor $H_{geul} \geq 40$ m. Het beoordelingsniveau ligt op $1/3 \cdot H_{geul}$ boven de geulbodem.
- Een vooroever waarvan alleen het bovenste gedeelte bestort is en waarbij de bestorting aansluit op de teenbestorting of buitenteen van de dijk. Als aanvullende eis geldt dat een inscharing deze bestorting niet mag bereiken. Indien de buitenwaartse beëindiging van de bestorting buitenwaarts ligt ten opzichte van de buitenwaartse beëindiging van de marge, verschuift het hellende deel van het signaleringsprofiel aan het uiteinde van de bestorting, anders aan de buitenwaartse beëindiging van de marge (zoals bij een situatie zonder bestorting), zie Figuur 22.4. Taludhellingen van het signaleringsprofiel zijn hetzelfde als voor de situatie zonder bestorting. Het beoordelingsniveau ligt ook in dit geval op $1/3 \cdot H_{geul}$ boven de geulbodem, waarbij het bestorte deel van het talud ook onderdeel uit maakt van H_{geul} .
- Een vooroever waarvan het onderste deel bestort is en waarbij de bestorting begint in het diepste punt van de geul. Voor bepaling van het beoordelingsniveau wordt in plaats van H_{geul} de onbestorte geuldiepte H_{onbest} genomen en ligt het beoordelingsniveau op $1/3 \cdot H_{onbest}$ boven de geulbodem danwel de bovenrand van de bestorting als de bestorting het onderste deel van het talud betreft, zie Figuur 22.3. Indien ook in het bovenste deel van het talud bestorting aanwezig is, en deze aansluit op de teenbestorting of buitenteen van de dijk geldt wat bij hiervoor beschreven situatie is beschreven: Indien de buitenwaartse beëindiging van de bestorting buitenwaarts ligt ten opzichte van de buitenwaartse beëindiging van de marge, begint het hellende deel van het signaleringsprofiel aan het uiteinde van de bestorting, anders aan de buitenwaartse beëindiging van de marge (zoals bij een situatie zonder bestorting).

Indien er geen of onvoldoende informatie beschikbaar is om het meest ongunstige profiel in de beoordelingsperiode te bepalen, moet uitgegaan worden van een beweeglijke oever, wat wil zeggen dat de marge vergroot moet worden met een afstand in meters gelijk aan het aantal jaren tot de volgende beoordeling.

De beoordeling vindt nu als volgt plaats:

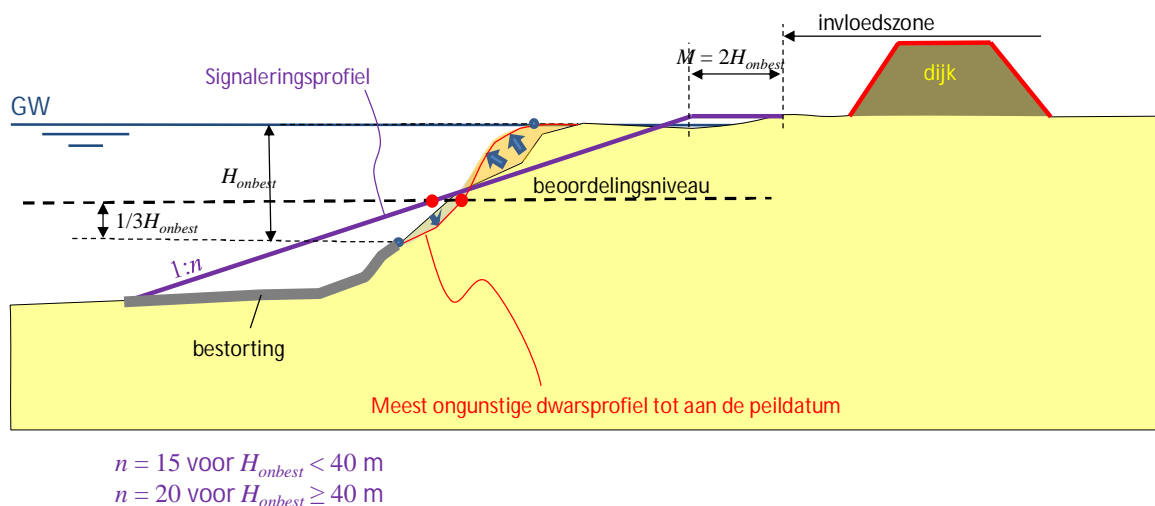
- Indien de vooroever volledig bestort is, kan een zettingsvloeiing niet optreden en is het oordeel 'Voldoet'.
- Indien het snijpunt van het beoordelingsniveau met het *meest ongunstige profiel in de beoordelingsperiode* buitenwaarts ligt ten opzichte van het snijpunt van het beoordelingsniveau met het signaleringsprofiel, dan is een zettingsvloeiing niet schadelijk en is het oordeel 'Voldoet'. Liggen de genoemde punten andersom, zoals in Figuur 22.2 en Figuur 22.3, dan kan een eventuele zettingsvloeiing wel schadelijk zijn en wordt doorgegaan naar Stap 1.2.



Figuur 22.2 Schematische weergave van het signaleringsprofiel zettingsvloeiing

In bovenstaande figuur is:

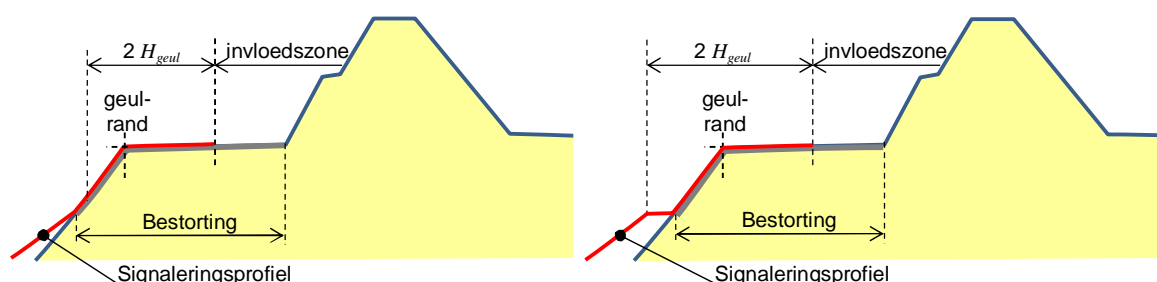
- GW Gemiddelde waterstand [m].
 M Marge [m].
 H_{geul} Geuldiepte ten opzichte van de gemiddelde waterstand [m].



Figuur 22.3 Schematische weergave van het signaleringsprofiel zettingsvloeiing in vooroever die gedeeltelijk bestort is vanuit de geul

In bovenstaande figuur is:

- H_{onbest} Hoogte van het gedeelte van het onderwatertalud boven de bestorting die begint onderin de geul (inclusief gedeelten die bestort zijn maar niet aansluiten op de bestorting onderaan de helling) en de geulrand, ten opzichte van de gemiddelde waterstand [m].



Figuur 22.4 Schadelijkheids criterium zettingsvloeiing voorland - bepaling ligging signaleringsprofiel in relatie tot de lengte van de bestorting

Stap 1.2: Zettingsvloeiing kan optreden op basis van criterium “steilste helling over 5 m”.

Is de gemiddelde helling van het onderwatertalud steiler dan of gelijk aan 1:4 over een hoogte van minimaal 5 m dan is het potentiële risico op een zettingsvloeiing aanzienlijk en dient verder te worden gegaan met de Toets op maat. Zo niet, dan wordt de Eenvoudige toets voortgezet met Stap 1.3.

Stap 1.3: De zettingsvloeiing kan optreden op basis van de totale geometrie.

Een zettingsvloeiing kan alleen optreden als voor het meest ongunstige profiel in de beoordelingsperiode geldt dat aan minimaal één van de twee volgende geometrische criteria wordt voldaan:

- 1 Een verwekingsvloeiing kan optreden als over de rekenhoogte H_R geldt dat $\cot \alpha_R \leq 7 \cdot (H_R/24)^{1/3}$, waarbij H_R [m] en α_R zijn gedefinieerd in Figuur C.1 in Bijlage C.
- 2 Een bresvloeiing kan optreden als in één of meer van de zand- en siltlagen in het onbestorte deel van het onderwatertalud de taludhelling te steil is. De maximaal toegestane lokale helling is per diepte-interval gegeven in Tabel 22.1. Voor deze tweede geometrische toets moet aan de volgende toepassingsvoorwaarden worden voldaan:
 - a. de onbestorte hoogte van het onderwatertalud mag niet groter dan 40 m (verticaal) zijn.
 - b. in het onbestorte deel van het onderwatertalud moet gelden dat: $d_{50, \text{gemiddeld}} > 0,2 \text{ mm}$ en $d_{15, \text{gemiddeld}} > 0,1 \text{ mm}$.

Voor de bepaling van $d_{50, \text{gemiddeld}}$ en $d_{15, \text{gemiddeld}}$ wordt verwezen naar de schematiseringshandleiding. Als aan ten minste één van de toepassingsvoorwaarden (a of b) niet wordt voldaan, kan geen oordeel Voldoet gegeven worden maar wordt de Eenvoudige toets voortgezet met Stap 1.4.

Diepte-interval van onbestort deel van het onderwatertalud [m]	Maximale helling
0 - 5	1:2
5 - 10	1:2.5
10 - 15	1:3
15 - 20	1:3.5
20 - 25	1:4
25 - 30	1:4.7
30 - 35	1:5.4
35 - 40	1:6

Tabel 22.1 Maximaal toelaatbare lokale hellingen ($d_{50, \text{gemiddeld}} > 0,200 \text{ mm}$ en $d_{15, \text{gemiddeld}} > 0,100 \text{ mm}$)

Als een eventuele zettingsvloeiing op grond van één of beide bovenstaande geometrische criteria kan optreden, dan wordt de Eenvoudige toets voortgezet met Stap 1.4. Zijn de (lokale) taludhellingen flauwer dan alle gestelde criteria, dan kan een eventuele zettingsvloeiing niet optreden en is het oordeel 'Voldoet'.

Stap 1.4: De geulrand ligt in de invloedszone.

Als de geulrand in de invloedszone ligt, kan een eventuele zettingsvloeiing dusdanig ernstige consequenties hebben voor het veiligheidsniveau van de kering dat de Eenvoudige toets wordt vervolgd met een Toets op maat. Als de geulrand buiten de invloedszone ligt, wordt de Eenvoudige toets vervolgd met een Gedetailleerde toets.

22.2 Gedetailleerde toets zettingsvloeiing voorland

In deze gedetailleerde toets is falen gedefinieerd als een dusdanige zettingsvloeiing van het voorland dat deze van invloed is op de directe mechanismen, zoals piping en macro-instabiliteit binnenwaarts of buitenwaarts of erosie buitentalud. Dat wordt gecontroleerd door te eisen dat de geulrand nadat de zettingsvloeiing is opgetreden niet in de invloedszone mag liggen

In de Gedetailleerde toets wordt daarom getoetst of de kans dat het profiel dat rest na een zettingsvloeiing de grens van de invloedszone overschrijdt voldoende klein is. Waar de eenvoudige toets wordt uitgevoerd op basis van alleen de geometrische kenmerken van de vooroever en waterkering (behalve de tweede voorwaarde in stap 1.3), worden in de gedetailleerde toets ook grondeigenschappen meegenomen. Ook moeten ondergrondscenari'o's met een kans van voorkomen meegenomen worden. Het mechanisme is beschreven in de Fenomenologische beschrijving ('t Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). De schematisatie wordt opgesteld met behulp van de betreffende schematiseringshandleiding zoals opgenomen in Tabel 2.1.

De beoordeling vindt plaats op dijkvakniveau. De indeling in vakken wordt beschreven in de schematiseringshandleiding. Om tot een oordeel te komen moeten per vak de volgende berekeningsstappen worden uitgevoerd:

- | | |
|--------|--|
| Stap A | Bepaal optredingskans zettingsvloeiing per ondergrondscenario: $P(ZV S_i)$. |
| Stap B | Bepaal optredingskans zettingsvloeiing voor alle ondergrondscenario's:
$P(ZV) = \sum_i P(ZV S_i)P(S_i)$. |
| Stap C | Bepaal overschrijdingskans toelaatbare inscharingslengte gegeven een vloeiing: $P(L > L_{toelaatbaar} ZV)$. |
| Stap D | Bepaal overschrijdingskans toelaatbare inscharingslengte voor het dijkvak:
$P(L > L_{toelaatbaar})_{vak}$. |
| Stap E | Controleer of $P(L > L_{toelaatbaar})_{vak}$ kleiner is dan de faalkanseis $P_{eis,vak}$. |

De berekeningen voor de stappen A t/m D zijn nader gespecificeerd in bijlage 0 van dit VTV.

De zettingsvloeiing wordt in de Gedetailleerde toets beoordeeld als indirect faalmechanisme. De invloedszone is gebaseerd op de norm. Daarom hoeft de norm niet meer verwerkt te worden in de toelaatbare kans dat een inscharing de invloedszone bereikt. Wel moet de lengte van het voor zettingsvloeiing beschouwde dijkvak meegenomen worden.

De faalkanseis voor dit mechanisme voor het dijkvak volgt uit:

$$P_{eis,vak} = 0,01 \cdot L_{vak} [\text{jaar}^{-1}]$$

Vgl 22.1

Waarin:

L_{vak} De lengte van het dijkvak [km].

Vergelijk de berekende kans $P(L > L_{toelaatbaar})_{vak}$ met de faalkanseis $P_{eis,vak}$. Indien $P(L > L_{toelaatbaar})_{vak} \leq P_{eis,vak}$ is het oordeel 'Voldoet', anders wordt doorgedaan naar de Toets op maat.

22.3 Toets op maat zettingsvloeiing

Voor de Toets op maat is alleen het proces voorgeschreven. Het proces bestaat uit 3 stappen:

Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.

Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).

Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse.

Als mogelijkheden voor een Toets op maat worden genoemd:

- Verdere verfijning bepaling kans op inscharinglengte, bijvoorbeeld met geavanceerde rekenmodellen. In D-FlowSlide zijn twee rekenmodellen ingebouwd: SLIQ2D voor bepaling van het optreden van verweking en HMBreach voor bepaling van het optreden van bresvloeiing.
- Het restprofiel na een zettingsvloeiing meenemen als stochastische variabele in de beoordeling van directe faalmechanismen: als continu verdeelde variabele of als geometrie-scenario.

Verder is er altijd de mogelijkheid dat binnen een beoordelingsperiode sprake is van voortschrijdend inzicht (kennisontwikkeling) waarmee het toetsoordeel kan worden aangescherpt.