

**Faalmechanismebeschrijving
zettingsvloeiing**



Faalmechanismebeschrijving zettingsvloeiing

dr. G.A. van den Ham

1220078-008

Titel
Faalmechanismebeschrijving zettingsvloeiing

Opdrachtgever
RWS-WVL


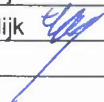

Project
1220078-008

Kenmerk
1220078-008-GEO-0003-
jvm

Pagina's
11

Trefwoorden
Faalmechanismebeschrijving, zettingsvloeiing, WT12017

Samenvatting
Dit rapport bevat een beschrijving van het faalmechanisme zettingsvloeiing. Tezamen met de faalmechanismebeschrijving en schematiseringshandleiding vormt dit één van de bouwstenen voor het wettelijk toetsinstrumentarium voor de 4^{de} toetsronde.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	mei 2015	dr. G.A. van den Ham		ir. T.P. Stoutjesdijk		dr.ir. M.S. Sule	
2	aug. 2015	dr. G.A. van den Ham		ir. T.P. Stoutjesdijk		dr.ir. M.S. Sule	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Kader	1
1.2 Doel	2
1.3 Leeswijzer	2
2 Fenomenologische procesbeschrijving	3
3 Schematisch overzicht van het proces	7
4 Beknopte procesbeschrijving	9
5 Referenties	11

1 Inleiding

1.1 Kader

In het programma Wettelijk Toets Instrumentarium 2017 (WTI2017) wordt het wettelijk toetsinstrumentarium voor de 4de toetsronde ontwikkeld. De 4de toetsronde start in 2017. WTI2017 bouwt voort op het WTI2011. Met het nieuwe toetsinstrumentarium kan worden getoetst op basis van een overstromingskansnorm. Daarnaast wordt nieuwe kennis met betrekking tot faalmechanismen en hydraulische belastingen geïmplementeerd.

De veiligheid tegen overstromen wordt bepaald door de sterkte van de waterkering in relatie tot de belasting op de kering. Het is daarom belangrijk dat in alle processen die gericht zijn op het behouden van de veiligheid van de waterkering, de sterkte en belasting op uniforme wijze bepaald worden. Het mag niet voorkomen dat op basis van het toetsinstrumentarium een waterkering niet aan de norm voldoet en dat volgens het ontwerpinstrumentarium geen maatregelen nodig zijn. Daarom is het streven dat voor alle processen hetzelfde basisinstrumentarium voor sterkte en belasting gebruikt wordt.

De kennisimplementatie vindt plaats via een basisinstrumentarium dat de kennisbasis bevat die nodig is voor de borging van de waterveiligheid. Alle processen, van beleidsstudies rondom waterveiligheid (Deltaprogramma) en het toetsen van waterkeringen (WTI) tot het ontwerpen van maatregelen voor hoogwaterbescherming (HWBP) zijn gebaseerd op eenzelfde kennisbasis. Dezelfde kennisbasis wordt ook gebruikt voor de berichtgeving, de crisisbeheersing/rampenbestrijding en voor dagelijks beheer en onderhoud van waterkeringen. De kennis wordt gebruikt voor beleid en beheer van zowel regionale als primaire keringen.

Dat basisinstrumentarium bestaat uit verschillende bouwstenen. In het WTI2017 zijn die bouwstenen:

- Faalmechanismebeschrijvingen: rapporten.
- Watersysteembeschrijvingen: achtergrondrapporten.
- Faalmechanismemodellen: softwarebouwstenen.
- Toetsproces faalmechanisme: rapporten.
- Handvatten voor geavanceerde analyses: rapporten.
- Schematiseringshandleiding: rapporten.
- Basis Stochastische Ondergrondschematisering van Primaire Waterkeringen (WTI-SOS), incl. gebruikshandleiding.
- Probabilistische rekentechnieken HydraRing: softwarebouwstenen.
- Probabilistische model watersystemen: softwarebouwsteen.
- Schematiseringen watersystemen: softwarebouwstenen.
- Statistiek en Onzekerheden watersystemen.

Voorliggend document betreft de faalmechanismebeschrijving voor zettingsvloeiing. Voor het opstellen zijn de uitgangspunten uit [De Bruijn 2014] gehanteerd.

Voor de inhoudelijke onderbouwing van de faalmechanismebeschrijving wordt verwezen naar [Van den Ham 2015a].

1.2 Doel

Dit rapport bevat een beschrijving van het faalmechanisme zettingsvloeiing. Voor het opstellen zijn de uitgangspunten uit [De Bruijn 2014] gehanteerd. Voor de inhoudelijke onderbouwing van de faalmechanismebesrijving wordt verwezen naar [Van den Ham 2015a].

1.3 Leeswijzer

In de volgende hoofdstukken wordt het fenomenologische proces van het primaire faalmechanisme tot op het niveau van de deelmechanismen beschreven (hoofdstuk 2), een schematisch overzicht van het proces aan de hand van een gebeurtenissenboom gegeven (hoofdstuk 3) en het proces van de te toetsen deelmechanismen uit de gebeurtenissenboom toegelicht (hoofdstuk 4).

2 Fenomenologische procesbeschrijving

Een onderwater zandtalud kan soms schijnbaar spontaan instabiel worden, waarna het zand uitvloeit om pas bij een zeer flauwe helling te sedimenteren. Gewoonlijk wordt dit met ‘zettingsvloeiing’ betiteld. Twee processen kunnen worden aangewezen als oorzaak van een dergelijke sterke taludverflauwing: verweken en bressen. Overeenkomstig kan gesproken worden over een ‘verwekingsvloeiing’ of ‘een bresvloeiing’. Vaak zal het echter gaan om een combinatie van beide.

Een *verwekingsvloeiing* kan worden omschreven als een verschijnsel waarbij een pakket losgepakt zand onder water plotseling verweekt: er ontstaat een soort drijfzand. *Verweking* impliceert een dramatische vermindering van het onderlinge contact tussen de zandkorrels en van de schuifsterkte van het zandlichaam. Als het zandpakket oorspronkelijk in een helling aanwezig is, dan zal de verweekte massa naar beneden *vloeien* en pas weer onder een zeer flauwe helling tot rust komen. De mate van verweking waarbij de zandkorrels in het geheel geen onderling contact meer hebben (volledige verweking), treedt niet zo vaak op. Maar gedeeltelijke verweking kan het vermogen van het zand om schuifspanning op te nemen al zodanig doen verminderen dat het talud instabiel wordt en er een grote massa zand naar beneden vloeit.

Voorwaarden voor het optreden van een pure verwekingsvloeiing in het onderwater zandtalud zijn:

1. Het zand moet verwekinggevoelig zijn, dus voldoende los gepakt, over een bepaalde minimum laagdikte, die waarschijnlijk varieert van 2 tot 5m.
2. De taludgeometrie moet ongunstig zijn: helling voldoende steil en hoogte voldoende groot.

Daarbij dient men zich te realiseren dat beide voorwaarden afhankelijk zijn van elkaar. Om een verwekingsvloeiing te krijgen moet de helling steiler zijn naarmate de verwekingsgevoeligheid minder is ofwel moet de verwekingsgevoeligheid groter zijn naarmate de helling flauwer is.

Voorwaarde voor het *optreden* van verweking, en daarmee een verwekingsvloeiing, is bovendien dat er sprake moet zijn van een inleidend mechanisme (“trigger”). Dat kan een flinke trilling zijn, bijvoorbeeld door een kleine aardbeving of door heien, de lokale afschuiving van een kleilaagje, erosie waardoor een versteiling van het talud plaatsvindt of een plotselinge waterspiegeldaling.

Een *bresvloeiing* in een onderwater talud is een gestaag terugschrijdend erosieproces dat zichzelf versterkt of althans zichzelf in stand houdt. Het proces wordt in gang gezet door een lokale afschuiving of verwekingsvloeiing. Die resulteert enerzijds in een zand-watermengsel dat als een dichtheidsstroom langs het talud naar beneden stroomt (“suspensiestroom”) en daarbij verdere erosie veroorzaakt, waardoor de suspensiestroom steeds sterker wordt. Anderzijds resulteert de lokale taludinstabiliteit doorgaans in een zo steil taludgedeelte (“bres” of “walletje”) dat het zand aan het oppervlak afregent, waardoor het steile taludgedeelte terugschrijdt en het afregende zand de suspensiestroom versterkt.

Voorwaarden voor het ontstaan van een (pure) bresvloeïng zijn:

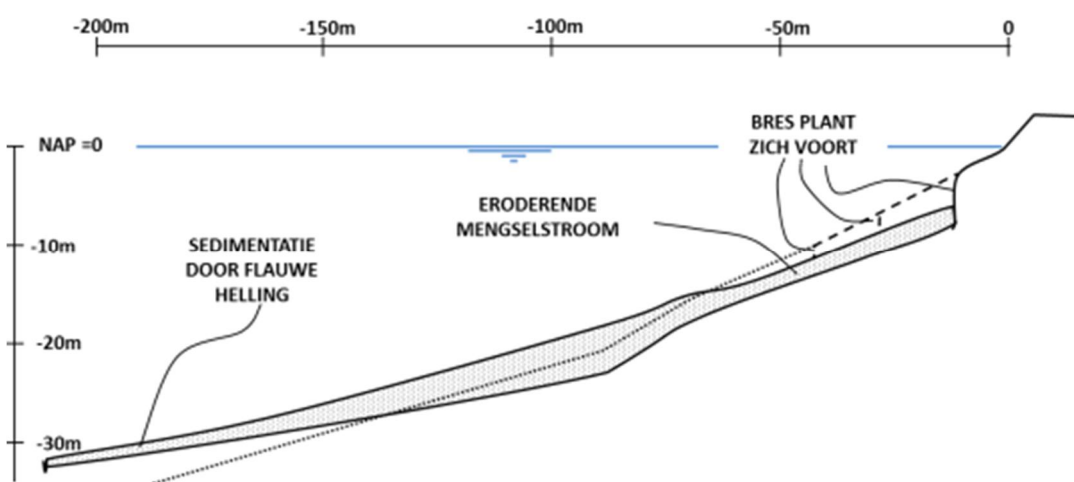
1. Het onderwater talud bestaat uit erosiegevoelig materiaal zoals silt of zand; het is fijn genoeg (hoe fijner des te erosiegevoeliger; bij een D_{50} groter dan 1 mm is een bresvloeïng nauwelijks mogelijk).
2. Een doorgaand talud zonder bermen of beschermde zones.
3. Het “afgebreste” materiaal moet in de vorm van een suspensiestroom vanaf de teen van de initiële bres in voldoende mate kunnen wegstromen of worden opgezogen.
4. Het onderwater talud moet voldoende hoog en steil zijn (in Nederland doorgaans hoger dan 10 m en gemiddeld steiler dan 1:4 à 1:6).
5. Een grote verstoring ofwel initiële bres ergens in het talud.

Waarschijnlijk zal bij veel vloeïngen sprake zijn van een combinatie van de mechanismen verwekingsvloeïng en bresvloeïng:

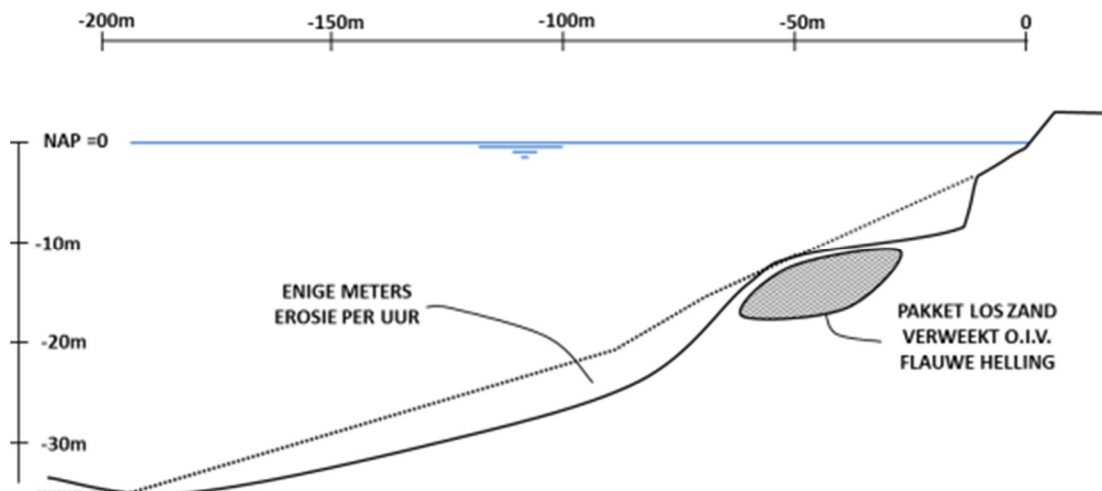
- Een verwekingsvloeïng in het deel van een talud met losgepakte zandlagen kan in een paar minuten een steile bres doen ontstaan aan de bovenkant van de vloeïng en/of een mengselstroom met groot zanddebiet aan de onderkant.
- Door bresen kan de taludvorm zodanig veranderen (veelal versteilen) dat (een deel van) het talud metastabiël wordt en verweekt.

Ook zonder metastabiliteit is het denkbaar dat tijdens een vrij rustig lopend bresproces plotseling een vrij omvangrijke vloeïng in losgepakt zand optreedt die een steile bres en/of groot zanddebiet doet ontstaan. Dat zou het geval kunnen zijn als het onderste deel van het talud uit (middel) vastgepakt zand bestaat en daarboven een laag losgepakt zand ligt. Als een bres onderin het talud begint en langzaam naar boven loopt door het (middel) vastgepakte zand kan het losgepakte zand gaan vloeien op het moment dat de bres die laag bereikt.

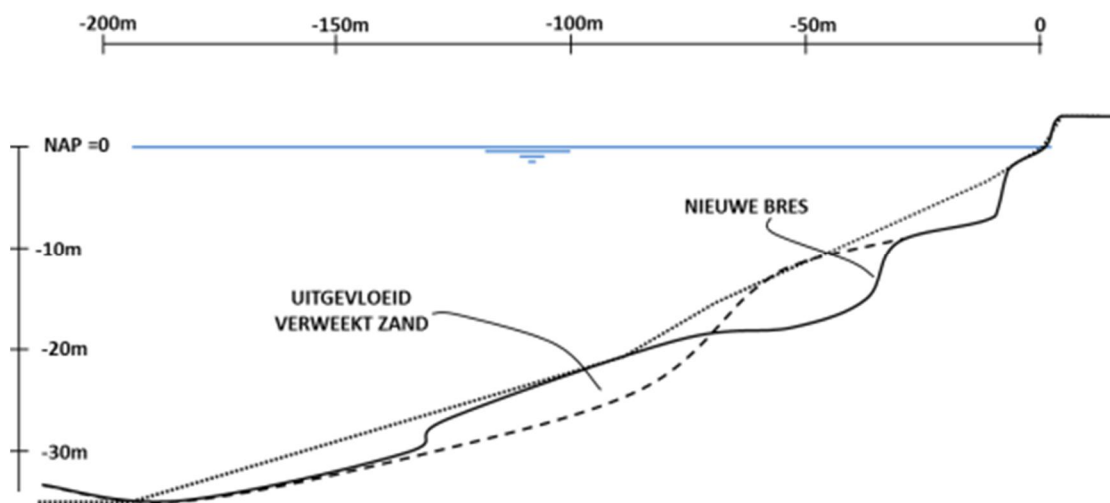
Het verloop van een dergelijke vloeïng waarin zowel verweking als bresvloeïng een rol speelt is geïllustreerd in Figuur 2.1 t/m Figuur 2.3.



Figuur 2.1 Typisch verloop van een (pure) bresvloeïng

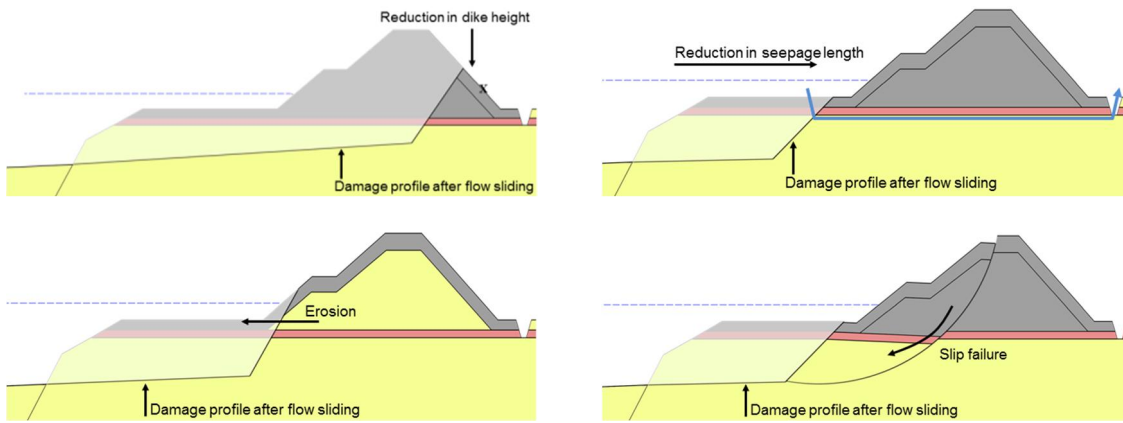


Figuur 2.2 Mogelijk verloop van een (pure) bresvloeiing die overgaat in een verwekingsvloeiing



Figuur 2.3 Mogelijk verloop van een verwekingsvloeiing die weer overgaat in bresvloeiing

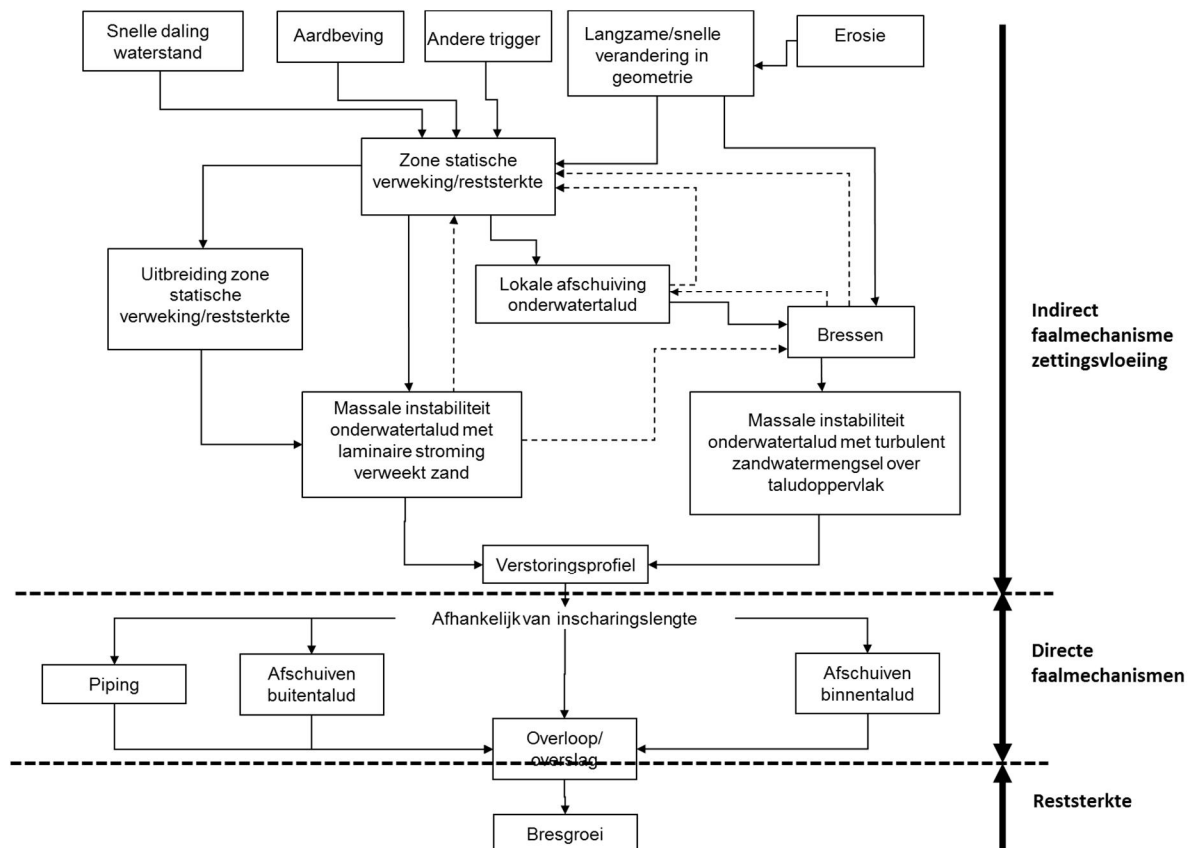
Afhankelijk van de grondopbouw en opbouw van de dijk en de lengte waarover een vloeijing terugschrijdt, kan een verstoringsprofiel op korte of langere termijn tot een zogenaamd direct (d.w.z. hoogwater-gedreven) faalmechanisme leiden en, als ook de reststerkte is opgesoupeerd, tot een overstroming (zie verder volgende hoofdstuk). De belangrijkste directe faalmechanismen die beïnvloed kunnen worden door zettingsvloeiing zijn: falen bekleding, buiten- en binnenwaartse macro-instabiliteit (het tweede door verandering waterspanningsverdeling in dijk), piping (door verschuiving intredepunt en verandering waterspanningsverdeling in en onder dijk) en overslag/overloop (door kruinverlaging en, zij het in geringe mate, toename golfoploop). Een en ander is geïllustreerd in Figuur 2.4. Indien een verstoringsprofiel tot een extreme kruinverlaging leidt, kan dit, in combinatie met een laag achterland, kan ook direct tot een overstroming leiden.



Figuur 2.4 Invloed van verstoringsprofiel op directe faalmechanismen (met de klok mee): overslag/overloop, piping, buitenwaartse macro-instabiliteit en bekleding

3 Schematisch overzicht van het proces

De fenomenologische beschrijving van de het mechanisme zettingsvloeiing in de vooroever van een waterkering, dat uiteindelijk kan leiden tot een overstrooming, is in onderstaande figuur omgezet in een gebeurtenissenboom. Omdat het optreden van een zettingsvloeiing niet positief gecorreleerd is aan de waterstand (een door verweking geïnitieerde zettingsvloeiing zal zelfs eerder optreden bij een daling van de waterstand), zal zettingsvloeiing meestal niet direct tot een overstrooming leiden (tenzij een zeer grote inscharing optreedt in combinatie met een laag achterland of indien hoogwaters elkaar snel opvolgen zoals in het getijdgebied). Het kan daarom een indirect faalmechanisme worden genoemd. Wel kan zettingsvloeiing invloed hebben op de optredingskans van faalmechanismen die wel hoogwater-gedreven zijn. Deze laatste kunnen directe faalmechanismen worden genoemd.

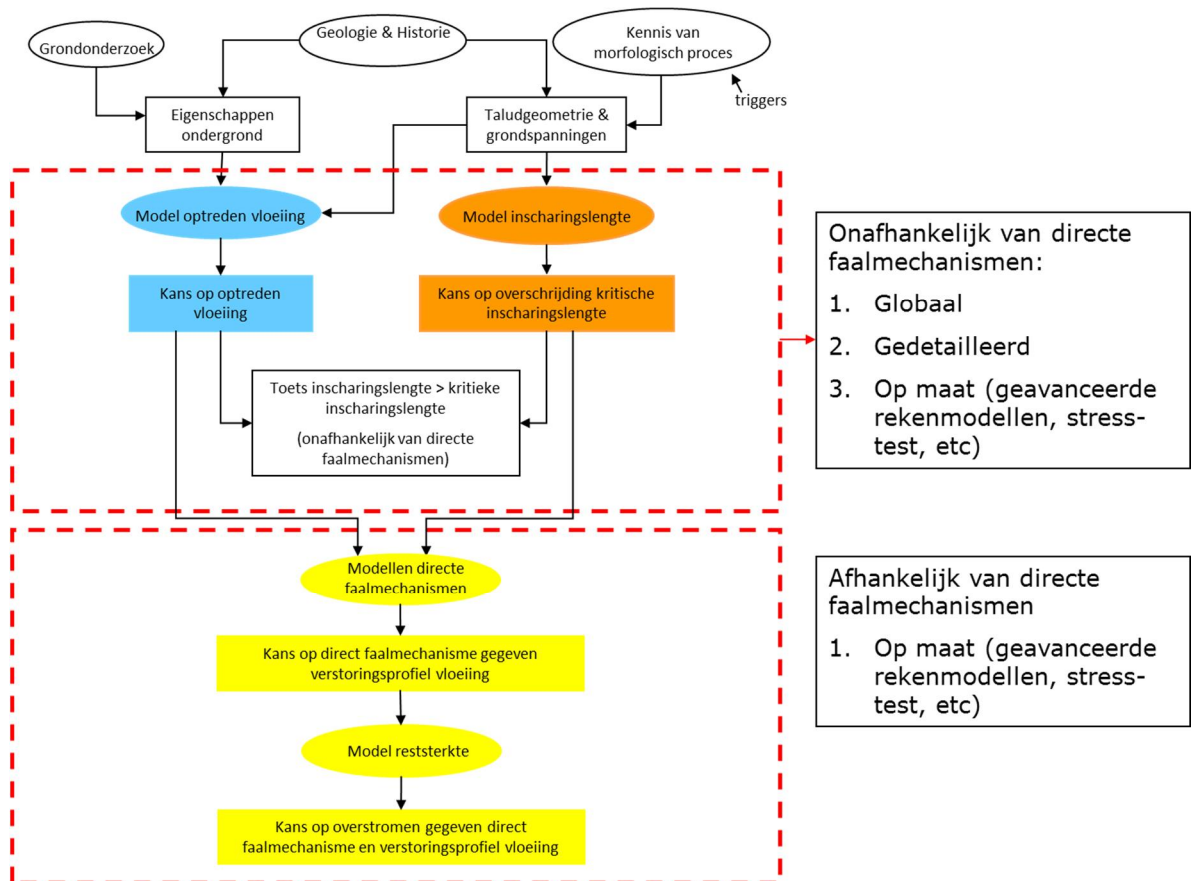


Figuur 3.1 Stroomdiagram zettingsvloeiing. Onder directe faalmechanismen worden hoogwater gedreven faalmechanismen verstaan. Het optreden van een zettingsvloeiing is niet-hoogwater gedreven en zal (meestal) niet direct tot een overstrooming leiden

4 Beknopte procesbeschrijving

In de globale en gedetailleerde toets op zettingsvloeiing worden niet alle deelmechanismen die in de gebeurtenissenboom in het vorige hoofdstuk zijn weergegeven expliciet meegenomen. In onderstaande figuur is weergegeven welke deelmechanismen binnen een zettingsvloeiing worden getoetst.

In een toets op maat kunnen met geavanceerde rekenmodellen wellicht wel meerdere of alle deelmechanismen expliciet meegenomen worden.



Figuur 4.1 Beschrijving relatie toetsing en deelmechanismen

5 Referenties

[De Bruijn 2014]

De Bruijn, H. 2014, Inhoudsopgaven fenomenologische beschrijving faalmechanisme, Deltares notitie, kenmerk 1209429-004-GEO-0002, d.d.5 november 2014

[Van den Ham 2015a]

Van den Ham, G.A., 2015. WTI Cluster Indirecte faalmechanismen 2014 – Update detailed assessment on flow slides – final report. Deltares rapport, kenmerk 1209439-002-GEO-0001-v4, d.d. 1 juni 2015

[Van den Ham 2015b]

Van den Ham, G.A., 2015. Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing. Versie A Cluster D. Deltares rapport, kenmerk 1209439-002-GEO-0002-v3-r, d.d. 1 juni 2015