

MEET- EN MONITORINGSPLAN ZETTINGSVLOEIING IN DE HOLLANDSE DELTA

DEFINITIEF EINDRAPPORT v1.0
15 SEPTEMBER 2014

AANVULLEND AFSTUDEERONDERZOEK

J.K. (Jorine) VINK, BSc * studienummer: 4002210

Verantwoordelijk hoogleraar TU Delft: prof.dr.ir. M. (Matthijs) KOK

Begeleidend docent TU Delft: ir. H.J. (Henk Jan) VERHAGEN

Mentor waterschap Hollandse Delta: ing. H. (Henri) VAN DER MEIJDEN



Samenvatting

Rivieren de Schelde, Maas en Rijn hebben, samen met de Noordzee en haar getijden en stormvloeden, de Hollandse Delta gevormd tot een verzameling van eilanden en stromen op een bodem van zand, klei en veen. Aan de oppervlakte zijn jonge zeeklei en rivierklei te vinden. Daaronder zand waarin vroegere stroomgeulen herkenbaar zijn, veen, oude zeeklei (tot 6 m laagdikte) en nogmaals zand. Onder een veenlaag op circa 20 m diepte, bevindt zich het Pleistocene zand.

De bewoonde delen van de eilanden in de Hollandse Delta zijn omdijkt. Op veel plaatsen grenst de waterkering (haast) direct aan een waterlichaam. Dat is het geval bij

- ◇ zuidelijk en oostelijk IJsselmonde (dijkring 17 - norm 1:4.000 - faalkansruimte zettingsvloeiing $2.5 \cdot 10^{-6}$),
- ◇ noordelijk Pernis (dijkring 18 - norm 1:10.000 - faalkansruimte zettingsvloeiing $1 \cdot 10^{-6}$),
- ◇ noordelijk en westelijk Rozenburg (dijkring 19 - norm 1:10.000 - faalkansruimte zettingsvloeiing $1 \cdot 10^{-6}$),
- ◇ vrijwel geheel Voorne-Putten (dijkring 20 - norm 1:4.000 - faalkansruimte zettingsvloeiing $2.5 \cdot 10^{-6}$),
- ◇ vrijwel de gehele Hoekse Waard (dijkring 21 - norm 1:2.000 - faalkansruimte zettingsvloeiing $5 \cdot 10^{-6}$),
- ◇ het westen van het Eiland van Dordrecht (dijkring 22 - norm 1:2.000 - faalkansruimte zettingsvloeiing $5 \cdot 10^{-6}$) en
- ◇ delen van noordelijk Goeree-Overflakkee (dijkring 25 - norm 1:4.000 - faalkansruimte zettingsvloeiing $2.5 \cdot 10^{-6}$).

Het gaat hier om riviertakken de Noord, de Nieuwe Maas (de linkeroever t.h.v. Pernis en Rozenburg) de Oude Maas (beide oevers), het Hartelkanaal (voornamelijk de linkeroever), het Spui (beide oevers), het Haringvliet (voornamelijk de rechteroever), het Hollands Diep en de Dordtsche Kil (beide oevers). Hierbij worden links en rechts stroomafwaarts onderscheiden. Bij waterlichamen die de grens van de Hollandse Delta markeren is niet aangegeven om welke oever het gaat, omdat er immers slechts één tot het beheersgebied behoort.

Uit de Verlengde Derde Toetsing (2013) bleek een aantal dijkvakken in de Hollandse Delta niet te voldoen aan de gestelde normen voor voorlandstabiliteit vanwege risico op zettingsvloeiing. In algemene zin stelt de dijkgraaf in de kadernota dat *het huidige beheerssysteem en daaraan gekoppelde inspectiegegevens tekort schieten*.

In 1979 zijn de resultaten verschenen van een uitgebreid vooroever onderzoek dat is uitgevoerd voor de Zeeuwse Stromen. Wilderom beschreef daarin de statistische eigenschappen van afschuivingen en zettingsvloeiingen op basis van honderden vallen in de Zeeuwse estuaria. Afschuivingen komen voor bij zeer steile hellingen in samenhangende grond en bij ondoorlatende lagen op een doorlatende kern. De gemiddelde helling na een afschuiving is 1:3 tot 1:3.5, waarvan het steilste gedeelte zelfs verticaal kan zijn. De inscharingslengte bleef daardoor beperkt tot 85 m. Zettingsvloeiingen komen voor in losgepakt zand waarvan de gemiddelde helling ongeveer 1:3 is, soms wel zo flauw als 1:6. Het steilste gedeelte van de helling was 1:1 tot 1:2. Na de zettingsvloeiing was de helling gemiddeld 1:18. Het flauwste gedeelte daarvan kan wel 1:50 zijn. De grootste inscharing die is opgenomen in de database van Wilderom bedroeg maar liefst 390 m.

Het is niet in alle gevallen gemakkelijk te definiëren of het gaat om afschuiving, zettingsvloeiing of allebei doordat er een zekere overlap is en doordat het ene mechanisme het andere kan initiëren.

Sinds de 19e eeuw worden oeverwerken aangebracht om dijkvallen te voorkomen in verwekingsgevoelig gebied. Meerdere methoden zijn geprobeerd. Het bestorten met zware stenen is de meest succesvolle gebleken. De randen van elk type verdediging zijn kwetsbaar voor uitschuring door turbulentie en moeten zo min mogelijk abrupt aangelegd worden.

Wanneer de optredende inscharing de toelaatbare inscharingslengte overschrijdt, is er sprake van schade aan de waterkering. De kans dat dat gebeurt kan bepaald worden met behulp van de bekende geometrie en een aantal aannames wat betreft het schadeprofiel.

Om de kans te berekenen op het optreden van een zettingsvloeiing, heeft men behalve van de geometrie ook kennis nodig van de bodemopbouw om de maatgevende relatieve dichtheid van het zand en de dikte van de verwekingsgevoelige laag te bepalen.

Wanneer zowel de kans op het optreden van een zettingsvloeiing als de kans op schade aan de waterkering in geval van een zettingsvloeiing bekend zijn, kunnen zij gecombineerd worden tot de kans op schade aan een zeker dijkvak a.g.v. zettingsvloeiing. Deze wordt verhoudingsgewijs vergeleken met de gereserveerde normkans.

Risico's op zettingsvloeiing worden in de Hollandse Delta met de gewoonlijke inspectie van waterkeringen niet gesignaleerd en komen daardoor pas bij de toetsing aan het licht.

Het doel van het Meet- en Monitoringsplan is die dijkvakken te selecteren die gevoelig zijn voor zettingsvloeiing en voor elk daarvan een meetfrequentie voor multibeam oeverlodingen te kiezen die strookt met de plaatselijke bodemdynamiek of voorspelbaarheid en het belang van het kwantificeren van de (toekomstige) kans op schade door zettingsvloeiing.

De vigerende toetsregels zijn het Voorschrift Toetsen op Veiligheid en, aanvullend, de Handreiking Toetsen Voorland Zettingsvloeiing, [VTV, 2006] en [Handreiking Zettingsvloeiing, 2012].

Gegevens van oeverlodingen die anno 2014 op risicolocaties vier maal per jaar worden uitgevoerd, kunnen in combinatie met data van Rijkswaterstaat, beschikbaar via het Landelijk Opslagsysteem Lodingen, geanalyseerd worden om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de onderwateroever. Men is daarbij geïnteresseerd in versteiling, landwaartse migratie en toename van de taludhoogte of geuldiepte.

Ieder boekjaar zal op basis van lodingsgegevens tot en met het vorige jaar, een plan moeten worden gemaakt voor het uitvoeren van lodingen in het volgende jaar. Dit wordt gedaan met behulp van een stroomschema dat ieder jaar aangepast moet worden aan wijzigingen in het wettelijk kader en nieuwe inzichten. Hierin wordt achtereenvolgens bepaald of een zeker dijkvak zettingsvloeiingsgevoelig is en of de faalkans de gereserveerde faalkansruimte van de norm niet overschrijdt. Indien er voldoende data beschikbaar is om een trend waar te nemen, kan er een prognose gegeven worden over de toekomstige faalkans en of en wanneer deze de norm zal overschrijden. Op basis daarvan wordt een kleurcodering toegepast die de veiligheid aangeeft. Daarmee verbonden zijn aanbevelingen ten aanzien van de meetfrequentie en maatregelen.

Wanneer het monitoringsplan, dat aangeeft welke dijkvakken met welke frequentie moeten worden gelood, af is, wordt in het meetplan de vertaalslag gemaakt naar de daadwerkelijke plannig en uitvoering. Hierbij wordt rekening gehouden met het stormseizoen, rivierafvoer en getij. Om vergelijking mogelijk te maken, dienen de lodingen steeds uitgevoerd te worden volgens dezelfde norm en moeten de resultaten, na validatie, in hetzelfde bestandstype worden opgeslagen. Na een stormvloed of ander ingrijpend incident, moet een kwetsbaar dijkvak een extra maal worden ingelood.

Wanneer het in dit document gepresenteerde stroomschema wordt gebruikt bij het vormen van een monitoringsplan, kunnen, zoals ten doel gesteld was, dijkvakken worden geselecteerd die (mogelijk) gevoelig zijn voor zettingsvloeiing. Er dient bij de doorontwikkeling aandacht besteed te worden aan de verschillende mogelijke niveaus van toetsing, de betrouwbaarheid van een waargenomen trend, de invloed van oeverbekleding en onzekerheden betreffende de bodemopbouw.

Inhoudsopgave

Samenvatting	i
Inleiding	v
1 Beschrijvingen	1
1.1 Waterschap Hollandse Delta	1
1.1.1 Historie van de delta	2
1.1.2 Ontstaan en organisatie waterschap	3
1.1.3 Dijkkringen	4
1.1.4 Riviertakken	5
1.1.5 Beleid	8
1.2 Zettingsvloeiing en aanverwanten	8
1.2.1 Afschuiving	9
1.2.2 Zettingsvloeiing	10
1.2.3 Discussie en vergelijking mechanismen	11
1.2.4 Maatregelen	12
1.3 Probabilistiek	13
1.3.1 Toelaatbare faalkans	13
1.3.2 Kans op schade aan de waterkering in geval van zettingsvloeiing	14
1.3.3 Kans op zettingsvloeiing	14
1.3.4 Toetsen van kans op schade aan de norm	14
1.4 Samenvatting	15
2 Probleemstelling, doel en uitgangspunten	17
2.1 Probleemstelling	17
2.2 Doel	17
2.3 Uitgangspunten	18
3 Inventarisaties	19
3.1 Toetsingen	19
3.2 Oeverlodingen	19
3.3 Hydrografische gegevens van RWS	19
3.4 Analyse van lodingsgegevens	19
4 Meet- en Monitoringsplan	21
4.1 Procedure	21
4.2 Monitoringsplan	21
4.2.1 Aandachtsgebied	21
4.2.2 Voorland	21
4.2.3 Verwekingsgevoeligheid	21
4.2.4 Zettingsvloeiingsgevoeligheid	23
4.2.5 Data, analyse en prognose	23
4.2.6 Interpretatie: classificatie met kleurcodering	23
4.2.7 Stroomschema	23
4.2.8 Levend document	23
4.3 Meetplan	23
4.3.1 Van frequentie naar planning	23
4.3.2 Getij	25
4.3.3 Uitvoering	25

4.3.4	Validatie en opslag	25
4.3.5	Stormvloeden en incidenten	25
Conclusies en discussie		27
Aanbevelingen bij doorontwikkeling		29
Nawoord		31
Bijlage I:		
	aanzet tot Meet- en Monitoringsplan Zettingsvloeiing in de Hollandse Delta	37
Bijlage II:		
	Handvatten Zettingsvloeiing in de Hollandse Delta	53
Bijlage III:		
	Proces- en producteisen Hydrografische werkzaamheden	69

Inleiding

Bij de verlengde derde toetsronde voor primaire waterkeringen in 2013, is een deel van de waterkeringen in de Hollandse Delta afgekeurd op voorlandstabiliteit wegens zettingsvloeiing. Voor het waterschap kwam dit als een verrassing. Een aantal trajecten zijn met spoed bestort, anderen worden vier maal per jaar m.b.v. oeverlodingen ingemeten.

Om in de toekomst beter zicht te hebben op de voorlandstabiliteit van de dijken wil Waterschap Hollandse Delta (WSHD) een monitoring, specifiek gericht op zettingsvloeiing, toevoegen aan het inspectieprogramma.

Het beheergebied van WSHD omvat de Zuid-Hollandse eilanden, inclusief een deel van Rotterdam. In de riviertakken die de eilanden omarmen is zowel sprake van rivierafvoer als van een getijdeninvloed van de zee. Op locaties met een zandige bodem leidt het getij tot uitschuring. Dit kan stroomgeulen verdiepen en erosiegaten doen ontstaan. Wanneer een helling die uit losgepakt zand bestaat steiler wordt, kan er schijnbaar plotseling een grote instabiliteit ontstaan waardoor een grote massa zand wegvloeit. Omdat het zand onder een zeer flauwe helling sedimenteert, ontstaat een diepe inscharing in de betreffende oever. Als er zich op de oever een waterkering bevindt, kan deze beschadigd raken of volledig onderuitgaan. Dat wordt een dijkval genoemd. De kans dat er zich een zettingsvloeiing voordoet, en de kans dat de inscharing in geval van een zettingsvloeiing langer is dan de breedte van het voorland, kunnen berekend worden met behulp van o.a. geometrische gegevens. Deze hydrografische gegevens volgen uit oeverlodingen.

WSHD is niet enkel geïnteresseerd in de momentane staat van de oevers, maar ook in de ontwikkeling. Het volgen van de ontwikkeling van een oever, maakt het mogelijk een prognose te maken voor de verdere ontwikkeling en daarmee voor de toekomstige faalkans. Hierdoor kan men ingrijpen voordat een gereserveerde normkans overschreden wordt. Binnen WSHD is er behoefte aan:

- ◇ een **Meet- en Monitoringsplan** waarmee de ontwikkeling van de rivierbodem in relatie tot de stabiliteit van de waterkeringen goed en efficiënt gevolgd kan worden,
- ◇ een **Uitwisselingsprotocol met RWS** dat vastlegt wanneer en, vooral, hóe gegevens worden aangeleverd,
- ◇ een basisdocument (format) voor opname van lodingen en interpretaties in de **Jaarlijkse Rapportage**, dat het verslagleggen van de juiste gegevens, en de interpretatie daarvan, moet vereenvoudigen,
- ◇ bepaling van **Beoordelingscriteria en Interventiewaarden** die aangeven wanneer er ingegrepen dient te worden.

Dit aanvullend afstudeeronderzoek is gericht op het ontwikkelen van een meet- en monitoringsplan. Het doel is een flinke aanzet daartoe af te leveren. Op een zijspoor worden ook voor de overige gewenste stukken handvatten opgesteld, deze komen in dit rapport niet aan bod maar zijn te vinden in Handvatten Zettingsvloeiing Hollandse Delta, [Vink, 2014b].

In het eerste hoofdstuk worden uitgebreide beschrijvingen gegeven over de delta, het mechanisme zettingsvloeiing en de rol die probabilistiek kan spelen. De historie van de delta, het ontstaan van het waterschap, de eigenschappen van de dijkringen en riviertakken en het beleid dat gevoerd wordt, komen in §1.1 aan bod. §1.2 zet de verschillen tussen een aantal faalmechanismen grafisch uiteen en benoemt mogelijke maatregelen. Zowel de (statistische) kennis over faalmechanismen en ervaring met maatregelen, zijn grotendeels ontleend aan onderzoek naar vallen in de Zeeuwse Stroom, dat onder leiding van ing. M.H. Wilderom is uitgevoerd en in 1979 is gepubliceerd. In §1.3 is beschreven hoe, in navolging van de vigerende toetsregels, kan worden bepaald of de faalkans (gedefinieerd als de kans op schade aan de waterkering, ofwel de kans dat de inscharinglengte als gevolg van zettingsvloeiing groter is dan het aanwezige voorland) binnen de gereserveerde normkans valt. Omdat dit eerste hoofdstuk relatief groot is, heeft het als enige een eigen samenvatting in §1.4.

Wat de probleemstelling, het doel en de uitgangspunten zijn bij het ontwikkelen van een meet- en monitoringsplan specifiek voor zettingsvloeiing in de Hollandse Delta, wordt genoemd en verklaard in hoofdstuk 2.

In hoofdstuk 3 volgen enkele inventarisaties naar de huidige gang van zaken rondom toetsen en loden, en hoe lodingsgegevens bij kunnen dragen aan het inzicht in de ontwikkeling van de onderwateroever en de stabiliteit van die oever.

Zowel het monitoringsplan (waar moet hoe vaak gemeten worden?) als het meetplan (wanneer en hoe worden de metingen uitgevoerd?) moeten ieder jaar herzien worden. De relaties onderling en met informatie van buitenaf staan beschreven in §4.1. Om tot een monitoringsplan te komen moet een aantal stappen doorlopen worden. Deze zijn uiteengezet in §4.2 en samengevat in een stroomschema (figuur 4.2). De aspecten die van belang zijn bij het opstellen van een meetplan worden beschreven in §4.3.

Daarna volgen nog de conclusies en discussie, waaruit blijkt wat de mogelijkheden tot verbetering zijn, en de aanbevelingen die bij doorontwikkeling en implementatie van het meet- en monitoringsplan in gedachten dienen te worden genomen.

Hoofdstuk 1

Beschrijvingen

Binnen waterschap Hollandse Delta bestaan bij een aantal locaties zorgen over zettingsvloeiing en is er onder andere behoefte aan een meet- en monitoringsplan. Dit hoofdstuk schetst een beeld van het waterschap, §1.1, zowel het beheersgebied als de organisatie, het bezwijkmechanisme zettingsvloeiing, §1.2, en hoe probabilistiek, §1.3, kan helpen bij het inschatten van risico's.

1.1 Waterschap Hollandse Delta

De verantwoordelijkheid voor de kwantiteit en kwaliteit van water en de bescherming tegen overstromingen is in Nederland verdeeld over 24 waterschappen. Het zuidelijk deel van de provincie Zuid-Holland wordt sinds 2005 beheerd door waterschap Hollandse Delta (hierna afgekort tot WSHD) dat is ontstaan uit de samenvoeging van kleinere, historisch gevormde, waterschappen. Figuur 1.1 laat een schematische overzichtskaart zien. Het grondgebied van WSHD omvat 7 eilanden die van elkaar gescheiden zijn door riviertakken wier afvoer afkomstig is van Maas en Rijn. Ook de getijdenbeweging van de Noordzee en kunstwerken die een deel van de riviertakken afsluiten van de zee, beïnvloeden de stroming. Net als de riviertakken, hebben ook dijkringen elk hun eigen karakter. Ze verschillen bijvoorbeeld in mate van bebouwdheid en in hoogteligging. In hoeverre een gebied in geval van overstroming kan afwateren onder natuurlijk verval is medebepalend voor de veiligheidsnorm die wettelijk is vastgelegd. De hier volgende subparagrafen behandelen de historische vorming en geologische opbouw van de delta (1.1.1), het ontstaan van waterschappen en de organisatie van waterschap Hollandse Delta (1.1.2), de dijkringen en riviertakken binnen het beheersgebied (respectievelijk 1.1.3 en 1.1.4) en het beleid dat WSHD voert (1.1.5).

Figuur 1.1: Schematisch overzicht van het beheersgebied van Waterschap Hollandse Delta, de Zuid-Hollandse eilanden



source: Google Earth

1.1.1 Historie van de delta

Wat wij nu Nederland noemen, heeft in de loop der tijden afwisselend onder water en droog gelegen. Duinen en veen zijn ontstaan en verdwenen, zand en klei werden afgezet en ge-erodeerd. De bovenste lagen van onze ondergrond zijn gevormd tijdens het Cenozoïcum, met name het Kwartair. Dit beslaat het Pleistoceen (2,4 miljoen tot 10.000 jaar geleden) en het Holoceen (10.000 jaar geleden tot nu).

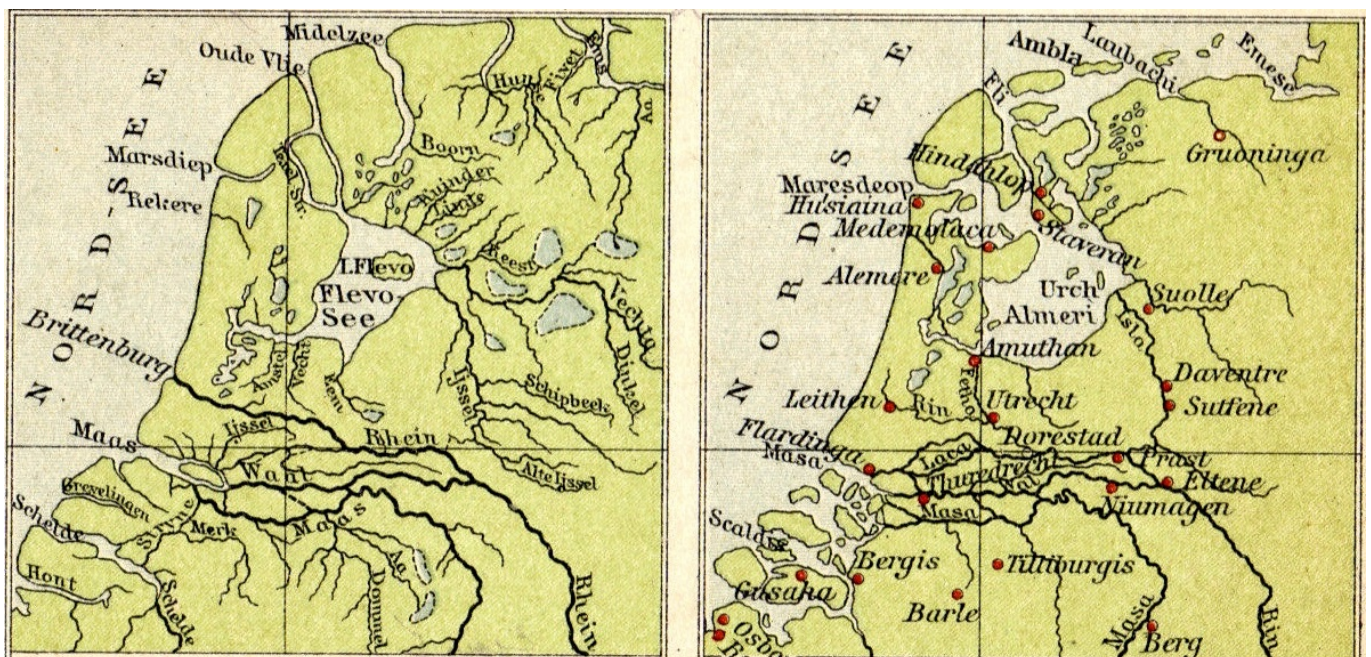
In het Pleistoceen kwamen ijstijden voor. Tijdens het Saalien (300.000 tot 130.000 jaar geleden) was de noord-oostelijke helft van Nederland bedekt met landijs. Dit dwong de rivieren die eerder noordwaarts stroomden, hun loop te verleggen naar het westen. Men zou kunnen zeggen dat dit het begin was van de Hollandse Delta. Tijdens de laatste ijstijd (het Weichselien, 100.000 tot 10.000 jaar geleden) trok de zee zich terug en werd zand door de wind over het land verdeeld: dekzand en, in Limburg, löss. Toen het klimaat weer warmer werd, maakten smeltwater en neerslag de bodem drassig waardoor moerassen ontstonden en veen zich ontwikkelde. Ook kreeg de Noordzee in grote lijnen haar huidige vorm.

De eerste (oudste, diepste) veenlagen die men tegenkomt in de ondergrond worden vaak gezien als het begin van de Holocene lagen. Daar onder bevindt zich het Pleistocene zand.

Aan het begin van het Holoceen was de zeespiegel ongeveer 20 meter lager dan nu. De dikke veenlagen die toen gevormd zijn, werden zo'n 7.000 jaar geleden overspoeld door de zee; deels doordat de zeespiegel steeg, deels ook doordat de tectonische plaat waar Nederland op ligt, aan deze kant naar beneden zakte. Sediment dat door de zee bovenop het veen werd afgezet, drukte de veenlagen samen. Het resultaat is een ondoordringbare laag op ongeveer 20 meter onder NAP. Op sommige plaatsen is deze onderbroken door uitspoeling door de zee. Het zand werd door de golven opgehoopt tot zandbanken die de basis zouden vormen voor de oude duinen. Oude zeeklei werd afgezet in de lagunes die in west Nederland ontstonden, in een laag die wel 4 tot 6 meter dik is. De duinen sloten uiteindelijk het gebied af van de zee waardoor meren gevormd werden en er zich opnieuw veen vormde. Bij het doorbreken van duinen werden flinke stukken veen weggespoeld. Nieuwe duinen vormden zich uit zand dat aanspoelde op de kust. Door de weinige vegetatie werd slechts een deel van het zand op zijn plek gehouden, de rest woei weg. Nog steeds hebben de duinen de neiging zich landinwaarts te verplaatsen. Overstromingen zorgden voor de afzetting van zand, grof in stroomgeulen en fijner op het naastgelegen land. De bodemdaling door zetting is sterker bij fijner zand waardoor de vroegere stroomgeulen nu boven het omringende zand uitsteken.

In de 5e tot en met de 8e eeuw werd jonge zeeklei afgezet door overstromingen. Ook rivieren traden buiten hun oevers en spoelden veen weg of bedekten die met rivierklei. Figuur 1.2 laat zien hoe de delta van de rivieren Rijn, Maas en Schelde er uit zag in de Romeinse tijd en de late middeleeuwen. Opvallend is het resultaat van de eerder genoemde overstromingen: verleggingen en verbindingen van zeearmen en riviertakken en de vorming van eilanden.

Figuur 1.2: Ontwikkeling van de Rijn-Maas-Scheldedelta van de 1e tot de 10e eeuw



source: Trampers Geographischer Mittelschulatlas [Montzka, begin 20e eeuw]

Later heeft vooral de St. Elizabethsvloed in 1421 de loop van de benedenrivieren beïnvloed. Er ontstonden nieuwe zeegaten en verbindingen tussen zeearmen, zoals de Dordtsche Kil, waar de afvoer van de Waal kon uitstromen. Sindsdien wordt wat nu de Nieuwe Maas is, voornamelijk gevoed door de Lek.

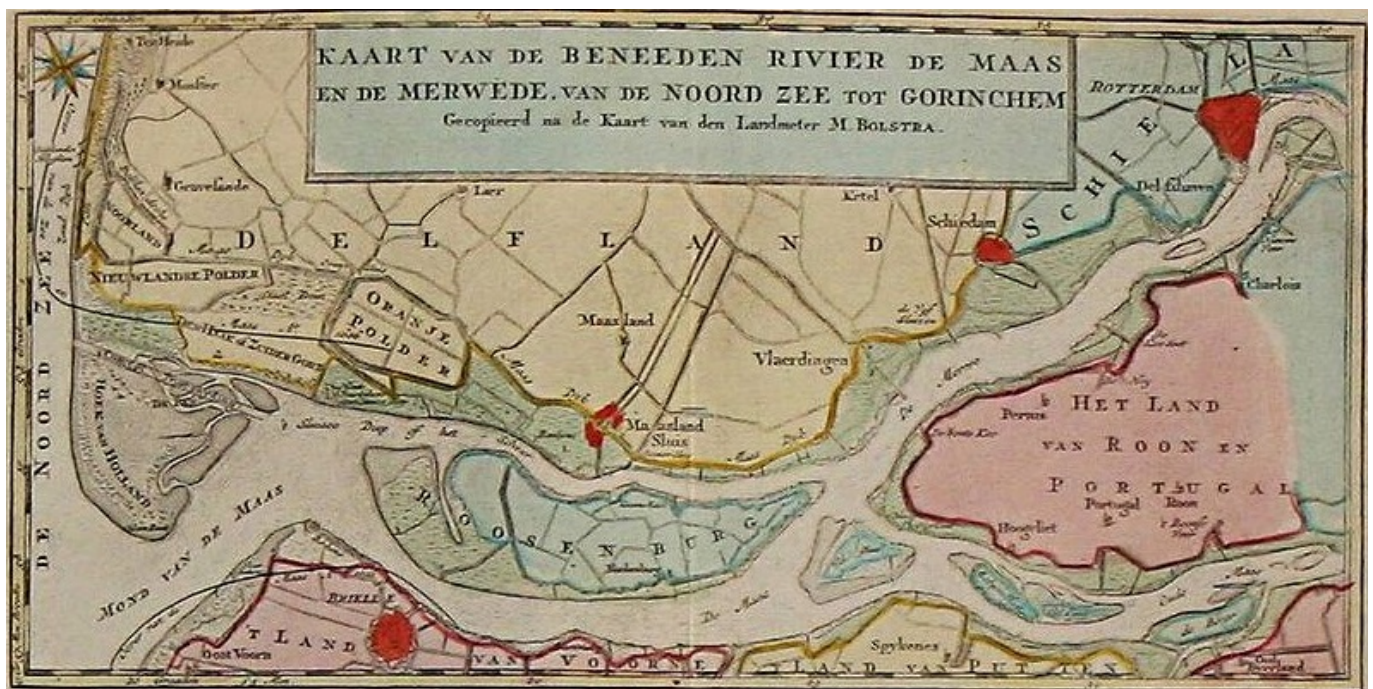
Op basis van bovenstaande wordt er in de delta een bodemopbouw verwacht van jonge zeeklei en rivierklei aan de oppervlakte, daaronder zand waarin vroegere stroomgeulen herkenbaar zijn door de dikkere laag en grovere korrels, veen en oude zeeklei met een laagdikte tot 6 m, dan weer zand en een veenlaag op circa 20 m onder het oppervlak met daaronder Pleistoceen zand.

1.1.2 Ontstaan en organisatie waterschap

Behalve de natuur heeft ook de mens een grote rol gespeeld in de ontwikkeling van de Nederlandse bodem en het landschap. In eerste instantie woonde men op natuurlijk hooggelegen locaties. Later werd begonnen met het opwerpen van heuvels of terpen die tot in de 12e eeuw regelmatig verhoogd moesten worden vanwege stijging van de zeespiegel. Rond het jaar 800 begon het bouwen van dijken langs rivieren en later ook langs de kust. De dijken beschermden het land tegen inundatie en stopten daarmee ook de natuurlijke afzetting van sedimenten. Het binnendijkse land steeg daardoor niet meer mee met het land buitendijks, dat door het kleinere beschikbare oppervlak voor sediment juist sneller steeg en hogere waterstanden veroorzaakte. Drainage ten behoeve van de landbouw zorgde voor het inklinken van de bodem, een proces dat nog steeds voortduurt, zei het aanmerkelijk trager. De mate van bodemdaling hangt af van de dikte van de zachte lagen (veen en klei). Bodemdaling, gecombineerd met hogere waterstanden, maakte het steeds moeilijker om af te wateren. Waar men eerst onder natuurlijk verval kon afwateren tijdens laag water, werden sinds het einde van de middeleeuwen waterschreeven en -raden gebruikt om overtollig regenwater te lozen. De uitvinding van de windmolen in het begin van de 15e eeuw en van de stoommachine aan het eind van de 18e eeuw vergemakkelijkten dit. Men kon nu ook drassige gebieden en meren droogmalen en daarmee nieuwe akkergrond scheppen. Polders (gebieden waar kunstmatig een grondwaterpeil wordt aangehouden, dat meestal lager ligt dan het peil buitendijks) gingen een steeds groter deel van het landschap bepalen.

In figuur 1.3 is een deel van de Hollandse delta getoond zoals deze er in 1769 uitzag. We kunnen hierin het eiland Rozenburg (Roosenburg) herkennen en daar onder Voorne-Putten ('t Land van Voorne en 't Land van Putten), evenals een aantal plaatsnamen. De Merwe (nu Nieuwe Maas, benedenloop van de Merwede via de Noord) stroomt op deze afbeelding in westelijke richting en komt samen met De Maas (nu Oude Maas). Tussen Delfland en Rozenburg ligt 't Sluisse Diep of het Scheur, die laatste benaming wordt nog steeds gebruikt. De monding (Mond van de Maas) is breder en ligt meer naar het zuiden dan de Nieuwe Waterweg die in 1872 voltooid is wegens verzanding in de mond die de scheepvaart belemmerde. Dat verklaart ook dat de vorm van Hoek van Holland anders is op deze kaart. Bovendien zien we dijkeringen en een aantal keer de aanduiding *Polder*.

Figuur 1.3: Delta van de Maas en de Merwede, anno 1769



source: Izaak Tirion [?]

Om de waterhuishouding van de ontstane polders te regelen en het grondwaterpeil te beheersen, ontstonden er waterschappen. Rond 1850 waren er daar 3.500 van. Vooral in de tweede helft van de 20e eeuw is het aantal sterk teruggelopen wegens fusies. Per 1 januari 2014 zijn er 24 waterschappen, of hoogheemraadschappen, die elk een gebied beheren dat in grootte varieert van enkele tientallen vierkante kilometers (Blija Buitendijks) tot iets meer dan

een gehele provincie (Frýslan). Veel daarvan zijn verdeeld over twee of soms drie provincies en omvatten het stroomgebied van één of meerdere riviertakken. Waterschap Hollandse Delta beslaat 101.809 ha en bestaat sinds 1 januari 2005 toen de waterschappen van Brielse Dijkkring, Goeree-Overflakkee, de Groote Waard en IJsselmonde en een deel van het Zuiveringschap Hollandse Eilanden en Waarden zich samenvoegden.

De dijkringen die daarmee onder het beheer van WSHD vallen, zijn de (voormalige) Zuid-Hollandse eilanden Eiland van Dordrecht, Goeree-Overflakkee, Hoeksche Waard, IJsselmonde, Pernis, Rozenburg en Voorne-Putten. De riviertakken die hen begrenzen, zijn de Nieuwe Maas, de Oude Maas, de Noord, de Beneden Merwede, de Nieuwe Merwede, de Dordtsche Kil, het Hollands Diep, het Spui, het Scheur, de Nieuwe Waterweg, het Calandkanaal, het Hartelkanaal, het Haringvliet, het Hitsertsche- of Vuile Gat, het Volkerak, het Krammer en de Grevelingen. De dijkringen en riviertakken worden respectievelijk in 1.1.3 en 1.1.4 behandeld.

WSHD draagt de verantwoordelijkheid voor de bescherming tegen wateroverlast, het beheer van oppervlaktewater en vaarwegen, het beheer van wegen en fietspaden buiten de bebouwde kom, de zuivering van afvalwater en de ruimtelijke invulling van de Zuid-Hollandse eilanden. De grofweg 1 miljoen inwoners kunnen vertrouwen op waterveiligheid dankzij 787 km aan waterkeringen. NB een groot deel van de kustbescherming (duinen, zeedijken en deltawerken) valt onder Rijkswaterstaat (hierna afgekort tot RWS).

De ruim 550 medewerkers van WSHD werken in verschillende afdelingen aan de 5 aspecten Watersysteem, Wegbeheer, Zuiveren afvalwater, Vaarwegen en Waterkeringen. De 14 afdelingen Beheer & Onderhoud, Data & Advies, Handhaving, Plannen & Regie, Projecten & Uitvoering, Technisch Onderhoud, Technologie & Beleid, Vergunningverlening, Zuiveren, Bestuurlijke & Juridische Zaken, Facilitaire Zaken, Financiën, Informatisering & Automatisering en Personeel & Organisatie (Kwaliteit, Arbeidsomstandigheden & Milieu) bestaan elk uit 2 tot 5 onderafdelingen of teams.

Het waterschap staat onder leiding van een dagelijks en een algemeen bestuur. 30 gekozen leden en de dijkgraaf, benoemd door de Kroon, vormen het algemeen bestuur, ofwel de Verenigde Vergadering. Deze leden worden democratisch gekozen uit politieke partijen (namens inwoners), namens natuurerreinen, de agrarische sector en het bedrijfsleven. De leden van de Verenigde Vergadering zijn verdeeld in 3 adviescommissies: Water, (vaar)Wegen & Vergunningverlening en Middelen, Bestuurlijke Zaken & Handhaving. De Verenigde Vergadering kiest bovendien 5 leden tot heemraad die samen met de dijkgraaf het dagelijks bestuur vormen, ofwel het college van Dijkgraaf en Heemraden. Commissie- en bestuursvergaderingen zijn openbaar en vinden plaats in het Waterschapshuis, in Ridderkerk.

1.1.3 Dijkkringen

Voor elk van de 7 dijkringen, figuur 1.4a op pagina 6, binnen WSHD wordt hieronder weergegeven wat de belangrijkste kenmerken zijn, aan welke wateren het grenst en wat de geldende veiligheidsnorm is.

17. IJsselmonde

Dijkkring 17 beslaat het grootste gedeelte van het eiland IJsselmonde, dat haar naam ontleent aan de Hollandse IJssel, een voormalige aftakking van de Lek. IJsselmonde is dichtbebouwd met woonkernen die verdeeld zijn over de gemeenten Rotterdam, Albrandswaard, Barendrecht, Ridderkerk, Zwijndrecht en Hendrik-Ido-Ambacht. Voor deze dijkkring geldt een veiligheidsnorm van 1/4.000 per jaar. Ten noordwesten van dijkkring IJsselmonde ligt het havengebied van Rotterdam, de dijkkring grenst aan de Nieuwe Maas (noord), de Noord (oost) en de Oude Maas (zuid).

18. Pernis

Pernis is een dorp op het eiland IJsselmonde dat door het havengebied van Rotterdam is afgesloten van de andere woonkernen op het eiland. Daarom heeft het een eigen dijkkring met eveneens een eigen veiligheidsnorm van 1/10.000 per jaar. Pernis grenst aan de Nieuwe Maas (noord).

19. Rozenburg

Dijkkring 19 omvat Rozenburg, het enige dorp op het eiland Rozenburg, en heeft een veiligheidsnorm van 1/10.000 per jaar. In het noorden grenst het aan het Scheur, in het westen ligt een zijkanaal van de Nieuwe Waterweg, het Calandkanaal. Aan de zuid- en oostzijde grenst de dijkkring niet direct aan een waterlichaam maar aan het haven- en industriegebied van de Rotterdamse Botlek. Ten westen van Rozenburg ligt de Europoort.

20. Voorne-Putten

Voorne-Putten is een landelijk eiland met enkele grote en een aantal kleinere woonkernen in de gemeenten Spijkensse, Hellevoetsluis, Brielle, Bernisse en Westvoorne. Hier geldt een veiligheidsnorm van 1/4.000 per jaar. De dijkkring grenst aan het Hartelkanaal (noord), het Spui (oost), het Haringvliet (zuid) en de Noordzee (west). Ten noordwesten van dijkkring 20 ligt haven- en industriegebied de Maasvlakte, in het uiterste oosten van het eiland ligt het spaarbekken Berenplaat van waterbedrijf Evides.

21. Hoekse Waard

Ook de Hoekse Waard is een landelijk eiland met een aantal woonkernen in de gemeenten Binnenmaas, Cromstrijen,

Korendijk, Oud-Beijerland en Strijen, wier naam verwijst naar de voormalige rivier de Stryne, zie figuur 1.2. Voor dijkkring 21 geldt een veiligheidsnorm van 1/2.000 per jaar. Het eiland grenst aan de Oude Maas (noord), de Dordtsche Kil (oost), het Hollands Diep (zuid) en het Spui (west). Ten zuiden van de Hoekse Waard ligt het eiland Tiengemetten, een natuurgebied. Het water ertussen wordt het Hitsertsche- of Vuile Gat genoemd.

22. Eiland van Dordrecht

Dijkkring 22 omvat een groot deel van het Eiland van Dordrecht. Zoals de naam doet vermoeden, ligt hier de stad Dordrecht. Er geldt een veiligheidsnorm van 1/2.000 per jaar. De dijkkring grenst direct aan de Oude Maas (noord), Nieuwe Merwede (zuidoost) en de Dordtsche Kil (west). Het oosten van het eiland is voornamelijk natuurgebied dat aansluit op de Biesbosch (Noord-Brabant).

25. Goeree-Overflakkee

Dijkkring 25 omvat een groot deel van het landelijke eiland Goeree-Overflakkee. Er is slechts één gemeente met een aantal woonkernen. Voor deze dijkkring geldt een veiligheidsnorm van 1/4.000 per jaar. De dijkkring grenst in het noorden aan het Haringvliet en in het zuidwesten aan de Grevelingen. De zuidelijke rand van het eiland, met brede voorlanden, en de Grevelingen, het Krammer en het Volkerak laten door de zandplaten en diepe geulen een herinnering zien aan de karakteristieke dynamiek van het vroegere estuarium. Ten westen van Goeree-Overflakkee bevindt zich de Noordzee.

1.1.4 Riviertakken

De karakteristieken van de riviertakken, figuur 1.4b op pagina 6, zoals dimensies en de invloed van rivier en zee worden hieronder behandeld.

Nieuwe Maas

De Nieuwe Maas is een van de mondingsarmen van de Rijn en is slechts in zeer kleine mate beïnvloed door de Maas. De stroomrichting is westwaarts, vanaf de samenvloeiing van Lek en Noord, tot de overgang naar het Scheur. De Nieuwe Maas is 24 km lang en 265 tot 465 m breed.

Scheur

Het Scheur vormt de overgang van samenvoeging van de Nieuwe en de Oude Maas naar de Nieuwe Waterweg bij Rozenburg. Het is 13 km lang en ongeveer 500 m breed.

Nieuwe Waterweg

Door verzanding van de monding van de Maas werd het scheepsverkeer belemmerd en ontstond in de 19^e eeuw de behoefte naar een andere doorvaart vanaf het Scheur naar de Noordzee, en wel door Hoek van Holland. De Nieuwe Waterweg kwam in 1872 tot stand. Sediment dat door de getijdenbeweging wordt aangevoerd, wordt doorlopend weggebaggerd door RWS om voldoende diepte te behouden voor grote schepen zoals mammoettankers. De Nieuwe Waterweg wordt gevoed door afvoer van de Rijn (Lek en Waal, via de Noord en de Oude en Nieuwe Maas). Er is enige onduidelijkheid wat betreft de lengte van deze vaarweg omdat er geen eenduidigheid is over waar zij begint. Het Scheur meegerekend is de Nieuwe Waterweg ongeveer 20 km lang. Alleen de gegraven vaargeul door de duinen van Hoek van Holland is ruim 5 km lang. De breedte is 480 tot 675 m. De bodem ligt op NAP -14,50 tot -16,00 m.

Calandkanaal

Het Calandkanaal loopt parallel aan de Nieuwe Waterweg, vanaf de monding tot Rozenburg, door het haven- en industriegebied Europoort. Vanwege de afsluiting stroomopwaarts bij de Rozenburgse Sluis is er geen sprake van rivierafvoer, wel staat het kanaal onder invloed van de zee. Het Calandkanaal is ongeveer 14 km lang en 230 tot 600 m breed.

Hartelkanaal

Het Hartelkanaal loopt vanaf de Oude Maas door de Europoort naar de Maasvlakte. De stroming wordt bepaald door rivierafvoer en getij. Het Hartelkanaal is 24 km lang en 160 tot 450 m breed.

Oude Maas

De Oude Maas loopt vanaf de Beneden Merwede zuidelings langs IJsselmonde naar het Scheur waar zij samenkomt met de Nieuwe Maas. De afvoer en het getij zorgen gezamenlijk voor stroomsnelheden tot wel 5 km/h. De Oude Maas is 30,2 km lang en 180 tot 340 m breed. De gemiddelde bodemligging is NAP -9,45 m.

Noord

De Noord loopt vanaf de Beneden Merwede noordwaarts tot de Lek, waarmee zij samenvloeit in de Nieuwe Maas. De stroomrichting varieert met het getij. Ter hoogte van Hendrik-Ido-Ambacht ligt het eiland Sophiapolder. De smalle

Figuur 1.4: De dijkringen en riviertakken binnen het beheersgebied van Waterschap Hollandse Delta

(a) De zeven dijkringen op de Zuid-Hollandse eilanden



(b) De riviertakken in de Hollandse Delta



parallelstroom aan de zijde van IJsselmonde heet de Rietbaan. De Noord is 9 km lang en 160 tot 280 m breed.

Beneden Merwede

De Beneden Merwede stroomt vanaf de Boven Merwede in westelijke richting en splitst zich ter hoogte van Dordrecht in de Noord en de Oude Maas. De rivier ontvangt haar afvoer van de Waal (Rijn) en de (Afgedamde) Maas via het Heusdensch kanaal. De Beneden Merwede is 14,8 km lang en 245 m breed. De bodemligging is NAP -5,90 m.

Nieuwe Merwede

De Nieuwe Merwede loopt van de Boven Merwede in zuidwestelijke richting en komt uit in het Hollands Diep. Ze is tussen 1861 en 1874 uitgegraven door de Biesbosch om het debiet van de Waal sneller te kunnen afvoeren. De Nieuwe Merwede is 18,2 km lang en 325 tot 695 m breed. De bodemligging is NAP -5,30 tot -3,70 m.

Dordtsche Kil

De Dordtsche Kil verbindt de Oude Maas met het Hollands Diep en vormt de westelijke grens van het Eiland van Dordrecht en de oostelijke van de Hoekse Waard. Aan beide zijden liggen de waterkeringen direct aan de rivier en is er geen buitendijks gebied. De Dordtsche Kil is 9 km lang en gemiddeld 260 m breed. De gemiddelde bodemligging is NAP -10,00 m.

Hollands Diep

Het Hollands Diep loopt vanaf de samenkomen van de Nieuwe Merwede en de Amer (Maas) naar het westen tot aan de Haringvlietbrug. Het is ontstaan door de landinwaartse uitbreiding van de zeearmen het Haringvliet en de Stryne. Na de Watersnoodramp van 1953 is er zand en klei uit het Hollands Diep gehaald om de doorgebroken dijken te dichten. Wat achterbleef waren diepe putten. Het Hollands Diep is 21 km lang en 905 tot 2.070 m breed. De gemiddelde bodemligging is NAP -6,80 m.

Haringvliet

Het Haringvliet is een voormalige zeearm tussen Voorne-Putten en Goeree-Overflakkee die tijdens de stormvloed van 1216 ontstaan is. In het Haringvliet ligt het eiland Tiengemeten. De parallelstroom van bijna 600 m breed en 7 km lang aan de zijde van de Hoekse Waard heet het Hitsertsche- of Vuile Gat. Het Haringvliet zelf is 28 km lang en 795 tot 3.150 m breed. De bodemligging is gemiddeld NAP -8,00 m, maar lokaal komen er gaten voor met een diepte tot NAP -39 m ter hoogte van Middelharnis, tegenover het Spui.

Na 1953 zijn de Haringvlietdam en -sluizen gebouwd die het afsluiten van de zee. De 17 spuisluizen werden in eerste instantie alleen gebruikt om rivierwater te spuien. Door de afsluiting stijgt en daalt het waterniveau in het Haringvliet niet mee met dat van de noordelijker gelegen takken. Bij eb ontstaat er zo een verhang dat het zoete water vanaf het Haringvliet als het ware door het Spui "trekt" richting de Nieuwe Waterweg. Bij de realisering van de Deltawerken is daar bewust gebruik van gemaakt om verzilting van de Nieuwe Waterweg tegen te gaan / de zouttong terug te dringen. Door deze getijde-effecten ontstaan hoge stroomsnelheden en veel erosie. In de jaren '80 al startte de discussie over het effect van de afsluiting van het Haringvliet op de natuur. In 2000 is besloten het sluisbeheer te veranderen om de nadelige invloeden te verminderen. Zo zou er sprake zijn van een "getemd getij" [Kuijken, 2010] en kan er zout water binnenstromen waardoor het Haringvliet brak wordt met een gradatie van west (zout) naar oost (zoet). De gedeeltelijke openstelling van de sluizen zou de dynamiek terug kunnen brengen in het estuarium, mogelijkheden bieden voor vissen om de riviertakken naar het achterland te betreden en voor andere diersoorten, zoals vogels, om te foerageren. Vanwege zorgen over verzilting van zoetwaterinnamepunten en de Nieuwe Waterweg is de uitvoering van dit besluit meerdere keren uitgesteld, ingetrokken en opnieuw genomen. Als en wanneer het zogenaamde Kierbesluit wordt uitgevoerd, zal dit de stroomsnelheden in het Spui ten goede veranderen, als er al een effect te bemerken valt.

Spui

Het Spui verbindt het Haringvliet met de Oude Maas en scheidt Voorne-Putten van de Hoekse Waard. Het is een bochtige rivier die ontstaan is door de stormvloed van 1532, met veel slib en een aantal slikken die door de mens met rust gelaten worden. Er komen vrij hoge stroomsnelheden voor (zie Haringvliet) van enkele km/h. Het Spui is 16 km lang en 130 tot 255 m breed. De gemiddelde bodemligging is NAP -5,55 m.

Volkerak

Het Volkerak is het oostelijk deel van een voormalige zeearm, nu een zoetwatermeer, dat Goeree-Overflakkee scheidt van Noord-Brabant. Bij gebrek aan getijde-effect staat het water stil en groeit er zomers blauwalg. Het Volkerak is ongeveer 11½ bij 12 km.

Krammer

Het Krammer is het westelijk deel van hetzelfde zoetwatermeer als het Volkerak. Het Krammer is ongeveer 2 bij 7 km.

Grevelingen

De Grevelingen is een zoutwatermeer, een voormalige zeearm, op de grens van Zuid-Holland en Zeeland. Met een lengte van ruim 20 km en een breedte van 3 tot 9 km, beslaat de Grevelingen ongeveer 14.000 ha.

1.1.5 Beleid

Op haar website [www.wshd.nl] en in de kadernota [Geluk, 2013] formuleert WSHD de volgende missie: *Waterschap Hollandse Delta beschermt de Zuid-Hollandse Eilanden tegen wateroverlast, beheert het oppervlaktewater, zuivert het afvalwater, beheert de (vaar)wegen en levert een actieve bijdrage aan de ruimtelijke invulling van zijn gebied. Het richt zich daarbij, samen met anderen op veilig en duurzaam wonen, werken en recreëren voor burgers, bedrijven en andere gebruikers. Hollandse Delta is vooruitstrevend, open en transparant in de uitvoering van zijn taken, streeft naar de beste verhouding tussen maatschappelijke kosten en baten, stelt zich ten dienste van zijn omgeving en is een goed en aantrekkelijk werkgever.* Hierin herkennen we de eerder genoemde verantwoordelijkheden evenals een maatschappelijke intentie om goede relaties te onderhouden en een zeker kwaliteitsniveau te waarborgen.

Het beleid wordt in de kadernota [Geluk, 2013] in 5 programma's weergegeven, te weten Waterkeringen, Water, Zuiveren, Wegen en Algemene beleidstaken. In het kader van een meet- en monitoringsplan met betrekking tot zettingsvloeiing, richten we ons vooral op de eerste. Op het moment vinden er twee vormen van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) naast elkaar plaats. Het HWBP2 en het nHWBP. Versterkingsprojecten binnen het HWBP2 moeten uiterlijk in 2017 gereed zijn. Het nHWBP, waarbij de *n* voor "nieuwe" staat, is een continu programma waar naar aanleiding van toetsingsresultaten doorlopend keringen aan worden toegevoegd, bijvoorbeeld na de Verlengde Derde Toetsing, [Landelijke rapportage verlengde derde toetsronde, 2013]. De bekostiging voor deze projecten komt voor 90% uit een fonds waar zowel het Rijk als de waterschappen aan bijdragen, en voor 10% uit de kas van het uitvoerende waterschap. Op het gebied van zettingsvloeiing is WSHD betrokken bij een Project Overstijgende Verkenning, op nationaal niveau.

Uit de verlengde derde toetsing bleek dat een aantal keringen niet voldoet op voorlandstabiliteit vanwege een risico op zettingsvloeiing. Een aantal locaties (o.a. de Dordtsche Kil) zijn met spoed bestort. WSHD wil veiligheidsrisico's in de toekomst tijdig signaleren en daarmee grote verrassingen bij de toetsing (en de noodzaak tot spoedmaatregelen) voorkomen. De vierde toetsronde wordt ten vroegste in 2017 gestart en zal naar verwachting € 3.000.000 kosten.

Ook de Toetsing van Regionale Keringen vond in 2013 plaats, eventuele zwakke plekken dienen op kosten van het waterschap te worden versterkt. Een deel van de regionale keringen is niet genormeerd en kan dus niet getoetst worden. WSHD is betrokken bij een onderzoek van de provincie om te bepalen of ook deze keringen genormeerd en getoetst moeten worden. Zo ja, dan worden de toetsingen in 2014/2015 uitgevoerd en moeten eventuele maatregelen naar aanleiding daarvan vóór 2020 geïmplementeerd zijn.

De kadernota [Geluk, 2013] meldt verder: *Het dagelijks beheer en onderhoud van onze waterkeringen is sterk gericht op de instandhouding van de primaire waterkeringen. Het huidige beheersysteem en daaraan gekoppelde inspectiegegevens schieten nog tekort. Daardoor is het niet mogelijk een goede doorkijk tot 2030 te geven.* Hieruit blijkt dat de behoefte bestaat om veranderingen aan te brengen in het beheer en de wijze of frequentie van inspectie.

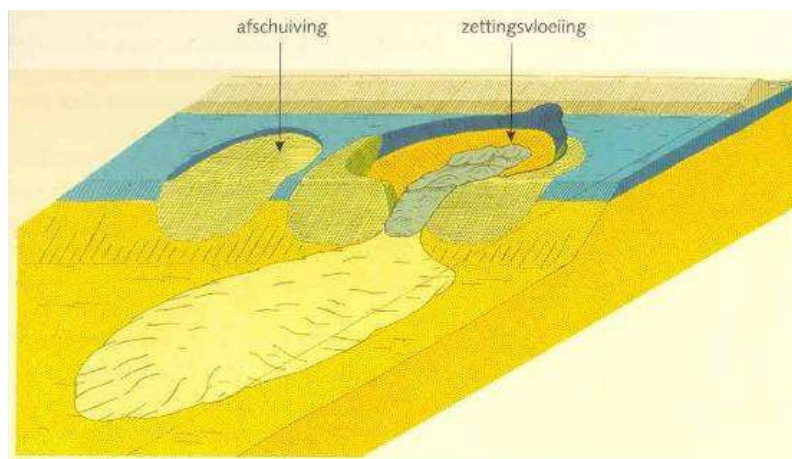
De ontwikkelingen van het waterschap en haar beleid zijn politiek gezien niet alleen afhankelijk van het eigen bestuur, maar ook van het kabinet en het Deltaprogramma. Het huidige kabinet, geformeerd in 2012 heeft de visie dat in 10 tot 15 jaar de provincies samengevoegd worden tot 5 landsdelen waar de waterschappen in op zullen gaan.

Uit het Deltaprogramma volgt een aantal beslissingen die voor het waterschap van belang zijn, zoals de normen voor primaire waterkeringen, de verdeling van het beschikbare zoetwater, hoezeer de ruimtelijke inrichting adaptief moet zijn en de toekomstige inrichting van de Rijn-Maas Delta.

1.2 Zettingsvloeiing en aanverwanten

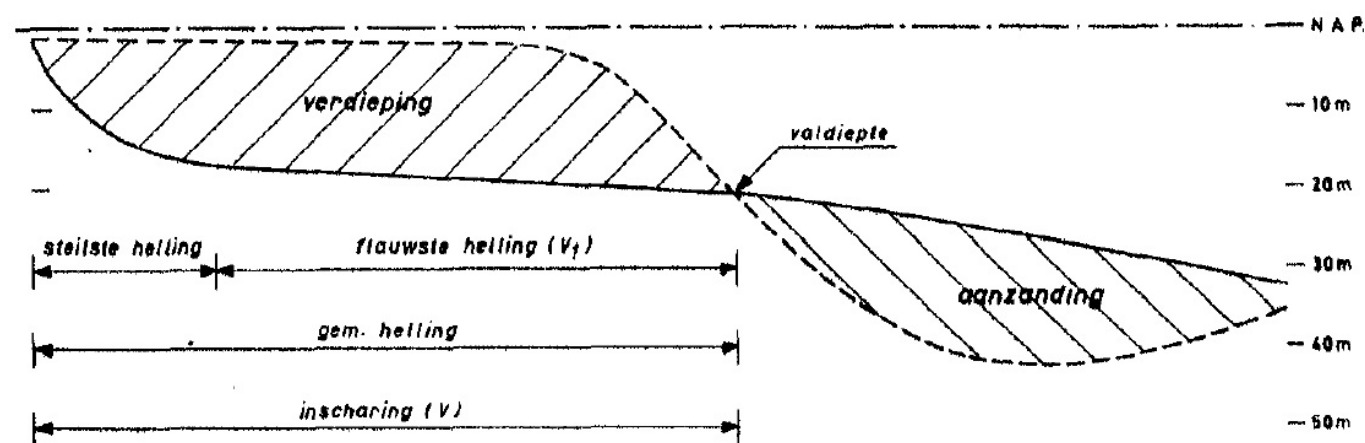
Een zandlichaam is een verzameling korrels die in een bepaalde structuur op elkaar gestapeld zijn. Als de korrels goed tussen elkaar passen en er weinig ruimte (porievolume) is, wordt gesproken van een dichte pakking. Wanneer het porievolume relatief groot is, spreekt men van een losse pakking. Als de korrelstructuur, of het korrelskelet, verstoord wordt, door een grote belasting of grote waterspanning die ten koste gaat van de korrelspanning, veranderen het volume en de vorm van het zandlichaam. De bezwijkmechanismen voor waterkeringen die daarmee te maken hebben, zijn afschuiving en zettingsvloeiing, beide geïllustreerd in figuur 1.5. Met name zettingsvloeiing is zeer gevaarlijk omdat de inscharingslengte erg groot kan zijn. In 1979 zijn de resultaten verschenen van een uitgebreid vooroveronderzoek dat onder leiding van ing. M.H. Wilderom is uitgevoerd voor de Zeeuwse stromen, [Wilderom, 1979]. Hij vergeleek de profielen voor en na een val, figuur 1.6, waarbij voornamelijk de steilten het onderscheid maakten tussen afschuiving en zettingsvloeiing. Vanwege het formaat van de toen opgebouwde en geanalyseerde databank, geldt dit onderzoek nog steeds als leidraad bij het bepalen van optredings- en schadecriteria. NB heranalyses van de data leiden nog steeds tot nieuwe inzichten en nuanceringen van de formules die gebruikt worden bij het bepalen van de risico's en het toetsen van waterkeringen.

Figuur 1.5: Illustratie van een afschuiving en een zettingsvloeiing



source: Lecture notes on Flood Defenses, [Weijers en Tonneijck, 2009]

Figuur 1.6: Schematische weergave profiel voor en na een val



source: [Wilderom, 1979]

De fenomenen afschuiving en zettingsvloeiing worden respectievelijk in subparagraaf 1.2.1 en 1.2.2 in beeld gebracht. Dit omvat een geotechnische beschouwing. In veel gevallen is het moeilijk te zeggen of het om (kans op) afschuiving of zettingsvloeiing gaat omdat er enige overlap is. Deze discussie wordt in subparagraaf 1.2.3 behandeld. Welke maatregelen er kunnen worden genomen bij zorgen over mogelijke afschuiving of zettingsvloeiing en wat men in het verleden geleerd heeft over hun effectiviteit worden in §1.2.4 beschreven.

1.2.1 Afschuiving

Wanneer de grondwaterstand in een grondlichaam met een zekere steilte hoger is dan de waterstand daarbuiten, bijvoorbeeld na een hoogwatergolf in een rivier, kan de waterspanning de toplaag als het ware wegduwen. Ook een plotseling vergrootte bovenbelasting kan een grote waterspanning in een grondlichaam veroorzaken waardoor afschuiving op kan treden. Het water oefent een alzijdige druk uit die de korrels uit elkaar drijft. Dit zorgt niet alleen voor een belasting op de korrels maar ook voor verminderde korrelspanning. De interne wrijving is dan niet langer voldoende om de waterdruk te weerstaan en de bovenste/buitenste laag schuift af, zodat het natuurlijk talud hersteld wordt. Doordat het water nu weg kan vloeien vermindert de waterspanning direct en wordt de korrelspanning weer groter. Het mechanisme stopt daardoor vanzelf. Afschuiving komt over het algemeen voor in samenhangende gronden zoals klei, veen en vastgepakt zand en is karakteristiek voor slecht doorlatende lagen (klei, asfalt) op een goed doorlatende kern (zand). In figuur 1.7 is het resultaat te zien van een afschuiving die in 1966 plaatsvond aan de linkeroever van de Oosterschelde. Bij de Leendert Abrahampolder (Noord-Beveland, Zeeland) is een gedeeltelijke dijkval opgetreden. Het zeer steile talud na de val demonstreert de cohesiviteit van de grond.

Uit de analyses van [Wilderom, 1979] blijkt dat de helling vóór een afschuiving zeer steil is, tot 1:1.7 gemiddeld en 1:1 op het steilste gedeelte. De gemeten hellingen na een afschuiving zijn gemiddeld 1:3 tot 1:3.5, het steilste gedeelte kan zelfs verticaal zijn. De grootste inscharing na een afschuiving in de databank is 85 m.

Figuur 1.7: Dijkval door afschuiving bij de Leendert Abrahamspolder (Noord Beveland, linkeroever Oosterschelde) in 1966.

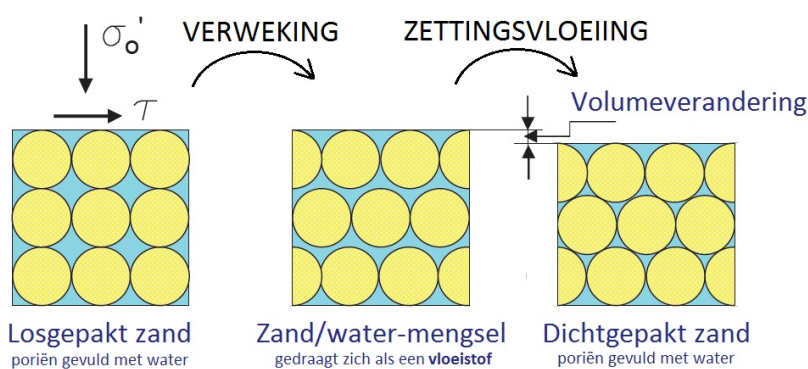


source: de Beeldbank van Rijkswaterstaat [Beeldbank RWS]

1.2.2 Zettingsvloeiing

Wanneer in losgepakt zand een grote waterspanning optreedt, kan de korrelspanning zodanig afnemen dat de zand/water-massa zich gedraagt als een vloeistof. Deze vloeit uit tot een zeer flauwe helling bereikt is. Om tot die flauwe helling te komen is een erg grote inscharingslengte nodig. Dit mechanisme wordt *zettingsvloeiing* genoemd, of, specifieker, *verwekingsvloeiing*. Beide termen komen voort uit de verandering van de korrelstructuur. De primaire verandering in korrelstructuur, het “vloeibaar worden”, of de verweking, van het losgepakte zand, wordt geïnitieerd door een trilling. Vaak gaat het dan om een waterbeweging zoals golfslag, maar ook werkzaamheden zoals baggeren of het storten van stenen kunnen het evenwicht verstoren. Na de vloeiing herschikt het zand zich tot een minder losse pakking, dit proces van een losse naar een dichte pakking wordt *zetting* genoemd. Beide grondmechanische aspecten van het proces zijn schematisch weergegeven in figuur 1.8. Figuur 1.9 geeft de relatie met het begin- en eindprofiel. Deze afbeelding geeft bovendien een indicatie van het belang van de geuldiepte. Wanneer er geen ruimte beschikbaar is waar het zand heen kan vloeien, zal er zich ondanks een instabiliteit geen zettingsvloeiing voordoen. Over het algemeen kan gezegd worden: hoe dieper de geul, hoe groter de vloeiing en hoe langer de inscharing (bij gelijke overige parameters).

Figuur 1.8: De verandering in de korrelstructuur van een zandlichaam voorafgaand aan en tijdens een verwekingsvloeiing.

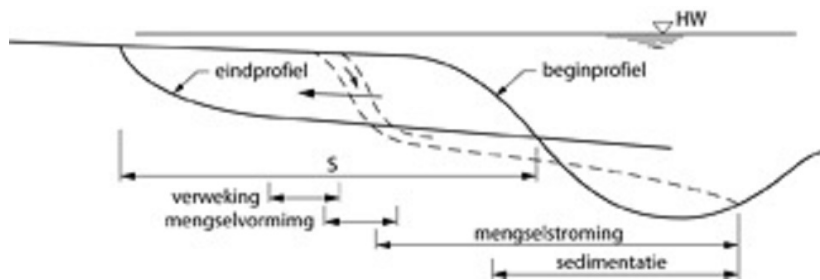
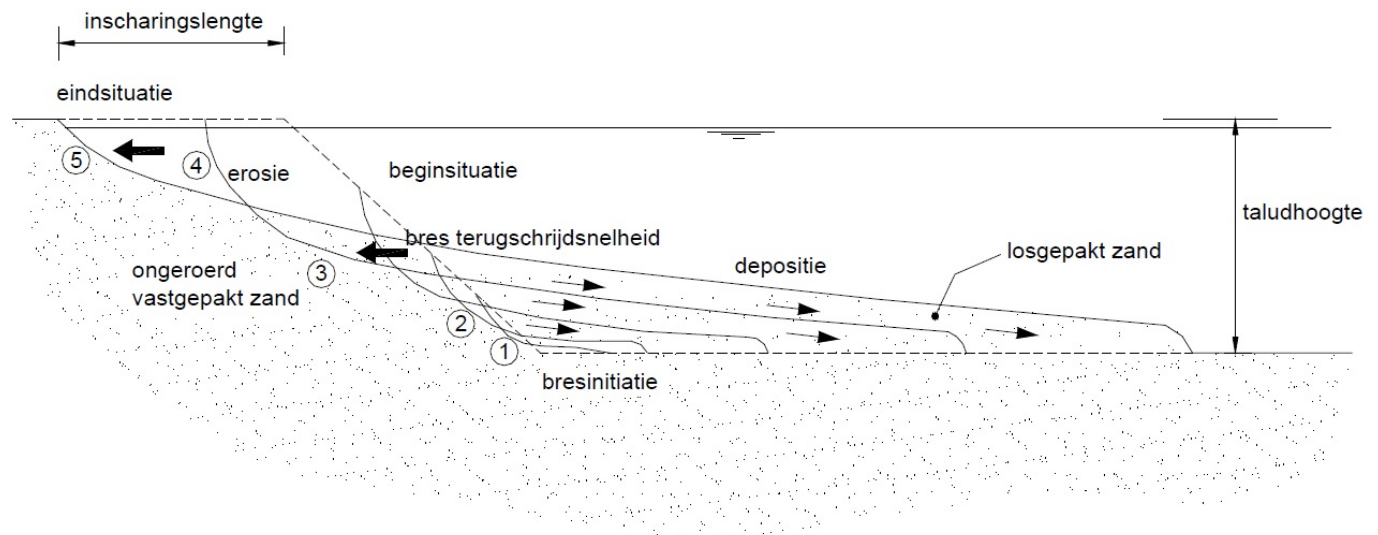


source: Lecture slides on Dike Technology and Failure Mechanisms, by Meindert Van (Deltares)

De korrelspanning is weergegeven met σ_0' , de schuifspanning met τ .

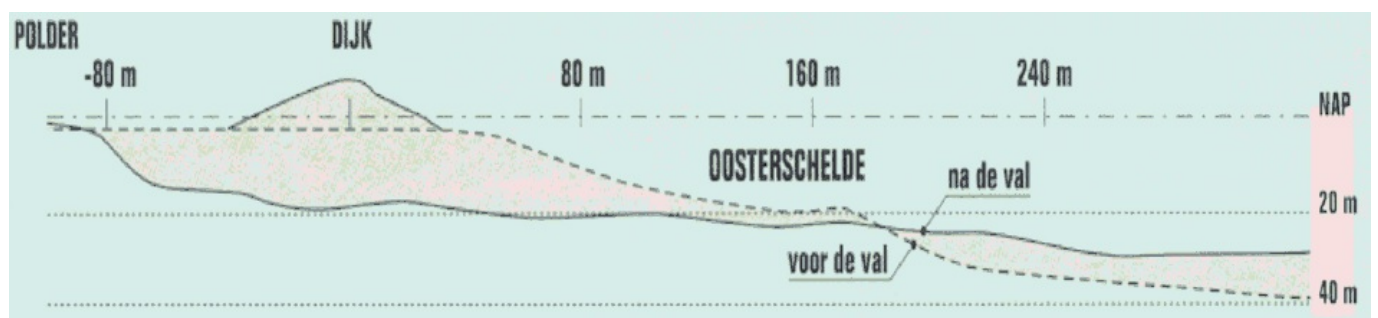
Behalve verwekingsvloeiing is er nog een mechanisme dat onder zettingsvloeiing geschaard wordt: *bresvloeiing*. Dat is een erosieproces dat in iets vaster gepakte zandgronden met een fijne korrelverdeling wordt waargenomen. Figuur 1.10 illustreert hoe de inscharing ontstaat en ontwikkelt. In het onderzoek waar de huidige statistische kennis en de toetsregels op gebaseerd zijn, [Wilderom, 1979], is geen onderscheid gemaakt tussen verwekings- en bresvloeiing. Voor de eenvoudige en gedetailleerde toets, voldoen de regels die voor verwekingsvloeiing ontworpen zijn ook voor bresvloeiing. In een geavanceerde toets kan men, indien er voldoende informatie beschikbaar is, wel het onderscheid maken.

Als een zettingsvloeiing optreedt bij het voorland van een waterkering kan de stabiliteit daarvan bedreigd worden. In het geval dat de zettingsvloeiing doorzet tot onder een dijklichaam zal de dijk breken: dijkval. Figuur 1.11 laat het

Figuur 1.9: Schematische weergave proces verwekingsvloeiingsource: www.coflexbouweninfra.noordhoff.nl**Figuur 1.10:** Schematische weergave proces bresvloeiing

source: [Handreiking Zettingsvloeiing, 2012]

dwarsprofiel zien van een dijk langs de Oosterschelde voor en na een zettingsvloeiing. In dit geval reikte de inscharing tot in de polder en is er een volledige dijkval opgetreden. Om de kans op een dijkval als gevolg van zettingsvloeiing te bepalen, is het van belang de te verwachten inscharingslengte te weten in relatie tot de lengte van het voorland. De te verwachten inscharingslengte hangt samen met de bodemopbouw (grondtypen, laagdikten) en het profiel van het talud (steilste helling, gemiddelde steilte, diepte van de geul).

Figuur 1.11: Voorbeeld van het dwarsprofiel van een dijk voor en na een dijkval veroorzaakt door zettingsvloeiing

source: Lecture slides on Dike Technology and Failure Mechanisms, by Meindert Van (Deltares)

Uit de analyses van [Wilderom, 1979] blijkt dat de steilste hellingen vóór een zettingsvloeiing gemiddeld 1:3 zijn, en 1:1 tot 1:2 op het steilste gedeelte. De flauwste gemeten helling vóór een zettingsvloeiing was 1:6. De gemeten hellingen na een zettingsvloeiing zijn gemiddeld 1:18. Het flauwste gedeelte kan wel 1:50 zijn. De grootste inscharing na een zettingsvloeiing in de databank is 390 m.

1.2.3 Discussie en vergelijking mechanismen

Er bestaat in veel gevallen onduidelijkheid over het optreden of de kans daarop van afschuiving, zettingsvloeiing of beide. Enkele voorbeelden:

- ◇ Aanzandig veroorzaakt een versteiling van het talud. Dit jonge zand is losgepakt. Wanneer hier zettingsvloeiing optreedt kan het originele talud van samenhangend materiaal afschuiven.
- ◇ Een bovenbelasting verhoogt de waterspanningen. Dit wordt gewoonlijk geassocieerd met afschuiving maar kan in een los pak zand zettingsvloeiing veroorzaken.
- ◇ Als de cohesieve toplaag of oeverbekleding afschuift, kan dat een zettingsvloeiing initiëren in het voorheen beschermde losgepakte zand daaronder.
- ◇ De scheiding tussen afschuiving en zettingsvloeiing is niet zwart-wit. Er is een grijs gebied te benoemen van vallen die op basis van hellingen voor en na de val, pakkingsdichtheid van het zand en inscharingslengte in beide categorieën zouden passen.

Tabel 1.1: Karakteristieken faalmechanismen voorlandstabiliteit

	Verwekingsvloeiing	Bresvloeiing	Afschuiving
Omschrijving	Falen van het talud door “vloeibaar worden”	Erosieproces	Falen bovenlaag door verlies aan schuifsterkte
Bodemtype waarin het mechanisme voorkomt	Losgepakt zand	Silt of fijn zand, ook dichtgepakt	Cohesieve gronden en dichtgepakt zand
Profiel kort voor optreden	Hoogte 11 - 45 m, gemiddelde helling 1:9 tot 1:1.5, helling steilste deel 1:5 tot 1:1 (ranges 90%)	Hoger dan 10 m en gemiddeld steiler dan 1:4 tot 1:6	Helling gemiddeld tot 1:7, en tot 1:1 op het steilste deel
Initiatie	Versteiling door erosie, plotselinge waterspiegeldaling of trilling door aardbeving heien lokale afschuiving	Baggeren, mechanische verstoring, erosie, lokale afschuiving, bezwijken kleilaag, verwekingsvloeiing	Plotselinge waterspiegeldaling of plotselinge toename bovenbelasting
Tijdschaal	O minuten	O uren	O minuten
Schadeprofiel	Hol talud met een relatief steil bovendeele en een (zeer) flauw deel	Helling waarvan de bovenkant verticaal kan zijn, afhankelijk van de korrelverdeling	Natuurlijk talud
Inscharing	Gemiddeld 80 m, statistische bovengrens 250 m, grootst waargenomen 390 m	Kan zeer groot zijn, in geval van een flauw talud	Grootst waargenomen 85 m

Tabel 1.1 geeft een samenvatting van de karakteristieken van de genoemde mechanismen. Hierin zijn de relaties te herkennen die de onduidelijkheid veroorzaken over de benoeming van de een val (profiel voor en na een val, grondtype, initiatie).

1.2.4 Maatregelen

Ing. M.H. Wilderom beschreef, behalve voorvallen van afschuiving en zettingsvloeiing, ook de maatregelen die in het verleden genomen zijn om zettingsvloeiing te voorkomen, en hun effectiviteit, [Wilderom, 1979]. Begin 19^e eeuw begon men met het aanbrengen van oeverwerken. Dit waren smalle zinkstukken die naast elkaar werden neergelegd. Om de zinkstukken op hun plek te houden, werden zij bestort met lichte steen en schor-zoden, zogenaamde kloetelingen.

Na 1850 werden de oeverwerken over langer aaneengesloten vakken aangebracht. Ook werd er steeds meer gebruik gemaakt van basalt, lessinische steen en andere zwaardere steensoorten. De zinkstukken en bestortingen die tegen het einde van de 19^e eeuw zijn toegepast, bieden over het algemeen een goede bescherming van het oevertalud. Uit ervaring bleek dat 1 ton/m² (een laagdikte van zo'n 60 cm) goed als maatstaf gebruikt kan worden.

In dezelfde periode experimenteerde men met een oeververdedigingsmethode die het *systeem van vaste punten* genoemd werd. De redenering was dat door zeer lokale verdediging, een oever efficiënter kon worden beschermd. De vaste punten veroorzaakten echter een lokale toename van turbulentie doordat de stroming belemmerd werd. In veel gevallen leidde dit tot erosie aan één of beide zijden waardoor toch meer bestorting nodig was. Van financiële besparing was nadien geen sprake meer. Ook in 1961 leidde de vaste punten aanpak niet tot het verwachte resultaat.

Over het algemeen geldt dat de zijden en teen van oeverbeschermingswerken de zwakke plekken zijn, vooral *wanneer een verdediging abrupt eindigt, ontstaat al gauw turbulentie die een begin van uitschuring teweeg brengt*. Deze uitschuring kan een helling doen versteilen tot een zettingsvloeiing of afschuiving plaatsvindt. Het gebeurt wel dat een deel van de bestorting dan ook verplaatst of zelfs verdwijnt. Als er zich geen vloeiing voordoet, verzakt de bestorting langzaam.

Behalve bestortingen noemt Wilderom grondverbetering door middel van verdichting als mogelijke oplossing om erosie te vertragen en zettingsvloeiingen te voorkomen of althans de inschарingslengte te beperken. Immers, verdichting (de verandering van een losse naar een dichte pakking), vergroot de korrelspanningen waardoor het zand minder geneigd is in beweging te komen. Deze methode is toepasbaar op locaties waar vallengevoelig jong zeezand aanwezig is en stroomaanval geen reden is of is geweest voor het plaatsen van een verdediging. Verdichting nabij reeds bestaande verdediging is zeer lastig uit te voeren.

Het kan zinvol zijn om de oever langs de randen van een aan te leggen bescherming te verdichten om erosie op juist die kwetsbare plaatsen te beperken.

1.3 Probabilistiek

Uit de statistische gegevens van Wilderom, en heranalyses daarvan, kunnen voorspellingen gemaakt worden over de kans dat een zettingsvloeiing optreedt op een bepaalde locatie en de kans dat de waterkering beschadigd raakt als er zich een vloeiing voordoet. Het vermenigvuldigen van beide kansen geeft de kans op schade aan de waterkering a.g.v. zettingsvloeiing. Deze dient te worden vergeleken met het gedeelte van de toelaatbare faalkans dat in de norm gereserveerd is voor zettingsvloeiing. Hoe bovengenoemde kansen bepaald en vergeleken kunnen worden staat uitgebreid beschreven in de Handreiking Toetsen Voorland Zettingsvloeiing t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde, die door onderzoeksinstituut Deltares is opgesteld, als aanvulling op het Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen, [Handreiking Zettingsvloeiing, 2012]. Inmiddels zijn er op basis van nieuwe inzichten uit heranalyses van de gegevens van Wilderom en nieuw onderzoek naar zettingsvloeiing, meerdere wijzigingen voorgesteld. Het is daarom aannemelijk dat er voor de vierde toetsing, die ten vroegste in 2017 begint, een nieuwe richtlijn zal zijn voor het toetsen op zettingsvloeiing. In dit hoofdstuk houden we de vigerende handreiking, van 2012, aan als leidraad. NB in de handreiking wordt voor de geavanceerde toets een onderscheid gemaakt tussen verwekingsvloeiing (falen van een talud als geheel) en bresvloeiing (oppervlakte-erosie met een grotere tijdschaal - uren vs. minuten). Voor de eenvoudige en de gedetailleerde toets blijft dat onderscheid achterwege.

1.3.1 Toelaatbare faalkans

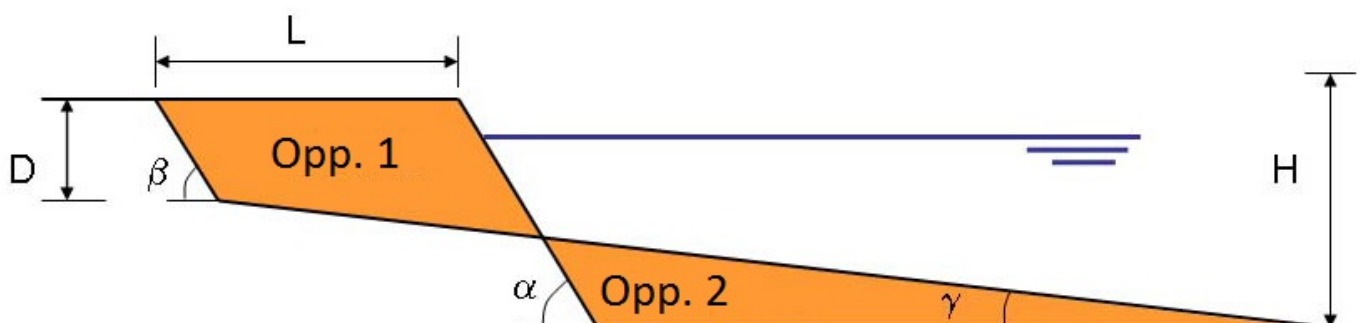
Uit subparagraaf 1.1.3 is gebleken dat de veiligheidsnormen van de dijkringen binnen de Hollandse Delta variëren van 1:10.000 tot 1:2.000. Dat wil zeggen dat de waterkering bestand moet zijn tegen een waterstand met een voorkomenskans van één per 10.000 tot 2.000 jaar, ofwel $1 \cdot 10^{-4}$ tot $5 \cdot 10^{-4}$ per jaar.

De kans dat de waterkering faalt als gevolg van een ander faalmechanisme dan overloop/overslag mag niet groter dan 10% daarvan zijn. 10% van deze ruimte voor andere faalmechanismen is gereserveerd voor voorlandinstabiliteit, waar zettingsvloeiing onder valt. Voor de voorlandmechanismen is de hoogste faalkans maatgevend, daarom is de faalkansruimte voor zettingsvloeiing 1% van de totale normkans voor de dijkkring.

Voor WSHD betekent dit dat de faalkansruimte voor zettingsvloeiing $1 \cdot 10^{-6}$ is voor dijkringen 18 en 19, $2,5 \cdot 10^{-6}$ voor dijkringen 17, 20 en 25, en $5 \cdot 10^{-6}$ voor dijkringen 21 en 22.

Als andere faalmechanismen een relatief kleine bijdrage leveren, kan de beheerder ervoor kiezen de faalkansruimte voor voorlandinstabiliteit (= de faalkansruimte voor zettingsvloeiing) te vergroten.

Figuur 1.12: Schematische weergave schadeprofiel na een zettingsvloeiing



L = inscharingslengte, D = hoogte steilste gedeelte schadeprofiel, H = taludhoogte of geuldiepte, α = oorspronkelijke gemiddelde helling, β = helling steile bovenste deel, γ = helling flauwe onderste deel. source: [Silvis en de Groot, 1995], zoals opgenomen in [Handreiking Zettingsvloeiing, 2012]

1.3.2 Kans op schade aan de waterkering in geval van zettingsvloeiing

De kans op schade aan de waterkering in het geval dat er een zettingsvloeiing optreedt is de kans dat de inscharingslengte een zekere toelaatbare inscharingslengte overschrijdt. De toelaatbare inscharingslengte wordt, in navolging van de handreiking, gedefiniëerd als de breedte van het voorland maar zou ook bepaald kunnen worden aan de hand van een minimumschadeprofiel dat geacht wordt gedurende de herstelperiode voldoende waterkerend vermogen te behouden. Figuur 1.12 laat een geschematiseerd schadeprofiel zien waarin een aantal variabelen gedefiniëerd zijn.

Als een zettingsvloeiing een 2-dimensionaal verschijnsel zou zijn, en men aanneemt dat het volume niet verandert (wat het in feite wel doet, zie figuur 1.8) zouden oppervlakten Opp.1 en Opp.2 exact gelijk moeten zijn. Vanwege de zijdelingse afstroming van zand (3D-effect), is dat in realiteit niet het geval. Vandaar dat er uitgegaan wordt van een zekere verhouding tussen beide oppervlaktes: Opp.1 = c·Opp.2. In de Handreiking wordt c=1.4 voldoende conservatief genoemd. De inscharingslengte kan nu beschreven worden als functie van de hellingen en hoogten volgens

$$L = ax - Db \quad (1.1)$$

met hulpvariabelen $a = \cot\gamma - \cot\alpha$, $b = \cot\gamma - \cot\beta$ en x (mits $c \neq 1$)

$$x = \frac{-cH + \sqrt{(cH)^2 + (1-c) \cdot \left(\frac{D^2b}{a} + H^2c\right)}}{(1-c)} \quad (1.2)$$

Voor een bekend dijkvak, met bekende geuldiepte H en helling α en een aangenomen c , zijn er drie onbekenden: hellingen γ en β en hoogte van het steile deel D . De bandbreedte van de bovenste hellingsgradiënt is beperkt, terwijl de onderste hellingsgradiënt de grootste onzekerheid bevat. Voor de toetsing wordt, om pragmatische redenen, voor het bovenste steile deel gebruik gemaakt van een helling van 1:2.6 (β is dan 21° en $\cot\beta$ is 2.6). Bovendien is uit analyses van waarnemingen bij taludinstabiliteiten en zandwinputten gebleken dat D kan worden geschat als $D = 0.43 \cdot H$. De flauwe helling γ kan nu als enige stochast worden ingevuld in de formule. Uit de statistiek is een normale verdeling voor $\cot\gamma$ afgeleid met een verwachtingswaarde $E_{\cot\gamma} = 15.9$ en een standaarddeviatie $\sigma_{\cot\gamma} = 4.6$.

De inscharingslengte die met vergelijking 1.1 volgens de vorige alinea bepaald wordt, kan vergeleken worden met de toelaatbare inscharingslengte met de betrouwbaarheidsfunctie $Z = L_{\text{toelaatbaar}} - L$. De kans dat deze Z nul of lager wordt, is de faalkans van de waterkering wanneer zettingsvloeiing optreedt. Deze wordt berekend met behulp van de betrouwbaarheidsindex β waar de stochast $\cot\gamma$ en de gevoeligheid van Z daarvoor, in terugkomen. Hiervoor wordt verwezen naar p.40 in de handreiking, [Handreiking Zettingsvloeiing, 2012].

1.3.3 Kans op zettingsvloeiing

De kans op het optreden van een zettingsvloeiing is afhankelijk van de dichtheid van een zandlaag en de geometrie en wordt berekend met deze formules

$$P(ZV) = \left(\frac{H_R}{25m}\right)^2 \cdot \left(\frac{3.5}{\cot\alpha_R}\right)^6 \cdot \left(\frac{1}{10}\right)^{10 \cdot (R_e - 0.4)} \cdot 0.1/km/jaar \quad (1.3)$$

met H_R de (fictieve) rekenhoogte van het talud (m), $\cot\alpha_R$ de cotangens van de (fictieve) rekenhellingshoek (-) en R_e de laagste waarde van de relatieve dichtheid, gemiddeld over 3 m hoogte tussen de maatgevende waterstand en $0.3H_R$ onder de teen (-). H_R en α_R zijn gedefiniëerd in figuur 1.13. Voor de bepaling van R_e wordt verwezen naar p. 24 in de handreiking, [Handreiking Zettingsvloeiing, 2012]. De representatieve kans op zettingsvloeiing voor het dijkvak als geheel wordt bepaald met

$$P(ZV)_{rep} = P(ZV) \cdot m \cdot L_{\text{trajectlengte}} \quad (1.4)$$

waarbij m een modelfactor is met een waarde van 1.5 en $L_{\text{trajectlengte}}$ de lengte van het traject of dijkvak in km. Binnen een dijkvak of -traject worden de lengte van het voorland, de geuldiepte, de helling van de onderwateroever en de dikte van de verwekingsgevoelige lagen uniform geacht.

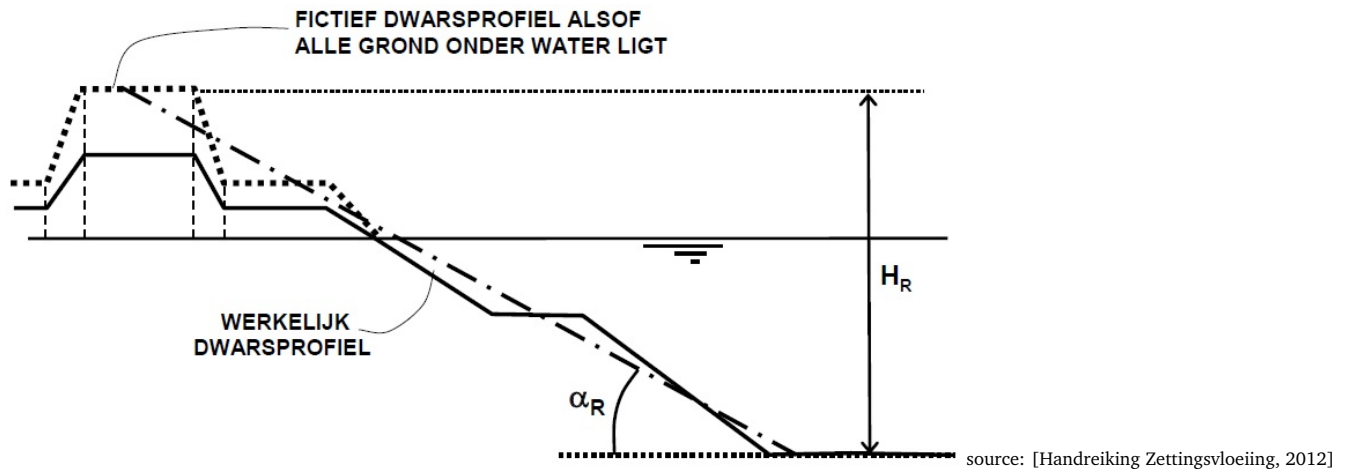
1.3.4 Toetsen van kans op schade aan de norm

Het vermenigvuldigen van de kans op schade in geval van een zettingsvloeiing en de kans op het optreden van een zettingsvloeiing, resulteert in de kans op schade door zettingsvloeiing:

$$P(\text{schadedoor}ZV) = P(ZV)_{rep} \cdot P(L > L_{\text{toelaatbaar}}) \quad (1.5)$$

Let op, deze kans geldt voor één dijkvak of -traject en dient pro rato te worden geïnterpreteerd. Beslaat het traject, zeg, 5% van de totale lengte van de dijkkring, dan moet er ook vergeleken worden met 5% van de normkans.

Figuur 1.13: Fictief talud en rekenwaarden



1.4 Samenvatting

Rivieren de Schelde, Maas en Rijn hebben, samen met de Noordzee en haar getijden en stormvloed, de Hollandse Delta gevormd tot een verzameling van eilanden en stromen op een bodem van zand, klei en veen. Aan de oppervlakte zijn jonge zeeklei en rivierklei te vinden. Daaronder zand waarin vroegere stroomgeulen herkenbaar zijn, veen, oude zeeklei (tot 6 m laagdikte) en nogmaals zand. Onder een veenlaag op circa 20 m diepte, bevindt zich het Pleistocene zand.

De bewoonde delen van de eilanden in de Hollandse Delta zijn omdijkt. Op veel plaatsen grenst de waterkering (haast) direct aan een waterlichaam. Dat is het geval bij

- ◇ zuidelijk en oostelijk IJsselmonde (dijkring 17 - norm 1:4.000 - faalkansruimte zettingsvloeiing $2.5 \cdot 10^{-6}$),
- ◇ noordelijk Pernis (dijkring 18 - norm 1:10.000 - faalkansruimte zettingsvloeiing $1 \cdot 10^{-6}$),
- ◇ noordelijk en westelijk Rozenburg (dijkring 19 - norm 1:10.000 - faalkansruimte zettingsvloeiing $1 \cdot 10^{-6}$),
- ◇ vrijwel geheel Voorne-Putten (dijkring 20 - norm 1:4.000 - faalkansruimte zettingsvloeiing $2.5 \cdot 10^{-6}$),
- ◇ vrijwel de gehele Hoekse Waard (dijkring 21 - norm 1:2.000 - faalkansruimte zettingsvloeiing $5 \cdot 10^{-6}$),
- ◇ het westen van het Eiland van Dordrecht (dijkring 22 - norm 1:2.000 - faalkansruimte zettingsvloeiing $5 \cdot 10^{-6}$) en
- ◇ delen van noordelijk Goeree-Overflakkee (dijkring 25 - norm 1:4.000 - faalkansruimte zettingsvloeiing $2.5 \cdot 10^{-6}$).

Het gaat hier om riviertakken de Noord, de Nieuwe Maas (de linkeroever t.h.v. Pernis en Rozenburg) de Oude Maas (beide oevers), het Hartelkanaal (voornamelijk de linkeroever), het Spui (beide oevers), het Haringvliet (voornamelijk de rechteroever), het Hollands Diep en de Dordtsche Kil (beide oevers). Hierbij worden links en rechts stroomafwaarts onderscheiden. Bij waterlichamen die de grens van de Hollandse Delta markeren is niet aangegeven om welke oever het gaat, omdat er immers slechts één tot het beheersgebied behoort.

Uit de Verlengde Derde Toetsing (2013) bleek een aantal dijkvakken in de Hollandse Delta niet te voldoen aan de gestelde normen voor voorlandstabiliteit vanwege risico op zettingsvloeiing. In algemene zin stelt de dijkgraaf in de kadernota dat *het huidige beheersysteem en daaraan gekoppelde inspectiegegevens tekort schieten*.

In 1979 zijn de resultaten verschenen van een uitgebreid vooroever onderzoek dat is uitgevoerd voor de Zeeuwse Stromen. Wilderom beschreef daarin de statistische eigenschappen van afschuivingen en zettingsvloeiingen op basis van honderden vallen in de Zeeuwse estuaria. Afschuivingen komen voor bij zeer steile hellingen in samenhangende grond en bij ondoorlatende lagen op een doorlatende kern. De gemiddelde helling na een afschuiving is 1:3 tot 1:3.5, waarvan het steilste gedeelte zelfs verticaal kan zijn. De inschарingslengte bleef daardoor beperkt tot 85 m. Zettingsvloeiingen komen voor in losgepakt zand waarvan de gemiddelde helling ongeveer 1:3 is, soms wel zo flauw als 1:6. Het steilste gedeelte van de helling was 1:1 tot 1:2. Na de zettingsvloeiing was de helling gemiddeld 1:18. Het flauwste gedeelte daarvan kan wel 1:50 zijn. De grootste inscharing die is opgenomen in de database van Wilderom bedroeg maar liefst 390 m.

Het is niet in alle gevallen gemakkelijk te definiëren of het gaat om afschuiving, zettingsvloeiing of allebei doordat er een zekere overlap is en doordat het ene mechanisme het andere kan initiëren.

Sinds de 19e eeuw worden oeverwerken aangebracht om dijkvallen te voorkomen in verwekingsgevoelig gebied. Meerdere methoden zijn geprobeerd. Het bestorten met zware stenen is de meest succesvolle gebleken. De randen van elk type verdediging zijn kwetsbaar voor uitschuring door turbulentie en moeten zo min mogelijk abrupt aangelegd

worden.

Wanneer de optredende inscharing de toelaatbare inscharingslengte overschrijdt, is er sprake van schade aan de waterkering. De kans dat dat gebeurt kan bepaald worden met behulp van de bekende geometrie en een aantal aannames wat betreft het schadeprofiel.

Om de kans te berekenen op het optreden van een zettingsvloeiing, heeft men behalve van de geometrie ook kennis nodig van de bodemopbouw om de maatgevende relatieve dichtheid van het zand en de dikte van de verwekingsgevoelige laag te bepalen.

Wanneer zowel de kans op het optreden van een zettingsvloeiing als de kans op schade aan de waterkering in geval van een zettingsvloeiing bekend zijn, kunnen zij gecombineerd worden tot de kans op schade aan een zeker dijkvak a.g.v. zettingsvloeiing. Deze wordt verhoudingsgewijs vergeleken met de gereserveerde normkans.

Hoofdstuk 2

Probleemstelling, doel en uitgangspunten

Uit de beschrijvingen in het vorige hoofdstuk blijkt dat een groot deel van de waterkeringen in de Hollandse Delta erg dicht aan de waterrand staan. Een aantal dijkvakken is in 2013 afgekeurd op voorlandstabiliteit wegens het mechanisme zettingsvloeiing. Het waterschap werd daar door verrast. Het wil daarom een meet- en monitoringsplan specifiek voor zettingsvloeiing toevoegen aan de bestaande inspectiemethodes. De kans op schade als gevolg van zettingsvloeiing is probabilistisch te bepalen als gegevens over geometrie en bodemopbouw bekend zijn. Veranderingen in de geometrie, bijvoorbeeld door erosie, hebben invloed op die kans. Als de ontwikkeling van de geometrie voorspeld kan worden, kan er een prognose gegeven worden voor de toekomstige faalkans. Zodoende stelt monitoring van de oevers WSHD in staat om te anticiperen op de ontwikkelingen en tijdig aanvullend onderzoek uit te voeren en/of voorbereidingen tot een maatregel te treffen.

Onder monitoring wordt in dit document verstaan “het verzamelen, analyseren en interpreteren van gegevens”. Het uitvoeren van oeverlodingen valt daaronder (meten), net als bodemonderzoek en het raadplegen van andere bronnen van informatie. Het doel van dit aanvullend afstudeeronderzoek is te komen tot een aanzet tot een Meet- en Monitoringsplan.

2.1 Probleemstelling

Risico's op zettingsvloeiing worden met de gewoonlijke inspectie van waterkeringen niet gesignaleerd en komen daarvoor pas bij de toetsing aan het licht.

2.2 Doel

Een meet- en monitoringsplan toegespitst op zettingsvloeiing moet WSHD in staat stellen de ontwikkeling van de onderwateroever goed en efficiënt te volgen in relatie tot de stabiliteit van de waterkering.

Het doel van het Meet- en Monitoringsplan is die dijkvakken te selecteren die gevoelig zijn voor zettingsvloeiing en voor elk daarvan een meetfrequentie voor multibeam oeverlodingen te kiezen die strookt met de plaatselijke bodemdynamiek of voorspelbaarheid en het belang van het kwantificeren van de (toekomstige) kans op schade door zettingsvloeiing.

Ter verklaring:

Het meet- en monitoringsplan zal enkel gericht zijn op zettingsvloeiing. De locaties die interessant zijn om in dit kader te monitoren worden gekenmerkt door de mogelijkheid van het optreden van zettingsvloeiing in combinatie met de kwetsbaarheid van de waterkering in het geval dat er een zettingsvloeiing optreedt.

Het uitvoeren van multibeam oeverlodingen wordt gezien als de vooraanstaande methode om informatie te verkrijgen over de geometrie van bodem, oever en zelfs objecten die zich onder water bevinden.

Prognoses over de toekomstige kans op schade door zettingsvloeiing, worden gemaakt aan de hand van analyse van de ontwikkeling van de onderwateroever in de (recente) geschiedenis. Een oever die zich (tot dan toe) zeer voorspelbaar gedraagt, behoeft minder metingen om goed gevolgd te kunnen worden dan een oever waar men (tot dan toe) geen eenduidige trend heeft kunnen ontdekken.

Voor dijkvakken die volgens de analyse van eerdere oeverlodingen binnenkort de gereserveerde faalkans in de norm overschrijden, is het van groot belang te weten hoe de oever zich ontwikkelt en welke implicaties dat heeft voor de faalkans. In anticipatie op een eventuele trendbreuk, is het verstandig vaker lodingen uit te voeren opdat een verandering in de ontwikkeling tijdig gesignaleerd kan worden.

2.3 Uitgangspunten

- ◇ Het falen van een waterkering als gevolg van zettingsvloeiing is gedefiniëerd als het optreden van schade aan (de teen van) de waterkering, ofwel het overschrijden van de toelaatbare inscharingslengte (over het algemeen gelijk aan de breedte van het voorland) door een inscharing tengevolge van zettingsvloeiing.
- ◇ Bij het ontwikkelen van het monitoringsplan wordt uitgegaan van de vigerende toetsregels. Deze worden in het volgende hoofdstuk geïnventariseerd.
- ◇ Data van het vorige boekjaar (n-1) worden gebruikt om een meetplan voor het volgende boekjaar (n+1) op te stellen.

Hoofdstuk 3

Inventarisaties

In dit hoofdstuk wordt een aantal aspecten die te maken hebben met het omgaan met zettingsvloeiingsrisico kort geïnventariseerd. Het gaat om de vigerende toetsregels, de uit oeverlodingen beschikbare gegevens en de analyse daarvan.

3.1 Toetsingen

Alle primaire waterkeringen worden getoetst met behulp van het Voorschrift Toetsen op Veiligheid, [VTV, 2006]. Er is bovendien ter aanvulling een Handreiking Toetsen Voorland Zettingsvloeiing verschenen, t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde [Handreiking Zettingsvloeiing, 2012]. Het is zeer waarschijnlijk dat er voor de vierde toetsing, die ten vroegste in 2017 begint, wijzigingen worden aangebracht in de VTV en/of de handreiking, op basis van nieuwe onderzoeksresultaten van Deltares. Desondanks wordt de handreiking gezien als een geschikte leidraad bij het monitoren van onderwateroevers, tussen de toetsingen door.

3.2 Oeverlodingen

In de huidige situatie worden er door het waterschap bij bepaalde risicolocaties (waterkeringen die bij de verlengde derde toetsronde zijn afgekeurd op voorlandstabiliteit) vier maal per jaar oeverlodingen uitgevoerd om de ontwikkelingen te kunnen volgen. Een aantal locaties zijn met spoed bestort. Ook hier worden peilingen gedaan. Uit de eerste lodingen is gebleken dat de bestorting zich over het algemeen zeer goed houdt, maar dat er zich bij de randen erosie voordoet. Dit komt overeen met wat op basis van de beschrijvingen van [Wilderom, 1979] verwacht mocht worden.

3.3 Hydrografische gegevens van RWS

Behalve het waterschap, voert ook Rijkswaterstaat met regelmaat lodingen uit. De focus ligt daarbij echter op het bevaarbare profiel en de afvoercapaciteit. Metingen van RWS voor de vaarwegen (jaarlijkse loding) zijn officieel tot NAP -4m, vaak tot NAP -3m. In de 6-jaarlijkse loding meet RWS tot aan de waterlijn (bij hoogwater). RWS slaat de data op als CSAR-bestanden in het Landelijk Opslagsysteem Lodingen (LOL) dat bedoeld is ter uitwisseling van “hoogtedata in het hydrografisch werkproces”. De output leent zich ook voor analyses die voor WSHD als waterkeringbeheerder nuttig zijn.

3.4 Analyse van lodingsgegevens

Om te bepalen of een zeker dijktraject in de toekomst meer (of minder) kans loopt op schade a.g.v. zettingsvloeiing, moet er een prognose gemaakt worden van de ontwikkeling van de vooroever. Wanneer er op dezelfde locatie op meerdere momenten oeverlodingen zijn uitgevoerd, kan daar een trend in worden waargenomen. Als men op basis van de trendlijn verwacht dat een zekere oever versteilt, landwaarts migreert of dat de geuldiepte toeneemt, kan een prognose worden gemaakt voor de kans op schade door zettingsvloeiing.

Voor de eenvoudige of gedetailleerde analyse en beoordeling kan gebruikt worden van een spreadsheet programma. Wanneer een dijktraject op basis van die bepaling niet (of binnenkort niet meer) voldoet, kan men overstappen op een geavanceerde berekening. Door Deltares is daarvoor het computerprogramma D-Flow Slide ontwikkeld. Informatie over de achtergrond en het gebruik daarvan zijn te vinden via [Deltares, actueel].

Hoofdstuk 4

Meet- en Monitoringsplan

In dit hoofdstuk wordt de aanzet tot het Meet- en Monitoringsplan beschreven die volgt uit het doel, zoals benoemd in hoofdstuk 2 en de inventarisaties in hoofdstuk 3. §4.1 en figuur 4.1 geven aan welke procedure er gevolgd zal worden, van het verzamelen van de juiste gegevens, tot aan de uitvoering van lodingen. Hoe er met behulp van een stroomschema (figuur 4.2) een monitoringsplan, en van daaruit een meetplan wordt opgesteld, is te vinden in respectievelijk §4.2 en §4.3.

4.1 Procedure

Het monitoringsplan zal aangeven welke locaties met welke frequentie ingemeten dienen te worden. Dat gebeurt hoofdzakelijk op basis van beschikbare data over geometrie van oever en voorland en bodemopbouw. Het is aan te bevelen daarbij ook gebruik te maken van informatie uit andere bronnen en van data die door of in opdracht van een andere instantie, zoals RWS, gegenereerd is. De resultaten van eerdere (oever-) lodingen zijn te vinden in het Landelijk Opslagsysteem Lodingen (LOL).

Wanneer de gewenste frequentie bekend is, wordt er een meetplan opgesteld voor het komende boekjaar. Daarin wordt de vertaling gemaakt van “hoe vaak” naar “wanneer”. Als de metingen zijn uitgevoerd, is er nieuwe data beschikbaar als invoer voor het volgende monitoringsplan. Ook resultaten van bodemonderzoek kunnen een invloed hebben op de frequentie waarmee gemeten dient te worden. Bovendien kan het zijn dat er wijzigingen in de toetsmethode zijn vanwege nieuwe inzichten. E.e.a. is uiteengezet in figuur 4.1. Er wordt uitgegaan van het jaarlijks analyseren van data inc. die van het afgelopen jaar (boekjaar $n-1$), waarna een meetplan voor het volgende boekjaar ($n+1$) wordt gemaakt. Dit heeft o.a. te maken met het aanvragen en toewijzen van budgetten.

4.2 Monitoringsplan

Bij het tot stand komen van een monitoringsplan voor het volgende jaar (op welke plaatsen moet met welke frequentie gemeten worden?) en aanbevelingen betreffende aanvullend onderzoek en het voorbereiden en uitvoeren van maatregelen, wordt een serie stappen doorlopen. Deze worden in de komende subparagrafen toegelicht en vervolgens samengevat in een stroomschema in subparagraaf 4.2.7, figuur 4.2.

4.2.1 Aandachtsgebied

Zettingsvloeiing kan enkel optreden daar waar zand in een losse pakking aanwezig is. Alle locaties waarvan met zekerheid bekend is, dat dit niet het geval is, kunnen daarom worden uitgesloten.

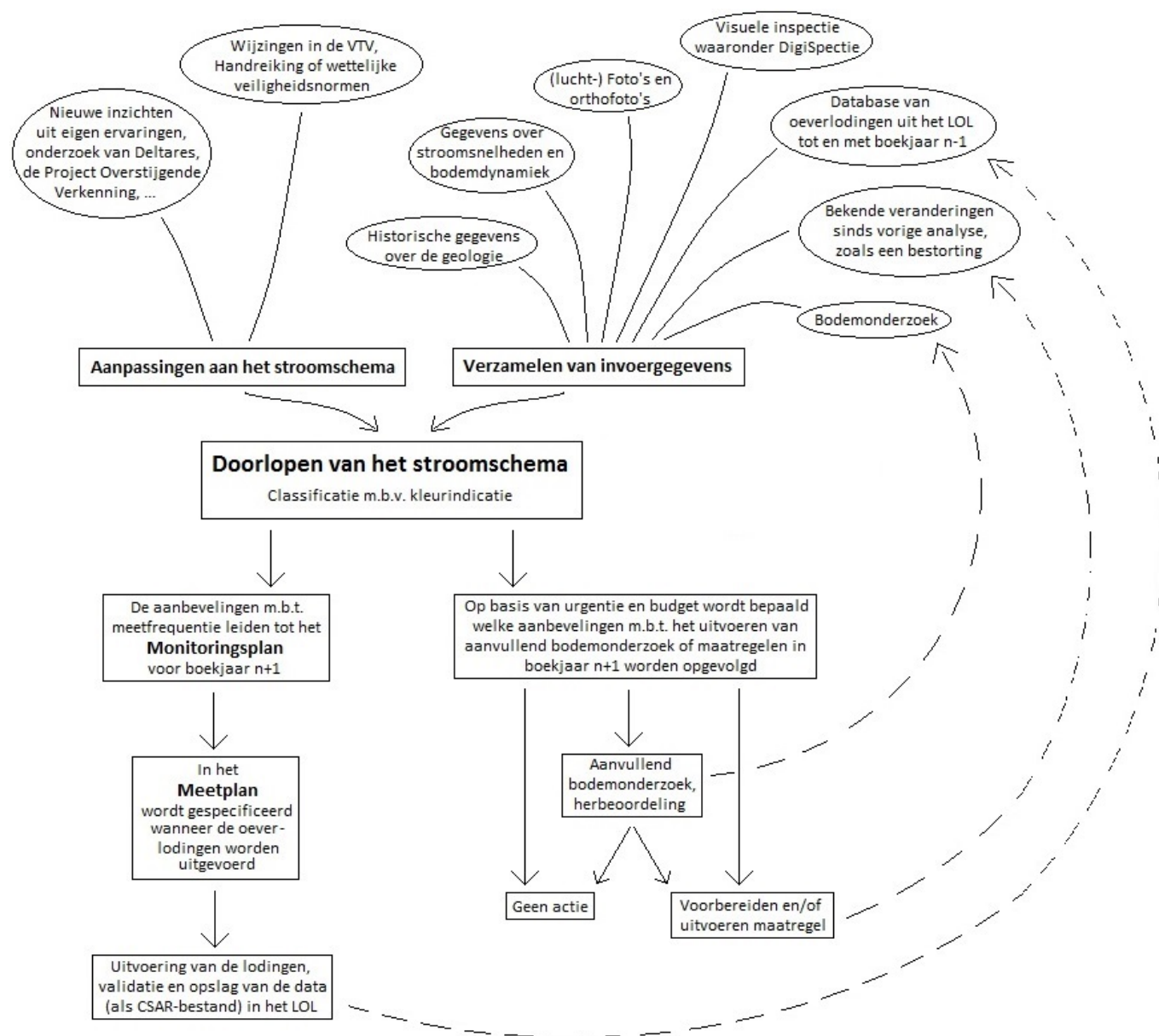
4.2.2 Voorland

Zettingsvloeiing is alleen een directe bedreiging voor de waterkering wanneer de inscharingslengte mogelijk de lengte van het voorland overschrijdt. Locaties met een voor de Hollandse Delta uitzonderlijk breed voorland van 300 m of meer, hoeven daarom niet ingelood te worden.

4.2.3 Verwekingsgevoeligheid

Een zandlaag wordt bestempeld als verwekingsgevoelig als er over een laagdikte van 5 m of meer, een gemiddelde relatieve dichtheid van 0.67 of minder aanwezig is of verwacht wordt. Resultaten van boringen en/of sonderingen die in het dijkvak zelf of daar vlakbij zijn uitgevoerd kunnen gebruikt worden bij het maken van een inschatting. NB voor

Figuur 4.1: Procedure van het vormen en uitvoeren van een monitorings- en meetplan



het Spui is door Fugro een analyse uitgevoerd waarbij men uitging van verwekingsgevoeligheid bij een laagdikte van 3 m of meer, [Fugro, 2013].

4.2.4 Zettingsvloeiingsgevoeligheid

Een zettingsvloeiing kan alleen optreden wanneer er ruimte is waar het zand heen kan vloeien en wanneer de taludhoogte zich leent voor een zekere mate van instabiliteit. In getijdegebied met natuurlijke geulen, waarop de toetsregels gebaseerd zijn, is, zo is te lezen in de VTV, [VTV, 2006], nog nooit een zettingsvloeiing of afschuiving geconstateerd die tot aan de waterkering reikte bij een geuldiepte kleiner dan 9 m. Toepassing van deze waarde een ander systeem, zoals de Hollandse Delta, is een conservatieve aanpak.

4.2.5 Data, analyse en prognose

Als er recentelijk hoogtemetingen uitgevoerd zijn bij dit dijkvak zodat een representatief profiel getekend kan worden, kan de faalkans, zijnde de kans op schade aan de waterkering door zettingsvloeiing, berekend worden (0^e orde analyse).

Als er bovendien voldoende eerdere metingen zijn om een zekere trend waar te nemen in de ontwikkeling (1^e orde analyse) en een eventuele trendbreuk of anderszins een verandering in de ontwikkeling (-snelheid) te signaleren (2^e orde analyse), kan er een prognose gemaakt worden voor het profiel van de oever en daarmee voor de faalkans.

4.2.6 Interpretatie: classificatie met kleurcodering

Voorgesteld wordt de (on-)veiligheid uit te drukken met behulp van een indicatie met de kleuren *groen - geel - oranje - rood*. Aanvullend geeft *wit* aan dat er geen directe bedreiging door zettingsvloeiing heerst - bijvoorbeeld doordat de oever, hoewel verwekingsgevoelig, niet zettingsvloeiingsgevoelig is of doordat er een breed voorland aanwezig is. *Grijs* wordt gebruikt om aan te geven dat er onvoldoende informatie beschikbaar is voor een oordeel.

4.2.7 Stroomschema

De bovengenoemde stappen zijn in figuur 4.2 samengevat in een stroomschema.

De aanbevelingen die volgens tabel 4.1 voortvloeien uit de kleurclassificatie hebben betrekking op de meetfrequentie (deze vormen samen het monitoringsplan) of op het uitvoeren van aanvullend onderzoek en maatregelen. Op basis van urgentie en budgetten zal bepaald worden welke aanbevelingen in het komende jaar kunnen worden uitgevoerd. In de volgende paragraaf staat beschreven hoe het meetplan opgesteld en uitgevoerd zal worden.

De keuzen van de klassegrenzen en de aanbevolen meetfrequenties zijn sterk gerelateerd, zie de Handvatten Zettingsvloeiing [Vink, 2014b].

4.2.8 Levend document

Het is verstandig het stroomschema uit figuur 4.2 uit te werken in een computerprogramma zoals een spreadsheet. Het berekenen van de faalkans gebeurt dan automatisch op basis van de ingevoerde gegevens zoals hoogtedata (uit oeverlodingen) en bodemonderzoek. Het is daarbij wel van belang dat de methode en de formules die gebruikt worden, evenals waarden voor criteria en constanten, in lijn zijn met de vigerende toetsregels of, anticiperend, met nieuwe inzichten. Ieder boekjaar moet er daarom voor men begint met het invoeren van data ter bepaling van het nieuwe monitoringsplan, een revisie worden uitgevoerd. Het stroomschema, of het rekenprogramma dat daaruit voortvloeit is dus een levend document. Hier dient bij de ontwikkeling rekening mee te worden gehouden.

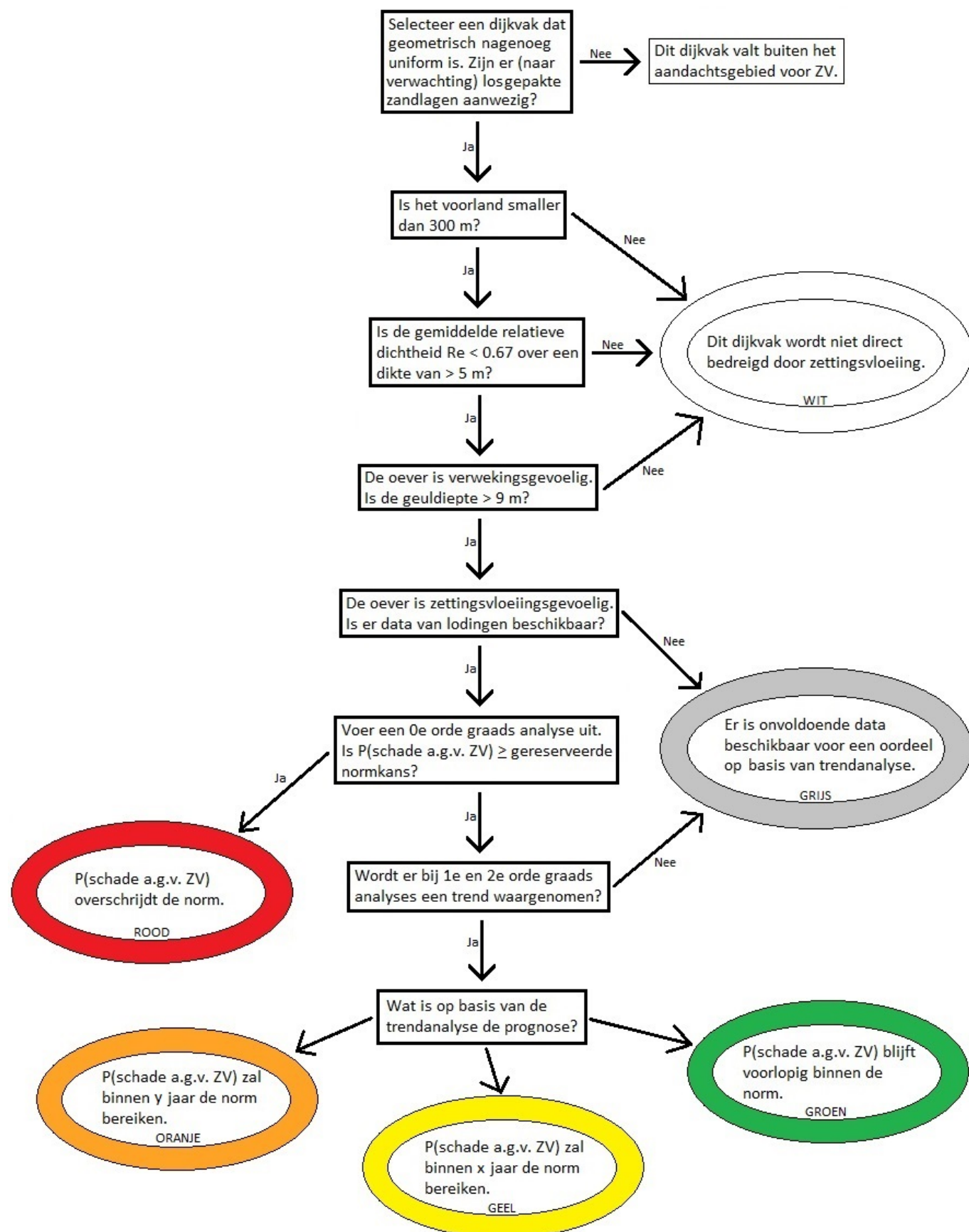
4.3 Meetplan

Het meetplan is de vertaalslag van het monitoringsplan dat een frequentie voorschrijft, naar de daadwerkelijke planning en uitvoering van de oeverlodingen.

4.3.1 Van frequentie naar planning

Wanneer bekend is hoe vaak er gemeten moet worden, moet nog worden besloten wanneer de lodingen uitgevoerd gaan worden. Bij de planning kan men rekening houden met het volgende: het is handig om de situatie na het stormseizoen (1 oktober - 15 april) te kunnen vergelijken met de situatie daarvoor. In perioden van hoge rivierafvoer ('s winters) kan er op riviertakken tot dicht bij de oever gevaren worden waardoor meer informatie ingewonnen wordt. Dit effect is voor een groot deel van de delta niet of nauwelijks relevant.

Figuur 4.2: Stroomschema Monitoringsplan



Tabel 4.1: Aanbevolen acties en meetfrequentie bij kleurindicatie volgend uit het stroomschema

Prognose	Kleur	Aanbevolen actie	Aanbevolen meetfrequentie
P(schade a.g.v. ZV) blijft voorlopig binnen de norm	Groen	- geen -	Standaard
P(schade a.g.v. ZV) zal binnen x jaar de norm bereiken	Geel	Aanvullend bodemonderzoek indien benodigd voor geavanceerde toets, prognose verifiëren/corrigeren m.b.v. geavanceerde toets, voorbereiden maatregel	Verhoogd, indien trendlijn/-breuk daar aanleiding toe geeft
P(schade a.g.v. ZV) zal binnen y jaar de norm bereiken	Oranje	Aanvullend bodemonderzoek indien benodigd voor geavanceerde toets, prognose verifiëren/corrigeren m.b.v. geavanceerde toets, (voorbereiden en) uitvoeren van een maatregel indien inderdaad nodig	Verhoogd, indien van toepassing Nulmeting na de maatregel, daarna Standaard aan de randen
P(schade a.g.v. ZV) $\geq$ gereserveerde faalkansnorm	Rood	Direct ingrijpen: uitvoeren maatregel	Nulmeting na de maatregel, daarna Standaard aan de randen
- onvoldoende data beschikbaar om een prognose te geven -	Grijs	- geen -	Standaard, tenzij specifieke zorgen vragen om Verhoogd
Geen directe dreiging van zettingsvloeiing	Wit	- geen -	- geen -

4.3.2 Getij

Men kan in estuarien gebied gebruik maken van hoogtij om dichters aan de oever te kunnen loden. Visuele inspecties (waaronder DigiSpectie) dienen juist bij laagtij uit te worden gevoerd. Zo wordt er een overlap gecreëerd tussen beide datasets, of wordt toch het hiaat geminimaliseerd.

4.3.3 Uitvoering

Om meetdata te kunnen vergelijken dienen de lodingen steeds uitgevoerd te worden volgens dezelfde norm. Beschrijf bij het uitzetten van de survey-opdracht duidelijk wat voor output gewenst is. Met het oog op het uitwisselen van data met RWS (via het LOL, zie hoofdstuk Uitwisselingsprotocol met Rijkswaterstaat in [Vink, 2014b]), is het raadzaam de beschrijvingen over te nemen die door RWS gebruikt worden, [Normen Hydrografische opnemingen (IHO), 2009] en [Eisen Hydrografische werkzaamheden (RWS), 2013].

4.3.4 Validatie en opslag

Om het Landelijk Opslagsysteem Lodingen voor alle partijen van zoveel mogelijk nut te laten zijn, moet de data gevalideerd worden alvorens te worden opgeslagen als CSAR-bestand. Daarbij dient gebruik gemaakt te worden van de richtlijnen die door RWS zijn opgesteld voor het valideren en opslaan van hoogtedata in het hydrografisch werkproces, [Procedure valideren en opslaan van hoogtedata, 2012].

4.3.5 Stormvloeden en incidenten

Het is verstandig om na een stormvloed het gehele aandachtsgebied (trajecten met, naar verwachting, zettingsvloeiinggevoelige lagen) te onderwerpen aan een visuele inspectie. Die trajecten die aangemerkt zijn als risicolocaties (indicatie oranje of rood) of waar zichtbaar schade is aangericht door de stormvloed, dienen een extra maal te worden gelood. Het is bovendien aan te bevelen na een incident in het aandachtsgebied, zoals aanvaring door een schip, een nieuwe nul-meting uit te voeren en, indien de meting daar aanleiding toe geeft, de onderwateroever onder verscherpt toezicht te stellen. Wanneer er zich in de nabijheid van een risicolocatie (indicatie oranje of rood) een triggermechanisme voordoet of heeft voorgedaan, is het aan te raden extra oeverlodingen uit te voeren. Gedacht moet worden aan een grote snelle val van de waterspiegel na een hoogwatergolf, een aardbeving, bagger- of heiwerkzaamheden of enig ander incident dat met trillingen gepaard gaat.

Conclusies en discussie

Wanneer het gepresenteerde stroomschema wordt gebruikt bij het vormen van een monitoringsplan, kunnen, zoals ten doel gesteld was, dijkvakken worden geselecteerd die (mogelijk) gevoelig zijn voor zettingsvloeiing. Het proces dat volgt om de faalkans te bepalen dient echter veel nauwkeuriger onderzocht en beschreven te worden.

Er is nog onvoldoende inzichtelijk gemaakt wat het verschil is tussen eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde toetsing - zowel in beschrijving, als in termen van eisen aan invoergegevens en betrouwbaarheid van de uitkomst.

Ook de voorspelbaarheid van bodemontwikkeling en daaraan gerelateerde betrouwbaarheid van trends en wat voor implicaties dat heeft voor de benodigde meetfrequentie, zijn onderbelicht.

In het stroomschema is niet opgenomen hoe locaties met bestortingen en andere typen van oeverbekleding, al dan niet specifiek geplaatst ter preventie van inscharing door zettingsvloeiing, en de randen daarvan, benaderd dienen te worden.

Er kan getwist worden over de gekozen methode om klassen op basis van prognose, leidend te laten zijn bij het bepalen van de meetfrequentie. Wellicht moet de voorspelbaarheid van de bodemontwikkeling leidend zijn.

Aanbevelingen bij doorontwikkeling

Op basis van de conclusies uit het vorige hoofdstuk, worden hieronder een aantal aanbevelingen gedaan die bij het verder ontwikkelen van het meet- en monitoringsplan van pas komen. Bovendien wordt aangeraden de Handvatten Zettingsvloeiing Hollandse Delta te raadplegen, [Vink, 2014b], en daarbij ook de relatie met gegevensuitwisseling, wijze van rapporteren en beoordelingscriteria en interventiewaarden in gedachten te houden.

- ◇ Maak inzichtelijk wat het verschil is tussen eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde toetsing - zowel in beschrijving, als in termen van eisen aan invoergegevens en betrouwbaarheid van de uitkomst. Maak tevens duidelijk wanneer welk niveau van toetsing gepast is en welk gewicht er aan de hieruit volgende aanbevelingen, met betrekking tot meetfrequentie of maatregelen, toegekend moet worden.
- ◇ Onderzoek welke invloed onzekerheden en schattingen wat betreft de bodemopbouw hebben op de betrouwbaarheid van de berekende faalkans en wat voor implicaties dit heeft voor de te gebruiken meetfrequentie.
- ◇ Bepaal welke invloed de betrouwbaarheid van de gevonden trend (voorspelbaarheid van de bodemontwikkeling) en bijbehorende prognose heeft op de betrouwbaarheid van de berekende faalkans en wat voor implicaties dit heeft voor de te gebruiken meetfrequentie.
- ◇ Onderzoek of het zinvoller is de voorspelbaarheid van de bodemontwikkeling, in plaats van de faalkansprognose, als leidend te beschouwen bij het bepalen van de meetfrequentie.
- ◇ Voeg toe hoe locaties met bestortingen en andere typen van oeverbekleding, al dan niet specifiek geplaatst ter preventie van inscharing door zettingsvloeiing, en de randen daarvan, benaderd dienen te worden.
- ◇ Voorkom dat sedimentatie automatisch, zonder verdere analyse, leidt tot het goedkeuren van een dijkvak.
- ◇ Stel eisen aan de invoerdata die voorkomen dat analyses worden uitgevoerd op geïnterpoleerde waarden.
- ◇ Maak op basis van het (uitgebreide, verbeterde) stroomschema een overzichtelijk computerprogramma, zoals een spreadsheet, dat gemakkelijk kan worden aangepast aan wijzigende normen en toetsregels en waar *finetuning* op basis van nieuwe inzichten, verkregen uit onderzoek of praktijkervaring, in kunnen worden verwerkt.
- ◇ Vertrouw niet blindelings op automatische filtering van de data. Vaak veroorzaakt reflectie van stortsteen een grote verzameling foute punten, waardoor juist de goede data weggedaan wordt.

Nawoord

In de Bacheloropleiding Civiele Techniek merkte ik dat ik de vakken die te maken hadden met water en stroming het leukst vond. Die interesse in de interactie van water met de omgeving, werd nog sterker gedurende de Masteropleiding Waterbouw, waarin ik de specialisatie Flood Risk (overstromingsrisico) koos. Daarom was ik heel enthousiast toen deze opdracht voor waterschap Hollandse Delta op mijn pad kwam. Tijdens dit aanvullend afstudeeronderzoek heb ik veel geleerd over zettingsvloeiing als faalmechanisme, over hoe het toetsen van waterkeringen in z'n werk gaat en hoe de organisatie van een waterschap in elkaar steekt. Het vergaren van informatie was soms overweldigend maar vooral ook heel leuk. Er valt nog veel te ontdekken en ik ben zeer gemotiveerd om nog meer begrip van zettingsvloeiingen op te doen, wellicht als afstudeeronderwerp.

Naast de positieve ervaringen, zijn er ook veel leermomenten geweest. Ik heb me meerdere keren bedolven gevoeld onder de verrassende hoeveelheid aan informatie. Een teken dat ik me beter aan het voorgenomen gestructureerd werken had kunnen houden... In de voorbereiding naar het afstuderen realiseer ik mij nu dat er mij nog heel wat lessen in het verschiet liggen. Hoe het overzicht te houden bijvoorbeeld, van wat ik gelezen heb en wat daarvan al wel en wat nog niet verwerkt is in mijn eigen rapport. Of hoe me te blijven focussen op de hoofdlijn in plaats van af te dwalen naar andere, interessante maar soms minder relevante, verhandelingen over een deelonderwerp dat ik de week ervoor al had willen afsluiten. Het überhaupt vaststellen van een hoofdlijn en begrenzingen aangeven en dat te formuleren als een probleemstelling, doel en uitgangspunten - ook dat vind ik lastig. Ik denk daarom dat ik in de toekomst zelf meer zal moeten aansturen op regelmatige begeleiding. Zodat ik mijn begeleider(s) beter op de hoogte kan houden en hen, mocht dat nodig zijn, in de gelegenheid stel om bij te sturen - terug binnen de grenzen, naar de hoofdlijn, de structuur en het overzicht.

Dit stuk is het eerste waarbij ik gebruik gemaakt heb van $\LaTeX$. Ik ben blij dat ik tijdens deze opdracht ervaring heb kunnen opdoen die waarschijnlijk bij andere grote projecten, zoals een afstudeeronderzoek, erg nuttig zal blijken.

Via deze weg wil ik mijn begeleiders Henri van der Meijden (WSHD), Henk Jan Verhagen en Matthijs Kok (TU Delft) bedanken voor hun tijd en voor hun flexibiliteit waardoor ik ondanks ieders vakantieplannen en werkreizen toch in de zomer door kon werken aan deze opdracht, nadat ik door mijn verhuizing grote vertraging had opgelopen. Ook dank ik hen voor de inhoudelijke bijdragen. Datzelfde geldt voor Meindert van Dijk, Martin Evers, Marieke Hollebek en Hans Waals van waterschap Hollandse Delta; Aad Fioole en Ad Schipperen van Rijkswaterstaat en studiegenoot Mark van den Krogt die momenteel bij Deltares afstudeert op de invloed die zettingsvloeiing als indirect faalmechanisme heeft op andere (directe) faalmechanismen zoals piping.

Het was voor mij heel prettig en leerzaam om met jullie allen, vanuit verschillende perspectieven, over dit onderwerp te spreken - bedankt daarvoor!

Ook mijn lieve vrienden, familie en vriend Rick, bedankt voor jullie geduld en begrip tijdens deze drukke periode!

Literatuur

- [Beeldbank RWS] *Beeldbank Rijkswaterstaat*
<https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat, gebruikte foto:
DWW waterkering schade door afschuiving ID333043, inventarisnummer DWW_330087
<https://beeldbank.rws.nl/MediaObject/Details/333043>
- [Deltares, actueel] V. Trompille, G.A. van den Ham, D.R. Mastbergen en F. Engering, publieke webpagina *D-Flow Slide - Slope Liquefaction and Breaching*, toelichting computerprogramma D-Flow Slide, actueel, Deltares, Delft
<http://publicwiki.deltares.nl/display/GE0/D-flow+Slide+-+Slope+Liquefaction+and+Breaching>
- [Eisen Hydrografische werkzaamheden (RWS), 2013] Ministerie van Infrastructuur en Milieu - Centrale Informatievoorziening, *Proces- en producteisen Hydrografische werkzaamheden*, versie 1.4, 14 mei 2013
Bijgevoegd als bijlage III
- [Fugro, 2013] B. Berbee, *Verlengde 3e toetsronde Beoordeling hm 7.20-7.40 Dijkkring 17 IJsselmonde*, 9 juli 2013, Fugro, in opdracht van waterschap Hollandse Delta
Intranet / sharepoint WSHD:
http://wshdportaal/project/VHDWAK0043/Projectdocumenten/Fugro%20-%20Ruwe%20data/1212-0069-007/rapporten/113%20Geotechnisch%20BO%20dijkkring%2017%20hm720%20740_v2.pdf
- [Geluk, 2013] J.M. Geluk, dijkgraaf, *Kadernota 2014*, 27 juni 2013, waterschap Hollandse Delta, Ridderkerk
http://www.wshd.nl/organisatie/missie_strategie/meerjarenbeleidsplan
- [Handreiking Zettingsvloeiing, 2012] G.A. van den Ham, M.B. de Groot, M. van der Ruyt, *Handreiking Toetsen Voorland Zettingsvloeiing* t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde, 25 oktober 2012, Deltares, in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu - Rijkswaterstaat, Delft
<http://www.helpdeskwater.nl/algemene-onderdelen/structuur-pagina'/zoeken-site/@32912/3e-lrt/>
- [Kuijken, 2010] W.J. Kuijken, deltacommissaris, *Analyse uitvoering Besluit beheer Haringvlietsluizen*, 10 nov. 2010
<http://repository.tudelft.nl/view/hydro/uuid%3A7a755a3a-a3ce-49da-b8c7-3fdce8f27d98/>
- [Landelijke rapportage verlengde derde toetsronde, 2013] Ministerie van Infrastructuur en Milieu - Inspectie Leefomgeving en Transport - Water, Bodem en Bouwen, Landelijke rapportage 2012-2013 *Verlengde derde toets primaire waterkeringen*, 20 december 2013
<http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2014/02/28/resultaten-verlengde-derde-toetsing-primaire-waterkeringen.html>
- [Montzka, begin 20e eeuw] H. Montzka, *Tramplers Geographischer Mittelshulatl*, 8e editie, Wenen (Oostenrijk)
- [Normen Hydrografische opnemingen (IHO), 2009] Rijkswaterstaat - Data-ICT-dienst i.s.m. Commando Zeestrijdkrachten - Dienst der Hydrografie, *Nederlandse Normen voor Hydrografische Opnemingen*, 1^{ste} editie, juli 2009
http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Nederlandse%20normen%20voor%20hydrografische%20opnemingen.%201ste%20editie%20-%20juli%202009_tcm174-335019.pdf
- [Procedure valideren en opslaan van hoogtedata, 2012] B.C. Dierikx, *Procedure Valideren en Opslaan van hoogtedata in het hydrografisch werkproces*, versie 0.9, 17 april 2012, Ministerie van Infrastructuur en Milieu
http://www.rijkswaterstaat.nl/images/HYD-P-007_tcm174-335592.pdf
- [Silvis en de Groot, 1995] F. Silvis en M.B. de Groot, heranalyse data Wilderom, *Flow slides in the Netherlands: experience and engineering practice*, 29 juni 1995, gepubliceerd in Canadian Geotechnique Journal 32, p. 1086-1092
http://www.researchgate.net/publication/237380273_Flow_slides_in_the_Netherlands_experience_and_engineering_practice

- [Tirion, 1769] I. Tirion, *Kaart van de Beneden Rivier de Maas en de Merwede van de Noordzee tot Gorinchem*, 1769
- [Vink, 2014a] J.K. Vink, *aanzet tot Meet- en Monitoringsplan m.b.t. Zettingsvloeiing in de Hollandse Delta*, 15 september 2014, TU Delft en waterschap Hollandse Delta, Ridderkerk
Bijgevoegd als bijlage I
- [Vink, 2014b] J.K. Vink, *Handvatten m.b.t. Zettingsvloeiing in de Hollandse Delta*, 15 september 2014, TU Delft en waterschap Hollandse Delta, Ridderkerk
Bijgevoegd als bijlage II
- [VTV, 2006] J.C. Huizinga-Heringa, Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat, *Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen*, september 2007
<http://publicaties.minienm.nl/download-bijlage/18127/vtv2006.pdf>
- [Waterwet, actueel] *Wet van 29 januari 2009, houdende regels met betrekking tot het beheer en gebruik van watersystemen (Waterwet)*, van kracht sinds 22 december 2009, Rijksoverheid, ministerie van Infrastructuur en Milieu
<http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/>
- [Weijers en Tonneijck, 2009] J. Weijers en M. Tonneijck, *Lecture notes CT5314 Flood Defences*, februari 2009, Technische Universiteit Delft
- [Wilderom, 1979] M.H. Wilderom en W.Th.J.N.P. Bakker, *Resultaten van het vooroveronderzoek langs de Zeeuwse stromen*, januari 1979, Rijkswaterstaat, Vlissingen
- [www.wshd.nl] *Website van waterschap Hollandse Delta*, laatst geraadpleegd: 11 juli 2014
<http://www.wshd.nl>

BIJLAGEN

Bijlage I:
aanzet tot Meet- en Monitoringsplan
Zettingsvloeiing in de Hollandse Delta

AANZET TOT

MEET- EN MONITORINGSPLAN

M.B.T. ZETTINGSVLOEIING IN DE HOLLANDSE DELTA

DEFINITIEF v1.0
15 SEPTEMBER 2014

ONDERDEEL VAN EEN AANVULLEND AFSTUDEERONDERZOEK

J.K. (Jorine) VINK, BSc * studienummer: 4002210

Verantwoordelijk hoogleraar TU Delft: prof.dr.ir. M. (Matthijs) KOK

Begeleidend docent TU Delft: ir. H.J. (Henk Jan) VERHAGEN

Mentor waterschap Hollandse Delta: ing. H. (Henri) VAN DER MEIJDEN



Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
1.1	Mechanismen	2
1.2	Lodingen en monitoring	2
1.3	Doel	2
1.4	Procedure	3
2	Monitoringsplan	5
2.1	Aandachtsgebied	5
2.2	Voorland	5
2.3	Verwekingsgevoeligheid	5
2.4	Zettingsvloeiingsgevoeligheid	5
2.5	Data, analyse en prognose	5
2.6	Interpretatie: classificatie met kleurcodering	6
2.7	Stroomschema	6
2.8	Levend document	6
3	Meetplan	8
3.1	Van frequentie naar planning	8
3.2	Getij	8
3.3	Uitvoering	8
3.4	Validatie en opslag	8
3.5	Stormvloeden en incidenten	8
4	Voorstel tot ontwikkeling	10

Hoofdstuk 1

Inleiding

Waterschap Hollandse Delta (WSHD) heeft bij de verlengde derde toetsing een aantal dijkvakken moeten afkeuren op voorlandstabiliteit, [Landelijke rapportage verlengde derde toetsronde, 2013]. Wanneer er zich bij een oever een afschuiving, bres- of verwekingsvloeiing voordoet, ontstaat er een inscharing. Als deze inscharing groter is dan het aanwezige voorland raakt de waterkering beschadigd, wat in het ernstigste geval leidt tot een volledige dijkval. WSHD wil de ontwikkeling van de onderwateroever en de rivierbodem volgen om tijdig op de hoogte te zijn van zorgwekkende situaties en daar op te kunnen anticiperen. Dit document is een aanzet tot een monitoringsplan dat beschrijft welke stappen er genomen moeten worden bij het bepalen van de juiste lodingsfrequentie.

1.1 Mechanismen

Het schijnbaar spontaan instabiel worden van een onderwater gelegen zandtalud waarna de zandmassa uitvloeit onder een zeer flauwe helling, wordt *zettingsvloeiing* genoemd. Het gaat dan om een *verwekingsvloeiing*, een *bresvloeiing* of een combinatie van beide. Een uitgebreide beschrijving is te vinden in [Handreiking Zettingsvloeiing, 2012]. Het onderscheid wordt alleen gemaakt bij de geavanceerde toets, indien voldoende informatie beschikbaar is. Voor eenvoudige en gedetailleerde toetsen zijn de formules gebaseerd op verwekingsvloeiing ook toepasbaar op bresvloeiing. Tabel 1.1 geeft van beiden een samenvatting van de karakteristieken en vergelijkt deze met het gerelateerde mechanisme *afschuiving*. De waarden die betrekking hebben op de geometrie zijn gevonden uit de gegevens die ing. M.H. Wilderom verzamelde over honderden vallen in Zeeland, [Wilderom, 1979] en [Silvis en de Groot, 1995]. Afschuiving zal in deze aanzet tot het monitoringsplan niet meegenomen worden.

1.2 Lodingen en monitoring

Het uitvoeren van oeverlodingen kan helpen bij het verschaffen van inzicht in de geometrie van de onderwateroevers en de bijbehorende kans op schade aan de waterkering door zettingsvloeiing. Door periodiek te meten, kan de ontwikkeling van een onderwateroever gevolgd worden. Wanneer hierin een trend waargenomen wordt, kan men een prognose doen over de toekomstige kans op schade door zettingsvloeiing.

1.3 Doel

Een meet- en monitoringsplan toegespitst op zettingsvloeiing moet WSHD in staat stellen de ontwikkeling van de onderwateroever goed en efficiënt te volgen in relatie tot de stabiliteit van de waterkering.

Het doel van het meet- en monitoringsplan is die dijkvakken te selecteren die gevoelig zijn voor zettingsvloeiing en voor elk daarvan een meetfrequentie voor multibeam oeverlodingen te kiezen die strookt met de plaatselijke bodemdynamiek of voorspelbaarheid en het belang van het kwantificeren van de (toekomstige) kans op schade door zettingsvloeiing.

Ter verklaring:

Het meet- en monitoringsplan zal enkel gericht zijn op zettingsvloeiing. De locaties die interessant zijn om in dit kader te monitoren worden gekenmerkt door de mogelijkheid van het optreden van zettingsvloeiing in combinatie met de kwetsbaarheid van de waterkering in het geval dat er een zettingsvloeiing optreedt.

Het uitvoeren van multibeam oeverlodingen wordt gezien als de vooraanstaande methode om informatie te verkrijgen over de geometrie van bodem, oever en zelfs objecten die zich onder water bevinden.

Tabel 1.1: Karakteristieken faalmechanismen voorlandstabiliteit

	Verwekingsvloeïng	Bresvloeïng	Afschuiving
Omschrijving	Falen van het talud door “vloeibaar worden”	Erosieproces	Falen bovenlaag door verlies aan schuifsterkte
Bodemtype waarin het mechanisme voorkomt	Losgepakt zand	Silt of fijn zand, ook dichtgepakt	Cohesieve gronden en dichtgepakt zand
Profiel kort voor optreden	Hoogte 11 - 45 m, gemiddelde helling 1:9 tot 1:1.5, helling steilste deel 1:5 tot 1:1 (ranges 90%)	Hoger dan 10 m en gemiddeld steiler dan 1:4 tot 1:6	Helling gemiddeld tot 1:7, en tot 1:1 op het steilste deel
Initiatie	Versteiling door erosie, plotselinge waterspiegeldaling of trilling door aardbeving heien lokale afschuiving	Baggeren, mechanische verstoring, erosie, lokale afschuiving, bezwijken kleilaag, verwekingsvloeïng	Plotselinge waterspiegeldaling of plotselinge toename bovenbelasting
Tijdschaal	O minuten	O uren	O minuten
Schadeprofiel	Hol talud met een relatief steil bovendeel en een (zeer) flauw deel	Helling waarvan de bovenkant verticaal kan zijn, afhankelijk van de korrelverdeling	Natuurlijk talud
Inscharing	Gemiddeld 80 m, statistische bovengrens 250 m, grootst waargenomen 390 m	Kan zeer groot zijn, in geval van een flauw talud	Grootst waargenomen 85 m

Prognoses over de toekomstige kans op schade door zettingsvloeïng, worden gemaakt aan de hand van analyse van de ontwikkeling van de onderwateroever in de (recente) geschiedenis. Een oever die zich (tot dan toe) zeer voorspelbaar gedraagt, behoeft minder metingen om goed gevolgd te kunnen worden dan een oever waar men (tot dan toe) geen eenduidige trend heeft kunnen ontdekken.

Voor dijkvakken die volgens de analyse van eerdere oeverlodingen binnenkort de gereserveerde faalkans in de norm overschrijden, is het van groot belang te weten hoe de oever zich ontwikkelt en welke implicaties dat heeft voor de faalkans. In anticipatie op een eventuele trendbreuk, is het verstandig vaker lodingen uit te voeren opdat een verandering in de ontwikkeling tijdig gesignaleerd kan worden.

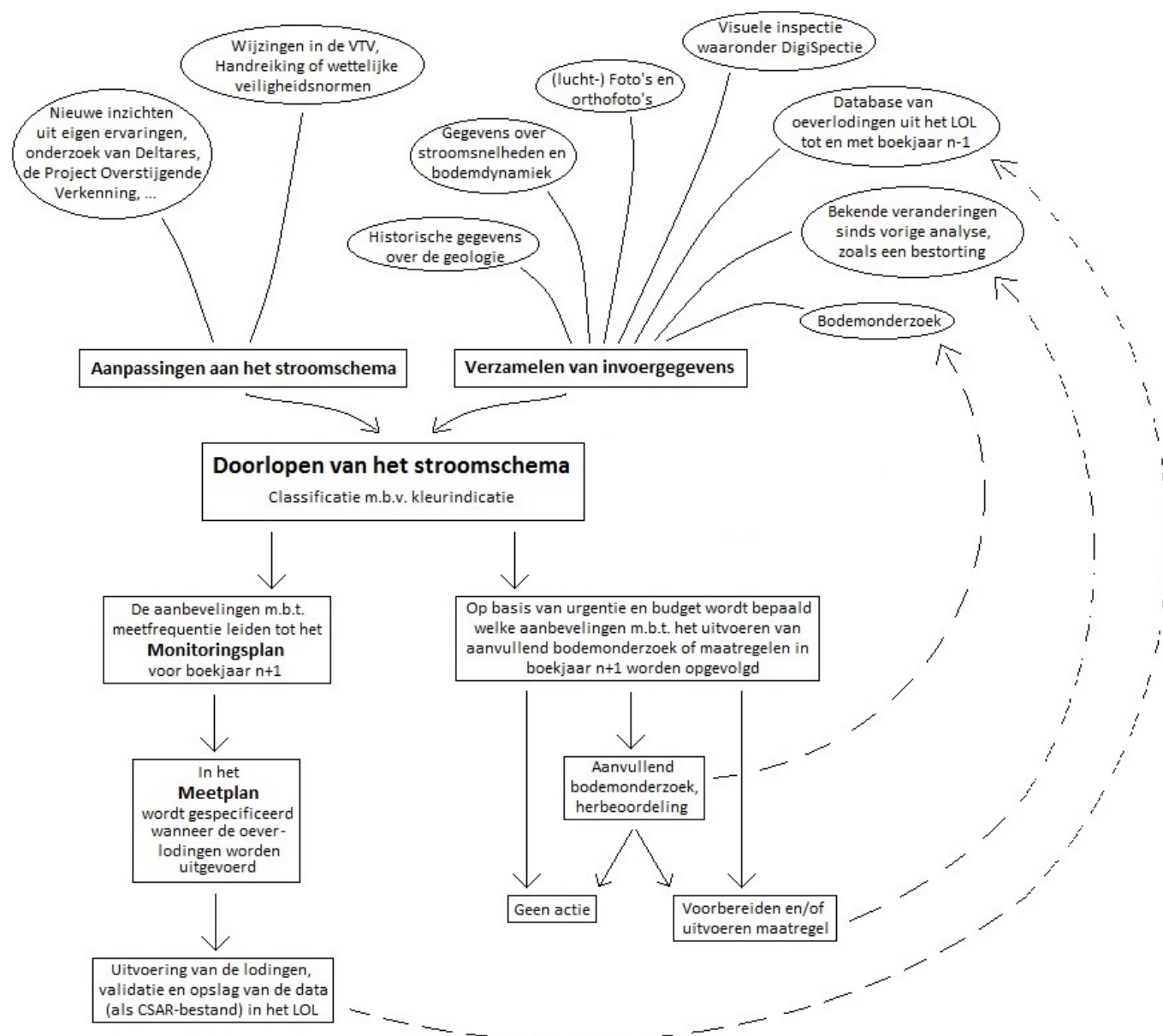
Het falen van een waterkering als gevolg van zettingsvloeïng is gedefiniëerd als het optreden van schade aan (de teen van) de waterkering, ofwel het overschrijden van de toelaatbare inscharingslengte (over het algemeen gelijk aan de breedte van het voorland) door een inscharing tengevolge van zettingsvloeïng.

1.4 Procedure

Het monitoringsplan zal aangeven welke locaties met welke frequentie ingemeten dienen te worden. Dat gebeurt hoofdzakelijk op basis van beschikbare data over geometrie van oever en voorland en bodemopbouw. Het is aan te bevelen daarbij ook gebruik te maken van informatie uit andere bronnen en van data die door of in opdracht van een andere instantie, zoals RWS, gegenereerd is. De resultaten van eerdere (oever-) lodingen zijn te vinden in het Landelijk Opslagsysteem Lodingen (LOL).

Wanneer de gewenste frequentie bekend is, wordt er een meetplan opgesteld voor het komende boekjaar. Daarin wordt de vertaling gemaakt van “hoe vaak” naar “wanneer”. Als de metingen zijn uitgevoerd, is er nieuwe data beschikbaar als invoer voor het volgende monitoringsplan. Ook resultaten van bodemonderzoek kunnen een invloed hebben op de frequentie waarmee gemeten dient te worden. Bovendien kan het zijn dat er wijzigingen in de toetsmethode zijn vanwege nieuwe inzichten. E.e.a. is uiteengezet in figuur 1.1. Er wordt uitgegaan van het jaarlijks analyseren van data inc. die van het afgelopen jaar (boekjaar n-1), waarna een meetplan voor het volgende boekjaar (n+1) wordt gemaakt. Dit heeft o.a. te maken met het aanvragen en toewijzen van budgetten.

Figuur 1.1: Procedure van het vormen en uitvoeren van een monitorings- en meetplan



Hoofdstuk 2

Monitoringsplan

Bij het tot stand komen van een monitoringsplan voor het volgende jaar (op welke plaatsen moet met welke frequentie gemeten worden) en aanbevelingen betreffende aanvullend onderzoek en het voorbereiden en uitvoeren van maatregelen, wordt een serie stappen doorlopen. Deze worden in de komende paragrafen toegelicht en vervolgens samengevat in een stroomschema in paragraaf 2.7.

2.1 Aandachtsgebied

Zettingsvloeiing kan enkel optreden daar waar zand in een losse pakking aanwezig is. Alle locaties waarvan met zekerheid bekend is, dat dit niet het geval is, kunnen daarom worden uitgesloten.

2.2 Voorland

Zettingsvloeiing is alleen een directe bedreiging voor de waterkering wanneer de inscharingslengte mogelijk de lengte van het voorland overschrijdt. Locaties met een voor de Hollandse Delta uitzonderlijk breed voorland van 300 m of meer, hoeven daarom niet ingelood te worden.

2.3 Verwekingsgevoeligheid

Een zandlaag wordt bestempeld als verwekingsgevoelig als er over een laagdikte van 5 m of meer, een gemiddelde relatieve dichtheid van 0.67 of minder aanwezig is of verwacht wordt. Resultaten van boringen en/of sonderingen die in het dijkvak zelf of daar vlakbij zijn uitgevoerd kunnen gebruikt worden bij het maken van een inschatting. NB voor het Spui is door Fugro een analyse uitgevoerd waarbij men uitging van verwekingsgevoeligheid bij een laagdikte van 3 m of meer, [Fugro, 2013].

2.4 Zettingsvloeiingsgevoeligheid

Een zettingsvloeiing kan alleen optreden wanneer er ruimte is waar het zand heen kan vloeien en wanneer de taludhoogte zich leent voor een zekere mate van instabiliteit. In getijdegebied met natuurlijke geulen, waarop de toetsregels gebaseerd zijn, is, zo is te lezen in de VTV, [VTV, 2006], nog nooit een zettingsvloeiing of afschuiving geconstateerd die tot aan de waterkering reikte bij een geuldiepte kleiner dan 9 m. Toepassing van deze waarde een ander systeem, zoals de Hollandse Delta, is een conservatieve aanpak.

2.5 Data, analyse en prognose

Als er recentelijk hoogtemetingen uitgevoerd zijn bij dit dijkvak zodat een representatief profiel getekend kan worden, kan de faalkans, zijnde de kans op schade aan de waterkering door zettingsvloeiing, berekend worden (0^e orde analyse).

Als er bovendien voldoende eerdere metingen zijn om een zekere trend waar te nemen in de ontwikkeling (1^e orde analyse) en een eventuele trendbreuk of anderszins een verandering in de ontwikkeling (-snelheid) te signaleren (2^e orde analyse), kan er een prognose gemaakt worden voor het profiel van de oever en daarmee voor de faalkans.

Tabel 2.1: Aanbevolen acties en meetfrequentie bij kleurindicatie volgend uit het stroomschema

Prognose	Kleur	Aanbevolen actie	Aanbevolen meetfrequentie
P(schade a.g.v. ZV) blijft voorlopig binnen de norm	Groen	- geen -	Standaard
P(schade a.g.v. ZV) zal binnen x jaar de norm bereiken	Geel	Aanvullend bodemonderzoek indien benodigd voor geavanceerde toets, prognose verifiëren/corrigeren m.b.v. geavanceerde toets, voorbereiden maatregel	Verhoogd, indien trendlijn/-breuk daar aanleiding toe geeft
P(schade a.g.v. ZV) zal binnen y jaar de norm bereiken	Oranje	Aanvullend bodemonderzoek indien benodigd voor geavanceerde toets, prognose verifiëren/corrigeren m.b.v. geavanceerde toets, (voorbereiden en) uitvoeren van een maatregel indien inderdaad nodig	Verhoogd, indien van toepassing Nulmeting na de maatregel, daarna Standaard aan de randen
P(schade a.g.v. ZV) $\geq$ gereserveerde faalkansnorm	Rood	Direct ingrijpen: uitvoeren maatregel	Nulmeting na de maatregel, daarna Standaard aan de randen
- onvoldoende data beschikbaar om een prognose te geven -	Grijs	- geen -	Standaard, tenzij specifieke zorgen vragen om Verhoogd
Geen directe dreiging van zettingsvloeiing	Wit	- geen -	- geen -

2.6 Interpretatie: classificatie met kleurcodering

Voorgesteld wordt de (on-)veiligheid uit te drukken met behulp van een indicatie met de kleuren *groen* - *geel* - *oranje* - *rood*. Aanvullend geeft *wit* aan dat er geen directe bedreiging door zettingsvloeiing heerst - bijvoorbeeld doordat de oever, hoewel verwekingsgevoelig, niet zettingsvloeiingsgevoelig is of doordat er een breed voorland aanwezig is. *Grijs* wordt gebruikt om aan te geven dat er onvoldoende informatie beschikbaar is voor een oordeel.

2.7 Stroomschema

De bovengenoemde stappen zijn in figuur 2.1 samengevat in een stroomschema.

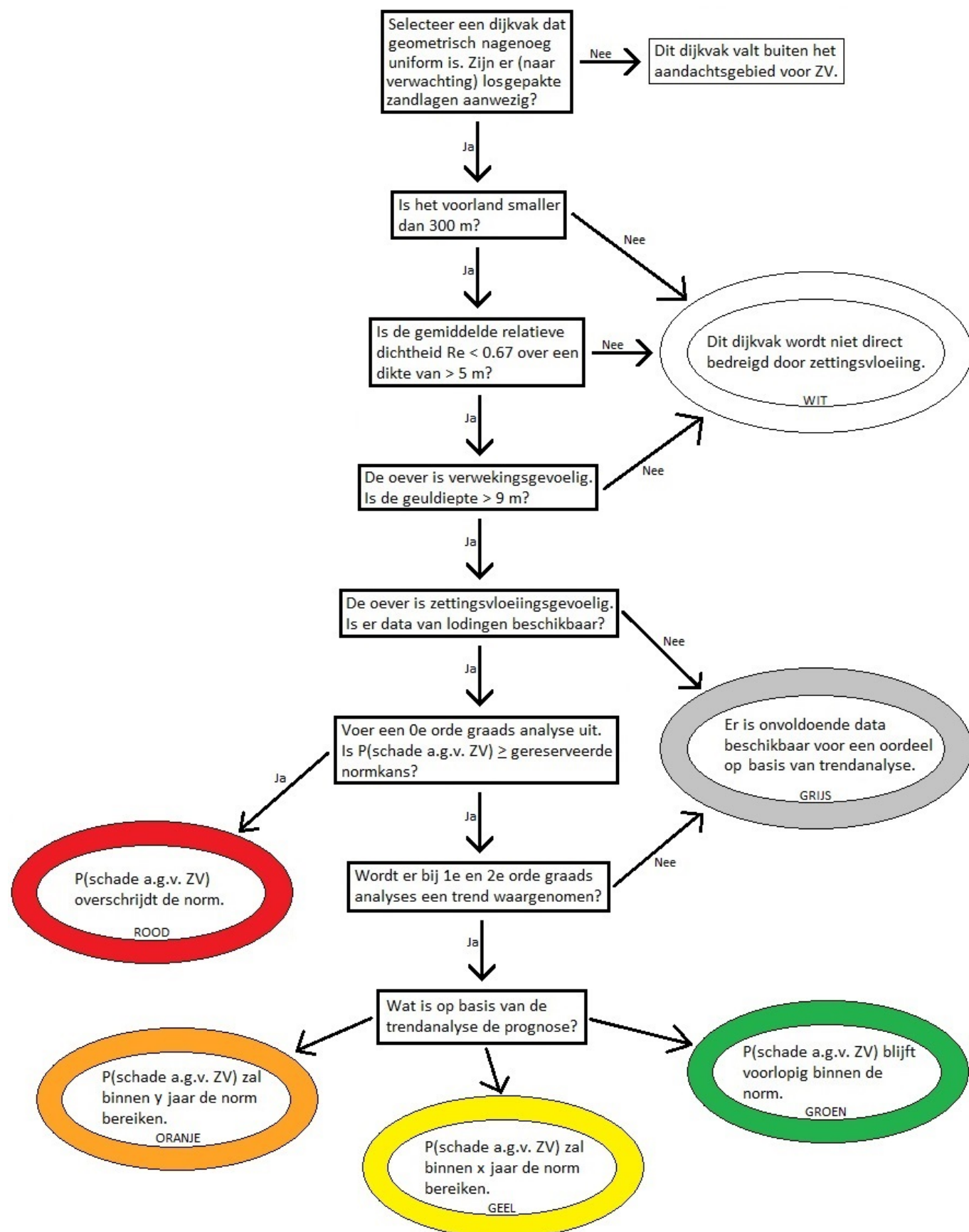
De aanbevelingen die volgens tabel 2.1 voortvloeien uit de kleurclassificatie hebben betrekking op de meetfrequentie (deze vormen samen het monitoringsplan) of op het uitvoeren van aanvullend onderzoek en maatregelen. Op basis van urgentie en budgetten zal bepaald worden welke aanbevelingen in het komende jaar kunnen worden uitgevoerd. In het volgende hoofdstuk staat beschreven hoe het meetplan opgesteld en uitgevoerd zal worden.

De keuzen van de klassegrenzen en de aanbevolen meetfrequenties zijn sterk gerelateerd, zie de Handvatten Zettingsvloeiing [Vink, 2014b].

2.8 Levend document

Het is verstandig het stroomschema uit figuur 2.1 uit te werken in een computerprogramma zoals een spreadsheet. Het berekenen van de faalkans gebeurt dan automatisch op basis van de ingevoerde gegevens zoals hoogtedata (uit oeverlodingen) en bodemonderzoek. Het is daarbij wel van belang dat de methode en de formules die gebruikt worden, evenals waarden voor criteria en constanten, in lijn zijn met de vigerende toetsregels of, anticiperend, met nieuwe inzichten. Ieder boekjaar moet er daarom voor men begint met het invoeren van data ter bepaling van het nieuwe monitoringsplan, een revisie worden uitgevoerd. Het stroomschema, of het rekenprogramma dat daaruit voortvloeit is dus een levend document. Hier dient bij de ontwikkeling rekening mee te worden gehouden.

Figuur 2.1: Stroomschema Monitoringsplan



Hoofdstuk 3

Meetplan

Het meetplan is de vertaalslag van het monitoringsplan dat een frequentie voorschrijft, naar de daadwerkelijke planning en uitvoering van de oeverlodingen.

3.1 Van frequentie naar planning

Wanneer bekend is hoe vaak er gemeten moet worden, moet nog worden besloten wanneer de lodingen uitgevoerd gaan worden. Bij de planning kan men rekening houden met het volgende: het is handig om de situatie na het stormseizoen (1 oktober - 15 april) te kunnen vergelijken met de situatie daarvoor. In perioden van hoge rivierafvoer ('s winters) kan er op riviertakken tot dicht bij de oever gevaren worden waardoor meer informatie ingewonnen wordt. Dit effect is voor een groot deel van de delta niet of nauwelijks relevant.

3.2 Getij

Men kan in estuarien gebied gebruik maken van hoogtij om dicht bij de oever te kunnen loden. Visuele inspecties (waaronder DigiSpectie) dienen juist bij laagtij uit te worden gevoerd. Zo wordt er een overlap gecreëerd tussen beide datasets, of wordt toch het hiaat geminimaliseerd.

3.3 Uitvoering

Om meetdata te kunnen vergelijken dienen de lodingen steeds uitgevoerd te worden volgens dezelfde norm. Beschrijf bij het uitzetten van de survey-opdracht duidelijk wat voor output gewenst is. Met het oog op het uitwisselen van data met RWS (via het LOL, zie hoofdstuk Uitwisselingsprotocol met Rijkswaterstaat in [Vink, 2014b]), is het raadzaam de beschrijvingen over te nemen die door RWS gebruikt worden, [Normen Hydrografische opnemingen (IHO), 2009] en [Eisen Hydrografische werkzaamheden (RWS), 2013].

3.4 Validatie en opslag

Om het Landelijk Opslagsysteem Lodingen voor alle partijen van zoveel mogelijk nut te laten zijn, moet de data gevalideerd worden alvorens te worden opgeslagen als CSAR-bestand. Daarbij dient gebruik gemaakt te worden van de richtlijnen die door RWS zijn opgesteld voor het valideren en opslaan van hoogtedata in het hydrografisch werkproces, [Procedure valideren en opslaan van hoogtedata, 2012].

3.5 Stormvloeden en incidenten

Het is verstandig om na een stormvloed het gehele aandachtsgebied (trajecten met, naar verwachting, zettingsvloei-ingevoelige lagen) te onderwerpen aan een visuele inspectie. Die trajecten die aangemerkt zijn als risicolocaties (indicatie oranje of rood) of waar zichtbaar schade is aangericht door de stormvloed, dienen een extra maal te worden gelood. Het is bovendien aan te bevelen na een incident in het aandachtsgebied, zoals aanvaring door een schip, een nieuwe nul-meting uit te voeren en, indien de meting daar aanleiding toe geeft, de onderwateroever onder verscherpt toezicht te stellen. Wanneer er zich in de nabijheid van een risicolocatie (indicatie oranje of rood) een triggermechanisme voordoet of heeft voorgedaan, is het aan te raden extra oeverlodingen uit te voeren. Gedacht moet worden aan

een grote snelle val van de waterspiegel na een hoogwatergolf, een aardbeving, bagger- of heiwerkzaamheden of enig ander incident dat met trillingen gepaard gaat.

Hoofdstuk 4

Voorstel tot ontwikkeling

Dit document geeft een aanzet tot een meet- en monitoringsplan. Voorgesteld wordt om een overzichtelijk computerprogramma, zoals een spreadsheet, op te stellen dat gemakkelijk kan worden aangepast. *Finetuning* hiervan kan gedaan worden door nieuwe inzichten (uit onderzoek of eigen ervaring) te verwerken. Ook moeten wijzigingen in de toetsregels doorgevoerd worden.

Bij de doorontwikkeling van het stroomschema en het opstellen van het computerprogramma dienen de aanbevelingen en aandachtspunten zoals genoemd in de Handvatten Zettingsvloeiing Hollandse Delta, [Vink, 2014b], in gedachten te worden genomen.

Enkele aanbevelingen uitgelicht:

- ◇ Maak inzichtelijk wat het verschil is tussen eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde toetsing - zowel in beschrijving, als in termen van eisen aan invoergegevens en betrouwbaarheid van de uitkomst. Maak tevens duidelijk wanneer welk niveau van toetsing gepast is en welk gewicht er aan de hieruit volgende aanbevelingen, met betrekking tot meetfrequentie of maatregelen, toegekend moet worden.
- ◇ Onderzoek welke invloed onzekerheden en schattingen wat betreft de bodemopbouw hebben op de betrouwbaarheid van de berekende faalkans en wat voor implicaties dit heeft voor de te gebruiken meetfrequentie.
- ◇ Bepaal welke invloed de betrouwbaarheid van de gevonden trend (voorspelbaarheid van de bodemontwikkeling) en bijbehorende prognose heeft op de betrouwbaarheid van de berekende faalkans en wat voor implicaties dit heeft voor de te gebruiken meetfrequentie.
- ◇ Voeg toe hoe locaties met bestortingen en andere typen van oeverbekleding, al dan niet specifiek geplaatst ter preventie van inscharing door zettingsvloeiing, en de randen daarvan, benaderd dienen te worden.

Literatuur

- [Deltares, actueel] V. Trompille, G.A. van den Ham, D.R. Mastbergen en F. Engering, publieke webpagina *D-Flow Slide - Slope Liquefaction and Breaching*, toelichting computerprogramma D-Flow Slide, actueel, Deltares, Delft
<http://publicwiki.deltares.nl/display/GE0/D-flow+Slide+-+Slope+Liquefaction+and+Breaching>
- [Eisen Hydrografische werkzaamheden (RWS), 2013] Ministerie van Infrastructuur en Milieu - Centrale Informatievoorziening, *Proces- en producteisen Hydrografische werkzaamheden*, versie 1.4, 14 mei 2013
- [Fugro, 2013] B. Berbee, *Verlengde 3e toetsronde Beoordeling hm 7.20-7.40 Dijkkring 17 IJsselmonde*, 9 juli 2013, Fugro, in opdracht van waterschap Hollandse Delta
Intranet / sharepoint WSHD:
http://wshdportaal/project/VHWDWAK0043/Projectdocumenten/Fugro%20-%20Ruwe%20data/1212-0069-007/rapporten/113%20Geotechnisch%20B0%20dijkkring%2017%20hm720%20740_v2.pdf
- [Handreiking Zettingsvloeiing, 2012] G.A. van den Ham, M.B. de Groot, M. van der Ruyt, *Handreiking Toetsen Voorland Zettingsvloeiing* t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde, 25 oktober 2012, Deltares, in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu - Rijkswaterstaat, Delft
<http://www.helpdeskwater.nl/algemene-onderdelen/structuur-pagina'/zoeken-site/@32912/3e-lrt/>
- [Landelijke rapportage verlengde derde toetsronde, 2013] Ministerie van Infrastructuur en Milieu - Inspectie Leefomgeving en Transport - Water, Bodem en Bouwen, Landelijke rapportage 2012-2013 *Verlengde derde toets primaire waterkeringen*, 20 december 2013
<http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2014/02/28/resultaten-verlengde-derde-toetsing-primaire-waterkeringen.html>
- [Normen Hydrografische opnemingen (IHO), 2009] Rijkswaterstaat - Data-ICT-dienst i.s.m. Commando Zeestrijdkrachten - Dienst der Hydrografie, *Nederlandse Normen voor Hydrografische Opnemingen*, 1^{ste} editie, juli 2009
http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Nederlandse%20normen%20voor%20hydrografische%20opnemingen.%201ste%20editie%20-%20juli%202009_tcm174-335019.pdf
- [Procedure valideren en opslaan van hoogtedata, 2012] B.C. Dierikx, *Procedure Valideren en Opslaan van hoogtedata in het hydrografisch werkproces*, versie 0.9, 17 april 2012, Ministerie van Infrastructuur en Milieu
http://www.rijkswaterstaat.nl/images/HYD-P-007_tcm174-335592.pdf
- [Silvis en de Groot, 1995] F. Silvis en M.B. de Groot, heranalyse data Wilderom, *Flow slides in the Netherlands: experience and engineering practice*, 29 juni 1995, gepubliceerd in Canadian Geotechnique Journal 32, p. 1086-1092
http://www.researchgate.net/publication/237380273_Flow_slides_in_the_Netherlands_experience_and_engineering_practice
- [Vink, 2014a] J.K. Vink, aanvullend afstudeeronderzoek *Meet- en Monitoringsplan Zettingsvloeiing in de Hollandse Delta*, 15 september 2014, TU Delft en waterschap Hollandse Delta, Ridderkerk
- [Vink, 2014b] J.K. Vink, *Handvatten m.b.t. Zettingsvloeiing in de Hollandse Delta*, 15 september 2014, TU Delft en waterschap Hollandse Delta, Ridderkerk
- [VTV, 2006] J.C. Huizinga-Heringa, Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat, *Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen*, september 2007
<http://publicaties.minienm.nl/download-bijlage/18127/vtv2006.pdf>
- [Waterwet, actueel] *Wet van 29 januari 2009, houdende regels met betrekking tot het beheer en gebruik van watersystemen (Waterwet)*, van kracht sinds 22 december 2009, Rijksoverheid, ministerie van Infrastructuur en Milieu
<http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/>

[Wilderom, 1979] M.H. Wilderom en W.Th.J.N.P. Bakker, *Resultaten van het vooroeveronderzoek langs de Zeeuwse stromen*, januari 1979, Rijkswaterstaat, Vlissingen

Bijlage II:

Handvatten Zettingsvloeiing in de Hollandse Delta

HANDVATTEN

MEET- EN MONITORINGSPLAN UITWISSELINGSPROTOCOL RWS JAARLIJKSE RAPPORTAGE BEOORDELINGSCRITERIA EN INTERVENTIEWAARDEN

M.B.T. ZETTINGSVLOEIING IN DE HOLLANDSE DELTA

DEFINITIEF v1.0
15 SEPTEMBER 2014

ONDERDEEL VAN EEN AANVULLEND AFSTUDEERONDERZOEK

J.K. (Jorine) VINK, BSc * studienummer: 4002210

Verantwoordelijk hoogleraar TU Delft: prof.dr.ir. M. (Matthijs) KOK

Begeleidend docent TU Delft: ir. H.J. (Henk Jan) VERHAGEN

Mentor waterschap Hollandse Delta: ing. H. (Henri) VAN DER MEIJDEN



Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Handvatten Meet- en Monitoringsplan	3
2.1	Doel	3
2.2	Aandachtsgebied en Risicolaties	3
2.3	Meetfrequentie	3
2.4	Uitvoering	4
2.5	Extra lodingen	4
3	Handvatten Uitwisselingsprotocol met RWS	5
3.1	Landelijk Opslagsysteem Lodingen (LOL)	5
3.2	Opslag en metadata	5
4	Handvatten Jaarlijkse Rapportage	6
4.1	Rapport of Maximo	6
4.2	Inhoudelijk, indien een rapport geschreven wordt	6
4.3	Weergave	6
4.4	Onderbouwing	8
4.5	Kanttekening kleurgebruik	8
5	Handvatten Beoordelingscriteria en Interventiewaarden	9
5.1	Theorie vs. pragmatisme	9
5.2	Beoordelingscriteria	9
5.3	Interventiewaarden en profielen	10
5.4	Uitvoering	10
6	Aanvullende Aanbevelingen en Aandachtspunten	11
6.1	Aanbevelingen	11
6.2	Aandachtspunten	11

Hoofdstuk 1

Inleiding

Waterschap Hollandse Delta (WSHD) beschermt de Zuid-Hollandse eilanden tegen overstromingen door het beheer van de waterkeringen. De riviertakken die de eilanden omarmen staan onder invloed van rivierafvoer en getijdenstroming. Met name de getijdenstroming veroorzaakt uitschuring op locaties met een zandige bodem. Door deze erosie kunnen gaten en geulen zich verdiepen en hellingen versteilen. Losgepakt zand op een helling met een bepaalde steilte is instabiel wat kan leiden tot een afschuiving of zettingsvloeiing. In Nederland is het fenomeen van zettingsvloeiing vooral bekend in de Zeeuwse estuaria. In veel gevallen gaat het daar om zettingsvloeiing aan de rand van een zandplaat of brede vooroever. Het is echter ook meermalen voorgekomen dat een zettingsvloeiing een dijkval veroorzaakte. Aan het begin van de 21e eeuw rijst de zorg dat een vergelijkbare gebeurtenis een waterkering in de Hollandse Delta zou schaden. De ondergrond is overwegend zandig en op veel locaties is het voorland erg smal. Wanneer hier een vloeiing optreedt is de kans zeer klein dat de waterkering geen schade ondervindt. WSHD wil daarom de ontwikkeling van de bodem en onderwateroever volgen, om te bepalen of de waterkering op een zekere locatie bedreigd wordt door zettingsvloeiing. In de huidige situatie worden 4 maal per jaar lodingen uitgevoerd op locaties die in de verlengde derde toetsing (2012-2013 [Landelijke rapportage verlengde derde toetsronde, 2013]) zijn afgekeurd op voorlandstabiliteit. Er is binnen het waterschap behoefte aan opname van zettingsvloeiing in de jaarlijkse monitoring van waterkeringen. Daartoe dient er bepaald te worden waar en wanneer oeverlodingen plaats moeten vinden en hoe de resultaten daarvan geïnterpreteerd moeten worden. Concreet is men op zoek naar:

- ◇ een **MEET- EN MONITORINGSPLAN** waarmee de ontwikkeling van de rivierbodem in relatie tot de stabiliteit van de waterkeringen goed en efficiënt gevolgd kan worden,
- ◇ een **UITWISSELINGSPROTOCOL MET RWS** dat vastlegt wanneer en, vooral, hoe gegevens worden aangeleverd,
- ◇ een basisdocument (format) voor opname van lodingen en interpretaties in de **JAARLIJKSE RAPPORTAGE**, dat het verslagleggen van de juiste gegevens, en de interpretatie daarvan, moet vereenvoudigen,
- ◇ bepaling van **BEOORDELINGSCRITERIA EN INTERVENTIEWAARDEN** die aangeven wanneer er ingegrepen dient te worden.

Het aanvullend afstudeeronderzoek van J.K. Vink [Vink, 2014a], waar dit document deel van uitmaakt, richt zich op de aanzet tot een meet- en monitoringsplan [Vink, 2014b]. Voor de verdere ontwikkeling daarvan en het opstellen van overige bovengenoemden, is een aantal handvatten geformuleerd. Daarbij is, op basis van persoonlijke conversatie en correspondentie, gebruik gemaakt van de inzichten van Hans Waals, Henri van der Meijden, Meindert van Dijk, Martin Evers en Marieke Hollebek van waterschap Hollandse Delta; Aad Fioole en Ad Schipperen van Rijkswaterstaat (afdeling CIV); Henk Jan Verhagen en Matthijs Kok van de Technische Universiteit Delft. De handvatten zijn bedoeld als uitgangspunten bij de ontwikkeling van bovengenoemde documenten en dienen als zodanig beschouwd te worden. Het is raadzaam om behalve de specifieke handvatten ook de aanvullende aanbevelingen en aandachtspunten, hoofdstuk 6, door te nemen.

Hoofdstuk 2

Handvatten Meet- en Monitoringsplan

De handvatten die in dit hoofdstuk genoemd staan, zijn reeds gebruikt of bij het schrijven van of naar voren gekomen bij de evaluatie van een aanzet tot een meet- en monitoringsplan, [Vink, 2014b]. Bij doorontwikkeling daarvan dienen ze (weer) in gedachten te worden genomen.

2.1 Doel

- ◇ Formuleer een heldere, éénduidige, doelstelling waaruit blijkt wat en wáár er gemeten moet worden, en waarom. Het doel moet zowel goed beschreven als goed onderbouwd zijn.
- ◇ Benoem dat deze aanvulling op de inspectie enkel gericht is op zettingsvloeiing en daaraan gerelateerde bezwijkmechanismen.

2.2 Aandachtsgebied en Risicocaties

- ◇ Beschouw de breedte van het voorland om te bepalen op welke locaties een afschuiving of zettingsvloeiing zou kunnen leiden tot schade aan de waterkering.
- ◇ Gebruik gegevens over de bodemopbouw, eventuele oeverbekleding, het voorkomen van erosie/sedimentatie, de diepte van de vaargeul of put en de geometrie van de oever en het onderwatertalud om risicocaties aan te wijzen.
- ◇ Kijk ook naar historische gegevens en combineer verschillende informatiebronnen. Vul dieptemetingen bijvoorbeeld aan met luchtfotos om te achterhalen of en hoe de oever zich heeft ontwikkeld. Bedenk daarbij: een steile oever die al decennia lang stabiel is, geeft weinig reden tot acute zorgen. Omgekeerd: een matig steile oever die zich relatief snel ontwikkelt (versteilend, landinwaarts migrerend of verdiepend), vraagt de nodige aandacht.
- ◇ Op initiatief van RWS wordt er steeds meer “hoogtedata in het hydrografische werkproces” opgeslagen in het Landelijk Opslagsysteem Lodingen (LOL). Maak hier gebruik van. Iedere 6 jaar wordt het hele natte profiel ingemeten. Jaarlijks wordt de vaargeul gemeten. Verdieping hiervan kan aanleiding geven tot het monitoren van een traject dat eerder niet als zettingsvloeiingsgevoelig was aangemerkt.

2.3 Meetfrequentie

- ◇ De juiste meetfrequentie, waarbij de ontwikkeling goed en efficiënt gevolgd kan worden, hangt onder andere af van de waargenomen of te verwachten bodemdynamiek.
- ◇ Is er, op basis van eerdere meetwaarden en historische gegevens, een trend te duiden, vorm dan een prognose. Bedenk hoeveel datapunten de komende jaren moeten worden toegevoegd om een trend te ontwaren of te bevestigen.
- ◇ Bepaal welke invloed onzekerheden en schattingen wat betreft de bodemopbouw hebben op de betrouwbaarheid van de berekende faalkans en wat voor implicaties dit heeft voor de te gebruiken meetfrequentie.
- ◇ Bepaal welke invloed de betrouwbaarheid van de gevonden trend (voorspelbaarheid van de bodemontwikkeling) en bijbehorende prognose heeft op de betrouwbaarheid van de berekende faalkans en wat voor implicaties dit heeft voor de te gebruiken meetfrequentie.

- ◇ Onderzoek of het zinvoller is de voorspelbaarheid van de bodemontwikkeling, in plaats van de faalkansprognose, als leidend te beschouwen bij het bepalen van de meetfrequentie.

2.4 Uitvoering

- ◇ Maak in estuarien gebied gebruik van de getijslag bij het inspecteren van erosiegevoelige gebieden: voer de lodingen uit tijdens hoog water en visuele inspectie tijdens laag water. Zo wordt een zo klein mogelijk hiaat en wellicht zelfs een overlap van gegevens rond de waterlijn gecreëerd.
- ◇ Plan lodingen meer stroomopwaarts, indien mogelijk, tijdens hoge rivierafvoer.
- ◇ Om meetdata te kunnen vergelijken dienen de lodingen steeds uitgevoerd te worden volgens dezelfde norm. Beschrijf bij het uitzetten van de survey-opdracht duidelijk wat voor output gewenst is. Met het oog op het uitwisselen van data met RWS (via het LOL, zie hoofdstuk 3), is het raadzaam de beschrijvingen over te nemen die door RWS gebruikt worden, [Normen Hydrografische opnemingen (IHO), 2009] en [Eisen Hydrografische werkzaamheden, 2009].

2.5 Extra lodingen

- ◇ Het is verstandig om na een stormvloed het gehele aandachtsgebied (trajecten met, naar verwachting, zettingsvloei-
inggevoelige lagen) te onderwerpen aan een visuele inspectie. Die trajecten die aangemerkt zijn als risicolocaties of waar zichtbaar schade is aangericht door de stormvloed, dienen een extra maal te worden gelood.
- ◇ Het is aan te bevelen na een incident in het aandachtsgebied, zoals aanvaring door een schip, een nieuwe nul-meting uit te voeren en, indien de meting daar aanleiding toe geeft, de onderwateroever onder verscherpt toezicht te stellen.
- ◇ Wanneer er zich in de nabijheid van een risicolocatie een triggermechanisme voordoet of heeft voorgedaan, is het aan te raden extra oeverlodingen uit te voeren. Gedacht moet worden aan
 - een grote snelle val van de waterspiegel na een hoogwatergolf,
 - een aardbeving,
 - bagger- of heiwerkzaamheden of
 - enig ander incident dat met trillingen gepaard gaat.

Hoofdstuk 3

Handvatten Uitwisselingsprotocol met RWS

RWS voert met regelmaat lodingen uit in de vaarwegen (m.n. vaargeulen) van rijkswateren. Er is een kleine overlap met het interessegebied van waterschap Hollandse Delta: de oevers langs waterkeringen. Anno 2014 deelt RWS alle resultaten van onderzoeken en metingen, op aanvraag. Tevens is er een Landelijk Opslagsysteem Lodingen waar overheden “hoogtedata in het hydrografische werkproces” kunnen delen. Binnen waterschap Hollandse Delta is het nog geen gewoonte dit systeem te raadplegen of aan te vullen, hoewel het bij uitstek geschikt is voor het uitwisselen van lodingsgegevens.

3.1 Landelijk Opslagsysteem Lodingen (LOL)

- ◇ Alle data dient te voldoen aan de specificaties van Basis Bestand Hoogte (BBH).
- ◇ Na validatie (verwijderen van blunders, outliers enz. en correctie voor getij) wordt een CSAR point cloud (niet-vlakdekkend) of CSAR grid (vlakdekkend: oversampled) gemaakt. Dit documenttype geeft aan dat het gaat om de opslag van bathymetrische gegevens: [CARIS Spatial Archive](#).
- ◇ [Procedure valideren en opslaan van hoogtedata, 2012] geeft een stapsgewijze beschrijving met stroomschema over hoe data in het LOL opgeslagen dient te worden.

3.2 Opslag en metadata

- ◇ Metadata of meta-informatie zijn gegevens behorende bij een dataset, die de dataset de context verlenen die benodigd is voor de informatieve waarde en het vergelijken van datasets.
- ◇ Voorbeelden van metadata zijn
 - gebruikte lodingsmethode (single beam of multibeam),
 - nauwkeurigheid van de apparatuur en
 - tijd en datum waarop de metingen zijn uitgevoerd.
- ◇ RWS maakt gebruik van het Proces Registratie Systeem (PRS) om tijdens het werkproces informatie op te slaan die als metadata wordt toegevoegd aan de gevalideerde meetgegevens bij opslag in het LOL.
- ◇ Het is aan te raden alle beschikbare (meta-)data van lodingen op te slaan zodat er geen informatie verloren gaat en het LOL door alle partijen optimaal benut kan worden.

Hoofdstuk 4

Handvatten Jaarlijkse Rapportage

Enkel het uitvoeren van oeverlodingen is onvoldoende voor het doelgericht monitoren van risicolocaties mbt zettingsvloeiing. De gegevens moeten vergeleken worden met eerdere metingen om een verwachting te kunnen geven van de verdere ontwikkeling en de eventuele noodzaak van een maatregel en/of aanpassing van het meetprogramma. Voor elke risicolocatie is de kans op overstroming van het beschermde gebied, de vermenigvuldiging van de kans op optreden van een zettingsvloeiing en de kans op schade die tot overstroming leidt in geval van een zettingsvloeiing. De uitlodingen en andere gegevens berekende kans wordt in het theoretisch ideaal vergeleken met de norm of toelaatbare kans die bij wet is vastgesteld. Ook wordt een prognose gegeven van de ontwikkeling van de oever en het onderwatertalud en de daarmee samenhangende toekomstige kans op overstroming. Hoe voorgenomde kansen bepaald kunnen worden, is beschreven in de Handreiking Zettingsvloeiing [Handreiking Zettingsvloeiing, 2012]. Inmiddels zijn er door Deltares naar aanleiding van nieuw onderzoek een aantal wijzigingen voorgesteld. Het is raadzaam regelmatig (jaarlijks) navraag te doen naar de nieuwste publicaties over dit onderwerp. In hoofdstuk 5, wordt verder ingegaan op de vertaling hiervan naar pragmatische beoordelingscriteria en interventiewaarden. Dit hoofdstuk is gericht op de weergave van de interpretaties van metingen op basis waarvan bestuurlijke besluiten zullen worden genomen.

4.1 Rapport of Maximo

- ◇ Er zal een keuze gemaakt moeten worden tussen het in een rapport beschrijven van de resultaten van oeverlodingen, het toevoegen aan Maximo (net als de resultaten van de visuele inspectie: DigiSpectie) of beide.
- ◇ Neem daarbij in overweging dat Maximo werkt met objecten en dat de resultaten van lodingen een traject (object) kunnen opsplitsen in meerdere dijkvakken wat mogelijk problemen of meerwerk oplevert.
- ◇ Wellicht is het verstandig enkel in de opstartfase rapporten te maken, als aanvulling en toelichting op de gegevens in Maximo.

4.2 Inhoudelijk, indien een rapport geschreven wordt

- ◇ Licht per traject toe om welke redenen besloten is tot het uitvoeren van oeverlodingen en waarom met juist die frequentie. Zijn aanbevelingen uit eerdere rapporten opgevolgd? Zo niet, benoem dan waarom. Zijn er nieuwe inzichten of heeft er zich een incident voorgedaan?
- ◇ Focus op de verschillen met en ontwikkeling sinds vorige rapportages.
- ◇ Let vooral op de trend in de ontwikkelingen. Een helling die niet versteelt maar wel landwaarts migreert kan een risico betekenen. Niet alle alarmerende dan wel geruststellende ontwikkelingen zetten door, vaak is er spake van een spreiding rondom de trend. Een zandige bodem onderhevig aan getijden ontwikkelt heuvels van zand die over de bodem heen en weer schuiven. Tot een hoogte van een halve meter wordt er gesproken van zandribbels. Zandgolven of -duinen kunnen enkele meters hoog zijn en veroorzaken een zeer grote spreiding.

4.3 Weergave

- ◇ De rapportage of toevoeging aan Maximo n.a.v. metingen en de interpretatie daarvan dient geen ingewikkelde statistieken te bevatten, maar een eenvoudige kleurindicatie vergelijkbaar met een stoplicht, bij voorkeur weergegeven op een kaart. Deze wordt (in geval van een rapport) vergezeld door aanbevelingen en, waar nodig, een toelichting.

Tabel 4.1: Aanbevolen acties en meetfrequentie bij kleurindicatie volgend uit het stroomschema

Prognose	Kleur	Aanbevolen actie	Aanbevolen meetfrequentie
P(schade a.g.v. ZV) blijft voorlopig binnen de norm	Groen	- geen -	Standaard
P(schade a.g.v. ZV) zal binnen x jaar de norm bereiken	Geel	Aanvullend bodemonderzoek indien benodigd voor geavanceerde toets, prognose verifiëren/corrigeren m.b.v. geavanceerde toets, voorbereiden maatregel	Verhoogd, indien trendlijn/-breuk daar aanleiding toe geeft
P(schade a.g.v. ZV) zal binnen y jaar de norm bereiken	Oranje	Aanvullend bodemonderzoek indien benodigd voor geavanceerde toets, prognose verifiëren/corrigeren m.b.v. geavanceerde toets, (voorbereiden en) uitvoeren van een maatregel indien inderdaad nodig	Verhoogd, indien van toepassing Nulmeting na de maatregel, daarna Standaard aan de randen
P(schade a.g.v. ZV) $\geq$ gereserveerde faalkansnorm	Rood	Direct ingrijpen: uitvoeren maatregel	Nulmeting na de maatregel, daarna Standaard aan de randen
- onvoldoende data beschikbaar om een prognose te geven -	Grijs	- geen -	Standaard, tenzij specifieke zorgen vragen om Verhoogd
Geen directe dreiging van zettingsvloeiing	Wit	- geen -	- geen -

- ◇ Geef een prognose over het bereiken van een kritische situatie waarin moet worden ingegrepen. Maak daarbij gebruik van 0^e, 1^e en 2^e orde analyses (resp. de huidige conditie, ontwikkeling en verandering in de ontwikkeling van het talud en de bodem).
- ◇ In de Waterwet [Waterwet, actueel], geldig sinds 2009 en online beschikbaar, is een bijlage opgenomen (II), waarin voor iedere dijkkring is aangegeven wat de veiligheidsnorm is. Dit is de gemiddelde overschrijdingskans per jaar van de hoogste hoogwaterstand waarop de primaire waterkeringen moeten zijn berekend of de gemiddelde kans per jaar op overstroming van het beschermde gebied door bezwijken van de primaire waterkering, artikel 2.2. De relatie tussen hoogwaterstanden en overschrijdingskansen wordt steeds voor maximaal 12 jaar bepaald, artikel 2.3. Er zijn verschillende directe en indirecte bezwijkmechanismen te benoemen die bijdragen aan de faalkans van een waterkering. De meest praktische wijze om te toetsen of een waterkering voldoet aan de norm is door de toelaatbare kans op overstroming uit te splitsen naar bezwijkmechanisme. Wanneer de kans op overstroming als gevolg van zettingsvloeiing deze specifieke norm overschrijdt, is direct ingrijpen geboden. Dit correspondeert met de kleurindicatie rood. De Handreiking Zettingsvloeiing [Handreiking Zettingsvloeiing, 2012] kan gebruikt worden als leidraad bij het bepalen van de faalkans en de toelaatbare faalkans.
- ◇ De vertaling van prognose via kleurindicatie naar de te ondernemen actie kan er als volgt uit zien:

Daarbij zijn x en y sterk gerelateerd aan de standaard en verhoogde meetfrequentie. Het is niet gewenst dat een dijkvak tussen twee opeenvolgende metingen meer dan 1 schaal verslechterd. Om dat te vermijden dienen x, y en de bijbehorende meetfrequenties zorgvuldig te worden gekozen. Beginpunt hierbij kan zijn het bepalen van de benodigde tijd voor het voorbereiden en uitvoeren van een maatregel (in de orde van enkele jaren). Indien er voldoende data beschikbaar is om een prognose te geven, kan door juiste toewijzing van (en bestuurlijke reactie op) de classificaties geel en oranje, bovendien de kleurindicatie rood in het geheel voorkomen worden.

Door in de komende jaren gestaag te (blijven) meten wordt de dataset bij een grijs dijkvak uitgebreid zodat er wel een trend, en daarmee een prognose, opgemaakt kan worden. Als bekend is dat de bodem zeer dynamisch is of men zich op basis van bijvoorbeeld visuele inspectie zorgen maakt over het betreffende dijkvak, kan een hogere meetfrequentie gekozen worden opdat eerder duidelijkheid komt over de staat en ontwikkeling van de oever.

Ook dijkvakken die niet in de monitoring op zettingsvloeiing zijn opgenomen worden iedere 6 jaar door RWS ingemeten. De resultaten daarvan zijn via het Landelijk Opslagstelsel Lodingen beschikbaar voor WSHD. Locaties waar eerder geen oeverlodingen uitgevoerd werden vanwege de geometrie (breed voorland, ondiepe geul), zullen toch in het monitoringsplan opgenomen kunnen worden als blijkt dat de geometrie veranderd is als gevolg van erosie, lokale afschuiving of kleine vloeiingen.

4.4 Onderbouwing

- ◇ Bovenstaande voorbeeldtabel is enkel toepasbaar voor locaties waar de bodemontwikkeling op basis van de beschikbare gegevens voorspeld kan worden. De prognose volgt dan uit een trendlijn. In andere gevallen, waar uit de verzamelde data geen eenduidige trend blijkt en meer informatie gewenst is, zal de aanbevolen nieuwe meetfrequentie bepaald moeten worden aan de hand van de mate van voorspelbaarheid (hoeveel datapunten moeten er naar verwachting in de komende jaren verzameld worden om een trend te kunnen ontdekken?).
- ◇ Er moet helder worden toegelicht hoe de klassegrenzen tot stand zijn gekomen, zodat het bestuur (Verenigde Vergadering “Water” en Dijkgraaf en Heemraden) kan vertrouwen op zorgvuldige en correcte classificatie. In hoofdstuk 5 komen de beoordelingscriteria en interventiewaarden (klassegrenzen) aan bod.

4.5 Kanttekening kleurgebruik

Kleurgebruik is visueel en intuïtief en kan daardoor heel effectief zijn. Houd wel in gedachten dat (zwart/wit-) printen de duidelijkheid kan verminderen en dat kleurenblinden moeite zullen hebben met het onderscheiden van verschillende zones. Het is aan te bevelen te overwegen (ook) een arcering te gebruiken.

Hoofdstuk 5

Handvatten Beoordelingscriteria en Interventiewaarden

Er zijn talloze factoren bekend die invloed hebben op de kans op zettingsvloeiing en/of op de kans op overstroming door schade aan de waterkering als er zich een zettingsvloeiing voordoet. Veel van deze factoren zijn in de praktijk echter niet of maar ten dele bekend. Om op pragmatische wijze (d.w.z. zonder intensief bodemonderzoek en probabilistische berekeningen) te beoordelen of een traject voldoende veilig is, zullen enkele criteria geselecteerd moeten worden. Voor elk van deze criteria worden vervolgens, indien quantificeerbaar, interventiewaarden opgesteld.

Een manier om meerdere criteria te beschouwen, is het gebruik van een stroomschema. Het doorlopen van het schema resulteert in een oordeel dat overeenkomt met een kleurindicatie zoals bedoeld in hoofdstuk 4.

5.1 Theorie vs. pragmatisme

- ◇ Indien de bodemopbouw volledig bekend is, kan er per locatie een minimumprofiel opgesteld worden waar de gemeten geometrie mee vergeleken wordt. Het niet uitvoeren van (uitgebreid) grondonderzoek moet gepaard gaan met conservatieve schattingen betreffende de bodemopbouw.
- ◇ Aanbevolen wordt in eerste instantie een eenvoudige analyse uit te voeren met behulp van een beoordelingsstroomschema. Als de conclusie daarvan is dat er een maatregel noodzakelijk is, kan er gekozen worden voor verder onderzoek naar de werkelijke bodemopbouw en faalkans.

5.2 Beoordelingscriteria

- ◇ Beoordelingscriteria kunnen betrekking hebben op
 - de geometrie van de waterkering en oever (breedte voorland),
 - de bathymetrische eigenschappen van het onderwatertalud en de vaargeul (gemiddelde en maximale hellingshoek, hoogte van de helling, diepte en breedte van de vaargeul),
 - de zettingsgevoeligheid van de bodem (relatieve dichtheid en dikte van zandlagen, aanwezigheid van kleilaagjes in het zandpakket),
 - waargenomen en verwachte ontwikkeling (mate van versteiling, verdieping en migratie van een helling als gevolg van erosie/sedimentatie) en
 - waarschijnlijkheid van het optreden van een verstoring (snel zakken van de waterspiegel of trillingen a.g.v. hoge stroomsnelheden, bagger- of heiwerkzaamheden, een aardbeving, hevige golfslag, ...)
- ◇ Als beoordelingscriteria moeten factoren gekozen worden die
 - in de praktijk met enige nauwkeurigheid/zekerheid te bepalen zijn en
 - volgens de theorie (probabilistische formules op basis van statistieken) een relatief grote invloed hebben op het voorkomen van of de mate van schade veroorzaakt door een zettingsvloeiing.

5.3 Interventiewaarden en profielen

- ◇ Interventiewaarden kunnen in een stroomschema worden opgenomen in de vorm van voorwaarden.
- ◇ Met het oog op universele toepassing van het beoordelingsstroomschema dienen de interventiewaarden zodanig te worden vastgesteld dat zij onafhankelijk zijn van het beschouwde traject.
- ◇ Indien er veel bekend is over de bodemopbouw kan voor een risicolocatie een minimumprofiel bepaald worden. Als het profiel dat volgt uit oeverlodingen en (lucht-) foto's dit onderschrijft, moet er ingegrepen worden.
- ◇ Een ingemeten profiel dat vergeleken wordt met een minimumprofiel mag geen interpolaties bevatten, enkel werkelijk gemeten data.
- ◇ Voor het gebruik van minimumprofielen en de bepaling van beoordelingscriteria en interventiewaarden, kan advies gevraagd worden aan Ir. Hans van der Sande van waterschap Scheldestromen.
- ◇ Interventiewaarden en minimumprofielen zijn onder meer afhankelijk van de tijd die men verwacht nodig te hebben, c.q. de norm die daarvoor geldt, om de waterkering na een (gedeeltelijke) dijkval of oeverval a.g.v. te herstellen. Immers gedurende die periode is de waterkerende functies verminderd. Over het algemeen geldt: hoe sneller het herstel plaats kan vinden, hoe groter de toelaatbare schade en hoe minder strict de interventiewaarden of minimumprofielen. Let op: één van de mogelijke triggers voor zettingsvloeiing, de val van de waterspiegel na een hoogwatergolf, wordt vaak gevolgd door een tweede hoogwatergolf! Andere triggers tonen geen of weinig relatie met een hoge waterstand. Fugro gaat uit van een hersteltijd van 21 dagen, [Fugro, 2013].

5.4 Uitvoering

- ◇ Het doorlopen van het stroomschema kan uitgevoerd worden met behulp van een computerprogramma zoals een spreadsheet of een matlab-bestand. Invoergegevens daarvoor zijn de eerder genoemde beoordelingscriteria.
- ◇ Deltares heeft een programma ontwikkeld om de kans op zettingsvloeiing te berekenen: D-Flow Slide [Deltares, actueel]. Het verdient aanbeveling te onderzoeken of dit programma geschikt zou zijn voor (een deel van) de risicolocaties binnen de Hollandse Delta. Mogelijk past het, vanwege de benodigde invoergegevens, niet in een pragmatische aanpak. Als er op basis van de classificatie na doorlopen van het stroomschema reden is tot aanvullend grondonderzoek, kan D-Flow Slide gebruikt worden voor de verwerking van de nieuwe gegevens.
- ◇ Onterecht goedkeuren is veel ernstiger dan onterecht afkeuren. Onterecht goedkeuren geeft immers een vals gevoel van veiligheid. Onterecht afkeuren leidt tot nader onderzoek, waarbij de waterkering alsnog wordt goedgekeurd en een maatregel niet nodig blijkt.

Hoofdstuk 6

Aanvullende Aanbevelingen en Aandachtspunten

Behalve de handvatten in de eerdere hoofdstukken, is er een aantal aspecten te formuleren van algemene aard. Deze zijn hier toegevoegd als aanbeveling, als er een bepaalde actie moet worden ondernomen, of aandachtspunt, dat men in gedachten moet houden.

6.1 Aanbevelingen

- ◇ Metingen moeten doelbewust worden uitgevoerd, om informatie te vergaren. Het besluit tot het uitvoeren van een oeverloding mag niet voortkomen uit de wens zich “in te dekken” door na een dijk- of oeverval te kunnen zeggen “dat er gemonitord werd”. Het besluit tot het uitvoeren van een oeverloding moet onderbouwd zijn en gevolgd worden door zorgvuldige interpretatie van de meetdata en besluitvorming over het al dan niet voorbereiden en/of uitvoeren van een maatregel.
- ◇ Een meet- en monitoringsplan moet beschouwd worden als een “levend document”. Wanneer nieuwe gegevens of inzichten beschikbaar zijn, resulterend uit oeverlodingen en andere vormen van inspectie of uit onderzoek naar zettingsvloeiing, moet het meet- en monitoringsplan daarop aangepast worden. Het is raadzaam bij iedere jaarlijkse rapportage te bepalen of er veranderingen moeten worden aangebracht in de meetmethode of -nauwkeurigheid, meetfrequentie, opslag van data, interpretatie van de oeverlodingen, klassegrenzen, wijze van rapporteren en bestuurlijke aanbevelingen. Ook veranderingen in het wettelijk kader (nieuwe versie Voorschrift Toetsing Veiligheid of Handreiking Zettingsvloeiing) moeten doorgevoerd worden in het monitoringsplan.
- ◇ RWS meet ieder jaar de vaarweg, zorg dat metingen van WSHD daar een kleine overlap mee hebben.
- ◇ Let bij de interpretatie op de nauwkeurigheid (standaard deviatie / spreiding) van de meetwaarden.
- ◇ Vertrouw niet blindelings op automatische filtering van de data. Vaak veroorzaakt reflectie van stortsteen een grote verzameling foute punten, waardoor juist de goede data weggedaan wordt.
- ◇ Maak gebruik van het LOL: landelijk opslagsysteem lodingen, waarin op initiatief van RWS “hoogtedata in het hydrografisch werkproces” als CSAR-bestanden kunnen worden uitgewisseld.

6.2 Aandachtspunten

- ◇ Sedimentatie wordt intuïtief niet gezien als een risicofactor wat zettingsvloeiing betreft. Wees erop bedacht dat ook aanzanding een versteiling van een talud kan veroorzaken. Zelfs op locaties waar de originele bodem niet zettingsvloeiingsgevoelig is, kan een vloeiing van de aanzanding leiden tot schade aan de oever (door afschuiving).
- ◇ RWS heeft andere motieven om te meten, namelijk het garanderen van een minimum bevaarbaar profiel en voldoende afvoercapaciteit. Metingen van RWS voor de vaarwegen (jaarlijkse loding) zijn officieel tot NAP -4m, vaak tot NAP -3m. In de 6-jaarlijkse loding meet RWS tot aan de waterlijn (bij hoogwater). De output leent zich ook voor analyses die voor WSHD als waterkeringbeheerder nuttig zijn.
- ◇ Een grote spreiding rond de trend kan verklaard worden door zandgolven of -duinen. Deze kunnen heen en weer bewegen, waarbij het volume netto niet verandert, of ze kunnen zeewaarts migreren. Wanneer er zand

uit het systeem verdwijnt, zal er netto erosie gaan optreden. Eerst is dat enkel stroomopwaarts merkbaar, later ook verder stroomafwaarts in het systeem. Men ziet dat terug in de trend(breuk). WSHD is als beheerder van waterkeringen geïnteresseerd in de lokale staat en trend van de bodem, niet in de ontwikkeling van het systeem als geheel. Het is daarom niet nodig de beweging van zandgolven of -duinen te analyseren.

- ◇ Veel historische data is verkregen m.b.v. single beam lodingen. Daarbij vaart een schip van de ene oever naar de andere en meet zo elke 100m een profiel. De metingen zelf zijn niet nauwkeurig op een ruwe bodem doordat steeds alleen de hoogste waarde in een footprint van 1 m² wordt opgeslagen. Zo worden veel putten gemist. Tussen de raaien wordt geïnterpoleerd. Echte informatie over de aanwezigheid, exacte locatie, vorm en afmetingen van putten of drempels ontbreekt. Sinds 1996 wordt (ook) gebruik gemaakt van multi beam lodingen. Daarmee worden een heleboel punten dicht bij elkaar gemeten. De gemiddelden vormen een 5m grid of, tegenwoordig, een 1m grid. Ook wordt de standaarddeviatie van elke cel bepaald. Deze is groter op een ruwere bodem (alleen de bovenste laag is te “zien”) of op een helling. Bij hellingen wordt een vlak getekend door de punten. Er wordt t.o. daar van opnieuw een standaard deviatie bepaald die de nauwkeurigheid aangeeft. Let op bij de verwerking: vergelijking met “oude” single beam data, geeft vaak een trendbreuk. Zorg dat het niet ten onrechte als 1 trend gezien wordt. Multi beam loding kan alleen toegepast worden voor het bevaarbare deel van een waterlichaam. De padbreedte is tegenwoordig ongeveer 10x de diepte (vroeger 3 tot 4). Hoe verder weg, hoe minder nauwkeurig. Aanliggende raaien worden gecombineerd om de nauwkeurigheid langs de randen te vergroten. Dat dit combineren van lodinggegevens van verschillende raaien langs de oever niet mogelijk is, verklaart de grotere onnauwkeurigheid.
- ◇ Andere informatiebronnen zijn vaak moeilijk te interpreteren. Luchtfotos bijvoorbeeld zijn vaak scheef genomen, orthofotos zijn beter geschikt.
- ◇ Aan 1 keer meten heb je weinig. Dit geeft slechts de huidige, of nul-, situatie. Die kan wel gebruikt worden om risicogebieden te identificeren, maar zegt niets over de ontwikkeling en dus ook niets over de urgentie van de situatie.
- ◇ Ruis van meetfouten, zandribbels, zandgolven (hoge afvoer), verstoort metingen en laat op de korte termijn een beeld zien dat niet representatief is voor de trend. Monitoring heeft daarom alleen zin over lange termijn.
- ◇ De formules voor zettingsvloeiing zoals gebruikt in de Handreiking Zettingsvloeiing is opgesteld door Deltares en wordt regelmatig bijgesteld naar aanleiding van onderzoeksresultaten.

Literatuur

- [Deltares, actueel] V. Trompille, G.A. van den Ham, D.R. Mastbergen en F. Engering, publieke webpagina *D-Flow Slide - Slope Liquefaction and Breaching*, toelichting computerprogramma D-Flow Slide, actueel, Deltares, Delft
<http://publicwiki.deltares.nl/display/GEO/D-flow+Slide+-+Slope+Liquefaction+and+Breaching>
- [Eisen Hydrografische werkzaamheden (RWS), 2013] Ministerie van Infrastructuur en Milieu - Centrale Informatievoorziening, *Proces- en producteisen Hydrografische werkzaamheden*, versie 1.4, 14 mei 2013
- [Fugro, 2013] B. Berbee, *Verlengde 3e toetsronde Beoordeling hm 7.20-7.40 Dijkkring 17 IJsselmonde*, 9 juli 2013, Fugro, in opdracht van waterschap Hollandse Delta
Intranet / sharepoint WSHD:
http://wshdportaal/project/VHDWAK0043/Projectdocumenten/Fugro%20-%20Ruwe%20data/1212-0069-007/rapporten/113%20Geotechnisch%20BO%20dijkkring%2017%20hm720%20740_v2.pdf
- [Handreiking Zettingsvloeiing, 2012] G.A. van den Ham, M.B. de Groot, M. van der Ruyt, *Handreiking Toetsen Voorland Zettingsvloeiing* t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde, 25 oktober 2012, Deltares, in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu - Rijkswaterstaat, Delft
<http://www.helpdeskwater.nl/algemene-onderdelen/structuur-pagina'/zoeken-site/@32912/3e-lrt/>
- [Landelijke rapportage verlengde derde toetsronde, 2013] Ministerie van Infrastructuur en Milieu - Inspectie Leefomgeving en Transport - Water, Bodem en Bouwen, Landelijke rapportage 2012-2013 *Verlengde derde toets primaire waterkeringen*, 20 december 2013
<http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2014/02/28/resultaten-verlengde-derde-toetsing-primaire-waterkeringen.html>
- [Normen Hydrografische opnemingen (IHO), 2009] Rijkswaterstaat - Data-ICT-dienst i.s.m. Commando Zeestrijdkrachten - Dienst der Hydrografie, *Nederlandse Normen voor Hydrografische Opnemingen*, 1^{ste} editie, juli 2009
http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Nederlandse%20normen%20voor%20hydrografische%20opnemingen.%201ste%20editie%20-%20juli%202009_tcm174-335019.pdf
- [Procedure valideren en opslaan van hoogtedata, 2012] B.C. Dierikx, *Procedure Valideren en Opslaan van hoogtedata in het hydrografisch werkproces*, versie 0.9, 17 april 2012, Ministerie van Infrastructuur en Milieu
http://www.rijkswaterstaat.nl/images/HYD-P-007_tcm174-335592.pdf
- [Vink, 2014a] J.K. Vink, aanvullend afstudeeronderzoek *Meet- en Monitoringsplan Zettingsvloeiing in de Hollandse Delta*, 15 september 2014, TU Delft en waterschap Hollandse Delta, Ridderkerk
- [Vink, 2014b] J.K. Vink, *aanzet tot Meet- en Monitoringsplan m.b.t. Zettingsvloeiing in de Hollandse Delta*, 15 september 2014, TU Delft en waterschap Hollandse Delta, Ridderkerk
[linknaarrepositoryofintranet](#)
- [Waterwet, actueel] *Wet van 29 januari 2009, houdende regels met betrekking tot het beheer en gebruik van watersystemen (Waterwet)*, van kracht sinds 22 december 2009, Rijksoverheid, ministerie van Infrastructuur en Milieu
<http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/>

Bijlage III:

Proces- en producteisen Hydrografische werkzaamheden

**Proces- en producteisen
Hydrografische werkzaamheden**

Datum	14 mei 2013
Status	Definitief

Proces- en producteisen Hydrografische werkzaamheden

Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat Centrale Informatievoorziening (CIV)
Informatie	Servicedesk Data
Telefoon	015-2757700
Fax	015-2757576
Uitgevoerd door	Jolanda Bakker (CIV – MID Zeeland) Menno Huizenga (CIV – MID Noord-Nederland) Gert Brand (CIV - Data Productmanagement) Gert Jan van den Brenk (CIV – MID Noord-Holland) Ben Dierikx (CIV – Afdeling Data Productmanagement) Wim Dijkman (CIV – MID IJsselmeergebied) Math Lemmens (CIV – MID Limburg) Ad Schipperen (CIV – MID Zuid-Holland) Marco van der Sluijs (CIV – MID Noordzee) Adri Wagener (CIV - MID Oost-Nederland)
Opmaak	Gert Brand
Datum	14 mei 2013
Status	Definitief
Versienummer	1.4

Inhoud

Werkwijzer 5

1 Proces- en producteisen hydrografische werkzaamheden 6

Werkwijzer

Dit document is bedoeld als brondocument voor het beheer van de hydrografische eisen die zijn opgenomen in het model Prestatiecontract en de hydrografische eisen die moeten worden opgenomen in model D&C.

Toelichting van de kleuren.

Magenta tekst= Specifiek voor model D&C

Groene tekst = Specifiek voor model Prestatiecontract

Geel geblokt = keuzeveld

Geel geblokt met paarse tekst = keuzeveld bij D&C, bij Prestatiecontract geldt een vast tekst

=toelichting bij keuzes (verborgen tekst)

1 Proces- en producteisen hydrografische werkzaamheden

HYD01

Geo-referentie

Het te gebruiken coördinatenstelsel in dit contract is

- RD-NAP conform de meest recente versie van de procedure RDNAPTRANS™. Informatie over deze procedure is te vinden op de website www.kadaster.nl/rijksdriehoeksmeting.
- ETRS89 voor het horizontale vlak en LAT voor het verticale vlak.

HYD02

Geo-referentie

Indien er gewerkt wordt met profielgegevens dienen er voor de uitvoering van het werk in overleg met de Opdrachtgever een kilometrering en een aslijn te worden vastgesteld.

Alle door de Opdrachtnemer geleverde profielgegevens dienen gebaseerd te zijn op de vastgestelde kilometrering en aslijn.

De volgende kenmerken van kilometrering en aslijn dienen te worden vastgesteld:

- ligging van de aslijn (XY-coördinatenlijst);
- richting van de oplopende kilometrering;
- definitie van het nulpunt (XY-coördinaten van een bepaalde kilometerwaarde).

HYD03

Geo-referentie

Alle voor dit contract gebruikte grids dienen te voldoen aan de volgende definitie:

- De oriëntatie van de gridcellen is noordgericht;
- De virtuele oorsprong (0,0) van het XY-coördinaatstelsel valt samen met een hoekpunt van een gridcel.

De vereiste afmetingen van de gridcellen kunnen verschillen afhankelijk van de specifieke eisen. Deze afmetingen worden daarom bij de specifieke eisen aangegeven.

Grids dienen digitaal geleverd te worden in het ESRI raster formaat.

HYD04

Kwaliteit van peilingen

De peilingen dienen te voldoen aan **Norm X** conform de meest recente versie van de "Nederlandse normen voor hydrografische opnemingen", uitgegeven door Rijkswaterstaat Data-ICT-Dienst in samenwerking met de Dienst der Hydrografie van het Commando Zeestrijdkrachten, **met uitzondering van de eisen over een volledig bodemonderzoek**.

Voor de horizontale component zijn de eisen strenger dan de aangegeven hydrografische norm. Hiervoor dient voldaan te worden aan een 95% betrouwbaarheidsniveau van **0,40 m**.

Voor de verticale component zijn de eisen strenger dan de aangegeven hydrografische norm. Hiervoor gelden voor het 95% betrouwbaarheidsniveau de parameterwaarden $a = 0,10$ m en $b = 0,0075$.

HYD05

Kwaliteit van peilingen

Peilingen dienen te worden uitgevoerd als gebiedsdekkende metingen. Hierbij dient de datadichtheid (na validatie) te voldoen aan de volgende eis:

- **10** hits per gridcel (moet gelden voor 95% van de gridcellen), uitgaande van een grid met gridcellen van **1x1** m.
- De gebieden (max. 5%) met minder dan het in het vorige punt genoemde aantal hits per gridcel mogen aaneengesloten niet groter zijn dan 0,5% van het totaal of **1000** m², waarbij de kleinste waarde als criterium geldt.
- Voor gebieden met een diepte van meer dan 10 meter kan in overleg met de Opdrachtgever worden afgeweken van de hier gestelde eis aan de datadichtheid.

Peilingen dienen te worden uitgevoerd volgens een raaienpatroon. Hierbij dient de datadichtheid (na validatie) te voldoen aan de volgende eis:

Datadichtheid: 1 dwarsraai per **25** m en **1** meetpunt per m voor 95% van de raai.

De maximale afwijking uit de raai niet meer bedragen dan **10** m.

HYD06

Kwaliteit van peilingen

Daar waar de peilingen gecorrigeerd moeten worden voor de ter plaatse geldende waterstand, dient de manier waarop dit gebeurt te worden bepaald in overleg met de Opdrachtgever.

HYD07

Kwaliteit van peilingen

Bij de peilingen dient een frequentie te worden gebruikt van minimaal 200 kHz.

HYD08

Kwaliteit van peilingen

De Opdrachtnemer dient naast de peilingen ook een gebiedsdekkende sonaropname uit te voeren en aan te leveren conform **Bijlage X paragraaf X**.

HYD09

Kwaliteit van peilingen

In het lodingplan dienen, specifiek voor het Werk, minimaal de volgende onderwerpen volledig te zijn of worden uitgewerkt:

1. hoe en waar de praktijktoets wordt uitgevoerd;
2. een overzicht van de onderdelen van het werk waarvoor peilingen worden uitgevoerd;
3. een indicatie van wanneer welke peilingen waar worden uitgevoerd;
4. een overzicht van de kwaliteitseisen aan de peilingen en de eisen aan de bij de peilingen opgeleverde producten;
5. de wijze waarop de peilingen worden uitgevoerd;
6. de wijze waarop wordt geborgd dat de kwaliteit van de peilingen voldoet aan de eisen;
7. de wijze waarop wordt geborgd dat de bij de peilingen opgeleverde producten voldoen aan de eisen.

HYD10

Kwaliteit van peilingen

De peilingen mogen niet beginnen voordat de **Opdrachtnemer** een lodingsplan heeft opgesteld én door middel van een praktijktoets en bijbehorend rapport (met profielen, grids, plots of andere afbeeldingen van de data) heeft aangetoond dat de vereiste nauwkeurigheid van de peilingen onder dynamische omstandigheden gehaald wordt en dat hij kan voldoen aan de meeteisen van de Overeenkomst. De praktijktoets kan niet worden uitgevoerd voordat het lodingsplan is geaccepteerd door de Opdrachtgever.

De praktijktoets dient te worden uitgevoerd met de personen die ook ingezet gaan worden voor het werk uit de overeenkomst.

De Opdrachtgever zal door de Opdrachtnemer in de gelegenheid gesteld worden om praktijktoets bij te wonen. Hierbij dient de Opdrachtnemer minimaal vijf werkdagen voor aanvang van de praktijktoets aan de Opdrachtgever aan te geven wanneer deze gaat plaatsvinden.

Indien de Opdrachtgever de praktijktoets bijwoont dient de Opdrachtnemer ter plaatse te laten zien hoe de dagelijkse controleprocedures bij de peilingen verlopen.

De Opdrachtnemer dient minimaal 1 keer per jaar en bij elke wijziging van de meetconfiguratie en/of soort gebied (een meetconfiguratie bestaat uit het vaartuig + meetapparatuur + software) opnieuw een praktijktoets af te leggen. Het rapport en de data van deze praktijktoets moeten zijn geaccepteerd voordat de peilingen hervat mogen worden.

Voor onderdelen van de praktijktoets waarbij er gemeten wordt op locaties waarvan de bodemhoogte bekend is, gelden voor het verticale betrouwbaarheidsniveau van de gevalideerde meetpunten de volgende aanvullende eisen:

- Bij een waterdiepte < 10 meter moet, binnen een vooraf gedefinieerd gebied met gridcellen van 0,25x0,25 meter, het gemiddeld verschil per gridcel met de bekende bodemhoogte $\leq 0,05$ meter zijn.
- Bij een waterdiepte ≥ 10 meter moet, binnen een vooraf gedefinieerd gebied met gridcellen van 1x1 meter, het gemiddelde van de verschillen in het hele gebied met de bekende bodemhoogte $\leq 0,05$ meter zijn.

HYD11

Kwaliteit van peilingen

De Opdrachtgever zal door de Opdrachtnemer in de gelegenheid gesteld worden om aanwezig te zijn bij de peilingen, inclusief metingen die bedoeld zijn om aan te tonen dat de kwaliteit van de peilingen voldoet aan de eisen. Hierbij dient de Opdrachtnemer minimaal vijf werkdagen voor aanvang van deze werkzaamheden aan de Opdrachtgever aan te geven wanneer en waar ze gaan plaatsvinden.

HYD12

Te leveren producten

Uitgaande van de uitgevoerde peilingen dient de Opdrachtnemer volgende producten te leveren:

(1) Kaarten

- Cijferkaarten van de bodemhoogte/diepte op de volgende momenten:
 - a. Voor aanvang.
 - b. Na realisatie.
 - c. Na ontgraving.
 - d. Na de gerealiseerde afdekking.
 - e. Van de gemeten diepten.
 - f. Anders: <.....>
- Andere specificaties voor de inhoud van de te leveren kaarten.<.....>
- De kaarten dienen zowel digitaal als analoog geleverd te worden. In digitale vorm dienen de kaarten geleverd te worden in PDF formaat. De vormgeving van de kaarten (o.a. formaat, schaal en legenda) zal in overleg met de contractbegeleider worden vastgesteld.

(2) Profielen ;

- Profielen worden eerst dan gevraagd als niet wordt aangetoond d.m.v. kaarten dat de te onderhouden breedte wordt gehandhaafd.

- Dwarsprofielen om de 25 meter met de bodemhoogte/diepte op de volgende momenten:
 - a. Voor aanvang.
 - b. Na realisatie.
 - c. Na ontgraving.
 - d. Na de gerealiseerde afdekking.
 - e. Anders: <.....>
 - Andere specificaties voor de inhoud en locatie van de te leveren profielen.<.....>
 - De profielen dienen zowel digitaal als analoog geleverd te worden. In digitale vorm dienen de profielen geleverd te worden in PDF formaat.
 - De vormgeving van de profielen (o.a. formaat, schaal en legenda) zal in overleg met de contractbegeleider worden vastgesteld.
- (3) Hoeveelhedenberekeningen (kuberingen) .
- Voor het bepalen van historische baggerhoeveelheden.
 - Berekening van de hoeveelheid materiaal die bij de oplevering nog aanwezig is boven specificatie referentieniveau.
 - Aanvullende specificaties voor inhoud en leveringsformaat van de te leveren kuberingen.
- (4) Sonarrapportages .
- De Opdrachtnemer dient de vorm van deze sonaropnamen rapportages in overleg met de Opdrachtgever vast te stellen.
- (5) Onderliggende datasets inclusief meta-informatie
- Grids:

Alle geleverde producten dienen gebaseerd te zijn op basisgrids met gridcellen van 1x1 m. Bij gebiedsdekkende metingen dienen de waarden van het basisgrid dienen berekend te zijn als het rekenkundig gemiddelde, tenzij anders aangegeven, van de gevalideerde meetpunten binnen de betreffende gridcel. Bij metingen volgens een raaienpatroon dienen de waarden van het basisgrid berekend te zijn met behulp van interpolatie.

Wanneer (bijvoorbeeld voor de presentatie op kaarten) gebruik wordt gemaakt van grotere gridcellen dienen de waarden daarvan te zijn afgeleid uit de gridcellen van het basisgrid.

Alle grids dienen geleverd te worden conform de in deze paragraaf (onder "Geo-referentie") gestelde eisen.
 - Meetdata:
 - a. Gevalideerde meetdata (ruwe gemeten data na verwijdering van alle missers en blunders), op basis waarvan de kaarten en grids zijn geproduceerd. Deze data dient digitaal geleverd te worden in een ASCII-X,Y,Z-formaat. Het exacte formaat dient in overleg met de Opdrachtgever te worden vastgesteld.
 - b. Ruwe data: Indien gewenst door de Opdrachtgever dient de ruwe data van de peilingen digitaal geleverd te worden. Het te leveren formaat dient in overleg met de Opdrachtgever te worden vastgesteld.
 - De resultaten van de metingen die zijn uitgevoerd om aan te tonen dat de kwaliteit van de peilingen voldoet aan de eisen.
 - Meta-informatie van de geleverde datasets:

De metadata dient als XML-bestand te worden geleverd en te voldoen aan de meest recente versie van de Nederlandse metadatastandaard

voor geografie (ISO 19115:2003 NL profiel / ISO 19139 implementatie [xml]), zoals beschreven op www.geonovum.nl.

De invulling van de velden van de metadata dient te worden vastgesteld in overleg met de Opdrachtgever.

- (6) Indien aangegeven door de Opdrachtgever dient de Opdrachtnemer naast de hiervoor genoemde producten ook de 'uitvoeringsdocumenten', die te maken hebben met het inwin- en/of verwerkingsproces, te leveren.

HYD13

Te leveren producten

De Opdrachtnemer dient de resultaten van de peilingen binnen vijf werkdagen na de dag waarop de peilingen zijn uitgevoerd, te verstrekken aan de Opdrachtgever.

HYD14

Te leveren producten

Alle **hydrografische** gegevens uit de in het kader van het Werk verrichte werkzaamheden worden, met inbegrip van alle rechten en plichten, eigendom van de Opdrachtgever. Uitgezonderd hiervan zijn de gegevens, die de Opdrachtnemer alleen gebruikt voor zijn eigen interne processen.

HYD15

Controlemetingen door de Opdrachtgever

Door of namens de Opdrachtgever kunnen controlemetingen worden uitgevoerd. De resultaten van de controlemetingen van de Opdrachtgever zijn bindend en vormen zodoende de basis waarop de Opdrachtgever vaststelt of de Opdrachtnemer aan de eisen voldoet.

