

## Memo

**Aan**  
Y. Provoost, K. Saathof

<b>Datum</b> 27 februari 2014	<b>Kenmerk</b> 1208045-017-HYE-0002	<b>Aantal pagina's</b> 10
<b>Van</b> Robert 't Hart	<b>Doorkiesnummer</b> +31 (0)88 33 57 256	<b>E-mail</b> robert.thart@deltares.nl

**Onderwerp**  
Freatische lijn voor afschuiven bekleding, inventarisatie

---

## 1 Vraagstelling in Projectplan 2013

De toetsing op het mechanisme 'afschuiving' als gevolg van golfaanval op steenzettingen wordt uitgevoerd voor de zone tot 'toetspeil+toeslagen'. Impliciet wordt er dus van uitgegaan dat tijdens een storm de freatische lijn in de zandkern van het dijklichaam zeer hoog komt, namelijk in de buurt van het toetspeil.

Bij het toetsen van asfaltbekledingen wordt erop gerekend dat de maatgevende grondwaterstand niet hoger komt dan halverwege de normale gemiddelde waterstand (doorgaans NAP + 0 m) en het toetspeil. Doordat een steenzetting doorlatender is dan asfalt, is het te verwachten dat de freatische lijn onder de steenzetting hoger komt, maar het is onwaarschijnlijk dat het oploopt tot aan toetspeil.

Verder is het niveau van de freatische lijn afhankelijk van het achterland van de dijk. Als daar een opgespoten industrieterrein ligt (zoals bij de Sloehaven) dan is er een hogere freatische lijn te verwachten.

In deze memo wordt de problematiek rond de freatische lijn in relatie tot het mechanisme afschuiving op een rijtje gezet.

## 2 Huidige rekenregels

De laatste stand van kennis is in feite vastgelegd in het concept WT12011. Dit concept is inhoudelijk goedgekeurd door de ENW, maar niet formeel bekrachtigd door de Minister, dus nog steeds concept.

Daarin staat voor wat betreft het mechanisme afschuiving van steenzettingen (ZAF) in detail de eenvoudige toetsing beschreven die beoordeelt op wat eenvoudige kenmerken:

- Als bekleding op kleikern ligt: voldoet
- Als bekleding op zandscheg ligt: toets op maat
- Als golfhoogte < kleilaagdikte: voldoet
- Als talud steiler dan 1:2,5: toets op maat
- Als **niet** één van bovenstaande: gedetailleerde toetsing

Voor een beschrijving van de gedetailleerde methode wordt verwezen naar het Technisch Rapport Harde Bekledingen (momenteel TR Bekledingen), terwijl de beoordeling feitelijk plaatsvindt met behulp van het rekenmodel STEENTOETS.



In het TR Bekledingen deel Steenzettingen is ten aanzien van rekenen aan afschuiving van steenzettingen niet veel meer te vinden dan een verwijzing naar STEENTOETS.

Daarmee vormt STEENTOETS momenteel de standaard. In STEENTOETS zijn momenteel nog twee methoden geïmplementeerd:

1. De "oude methode uit de VTV2006"
2. De "nieuwe methode van Bosters (2008)" [1]

Aangezien de "nieuwe methode van Bosters (2008)" is bekrachtigd door de ENW moeten we die methode als vigerend voor toekomstige gedetailleerde beoordelingen zien.

Opmerkelijk is dat in de eenvoudige toetsing volgens het concept WT12011 een beoordeling van de praktijkervaring (gedrag in de gebruiksfase) niet is opgenomen.

Een tweede kanttekening ten aanzien van de eenvoudige toetsing betreft het ontbreken van aandacht voor een hoog achterland, danwel een ongebruikelijk breed dijkprofiel. Deze beide situaties worden normaliter in één adem genoemd met de zandscheg, die wel is opgenomen. Al deze situaties kunnen tot relatief hoge grondwaterstanden in het zandlichaam onder de bekleding leiden. Beperkte afstroming naar achter de dijk in combinatie met infiltratie van extreme neerslag en/of golfoploop/overslag zijn daarvan de oorzaak.

De hierboven genoemde items worden overigens wel in STEENTOETS meegewogen in het oordeel, in overeenstemming met de methode beschreven door Bosters (2008). Voorts mag ten aanzien van STEENTOETS nog worden vermeld dat daarin pragmatische formules zijn opgenomen teneinde om te kunnen gaan met geknikte taluds.

Bij de gedetailleerde toetsing worden twee typen constructies onderscheiden, elk met hun eigen rekenregel. Enerzijds is er een rekenregel voor de steenzetting zonder ondoorlatende onderlaag op een zandkern. Dit type steenzetting komt relatief weinig voor, al krijgt hij de laatste tijd soms wel wat aandacht in de vorm van "dijk in duin" (Katwijk, Scheveningen). Daarnaast is er een rekenregel voor de veel voorkomende steenzettingen op een ondoorlatende onderlaag, waarbij die onderlaag veelal uit klei bestaat.

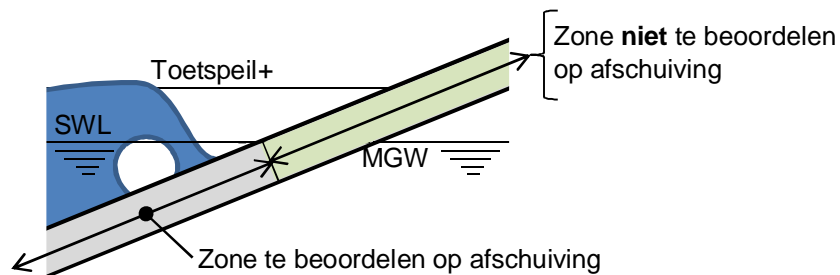
De rekenregel voor de stabiliteit van een zetting zonder kleilaag is gebaseerd op een zandbed onder de bekleding wat in principe verzadigd is, maar waarvan het poriewater nog wel een flinke fractie (0,1) aan lucht bevat. Als de dijk uit niet al te fijn zand bestaat, is het reëel om te veronderstellen dat bij een hoge buitenwaterstand tegen een steenzetting (eventueel op filter) direct op zand er zich snel een (lokale) freatische lijn zal instellen die bij benadering overeenkomt met de buitenwaterstand. Dat voor een zetting zonder kleilaag de toetsing op afschuiving dient te gebeuren tot het niveau van de buitenwaterstand (Toetspeil + eventuele toeslagen) is daarom verdedigbaar.

De rekenregel voor de beoordeling op afschuiving in geval van een kleilaag onder de steenzetting is gebaseerd op proeven in de Deltagoot [6, 7]. De grondwaterstand in het zandlichaam onder de klei speelt daarbij een cruciale rol. Het is reëel om te veronderstellen dat de eisen aan de kleilaagdikte volgens deze rekenregel alleen tot aan het niveau van de hoogste (=maatgevende) grondwaterstand hoeven te gelden.

Toch dient er in geval van een steenzetting met een onderlaag van klei ook boven het niveau van de maatgevende grondwaterstand nog een minimale kleilaagdikte aanwezig te zijn. Anders zou de (lokale) grondwaterstand immers alsnog oplopen tot een veel hoger niveau als gevolg van infiltratie bij waterstanden en golfploop tot boven de bovenrand van de kleilaag.

Voor dunne kleilagen boven gemiddeld hoogwater wordt wel aangenomen dat zij in de loop van de tijd zodanig gestructureerd raken dat zij een gemiddelde doorlatendheid krijgen die vergelijkbaar is met die van zand. Dat betekent echter niet dat ook in geval van gestructureerde klei de lokale grondwaterstand zal reiken tot aan de buitenwaterstand. De doorlatendheid van de gestructureerde klei is geconcentreerd ter plaatse van de scheuren in de klei. Bij de overgang van klei naar zand is er een enigszins vergelijkbare situatie als voor betonblokken direct op zand. Het water wat aanstroomt door een spleet, moet vanuit die spleet het zandbed in. Dat levert ter plaatse van de overgang van klei naar zand dus een wezenlijke beperking van het doorstroomprofiel op, oftewel de doorlatendheid van het totaal is kleiner dan op grond van de doorlatendheden van het zand enerzijds en de gestructureerde klei anderzijds zou moeten worden verondersteld.

Dat is een kwalitatieve redenering om te veronderstellen dat voor de beoordeling op afschuiving van een zetting op een filter op gestructureerde klei op zand niet hoeft te worden gedaan tot aan Toetspeil+toeslagen. In de zone tussen Toetspeil+toeslagen (Toetspeil+) en de maatgevende grondwaterstand (MGW) hoeft een steenzetting (op filter) op kleilaag dus niet te worden beoordeeld op afschuiving.



*Figuur 2.1 Schematische weergave maatgevende situatie voor afschuiving van een steenzetting op een kleilaag.*

Als de buitenwaterstand zodanig zakt dat de SWL ongeveer gelijk is aan de hoogste grondwaterstand (MGW), dan zal dat voor de steenzetting op een kleilaag waarschijnlijk de maatgevende situatie voor afschuiving opleveren, zie Figuur 2.1. De golfhoogte is dan nog relatief groot, aannemende dat de golfhoogte waterdiepte-beperkt is; de golf slaat in op een verzadigde ondergrond en de grondwaterstand is relatief hoog ten opzichte van het niveau van de golfterugtrekking. Merk op dat de grondwaterstand bij het bereiken van Toetspeil+ nog niet op het niveau van de maatgevende grondwaterstand is. Tussen het moment dat Toetspeil+ wordt bereikt en het moment dat de SWL is gezakt tot de maatgevende grondwaterstand zal het niveau van de grondwaterstand nog een beetje oplopen.

Als de golfhoogte afhankelijk is van de buitenwaterstand, dan zal de golfhoogte die voor de afschuiving mag worden gehanteerd wat kleiner zijn dan de golfhoogte die hoort bij Toetspeil+.

Bij de toetsing wordt ervan uitgegaan dat zolang een dijk niet abnormaal doorlatend is of een uitzonderlijke geometrie heeft, de statische opwaarts gerichte stijghoogteverschillen beperkt zullen blijven, al dan niet door het optreden van ventielwerking. De ventielwerking bestaat uit



het ontstaan van scheuren waardoor de overdruk kan wegvloeien. Bij normale dijken zal er onvoldoende aanvoer van water zijn om na het ontstaan van scheuren nog een substantiële overdruk te laten ontstaan. Per saldo hoeft voor afschuiving dus alleen de situatie te worden beoordeeld waarbij de buitenwaterstand gelijk is aan de maatgevende grondwaterstand (Figuur 2.1).

Als er een (minimale) kleilaag onder de zetting aanwezig is, dan is het niveau wat de freatische lijn kan bereiken tijdens de maatgevende storm een factor van belang. De kleilaag tot aan die hoogte zal een dikte moeten hebben die voldoet volgens de rekenregel. De daarvoor te gebruiken golfhoogte is de golfhoogte behorende bij een buitenwaterstand overeenkomende met het hoogste niveau van de freatische lijn.

Voor dit hoogste niveau van de freatische lijn bestaat er in het geval van steenzettingen geen scherpere vuistregel dan de impliciet opgenomen aanname dat de maatgevende grondwaterstand gelijk wordt aan het Toetspeil+.

Uiteraard kan daar waar sprake is van een ondoorlatende onderlaag van bijvoorbeeld mijnsteen deze in de beoordeling de rol overnemen van de kleilaag.

### 3 Niveau van de freatische lijn bij diverse geotechnische bezwijkmechanismen

Het niveau van de freatische lijn speelt niet alleen bij afschuiving van een steenzetting of asfaltbekledingen (zie Hoofdstuk 4) een rol, maar bij meer bezwijkmechanismen van dijken. Voor de geotechnische mechanismen “binnenwaartse stabiliteit” en “buitenwaartse stabiliteit” is het van belang de freatische lijn in de maatgevende situatie te kennen.

Voor de binnenwaartse stabiliteit (afschuiving aan de landzijde van de dijk) is de hoogste freatische lijn maatgevend. De faalmechanismen voor bekledingen zijn echter meer vergelijkbaar met wat bij geotechnische mechanismen wordt aangeduid als de buitenwaartse stabiliteit. Dit betreft de stabiliteit van het buitentalud bij een vallende buitenwaterstand.

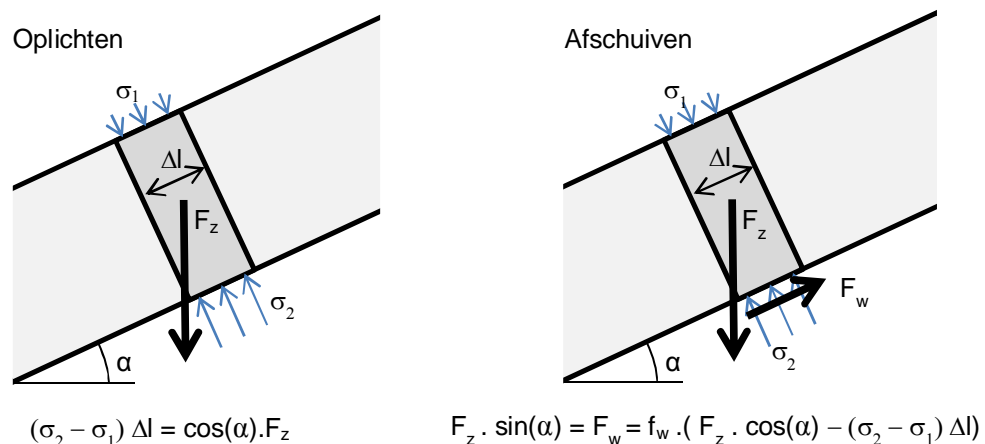
Dat mechanisme wordt bij rivierdijken niet als een grote bedreiging gezien, omdat het veelal niet echt een veiligheidsrisico oplevert. De hoogwatergolf op een rivier is immers uiterst zelden twee-toppig en in ieder geval traag verlopend, zodat tussentijds (nood)reparaties mogelijk zijn. Voor zeedijken of dijken in het benedenrivierengebied geldt echter dat alleen al een volgende getij-top weer voor een oplopende waterstand kan zorgen. Meertoppigheid van het waterstandsverloop en een korte responstijd gedurende stormomstandigheden maken dat voor die locaties buitenwaartse stabiliteit én de stabiliteit van de bekleding wel degelijk een veiligheidsprobleem kan opleveren. Wel moet worden bedacht dat een extreme waterstand gevolgd door een niet onbelangrijke, snelle val van de buitenwaterstand noodzakelijk is om de mechanismen te activeren. De tweede piek van het waterstandsverloop zal altijd lager zijn, waardoor de reststerkte van de dijk relatief hoog is.

Voor rivierdijken, waarbij de maatgevende buitenwaterstand veelal vrij dicht onder het kruinniveau ligt, is de volgende aanpak gebruikelijk:

- Als er peilbuiswaarnemingen ter plaatse van de binnenkruinlijn beschikbaar zijn dan wordt de freatische lijn daar gebaseerd op extrapolatie naar maatgevende omstandigheden; de freatische lijn ter plaatse van de buitenkruinlijn wordt 0,5 m hoger aangenomen dan ter plaatse van de binnenkruinlijn; van de buitenkruinlijn naar buitenwaterstand wordt een lineair verloop aangenomen.
- Als geen peilbuiswaarnemingen beschikbaar zijn, dan wordt bij dalende buitenwaterstand aangenomen dat de dijk verzadigd is tot aan het niveau 0,5m beneden de buitenkruinlijn.

## 4 (Maatgevende) grondwaterstand voor asfaltbekledingen

Asfaltbekledingen worden beoordeeld op het oplichten door statische wateroverdrukken, zie Figuur 4.1 links. De waterdrukken ( $\sigma_1$  en  $\sigma_2$ ) volgen direct uit het niveau van de freatische lijn en het niveau van de buitenwaterstand (SWL). Voor asfaltbekledingen op zand is het een geaccepteerde aanname dat de invloed van golven mag worden verwaarloosd. Bij dit mechanisme wordt het lokaal evenwicht loodrecht op het talud beoordeeld van een stuk asfaltbekleding. Dit criterium gaat verder dan een lokaal afschuifcriterium. Voor een afschuifcriterium moet worden gekeken naar het evenwicht evenwijdig aan het talud van een stuk asfaltbekleding, zie Figuur 4.1 rechts. Voor asfaltbekledingen is in 1999 [5] geconcludeerd dat afschuiving niet op zal treden, omdat asfalt voldoende (trek)sterkte heeft. Als een asfaltbekleding op een onderlaag van klei op een zandlichaam ligt, dan wordt verondersteld dat de wateroverdrukken tegen de onderzijde van de kleilaag werken. De sterkte van de bekleding wordt in dat geval dus niet alleen geleverd door het gewicht van het asfalt, maar ook door het gewicht van de kleilaag.



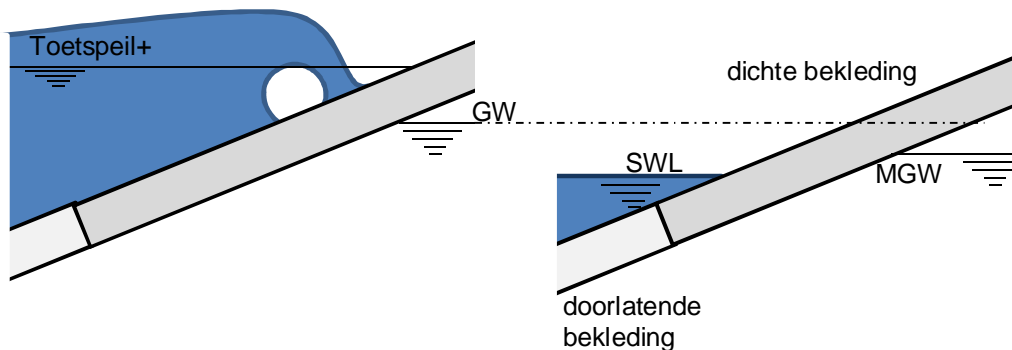
Figuur 4.1 Criteria stabiliteit asfaltbekledingen (voor verklaring symbolen, zie symbolenlijst achterin):

- Grensgeval oplichten: evenwicht loodrecht op het talud (links);
- Grensgeval afschuiven: evenwicht langs het talud (rechts).

Omdat asfaltbekledingen worden beoordeeld op statische overdrukken wordt de maatgevende buitenwaterstand pas bereikt als hij is gezakt tot ruim onder de grondwaterstand, zie Figuur 4.2



rechts. Gedurende de tijd dat de buitenwaterstand daalt van het niveau wat gelijk is aan de grondwaterstand tot die lagere maatgevende buitenwaterstand zal de grondwaterstand ook al weer zakken. De maatgevende grondwaterstand voor asfaltbekledingen is dus een lagere dan voor steenzettingen.



*Figuur 4.2 Asfaltbekleding belast; hoogste buitenwaterstand relevant voor golfklappen (links) en maatgevende situatie voor oplichten (rechts). Nb. de onderrand van de dichte bekleding hoeft niet per se de asfaltbekleding zelf te zijn, maar kan ook een fictief niveau betreffen bijvoorbeeld als er aangrenzend aan de asfaltbekleding een mastiekslab op het voorland ligt of als er dicht teenschot aanwezig is.*

Om te komen tot een richtlijn voor de maatgevende grondwaterstand is voor asfaltbekledingen op een zanddijk een flink aantal niet-stationaire grondwaterstromingssommen gemaakt [3, 4]. In die berekeningen is uitgegaan van diverse homogeen doorlatende dijklichamen en tal van verschillende randvoorwaarden. Daarbij is onder andere ook gekeken naar de situatie waarbij geen afstroming naar het achterland plaatsvindt (model voor oude kleikern onder binnentalud, danwel zeer brede dijk). De bovengrenswaarde van de berekende maatgevende grondwaterstandsniveaus is de vigerende aanbeveling voor ontwerp en toetsing [1]:

- Zeedijken:  $GWS + 0,5 \cdot (MHW - GWS)$
- Meerdijken:  $GWS + 0,2 \cdot (MHW - GWS)$
- Rivierdijken:  $GWS + 0,3 \cdot (MHW - GWS)$

(GWS is de gemiddelde buitenwaterstand, bijvoorbeeld NAP;  
MHW is het maatgevend hoogwater, bijvoorbeeld Toetspeil + toeslagen.)

De maatgevende grondwaterstand (MGW) is de grondwaterstand, waarbij, als de buitenwaterstand al een flink stuk is gezakt, de maximale wateroverdruk wordt bereikt. Die maximale overdruk treedt op ongeveer halverwege de maatgevende grondwaterstand en de onderrand van de dichte bekleding.

Let op, de maatgevende grondwaterstand is dus niet de hoogst opgetreden grondwaterstand in de dijk. Zodra de buitenwaterstand daalt tot onder de grondwaterstand zal immers ook de grondwaterstand beginnen te dalen (voor zover de grondwaterstand al niet daalde als gevolg van afstroming naar het achterland).

De hoogste grondwaterstanden zijn, omdat dit voor de vraagstelling irrelevant was, niet in [3, 4] gerapporteerd.

Een quick-scan van de rapportage [4] levert overigens twijfels op of infiltratie door neerslag wel correct is verwerkt in de berekeningen. Voor de zeedijken blijkt de neerslag geen enkele

invloed te hebben op de overdrukken. Door de beperkte doorlatendheid, de lange weg naar de freatische lijn en doordat het begintijdstip van de berekening gelijk is aan het begin van de storm, beïnvloedt neerslag de freatische lijn niet voordat het maatgevende moment wordt bereikt. Of dat dit het conservatisme wat in de vuistregels voor de maatgevende grondwaterstand voor asfaltbekledingen aanwezig zou moeten zijn, ondergraaft, dat is niet vast te stellen zonder aanvullende berekeningen en heranalyse.

Nu is een (zand)dijk en zijn ondergrond veelal niet homogeen doorlatend. Veel zanddijken zijn opgespoten waarbij horizontale sliblagen kunnen zijn afgezet; in dijklichamen kunnen dit soort sliblagen leiden tot lokale grondwaterspiegels. De ondergrond is veelal een natuurlijke grondslag die ook een horizontale gelaagdheid kent, waardoor de homogeniteit te wensen overlaat.

Als er twijfels zijn met betrekking tot de homogeniteit van de ondergrond waarop de aanbevolen niveaus van de maatgevende grondwaterstand zijn gebaseerd, dan kan een reëler niveau tot waar een freatische lijn kan oplopen worden gebaseerd op een meting van de respons van de grondwaterdruk in de dijk op een (spring)tij (voor methodiek zie B2 van [2]) en op extreme neerslag (zie o.a. § 2.4.5 [2]). Extrapolatie naar maatgevende omstandigheden zorgt uiteraard voor wat onzekerheid omdat bij zeedijken de doorlatendheid van open bekledingen hoger op het talud door structuurvorming in de kleilaag veel groter zal zijn dan beneden gemiddeld hoogwater.

Nb. Het is waarschijnlijk dat in sommige gevallen het maatgevende niveau van de grondwaterstand vooral wordt bepaald door extreme neerslag.

## 5 Ontwikkelingen rekenmodellen (DAM)

DAM (DijkAnalyseModule) is een recent ontwikkeld programma waarmee voor grote hoeveelheden dijkdoorsneden gerekend kan worden aan diverse bezwijkmechanismen (binnenwaartse stabiliteit, piping, horizontaal evenwicht). Daarmee kunnen consequenties van bijvoorbeeld peilbeheer of droogte worden geanalyseerd. Het programma is ontwikkeld voor regionale keringen. DAM kan in principe ook voor primaire keringen worden toegepast, voor zover de geïmplementeerde mechanismen ook van toepassing zijn.

Mechanismen met betrekking tot bekledingen zijn momenteel niet geïmplementeerd in DAM.

Voor de geotechnische mechanismen die met DAM worden geëvalueerd zijn nu al gegevens met betrekking tot de freatische lijn noodzakelijk. De invoer van DAM hiervoor is momenteel een combinatie van peilbuiswaarnemingen, vuistregels en/of directe invoer op basis van expert judgement. Binnen het programma kan nog niet met eindige elementen modelleringen aan het niveau de freatische lijn worden gerekend. Wel wordt er al geëxperimenteerd met koppelingen aan een dergelijk rekenmodel (John van Esch, tijdsafhankelijk rekenen!).

Uitbreiding van DAM met nieuwe modules, bijvoorbeeld voor de beoordeling van bekledingen, is in principe mogelijk, maar dat vergt uiteraard de nodige investeringen.





## 6 Opties voor verdere ontwikkeling

De huidige methodiek voor afschuiven van steenzettingen geeft voor wat betreft het niveau van de maatgevende freatische lijn in de ondergrond geen richtlijn, waardoor de freatische lijn veelal gelijk wordt gekozen aan het ontwerppeil of, in geval van toetsing, het toetspeil + toeslagen. Voor een steenzetting waarvan de toplaag direct op zand is aangelegd is dat een veilige, niet al te conservatieve keuze. Maar voor een steenzetting aangelegd op een ondoorlatende onderlaag (kleilaag) zal dat rond de buitenwaterstand die voor de toplaag-stabiliteit maatgevend is, wellicht tot een onnodig zware eis leiden.

Geconcludeerd wordt dat de methodiek voor afschuiven van een steenzetting kan worden verfijnd. Voor een steenzetting op klei op een zanddijk hoeft pas aan de nu vigerende rekenregel te worden voldaan beneden het niveau van de maatgevende grondwaterstand. Daarboven, tot aan het peil van de hoogste buitenwaterstand, kan worden volstaan met een dunnere kleilaag. Een minimale kleilaag van ca. 0,5 m wordt aanbevolen en er zal een overgangszone moeten worden gehanteerd als beneden de maatgevende grondwaterstand een kleilaagdikte groter dan 0,5 m noodzakelijk is.

Voor het niveau van de voor afschuiving maatgevende grondwaterstand in de dijk is geen richtlijn te ontleen aan andere bezwijkmechanismen voor dijken. Daarom wordt aanbevolen om voor dit meest voorkomende type steenzettingen een methode te ontwikkelen om de maatgevende freatische lijn te bepalen.

Opties voor verdere ontwikkeling:

1. Aanpak analoog aan die voor asfaltbekledingen: voor homogeen veronderstelde ondergrond een set sommen maken en daar een aanbeveling op baseren. Voor specifieke klassen van opbouw van de dijk kan dan een maatgevende grondwaterstand voor de afschuiving van steenzettingen op een kleilaag worden bepaald. Maar het is dan wel wenselijk om die klassen verder uit te detailleren dan bij asfalt, waarbij slechts sprake is van een homogeen zandlichaam op een homogene zandondergrond met dezelfde doorlatendheid
  - o pro: toegankelijk, resultaat levert vuistregels;
  - o contra: het betreft alleen geschematiseerde doorsneden.

Resultaat: inperking van de zone waar rekening gehouden moet worden met afschuiving. Kan t.z.t. worden ingepast in de eenvoudige/gedetailleerde toetsing

2. Praktijk cases getij-responsmetingen evalueren
  - o pro: concreet, voorbeeldfunctie;
  - o contra: locatie specifiek, lastig algemeen geldende vuistregels/aanbevelingen op te stellen. Een beschrijving van de methodiek is uiteraard wel haalbaar zijn.

Resultaat: een beschrijving die als richtlijn voor de toets op maat kan fungeren.

3. Ontwikkeling bekledingenmodule voor DAM

De laatste optie (3) lijkt een oplossing voor alle vragen, echter bedacht moet worden dat als er moet worden gerekend, dat daar zeer veel data voor nodig zijn. Er zijn in ieder geval schematisaties van de ondergrond met bijbehorende doorlatendheden noodzakelijk. Dit probleem in DAM implementeren komt neer op verwachten dat voor alle locaties op maat wordt beoordeeld. Dit is vooralsnog niet haalbaar.

Als een ontwikkeling volgens de eerste optie wordt verkozen, dan is het verstandig om gelijktijdig de vuistregels voor het niveau van de freatische lijn bij asfaltbekledingen opnieuw te



evalueren. De aannamen en randvoorwaarden voor de berekeningen dienen met zorg te worden gekozen en voorgelegd aan een forum van deskundigen, zodat het aantal cases kan worden beperkt tot reële, veel voorkomende situaties.

Het aan de hand van een interessante praktijk case (een case met voorbeeldfunctie) de methodiek beschrijven is echter ook een aanbevelenswaardige optie (2).

## Literatuur

- [1] Bosters, R. (2008) *Aanpassing toetsmethodiek Afschuiving bij steenzettingen*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, RWS Zeeland, PZDT-R-08300, 1 september 2008.
- [2] *Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW). ISBN-90-369-5565-3; DWW-2004-057. Delft, september 2004.
- [3] *Overdrukken onder asfaltbekleding*. C0-329570/10, H. Best. Grondmechanica Delft, Delft, oktober 1992.
- [4] *Dimensioneren op wateroverdrukken, Presentatie en interpretatie resultaten grondwaterstromingsberekeningen – versie 3*. A.K. de Looff, Oranjewoud, Project 81969, Capelle a/d IJssel, januari 1999.
- [5] *Ontwerpcriteria bij dimensioneren op wateroverdrukken*. A.K. de Looff, Oranjewoud, Capelle a/d IJssel, maart 1999.
- [6] *Black box model voor afschuiving bij steenzettingen*. M. Klein Breteler, WL|delfthydraulics, H4635, november 2007.
- [7] *Stabiliteit ingegoten basalt en afschuiving ondergrond. Meetverslag Deltagootonderzoek*. B. Hofland en M. Klein Breteler, WL|delfthydraulics, H4635, augustus 2007.



## Symbolenlijst

Symbol	Omschrijving	Eenheid
$F_w$	wrijvingskracht door ondergrond op het element	N/m
$F_z$	zwaartekracht op het element	N/m
GW	niveau van de grondwaterstand ten opzichte van NAP	m
GWS	niveau van de gemiddelde buitenwaterstand ten opzichte van NAP	m
MGW	niveau van de maatgevende grond waterstand ten opzichte van NAP	m
MHW	niveau van maatgevend hoogwater ten opzichte van NAP	m
SWL	niveau van de stilwaterlijn ten opzichte van NAP	m
$f_w$	wrijvingscoëfficiënt tussen ondergrond en bekleding	-
$\alpha$	hoek van het talud met de horizontaal	rad
$\Delta l$	lengte van het element	m
$\sigma_1$	waterspanning op de bovenzijde van de bekleding	N/m <sup>2</sup>
$\sigma_2$	grondwaterspanning tegen onderzijde van de bekleding	N/m <sup>2</sup>