

Aanpassing toetsmethodiek Afschuiving bij steenzettingen

1 september 2008

Ruud Bosters

Aanpassing toetsmethodiek Afschuiving bij steenzettingen

1 september 2008

Samenvatting 4

Lijst van symbolen 5

1 Inleiding 6

2 Achtergrond 7

2.1 Probleemstelling 7

2.2 Onderzoek 7

2.3 Mechanisme Afschuiving bij een kleilaag 8

3 Aangepaste toetsmethodiek Afschuiving 9

3.1 Omschrijving 9

3.2 Achterliggende principes 9

3.3 Toetsschema 11

3.4 Gedetailleerde toetsing 13

3.4.1 Gedetailleerde rekenregel 'zand' 13

3.4.2 Gedetailleerde rekenregel 'klei' 13

3.4.3 Vergelijking gedetailleerde regels 14

3.5 Geavanceerde toetsing 15

4 Referenties 17

Samenvatting

Het faalmechanisme "Afschuiving van een steenzetting evenwijdig langs een dijktalud" vormt onderdeel van het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen. Op grond van de onderzoeksresultaten heeft de ENW-klankbordgroep Steenbekledingen ingestemd met aanpassing van de huidige toetsmethodiek Afschuiving.

De huidige (gedetailleerde) toetsmethodiek is oorspronkelijk ontworpen voor steenzettingen die op zand liggen. De toetsresultaten bij steenzettingen op een kleilaag kwamen daardoor onvoldoende overeen met de ervaring van de beheerders.

De afschuiving bij een kleilaag is nader onderzocht met Deltagootproeven bij WL Delft Hydraulics en in een afstudeeronderzoek bij Geodelft (inmiddels beiden Deltares). Deze onderzoeken en de beheerservaring leidden tot het inzicht dat een eventuele afschuiving ingeleid wordt door het opdrijven van de bekleding door grote statische wateroverdrukken (hoge grondwaterstand) in de dijk. Zware golfaanval zou vervolgens schade toe kunnen brengen aan de bekleding. Het proces van falen en bezwijken verloopt daarbij erg traag.

In de aangepaste toetsmethodiek wordt de waterkering (dijk of dam) kwalitatief beoordeeld op statische waterdrukken:

1. Indien er in het dagelijks beheer grote statische overdrukken zijn, wordt de bekleding afgekeurd wegens slecht gedrag;
2. Als het gedrag goed is, maar de geometrie van de waterkering zou kunnen leiden tot grote statische overdrukken hoger op het talud, wordt de bekleding geavanceerd getoetst;
3. In de overige gevallen zijn de statische overdrukken klein of treden alleen laag op het talud op, waar ze worden genivelleerd door welvorming. Deze situaties worden getoetst met een gedetailleerde rekenregel.

Lijst van symbolen

b_f	= Dikte filterlaag [m]
b_{klei}	= Dikte kleilaag [m]
c	= Cohesie [kPa]
D	= Dikte toplaag [m]
D_{15}	= Korreldiameter die door 15% van het zand wordt overschreden
H_s	= Significante golfhoogte [m]
k	= Doorlatendheid [m/s]
$Q_{infiltratie\ bij\ neerslag}$	= Waterbezwaar door neerslag [m ³ /m']
$Q_{infiltratie\ bij\ storm}$	= Waterbezwaar door infiltratie bij storm [m ³ /m']
T_p	= Golfperiode bij de top van het spectrum [s]
α	= Taludhelling [°]
Δ	= $(\rho_s - \rho_w)/\rho_w$ = Relatieve dichtheid toplaag [-]
Δ_f	= $(\rho_f - \rho_w)/\rho_w$ = Relatieve dichtheid filterlaag [-]
Δ_{klei}	= $(\rho_{klei} - \rho_w)/\rho_w$ = Relatieve dichtheid kleilaag [-]
$\Delta D_{bekleding}$	= Onderwatergewicht van bekleding incl. kleilaag [m waterkolom]
ρ_s	= Soortelijke massa toplaag [kg/m ³]
ρ_f	= Soortelijke massa filterkorrels [kg/m ³]
ρ_{klei}	= Soortelijke massa klei [kg/m ³]
ρ_w	= Soortelijke massa water [kg/m ³]
ξ_{op}	= Brekerparameter [-]
φ'	= Hoek van inwendige wrijving [°]

1 Inleiding

Het faalmechanisme "Afschuiving van een steenzetting evenwijdig langs een dijktalud" vormt onderdeel van het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen. De onderzoeksresultaten uit dit programma hebben geleid tot een ontwerp voor aanpassing van de huidige toetsmethodiek Afschuiving. Dit ontwerp is op 28 maart 2008 te Delft goedgekeurd door de ENW-klankbordgroep Steenbekledingen.

Voorliggend rapport beschrijft de aangepaste toetsmethodiek. Daarbij wordt eerst ingegaan op de achtergronden en wordt vervolgens de aangepaste toetsmethodiek beschreven.

2 Achtergrond

2.1 Probleemstelling

De toetsing van een steenzetting op Afschuiving volgens het VTV [5] komt in de meeste gevallen uit op de gedetailleerde rekenregel, die daarmee de kern van de huidige methodiek vormt. Deze rekenregel is oorspronkelijk ontworpen voor steenzettingen (met of zonder filterconstructie) die direct op een ondergrond van zand liggen. Later is besloten om deze rekenregel (met een kleine aanpassing) ook te hanteren voor steenzettingen die op een kleilaag liggen. Deze kleilaag ligt daarbij op een dijk kern van zand.

In de praktijk resulteerde dit in toetsresultaten die niet overeen kwamen met de ervaring van de beheerder en werd duidelijk dat de rekenregel een eventueel afschuifmechanisme bij een kleilaag niet goed weergaf: er ontstond het inzicht dat bij een kleilaag statische waterdrukken (door een hoge grondwaterstand in de dijk kern) een belangrijke rol spelen, terwijl de huidige rekenregel uitsluitend uitgaat van dynamische waterdrukken door golfwerking.

Teneinde onterecht goedkeuren of afkeuren te voorkomen is het faalmechanisme Afschuiving bij een steenzetting op een kleilaag daarom nader onderzocht binnen het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen.

2.2 Onderzoek

Deltagootproeven

In 2005 zijn bij WL Delft Hydraulics in De Voorst Deltagootproeven uitgevoerd op een dijk talud met een steenbekleding op een kleilaag (schaal 1:2) [2]. De constructie werd belast op statische waterdruk onder de kleilaag in combinatie met brekende golven. De statische waterdruk tijdens de golfproeven was daarbij kleiner dan het eigen gewicht van de bekleding. Belangrijkste resultaten:

1. Bij geen van de golfproeven trad schade (scheuren, vervorming) of afschuiven van de kleilaag op. De zwaarste golfbelasting was daarbij ca. 2,5 maal groter dan volgens de huidige gedetailleerde rekenregel weerstaan zou kunnen worden;
2. Op een moment dat geen golfbelasting aanwezig was, werd (onbedoeld) een statische waterdruk onder de kleilaag aangebracht die ca. 1,4 maal groter was dan het eigen gewicht van de bekleding. Dit leidde niet tot scheuren of afschuiven van de kleilaag.

Afstudeeronderzoek grondmechanische stabiliteit toplaag

In 2007 is bij Geodelft een afstudeeronderzoek verricht naar statische waterdrukken onder een kleilaag [1]. Het ging om modelproeven op kleine schaal (ca. 1:50) in een plastic bak waarin een plastische, slappe kleilaag ($\phi' = 17^\circ$ en $c = 5,6$ kPa) was aangebracht op een dijktafud.

Belangrijkste resultaten:

1. De kleilaag begon pas significant te vervormen of op te drijven bij een statische (grond)waterdruk die 1,5 à 2 maal groter was dan het eigen gewicht van de kleilaag;
2. Verder opvoeren van de belasting leidde niet tot afschuiven, maar tot een langzame aftakeling met scheurvorming.

De lekkage die optrad door de scheuren in de kleilaag was erg groot in verhouding tot het volume water wat geborgen kon worden in het dijklichaam. In de praktijk zouden dergelijke scheuren het stijghoogteverschil en de grondwaterdruk dus snel reduceren.

2.3 Mechanisme Afschuiving bij een kleilaag

Verondersteld werd dat het mechanisme Afschuiving bij een steenzetting op een kleilaag bestond uit de vorming van een ondiep glijvlak juist onder en door de kleilaag, gevolgd door het afschuiven van (een deel van) de bekleding, incl. kleilaag. Dit zou een vrij snel proces zijn, waarbij de bekleding weinig of geen weerstand zou bieden.

In de praktijk is dit mechanisme nooit waargenomen. Wel zijn enige gevallen bekend van dijken met een hoge grondwaterstand, waarbij de bekleding in de loop van de tijd (weken tot jaren) verzakt of traag naar beneden schuift en eventueel horizontale scheuren gevormd worden. Golfbelasting lijkt daarbij geen grote rol te spelen. Ook het uitgevoerde onderzoek wijst er op dat zonder statische overdrukken bezwijken nauwelijks mogelijk is en dat het ook bij de combinatie van statische overdrukken en golfbelasting gaat om een traag en 'taai' mechanisme.

Op grond van de praktijkervaring en de onderzoeksresultaten is geconcludeerd dat een eventueel mechanisme Afschuiving ingeleid wordt door het oplichten van de bekleding door statische waterdrukken onder de kleilaag. Zware golfaanval zou vervolgens schade toe kunnen brengen aan een langdurig opgedreven bekleding.

Bovenstaande inzichten omtrent het faalmechanisme Afschuiving bij een steenzetting op een kleilaag zijn als uitgangspunt gebruikt voor de aanpassing van de toetsmethodiek.

3 Aangepaste toetsmethodiek Afschuiving

3.1 Omschrijving

De aanpassing van de toetsmethodiek Afschuiving is vooral gericht op het verbeteren van de toetsing bij een steenzetting op een kleilaag. In de aangepaste toetsmethodiek wordt de waterkering (dijk of dam) daartoe kwalitatief beoordeeld op statische waterdrukken:

1. Indien er in het dagelijks beheer in het veld grote statische overdrukken zijn geconstateerd, wordt de bekleding afgekeurd wegens slecht gedrag;
2. Als het gedrag goed is, maar de geometrie van de waterkering (dijk of dam) zou kunnen leiden tot grote statische overdrukken en opdrijven van de bekleding hoger op het talud, wordt de bekleding geavanceerd getoetst.

In de overige gevallen zijn de statische overdrukken klein of treden alleen laag op het talud op, waar ze worden genivelleerd door welvorming. Deze situaties worden getoetst met een gedetailleerde rekenregel. Voor steenzettingen op een kleilaag is een aparte rekenregel opgesteld op basis van de Deltagootproeven uit 2005.

3.2 Achterliggende principes

Bij de aanpassing zijn er twee belangrijke achterliggende principes. Deze worden hier nader toegelicht.

Principe 1: Statische waterdrukken in de waterkering (dijk of dam) worden vooral veroorzaakt door neerslag en veel minder door stormomstandigheden

Beheerders hebben de volgende ervaringen met statische waterdrukken door een hoge grondwaterstand in de waterkering:

1. Grote statische waterdrukken zijn zeldzaam;
2. Statische waterdrukken manifesteren zich in het dagelijks beheer en niet na storm. Ze worden meestal waargenomen na een langere periode (weken of maanden) met veel neerslag;
3. De statische waterdrukken manifesteren zich door uitsijpend grondwater en eventueel vervorming van bekleding en talud, al dan niet met scheurvorming;
4. De statische waterdrukken worden vooral waargenomen bij dijktaaluds met een hoog achterland (b.v. opgespoten industrieterreinen) of een ongewoon breed dijklichaam;
5. Bij dijken met een normale geometrie worden eventuele statische waterdrukken het eerst zichtbaar aan de binnenteen.

Uit peilbuismetingen (RWS (2002-2004), WZE (2007), niet gepubliceerd) blijkt dat de grondwaterstand in de dijk kern doorgaans weinig of niet reageert op de getijbeweging. Hieruit volgt dat het steentalud en de onderliggende kleilaag meestal slecht doorlatend zijn en dat een significante stijging van de grondwaterstand en de statische waterdruk alleen kan optreden door infiltratie op de onbeklede berm (bij storm), bovenbeloop, kruin en binnenbeloop (bij neerslag). Met een

eenvoudige som wordt aannemelijk gemaakt dat neerslag daarbij maatgevend is over storm. Daarbij is uitgegaan van een doorsnee dijk die over de gehele breedte bekleed is met een kleilaag:

Bij de maatgevende storm staat de berm min of meer onder water en kan de infiltratie in theorie gelijk worden aan de doorlatendheid van de berm (k). Uitgaande van een bermbreedte van 5 m, een infiltratietijd van 5 uur en een relatief grote doorlatendheid $k = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s, wordt berekend:

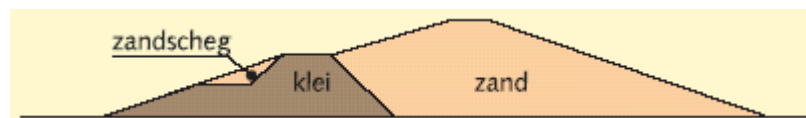
$$Q_{\text{infiltratie bij storm}} = 5 \cdot 5 \cdot 3600 \cdot 1 \cdot 10^{-5} = 0,9 \text{ m}^3/\text{m}'$$

Veel neerslag gedurende langere periode hoopt zich vrijwel geheel op in de dijk. Uitgaande van een onverharde dijkbreedte (berm, bovenbeloop, kruin en binnenbeloop) van 50 m en van 200 mm neerslag in 1 maand (een situatie die veel minder zeldzaam is dan de maatgevende storm), wordt berekend:

$$Q_{\text{infiltratie bij neerslag}} = 50 \cdot 0,2 = 10 \text{ m}^3/\text{m}'$$

Het waterbezwaar bij neerslag blijkt een orde groter dan bij storm.

Geconcludeerd wordt dat zowel beheerservaringen als peilbuismetingen en de onderbouwende som er op wijzen dat grote statische waterdrukken vooral ontstaan door neerslag en veel minder door storm. Een mogelijke uitzondering hierop wordt gevormd door zandscheggen aan de buitenkant van de dijk. Deze worden in de toetsing apart behandeld.



Figuur 1: Zandscheg

Deze conclusie impliceert enerzijds dat de kans miniem is dat een gevoeligheid van een waterkering voor statische overdrukken pas aan het licht komt bij de maatgevende storm. Anderzijds dient de waterkering afgekeurd te worden als in het dagelijks beheer eenmaal grote statische overdrukken zijn geconstateerd, omdat deze drukken dan ook aanwezig zouden kunnen zijn bij een maatgevende storm, hetgeen niet acceptabel is.

Principe 2: Bij opdrijven van de bekleding laag op talud is er een zodanige ontspanning door welvorming dat geen schade zal ontstaan door golfbelasting

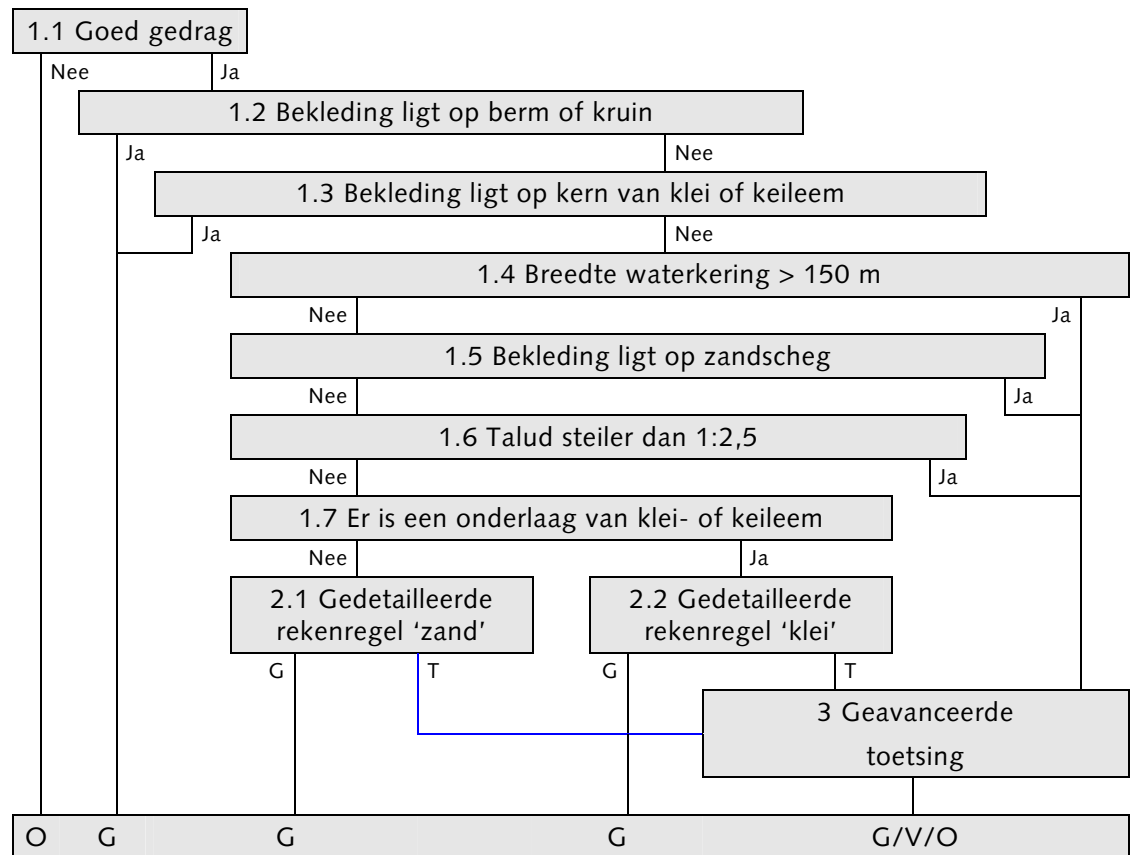
Bij de meeste waterkeringen met een grondlichaam (dijken en dammen) is de grondwaterstand, en daarmee de statische waterdruk in de kern van het grondlichaam, laag. Desondanks kan de statische overdruk aan het einde van een maatgevende storm, bij een lage buitenwaterstand, voldoende groot worden om de bekleding laag op het talud, incl. kleilaag, te doen opdrijven. De golfbelasting zal in deze situatie meestal reeds behoorlijk zijn afgenomen door de lage waterstand en de afgenomen wind.

De ervaring is dat er m.n. laag op het talud bij significante statische overdrukken altijd wellen ontstaan. De resulterende ventielwerking blijkt een veel sneller proces te zijn dan het 'taaië' bezwijken door een combinatie van statische overdrukken en golfbelasting. Bij opdrijven laag op het talud geldt daarom als uitgangspunt dat er geen schade aan de bekleding zal ontstaan door een combinatie van statische overdrukken en golfbelasting.

Bij opdrijven hoog op het talud bestaat hieromtrent onvoldoende zekerheid. Omdat de golfbelasting hoog op het talud groter is en ventielwerking moeilijker lijkt, wordt deze situatie beoordeeld als kritisch. Opdrijven hoog op het talud kan voorkomen bij waterkeringen waarbij in het dagelijks beheer grote statische overdrukken geconstateerd zijn of bij waterkeringen die hiervoor potentieel gevoelig zijn (hoog achterland, breed dijklichaam, zandscheg).

3.3 Toetsschema

Het toetsschema van de aangepaste toetsmethodiek is weergegeven in figuur 2. Onder het toetsschema wordt een toelichting gegeven.



Figuur 2: Aangepaste toetsmethodiek Afschuiving bij steenzettingen

Toelichting

Stap 1.1: Als bij een waterkering in het dagelijks beheer grote statische overdrukken zijn geconstateerd geldt dit als slecht gedrag en wordt de bekleding afgekeurd.

Stap 1.2: Als de bekleding (vrijwel) vlak ligt, is afschuiving niet aan de orde.

Stap 1.3: Bij een kern van slecht doorlatende, cohesieve grond is afschuiving van de bekleding niet aan de orde.

Stap 1.4: Bij een brede waterkering (bv. ongewoon brede dijk of dijk met hoog achterland) moet geavanceerd getoetst worden omdat de waterkering potentieel gevoelig is voor een hoge grondwaterstand en opdrijven van de bekleding hoger op het talud. Verder zal ventielwerking minder snel tot ontspanning leiden omdat er relatief veel water in het grondlichaam aanwezig is.

Omdat een voorland of binnenberm weinig invloed zal hebben op de grondwaterstand, wordt de breedte van de waterkering gemeten op een niveau van 2,5 m boven de gemiddelde buitenwaterstand.

Stap 1.5: Een bekleding op een zandscheg wordt geavanceerd getoetst omdat ze potentieel gevoelig is voor opdrijven hoger op het talud.

Stap 1.6: Bij steile taluds is de kwelweg korter en kunnen statische waterdrukken makkelijker ontsnappen. Het criterium is daarom versoepeld van 1:2,7 (VTV [5]) naar 1:2,5 om aansluiting te zoeken bij de toetsing op toplaagstabiliteit.

De taludhelling is gedefinieerd als de gemiddelde taludhelling over een lengte van $4D_{\text{bekl}}$ (langs het talud gemeten) direct onder de waterlijn.

D_{bekl} is daarbij de opgetelde dikte van toplaag, filter en onderlaag. Als er binnen een lengte van $4D_{\text{bekl}}$ een berm of teen in het talud zit, wordt de lengte tot die berm of teen genomen. Er dient getoetst te worden bij alle relevante waterstanden.

Stap 1.7: Onderscheid tussen steenzettingen waarvan de filterconstructie direct op een zandkern ligt en steenzettingen waarvan de filterconstructie op een kleilaag of een andere slecht doorlatende, cohesieve onderlaag ligt.

Stap 2.1: Als de filterconstructie direct op zand ligt, wordt de gedetailleerde rekenregel 'zand' toegepast (zie § 3.4). Dit is de rekenregel die tot nog toe werd toegepast.

Stap 2.2: Als de filterconstructie op een onderlaag van klei of keileem ligt wordt de nieuwe gedetailleerde rekenregel 'klei' toegepast.

3.4 Gedetailleerde toetsing

3.4.1 Gedetailleerde rekenregel 'zand'

De gedetailleerde rekenregel 'zand' wordt toegepast bij steenzettingen waarbij de filterconstructie direct op zand ligt. Dit is de rekenregel volgens het VTV [5] die tot op heden voor alle constructies werd toegepast, maar die oorspronkelijk ontworpen is voor steenzettingen direct op zand. Deze rekenregel luidt als volgt:

$$\Delta D + b_f > \min\{0,16 \cdot H_s^{0,2} \cdot T_p^{1,6} \cdot (\tan \alpha)^{0,8}; 1,5 \cdot H_s\} - 1334 \cdot (1 - 1,19 \cdot \tan \alpha) \cdot D_{15} \cdot T_p^{0,5}$$

Waarin:

- Δ : Relatieve dichtheid toplaag [-]
- D : Dikte toplaag [m]
- b_f : Dikte filterlaag [m]
- H_s : Significante golfhoogte [m]
- T_p : Golfperiode bij top spectrum [s]
- α : Taludhelling [°]
- D_{15} : Korreldiameter die door 15% van het onderliggende zand wordt overschreden

Voor nadere uitleg van de regel wordt verwezen naar § 4.2 van het deel Achtergronden van het Technisch Rapport Steenzettingen [4].

3.4.2 Gedetailleerde rekenregel 'klei'

De gedetailleerde rekenregel 'klei' wordt toegepast bij steenzettingen waarbij de filterconstructie op een onderlaag van klei (of keileem) ligt. De kleilaag ligt daarbij op een dijk kern van zand. Deze nieuwe rekenregel is opgesteld op basis van de resultaten van de Deltagootproeven in 2005. De rekenregel luidt als volgt:

$$\frac{H_s}{(\Delta D)_{\text{bekleding}} \cdot \cos \alpha} \leq 3$$

Met: $(\Delta D)_{\text{bekleding}} = \Delta D + \Delta_f b_f + \Delta_{\text{klei}} b_{\text{klei}}$

Waarin:

- $\Delta D_{\text{bekleding}}$: Onderwatergewicht van bekleding incl. kleilaag [m waterkolom]
- Δ_f : Relatieve dichtheid filterlaag [-]
- Δ_{klei} : Relatieve dichtheid kleilaag [-]
- b_{klei} : Dikte kleilaag [m]

De rekenregel wordt nader toegelicht in het rapport "Black box model voor afschuiving bij steenzettingen" [3].

Voor toepassing van de rekenregel is geen ondergrens gesteld aan de dikte van de onderlaag. Bij een erg dunne onderlaag, bv. 0,25 m, dient echter bedacht te worden dat afschuiving niet het enige criterium is voor de laagdikte. Zo is er bij een dunne onderlaag weinig reststerkte. Verder is de kans groter dat op enige afstand van de gedane metingen (boringen) de onderlaag geheel afwezig is.

3.4.3 Vergelijking gedetailleerde regels

Door middel van een aantal berekeningen is de nieuwe gedetailleerde rekenregel 'klei' vergeleken met de reeds bestaande rekenregel 'zand'.

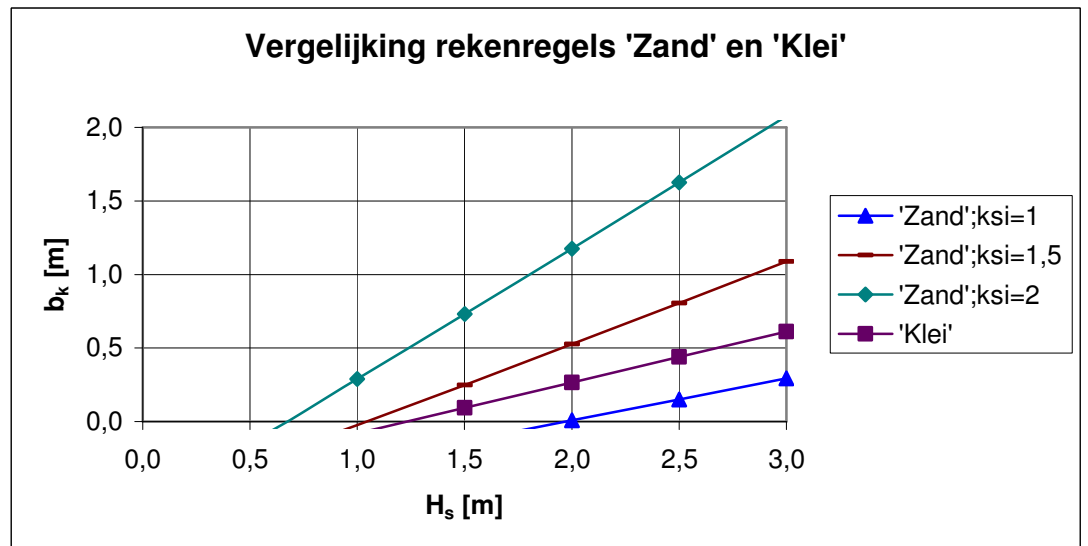
Dit heeft een tweeledig doel:

1. Nagaan in hoeverre de twee rekenregels op elkaar aansluiten bij het grensgeval van een zeer dunne onderlaag (bv. $b_{\text{klei}} = 0,01 \text{ m}$). Dit is relevant bij het toetsen van steenzettingen met plaatselijk wèl en plaatselijk geen onderlaag;
2. Nagaan in welke mate bij aanwezigheid van een onderlaag de nieuwe regel 'klei' andere toetsresultaten oplevert dan de tot op heden gebruikte regel 'zand'. Indien de nieuwe regel veel vaker leidt tot afkeuren ontstaat het praktische bezwaar van een negatieve trendbreuk.

Gezien de aard van de rekenregels leveren grafieken op basis van verzamelparameters (zoals $H_s/\Delta D$ en ξ_{op}) geen eenduidige verbanden op: Er ontstaan spaghettigrafieken. Daarom is voor een representatieve case voor beide rekenregels de benodigde kleidikte voor goedkeuring (b_{klei}) berekend als functie van de golfhoogte (H_s). Daarbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

$$\begin{aligned}\Delta D &= 0,33 \text{ m} \\ \Delta_f &= 1 \\ \Delta_{\text{klei}} &= 1 \\ b_f &= 0,1 \text{ m} \\ \tan\alpha &= 1:3,5 \\ D_{15} &= 0,1 \text{ mm}\end{aligned}$$

De resultaten zijn weergegeven in figuur 3. Voor de rekenregel 'zand' is de benodigde kleidikte berekend voor drie verschillende waarden van de brekerparameter ξ_{op} . De rekenregel 'klei' is niet afhankelijk van de golfperiode T_p , waardoor er bij de gegeven uitgangspunten maar één lijn is.



Figuur 3: Caseberekening voor gedetailleerde rekenregels 'zand' en 'klei'

In de grafiek is te zien dat m.n. bij hogere ξ_{op} -waardes (langere golven) de regel 'zand' leidt tot (veel) grotere kleidiktes dan de regel 'klei'. Dit betekent dat bij de huidige toetsing (met de regel 'zand') een kleilaag bij hogere ξ_{op} -waardes sneller afgekeurd wordt dan in de nieuwe toetsing. Bij een kleidikte dichtbij nul komen de rekenregels tot hetzelfde resultaat bij $\xi_{op} \approx 1,4$. Dit is een veel voorkomende waarde, zodat geconcludeerd wordt dat de regels voor de meest courante situaties goed op elkaar aansluiten.

3.5 Geavanceerde toetsing

Bij steile taluds en bij potentieel opdrijven van de bekleding hoger op het talud wordt de bekleding geavanceerd getoetst. Voor een aantal situaties wordt handreikingen gegeven voor de geavanceerde toetsing.

Brede waterkering of bekleding op zandscheg: Analyse statische waterdrukken

Bij een ongewoon brede waterkering of bij een zandscheg wordt de bekleding geavanceerd getoetst omdat wordt verondersteld dat er grote statische overdrukken hoger op het talud kunnen ontstaan. Deze veronderstelling wordt echter niet getoetst, met name omdat de statische waterdruk zich niet met een eenvoudige regel laat kwantificeren.

De maatgevende buitenwaterstand zal vrijwel altijd beduidend hoger zijn dan de grondwaterstand, waardoor er bij de zwaarste golfaanval geen statische overdrukken zijn en er weinig gevaar voor afschuiven is. In sommige gevallen zijn er zelfs geen dynamische overdrukken, omdat de golven zich niet terugtrekken tot onder de grondwaterstand. In dat geval kan de bekleding niet afschuiven. Door in de beoordeling het verloop van de statische waterdruk te betrekken wordt de toetsing nauwkeuriger en kan vooral hoog op het talud de bekleding vaak alsnog goedgekeurd worden.

De toetsing zou als volgt uitgevoerd kunnen worden:

- 1 Voer peilbuismetingen uit bij extreme omstandigheden (neerslag en hoog water);
- 2 Bereken op basis hiervan het verloop van de grondwaterstand en de statische overdrukken tijdens de maatgevende storm;
- 3 Bepaal voor het te toetsen punt de maximale statische overdruk en de bijbehorende golfbelasting;
- 4 Vel een definitief toetsoordeel:
 - a. Als er geen statische en geen dynamische overdrukken zijn, wordt de bekleding goedgekeurd;
 - b. Als de statische overdruk ongeveer gelijk is aan nul (onderlaag van zand) of kleiner is dan het opdrijfgewicht van de bekleding (onderlaag van klei): Gebruik de gedetailleerde rekenregels;
 - c. Als de statische overdruk groter is dan het eigen gewicht van de bekleding kan de ventielwerking beoordeeld worden. Zo zal ventielwerking veel sneller leiden tot nivellering van de statische overdrukken bij een zandscheg dan bij een ongewoon brede waterkering. Als er veel ventielwerking verwacht wordt kunnen de gedetailleerde rekenregels toegepast worden. Als er getwijfeld wordt aan de ventielwerking kan gebruik gemaakt worden van bewezen sterkte.

Talud steiler dan 1:2,5: Beschouwing krachtenevenwicht

Bij steile taluds kan de geavanceerde toetsing zich richten op het krachtenevenwicht rond de teenconstructie. De kracht die de steenzetting uitoefent moet door de teenconstructie opgenomen kunnen worden zonder grote vervormingen.

Specifieke situaties: Kwalitatieve analyse

In sommige gevallen wordt mogelijk niet voldaan aan de criteria, maar blijkt bij nadere beschouwing dat de criteria ook niet voor die gevallen bedoeld zijn. Een oordeel op basis van argumenten (kwalitatieve analyse) kan dan uitkomst bieden.

Voorbeelden zijn een steil talud juist boven de teen of een bekleding juist boven een berm die onder het toetspeil ligt.

Een steil taluddeel juist boven de teen zit feitelijk opgesloten en kan dus moeilijk afschuiven.

Bij een bekleding boven een lage berm geldt hetzelfde en is bovendien de golfsterugtrekking begrensd. Daarom kunnen eventueel de gedetailleerde regels toegepast worden met een gereduceerde golfhoogte (H_s).

4 Referenties

1. Giessen, H. van der, Linde, P. van der & Rademaker, A.: *Afstudeeronderzoek grondmechanische stabiliteit toplaag* (Hogeschool Rotterdam, Rotterdam, 2007)
2. Hofland, B. & Klein Breteler, M.: *Stabiliteit ingegoten basalt en afschuiving ondergrond* (WL Delft Hydraulics, Delft, 2007)
3. Klein Breteler, M.: *Black box model voor afschuiving bij steenzettingen* (WL Delft Hydraulics, Delft, 2007)
4. *Technisch Rapport Steenzettingen* (TAW, Delft, 2003)
5. *De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland; Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001 - 2006* (VTV) (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, 2004)