



MEMO

Aan: Henk van Hemert

Van: Jentsje van der Meer

Onderwerp: Mogelijke aanpassingen LD Toetsen regionale keringen, aspect hoogte

Kenmerk: vdm13398.171114.1

Status:

Datum: 17 november 2014

1. Inleiding

In RWS (2012), "Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde" is veel nieuwe kennis beschreven omtrent golfploop en golfoverslag bij primaire keringen en de sterkte van deze keringen tegen deze golfbelasting. STOWA is bezig om de Leidraad "Toetsen op veiligheid regionale waterkeringen" aan te passen en te verbeteren. STOWA heeft Van der Meer Consulting bv gevraagd mee te denken met betrekking tot het vertalen van RWS (2012) naar regionale keringen / watersystemen, en dan met name gericht op het aspect golfoverslag. Genoemde leidraad is van 2007 met een addendum van 2010.

Er is in de afgelopen jaren, vanaf 2007, veel onderzoek gedaan naar de sterkte van primaire keringen bij golfoverslag. De ontwikkeling van de golfoverslagsimulator en meer recentelijk van de golfklapgenerator en golfploopsimulator, hebben hier aan bijgedragen door destructief onderzoek op werkelijke primaire keringen uit te voeren. Daarbij is veel meer inzicht gekregen in zowel de sterkte van de grasmat, de zwakke plekken als overgangen en objecten, maar ook inzicht in hoe golfoverslag er nu precies uit ziet en hoe dit afhankelijk is van de golfhoogte. Tot nu toe was de relatie tussen golfoverslagdebiet en de golfhoogte van ondergeschikt belang en werd alleen het overslagdebiet beschouwd (0.1 l/s per m; 1 l/s per m tot mogelijk 10 l/s per m). Dit alles voor primaire keringen, waar de golfhoogte voor het merendeel een waarde tussen 1 m en 3 m heeft.

De Leidraad "Toetsen op veiligheid regionale waterkeringen", vanaf hier Leidraad (2007) genoemd, is afgeleid van de toetsprocedures die beschikbaar waren voor primaire keringen. Ten aanzien van de hoogtetoets is deze niet veel anders dan voor primaire keringen, behalve dat de toets- of ontwerpomstandigheid meer gericht is op een voorkomen van eens per 100 jaar dan eens per 10.000 jaar.

Het is voor de eerste keer dat ik meer intensief betrokken ben bij regionale keringen, mijn ervaring ligt vooral op het gebied van de primaire keringen. Er zijn grote overeenkomsten, maar ook grote verschillen tussen de beide keringen. De overeenkomsten zitten veelal in de geotechnische faalmechanismen (een hoge waterstand keren) en de verschillen in de mate van golfaanval en de werking van de systemen zelf (zee, grote meren en rivier versus meren (boezem) en kanalen).

Aangezien ik de regionale systemen op deze korte termijn nog niet volledig kan doorgronden, moet deze memo als een discussiestuk worden gezien.

In hoofdstuk 2 wordt voor het aspect golfoverslag de Leidraad (2007) samengevat. De uitwerking van de Leidraad voor dit aspect is vooral het programma Promotor, wat door verschillend waterschappen wordt gebruikt. In hoofdstuk 3 wordt gekeken naar Promotor resultaten voor Noord-Holland, Zuid-Holland en Friesland. Het laatste hoofdstuk 4 gaat in op mogelijke verbeteringen, aanpassingen van de Leidraad en inzichten die kunnen leiden tot een veel eenvoudiger toetsprocedure voor golfoverslag.

2. Leidraad (2007) en Addendum (2010)

Als belasting wordt in paragraaf 3.2.1 van de Leidraad (2007) uitgegaan van een combinatie van hoge waterstand, hoge windgolven en veel neerslag. Er wordt geen beschrijving van het boezemsysteem gegeven en de afhankelijkheid van de drie belastingen. In veel gevallen wordt bij een eerste globale toetsing vaak uitgegaan van het samenvallen van harde wind en veel neerslag. Ook wordt niet ingegaan op de grote verschillen met primaire keringen. Wat zijn bijvoorbeeld hoge windgolven? In hoofdstuk 4 van deze memo wordt daarop terug gekomen.

Ook in paragraaf 3.3.3 wordt in zijn algemeenheid over windgolven gesproken en dat ze een belasting op het buitentalud vormen. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen keringen die inderdaad redelijke windgolven als belasting kunnen ondervinden en keringen waarbij dit niet het geval is, zoals bijvoorbeeld kanalen.

In paragraaf 4.1 wordt omtrent de sterkte van de kering gezegd dat deze wordt bepaald door hoogte en stabiliteit. Bij een te lage kruinhoogte kan door overloop of golfoverslag teveel water in de polder komen, of kunnen kruin en binnentalud door erosie of verweking worden aangetast, mogelijk leidend tot doorbraak. Dit is overeenkomstig primaire keringen.

In paragraaf 4.2.1 wordt gezegd dat de kruin mogelijk begaanbaar moet blijven, maar dat er geen criteria voor de golfoverslag beschikbaar zijn. Met de vele golfoverslagproeven in de laatste jaren is hier nu wel iets over te zeggen (hoofdstuk 4).

Figuur 4.1 geeft de definitie van begrippen bij de hoogtebeoordeling. Aanbevolen wordt voor de kruinhoogtemarge een minimale waarde van 0,10 m aan te houden. Tijdens extreme omstandigheden zal de kruinhoogte dan op enkele kritieke locaties, waar van weinig golfbeweging sprake is, minimaal 0,10 m boven de stilwaterstand zijn gelegen. Het is een aanbeveling die niet voor regionale rivieren geldt, want daar wordt een kruinhoogtemarge van 0,30 m aangehouden. De minimale kruinhoogtemarge is belangrijk, omdat deze kan aangeven voor wat voor (kleine) golfhoogten er niet meer naar overslag hoeft te worden gekeken. Navraag bij STOWA levert het volgende. Bij HHNK geldt een minimale kruinhoogtemarge van 0,1 m voor kaden langs vaarten met een verharding, 0,2 m voor groene kaden langs vaarten en 0,4 m voor kaden langs meren. Bij Wetterskip Fryslân is dit 0,1 m voor "laag" en 0,2 m voor "hoog", waarbij "hoog" wordt aangehouden als de waterstand onzekerder is.

In paragraaf 4.2.3 wordt de golfoverslaghoogte geïntroduceerd. In de Leidraad (2007) worden eenvoudige methoden gegeven om deze golfoverslaghoogte te berekenen, in de Addendum en in de praktijk is dit vervangen door het programma Promotor.

De beoordeling van de kruin en binnentalud door golfoverslag of overlopen is overeenkomstig de VTV (2006) – paragraaf 4.7.2 in de Leidraad (2007).

In paragraaf 4.7.3 wordt geconcludeerd dat weinig bekend is omtrent de erosiebestendigheid van een grasmat op een zandige ondergrond. Inmiddels is daar veel meer over bekend, omdat golfoverslagproeven (en ook golfklapproeven) zijn uitgevoerd op de Vechtdijk nabij Zwolle, die volledig uit zand bestond.

In paragraaf 5.3.1 wordt als vrijwel enige paragraaf ingegaan op het verschil primaire keringen en het boezemwatersysteem. Citaat: "Een belangrijk verschil tussen een boezemkade en een primaire waterkering is de betrekkelijke kleinschaligheid van het boezemwatersysteem. In tegenstelling tot een primaire kering kan bij een boezemkade binnen bepaalde grenzen de grootte van de belas-

ting (binnen bepaalde grenzen) worden aangepast, door ingrepen in het boezemwatersysteem. Het verdient aanbeveling rekening te houden met deze mogelijkheid bij de uitvoering van de toetsing. De toetsing van de veiligheid van een kade hoeft dus niet noodzakelijkerwijs te worden uitgevoerd tot op een geavanceerd niveau, alvorens denkbare alternatieve maatregelen, zoals aanpassing van de belasting, worden beschouwd.”

Eigenlijk wordt helemaal niet ingegaan op de betreffende kleinschaligheid van het boezemsysteem, maar vooral op de mogelijkheid het systeem aan te passen. In hoofdstuk 4 van deze memo wordt verder ingegaan op verschillen tussen primaire en regionale keringen.

Keringen langs regionale rivieren (paragraaf 6.1) kenmerken zich door de grote variatie in waterstand, veroorzaakt door pieken in de afvoer van water, de zogenaamde hoogwatergolven. De oorzaak is neerslag en/of smeltwater. Voor de golven wordt “een veilige benadering” aangehouden door met een hoge windsnelheid rekening te houden, met een overschrijdingsfrequentie gelijk aan de veiligheidsnorm van de kering. Dit is natuurlijk een iets meer dan een veilige benadering, want de kans op deze combinatie is erg klein. Nog afgezien van het feit dat met beperkte strijklengte er nauwelijks golven ontstaan. Het is ook afwijkend van bijvoorbeeld het bovenrivierengebied. Het is wel een veilige benadering, maar in feite te veilig.

In paragraaf 6.3.4 wordt een kruinhoogtemarge van $> 0,3$ m aangehouden. Dit is geen aanbeveling, zoals bij de boezemkeringen, maar een vereiste.

In de Addendum (2010) wordt aanbevolen de formule van Young & Verhagen te gebruiken voor golfgroei. Dit leidt tot iets lagere golfhoogten dan de formule van Bretschneider. In de Addendum wordt Promotor verbeterd. Ook zijn de toetssporen 3.2A en 3.2B iets verder uitgewerkt op basis van de golfoverslagproeven bij primaire keringen. De golfgroeiformule heeft natuurlijk invloed op de te berekenen golfhoogten. Er zijn talloze golfgroeiformules, die ieder hun eigen toepassingsgebied kennen. Om redelijke golven te kunnen genereren, moet er een windsnelheid zijn en ook een redelijke strijklengte. Het heeft geen zin voor een 50 m breed kanaal de golfhoogten te berekenen, die zullen altijd erg klein zijn en geen of nauwelijks een belasting vormen. Golven komen vooral op meren voor met strijklengten van orde grootte 200 m tot enkele kilometers. De dieptebeperking zal bij langere strijklengten ook een rol spelen. Sommige golfgroeiformules zijn ontwikkeld voor de zee, met erg lange strijklengten. Andere juist weer voor korte strijklengten met erg harde wind. Bij het ontwerp van de waterkeringen in Harlingen is een kort onderzoek uitgevoerd naar golfgroeiformules. Uitgangspunt was hier korte strijklengten (200 m tot 400 m, het gedeelte tussen de havendammen en de kering, nadat golftransmissie was opgetreden) met zeer harde wind (snelheden met een gemiddelde frequentie van eens per 4000 jaar). Hierbij werd de Wilson (1965)-formulering als beste gezien. Bij regionale keringen is de windsnelheid doorgaans lager en bij meren de strijklengte groter dan bij Harlingen. Maar het verdient wel aanbeveling om de juiste golfgroeiformule vast te stellen voor de gehanteerde windsnelheden en strijklengten.

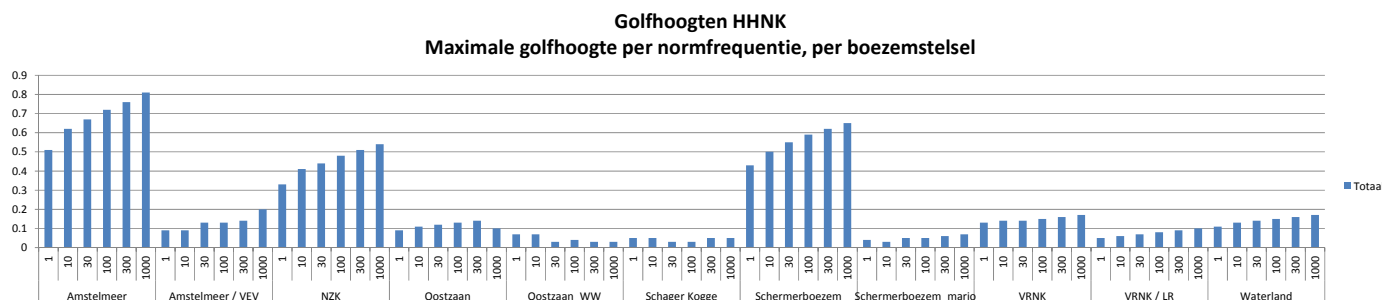
Mijn algemene indruk van de Leidraad (2007) en Addendum (2010) ten aanzien van de hoogte-toets is dat ze voor een zeer groot deel is gebaseerd op het toetsen van primaire waterkeringen en dat er heel weinig aandacht is besteed aan de verschillen tussen primaire en regionale keringen, vooral met betrekking tot de werking van het systeem en de verschillen in golfhoogte.

3. Boezemsysteem en Promotor

Promotor is ontwikkeld om de hydraulische belastingen langs regionale keringen te kunnen berekenen, inclusief de golfoverslaghoogte. Het systeem is onder andere toegepast in Noord-Holland, Zuid-Holland en Friesland. Spreadsheets met uitkomsten (soms voor delen van het systeem), zijn ontvangen en bekeken.

Het systeem is voor een deel gebaseerd op statistische gegevens, vooral wat betreft waterpeilen en daarnaast op Sobek wat betreft scheefstand en op golfgroeiformules wat betreft golfhoogten. Promotor geeft niet aan of de maatgevende situatie “neerslag-bepaald” is of “storm-bepaald”. Soms is dit wel na te gaan door naar het Maatgevend Boezempeil en de scheefstand met elkaar te vergelijken en daarbij naar de golfhoogten te kijken.

Promotor resulteert in grote spreadsheets. Figuur 1 geeft de maximale significante golfhoogte in een deelsysteem (zoals een meer of een kanaal), voor overschrijdingskansen van 1-1000 jaar. De figuur geeft een goede karakterisering van een boezemstelsel: meren en zeer brede kanalen (zoals het Noordzeekanaal) geven golfhoogten van orde 0,3-0,8 m en voor kanalen is de golfhoogte zeer beperkt, vaak kleiner dan 0,1 m.



Figuur 1. Maximale golfhoogten per deelsysteem voor HHNK.

Resultaten voor HH Rijnland zijn in onderstaande tabel gegeven. Bij de Promotor uitkomsten is de golfhoogte niet bewaard gebleven, maar in plaats daarvan de golfoverslaghoogte. Daarmee is de relatie naar de werking van het boezemsysteem behoorlijk verloren gegaan. Het is de golfhoogte die de golfoverslaghoogte bepaald en die door wind wordt veroorzaakt. De grootte van de golfhoogte geeft inzicht in de grootte van de belasting.

In totaal zijn de golfoverslaghoogten voor 817 uitvoerpunten berekend. Onderstaande tabel geeft de verdeling in klassen, waarbij is uitgegaan van een omstandigheid die gemiddeld maar eens per 1000 jaar voorkomt en waarbij de golfoverslaghoogte berekend is met de formule van Young & Verhagen voor een golfoverslagdebiet van 1 l/s per m en voor een 1:3 talud.

Golfoverslaghoogte	aantal
groter dan 1 m	1
groter dan 0,5 m	7
kleiner dan 0,5 m	808
kleiner dan 0,25 m	789
totaal	817

Tabel 1. Verdeling golfoverslaghoogten bij HH Rijnland, bij een herhalingsstijd van 1000 jaar en een 1:3 talud.

Om een relatie met de maatgevende golfhoogte te krijgen, kan de golfoverslaghoogte door ongeveer een factor 2,5 worden gedeeld. Dit houdt in dat er in het hele boezemsysteem maar één golfhoogte voorkomt die groter is dan 0,4 m. Meer dan 96% van de punten heeft een golfhoogte kleiner dan 0,1 m. Hierbij moet worden gezegd dat er bij de wat grotere wateren maar een paar uitvoerpunten berekend waren.

Bij Wetterskip Fryslân zijn Promotor-gegevens toegeleverd van een deel van het boezemstelsel, inclusief een aantal van de grotere meren. Hierbij zijn wel de golfhoogten toegeleverd. Een overzicht in klassen is gemaakt in tabel 2, waarbij de overschrijdingskans eens per 100 jaar is.

Golfhoogte	aantal
groter dan 0,5 m	284 (1%)
groter dan 0,25 m	1025 (4%)
groter dan 0,10 m	1759 (7%)
kleiner dan 0,10 m	24252 (93%)
totaal	26011

Tabel 2. Verdeling golfhoogten bij Wetterskip Fryslân voor een deel van het boezemstelsel, bij een herhalingsstijd van 100 jaar.

De grootste golfhoogte was 0,86 m. Hierbij was het streefpeil -0,52 m, het boezempeil -0,09 m en de waterstand +0,28 m. Het was dus een situatie met behoorlijk verhoogd meerpeil (0,43 m) en

daarbij nog een scheefstand van 0,37 m. Bij de golfhoogten kleiner dan 0,10 m waren boezempeil en scheefstand vaak aan elkaar gelijk. Ook voor deze gegevens van Promotor was voor het overgrote deel (93%) de golfhoogte lager dan 0,10 m. Ongeveer de helft van de punten had een golfhoogte van 0,03 m of lager. Dit zijn natuurlijk uiterst kleine waarden. In elke sloot met windkracht 9 komt een grotere golfhoogte voor. Het zou kunnen zijn dat de formule van Young & Verhagen niet voor strijklengtes van enkele meters geldt en dat er altijd een te lage golfhoogte uitkomt. Ook is het mogelijk dat de punten uitsluitend door een hoge waterstand worden bepaald, waarbij wind niet (meer) belangrijk is. In ieder geval zijn golfhoogten van 0,03 m in maatgevende omstandigheden niet realistisch.

Bovenstaande analyse leert dat voor het overgrote deel van de (bekeken) boezemsystemen de golfhoogte nauwelijks van belang is. Dit is vooral in alle vaarten en kanalen. Grotere golfhoogten komen alleen op de meer open wateren voor, zoals kleine en wat grotere meren en dan nog worden ze nooit groter dan 1 m significant. In een boezemstelsel kan wel scheefstand ontstaan en de hoogste waterstanden komen dan voor aan het "eind" van het systeem. Daarbij is dan wind wel belangrijk, maar golven niet.

4. Mogelijke verbeteringen leidraad; discussie omtrent een aantal aspecten

Promotor lijkt een aanwinst doordat voor alle gekozen locaties in een boezemstelsel de overslaghoogte kan worden berekend. De resultaten laten echter zien dat dit maar voor een heel klein deel (minder dan 10%) het geval is en dan ook alleen nog als er open wateren (meren) aanwezig zijn. In het grootste deel speelt de golfhoogte helemaal geen rol. Voor boezemstelsels waar er geen open wateren zijn, zal Promotor dan ook niet veel meerwaarde hebben. Daar is de statistiek van de waterstanden in principe voldoende, alhoewel een begrip omtrent het ontstaan van deze waterstanden belangrijk is: neerslag, wel of niet pompen of stoppen met pompen en scheefstand door wind.

Ook kan Promotor leiden tot een spreadsheet met getallen, waar het begrip van het systeem van het boezemstelsel verloren is gegaan. Bij HH Rijnland lijkt dat al een beetje het geval te zijn omdat de golfhoogte zelf niet meer wordt opgeslagen en het gewoon twee getallen worden vergeleken; de golfoverslaghoogte en de aanwezige kruinhoogte. In alle gevallen is het goed om direct te kunnen zien wat voor soort belastingsituatie leidt tot de maatgevende omstandigheid.

Er zijn grote verschillen tussen de primaire keringen en de regionale keringen. Bij de primaire keringen hebben we veelal met storm te maken (zee, estuaria, benedenrivierengebied en grote meren) of met hoge afvoer op de grote rivieren met daarbij een mogelijke storm met golven. Bij de zee speelt de stormvloed, de waterstandsverhoging door wind en barometrische druk, en de golven. Golfhoogten zitten vaak tussen de 1 m en 3 m. Maatgevende golfhoogten van 0,1 m komen daar niet voor. Alle proeven omtrent sterkte van de grasbekleding onder golfoverslag zijn dan ook gefocussed op een golfhoogte rondom 2 m.

Ook het grote merengebied (IJsselmeer, Markermeer, randmeren) heeft met golfhoogten rondom 2 m te maken. Bij rivieren is de golfhoogte veel lager. Maar de grote rivieren zijn breed als de maatgevende waterstand aanwezig is (soms 1 km of meer) en de strijklengte is dan nog steeds behoorlijk. De maatgevende golfhoogte is dan vaak tussen de 0,5 m en 1 m, waarbij 1 m toch wel een bovengrens is. Bij de bovenrivieren bestaat het buitentalud vaak uit klei met gras en is de aanvalzone niet versterkt met een harde bekleding. Ook de proeven met de golfklapgenerator waren bedoeld voor rivierdijken en de gesimuleerde golfhoogte was ongeveer 0,7 m.

Een boezemstelsel is volledig anders dan de zee, grote meren of grote rivieren. De maatgevende waterstand heeft heel veel met neerslag te maken en het wel of niet op de boezem pompen of water uit de boezem pompen. Daarnaast kan wind voor een scheefstand zorgen. Wind kan ook voor golven zorgen, maar er zijn alleen golven van enige hoogte als ze op open wateren, zoals meren ontstaan. Een strijklengte van tientallen meters tot enkele honderden meters geeft geen enkele golfhoogte van betekenis. Zelfs op de meren is het allemaal nog behoorlijk beperkt. Golfhoogten van 1 m worden niet of nauwelijks gehaald. Het boezemstelsel kan dan ook in twee situaties worden gesplitst: de vaarten/kanalen en de open wateren als meren. Overal kan scheefstand voorko-

men, maar golven komen alleen op de meren voor. Dus het in rekening brengen van golfoverslag heeft alleen zin voor meren of grotere wateren, zeg met een strijklengte van minstens 200 m.

Al het rekenwerk dat Promotor doet om tot golfhoogten of golfoverslaghoogten van minder dan 0,10 m te komen is overbodig werk. Bij kanalen en vaarten kan men zich volledig richten op de maatgevende waterstand, golven spelen daar geen rol. Het is een vraag of er een minimale kruinhoogtemarge moet worden gehanteerd en hoe groot deze moet zijn. Nu worden per waterschap verschillende minimale kruinhoogtemarges aangehouden. Bij regionale rivieren speelt eigenlijk hetzelfde. Zijn deze niet allemaal zo smal dat ook hier de golfhoogte nauwelijks een rol speelt? Omdat de maatgevende waterstand hier onzeker is, wordt hier een minimale kruinhoogtemarge van 0,3 m aangehouden. Het is aan te bevelen om een minimale kruinhoogtemarge in de Leidraad in te stellen, waarbij dan niet meer naar hele kleine golven hoeft te worden gekeken, of eigenlijk dat golven op smalle wateren niet hoeven te worden berekend en de overslag ook niet. Dus een minimale kruinhoogte instellen bij smalle wateren en de golfbelasting verder buiten beschouwing te laten.

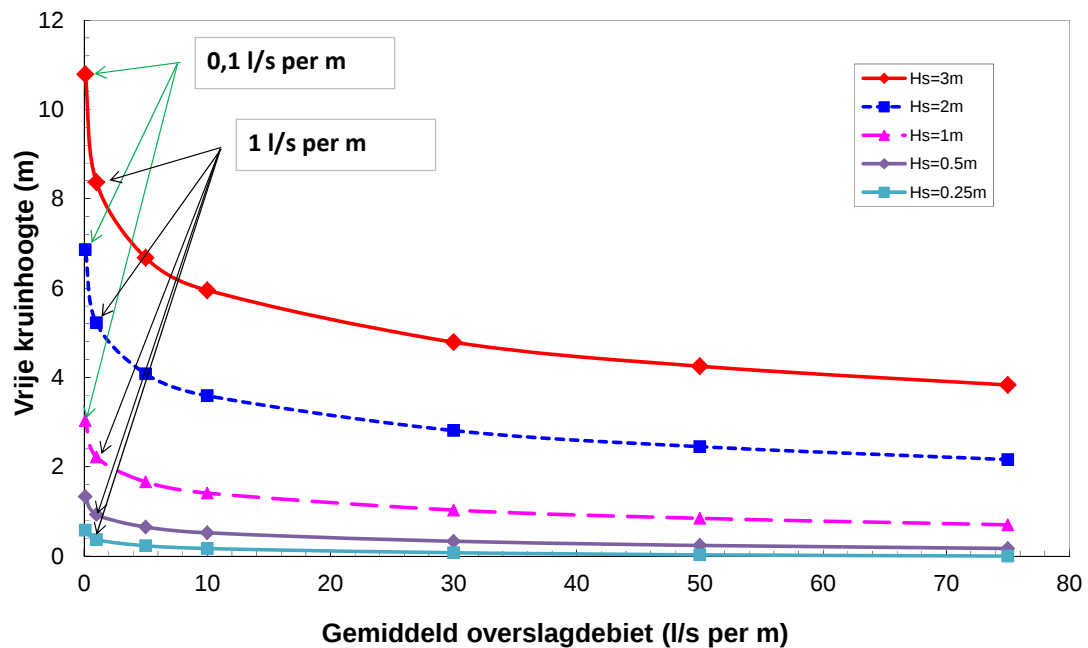
Om resultaten van Promotor te kunnen begrijpen, lijkt het handig om een aantal getallen naast elkaar als uitvoer te hebben. Bijvoorbeeld het streefpeil, boezempeil en de maatgevende waterstand. Bij meren dan nog de golfhoogte en eventueel de golfoverslaghoogte bij 1 l/s per m. Verschillen in streefpeil en boezemstand geven aan in hoeverre neerslag en pompen een rol spelen. Verschillen in boezemstand en maatgevende waterstand geven aan wat de invloed van scheefstand is. En bij meren is het totale verschil tussen streefpeil, maatgevende waterstand en golfhoogte een aardige indicatie van de verschillen met een dagelijkse situatie.

Tot zover de verschillen tussen de systemen. Een ander aspect dat besproken moet worden is de toelaatbare golfoverslag en de sterkte van regionale keringen tegen golfoverslag. In de huidige Leidraad (2007) wordt vrijwel volledig teruggevallen op methoden die voor primaire keringen zijn bedoeld. Dit komt omdat in alle gevallen van overslagdebieten van 0,1; 1 en 10 l/s per m wordt uitgegaan.

Vrijwel elke golfhoogte kan deze drie debieten leveren, afhankelijk van de vrije kruinhoogte. Maar de werkelijke belasting op de kruin en binnentalud hangt in sterke mate van de golfhoogte af. En deze conclusie zou een plaats moeten krijgen bij het toetsen van regionale keringen op hoogte.

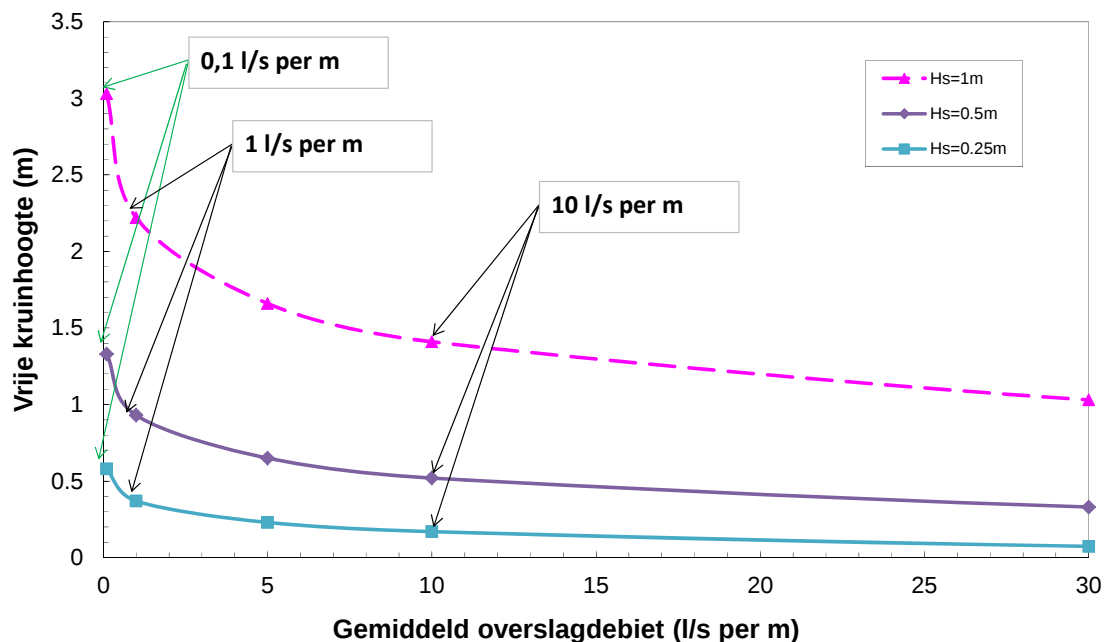
Figuur 2 geeft de benodigde vrije kruinhoogte als functie van het golfoverslagdebiet en voor verschillende golfhoogten. De drie hoogste lijnen geven golfhoogten van 1 m tot 3 m, het gebied voor primaire keringen. De drie onderste lijnen voor het bereik van golfhoogten van 0,25 m tot 1 m geven het benodigde vrije kruinhoogte van de regionale keringen en dan eigenlijk alleen voor de open wateren (kanalen en vaarten liggen nog onder de onderste lijn). Grote golfhoogten hebben hoge dijken nodig en kleine golfhoogten veel kleinere dijkhoogten. De lijnen zijn het steilst aan de linker kant en de hoogste kruinhoogten worden gevonden voor het laagste golfoverslagdebiet van 0,1 l/s per m. De kruinhoogten kunnen behoorlijk zakken als van 1 l/s per m wordt uitgegaan en nog meer als dit 10 l/s per m wordt. Voor primaire keringen scheelt dit vele meters in kruinhoogte. Als de overslagdebieten nog hoger worden, dan is de lijn veel flauwer en is het effect op de kruinhoogte veel kleiner. Het is dus goed om naar overslagdebieten van 0,1-10 l/s per m te kijken en minder zinvol naar hogere debieten.

Figuur 2 is nogmaals herhaald in Figuur 3, maar nu alleen voor het gebied dat van toepassing is voor de meren in een boezemstelsel, dat wil zeggen voor golfhoogten tussen 0,25 m en 1 m. Ook hier geldt dat de benodigde vrije kruinhoogte sterk afneemt als het toelaatbare overslagdebiet toeneemt tot 10 l/s per m. Daarna zijn de lijnen veel flauwer.

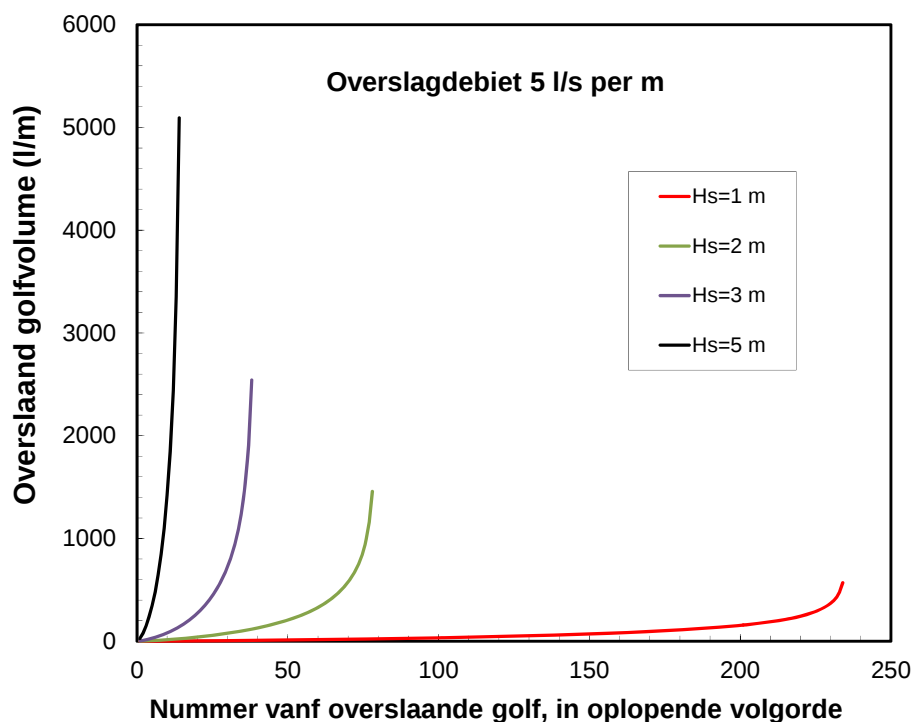


Figuur 2. Relatie vrije kruinhoogte en gemiddeld overslagdebiet voor golfhoogten van 0,25-3 m.

In werkelijkheid is er geen constant overslagdebiet, maar geven de hoogste golven instantaan overslag over de dijk. Dus nu en dan komt er een golf over de dijk, als de kruin niet hoog genoeg is. Wat er dan gebeurt is vrijwel volledig afhankelijk van de golfhoogte. Een grote golfhoogte zal weinig overslaande golven geven, maar de golven die overslaan hebben veel water in zich (het overslaand golfvolume is dan groot). Dit is net andersom bij een lagere golfhoogte: er zullen veel meer golven over de dijk slaan, maar deze volumes zijn veel kleiner. Figuur 4 geeft een overzicht voor primaire keringen, inclusief golfbrekers, waar de golfhoogte varieert van 1-5 m en het golf-overslagdebiet constant is gehouden op 5 l/s per m.

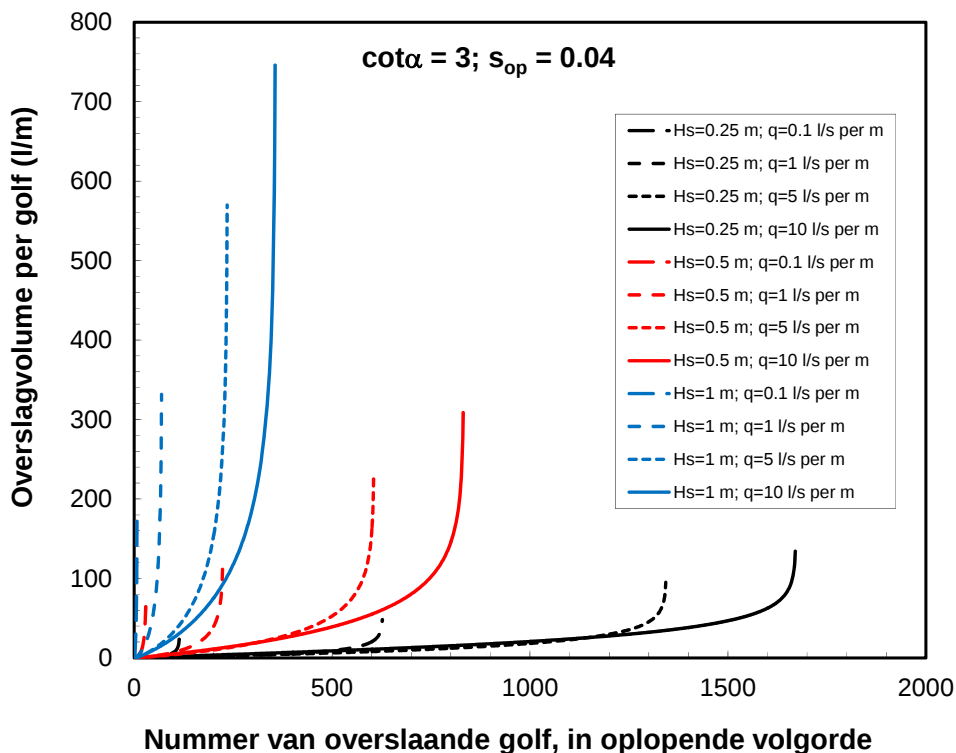


Figuur 3. Relatie vrije kruinhoogte en gemiddeld overslagdebiet voor golfhoogten in meren van een boezemstelsel (golfhoogte tussen 0,25-1 m).



Figuur 4. Verdeling van overslaande golfvolumes voor verschillende golfhoogten, maar voor eenzelfde golfoverslagdebiet van 5 l/s per m. Stormduur is 1 uur.

De verdelingen in figuur verschillen veel van elkaar. Bij een golfhoogte van 1 m komen er in een uur ongeveer 235 golven over de dijk, waarvan de meeste relatief klein zijn. Het grootste overslaand volume is orde 500 l/m. Als we naar een grote golfhoogte van 5 m kijken, dan gaan er nog geen 20 golven over de dijk (minder dan 10% van het aantal bij 1 m golfhoogte), maar het grootste golfvolume is nu 5000 l/m, dus vrijwel tienmaal zo groot. Figuur 4 geeft een idee van de situatie bij primaire keringen. Ter vergelijking, de golfoverslagsimulator heeft een maximum capaciteit van 5500 l/m, dus de overslagverdeling voor een golfhoogte van 5 m kan nog worden gesimuleerd.



Figuur 5. Verdelingen van overslaande golfvolumes voor verschillende golfhoogten en voor vier verschillende golfoverslagdebieten van 0,1 – 10 l/s per m. Stormduur is 1 uur.

Figuur 5 geeft de situatie weer zoals deze zich bij de meren in een boezemstelsel kan voordoen. Golfhoogten van 0,25 m; 0,5 m en 1 m zijn aangehouden en golfoverslagdebieten van 0,1; 1; 5 en 10 l/s per m. De op een na hoogste verdeling in figuur 5 zit nu links in de figuur en is dezelfde als de meest rechtse verdeling in figuur 4. Alleen bij een golfhoogte van 1 m komen er overslagvolumes voor die groter zijn dan 500 l/m. Bij een golfhoogte van 0,5 m is dit beperkt tot overslagvolumes van 100-300 l/m. Bij een golfhoogte van 0,25 wordt nauwelijks een overslagvolume van 100 l/m bereikt. Maar bij een golfhoogte van 0,25 m en een overslagdebiet van 10 l/s per m gaan er wel 1700 golven in een uur over de dijk, dat is bijna elke twee seconden een overslaande golf. Dit begint al aardig op overlopen te lijken.

De conclusie uit figuren 4 en 5 is dat de belasting door overslag op de kruin van de dijk en het binnentalud compleet anders is voor primaire keringen dan voor meren in boezemstelsels (voor vaarten en kanalen is er helemaal geen belasting). De nieuwe kennis in RWS (2012) brengt dit in beeld door de methode van de cumulatieve overbelasting. Hierbij wordt voor elk overslaand golfvolume de snelheid op de kruin of binnentalud bepaald. En alleen snelheden die groter zijn dan een bepaalde kritieke snelheid geven een belasting, kleinere snelheden niet.

Dus de snelheid van de overslaande golf bepaalt de belasting en de kritieke snelheid geeft de sterkte van het gras. Er zijn grenswaarden voor de cumulatieve overbelasting vastgesteld, voor bijvoorbeeld een eerste (kleine) schade aan de grasmat, meerdere open plekken en tenslotte bezwijken van het binnentalud door golfoverslag. Hoe sterker de grasmat is, hoe groter de golfoverslag moet zijn om tot schade te komen. De meeste dijken die door met de golfoverslagsimulator zijn beproefd, hadden een kritieke snelheid van 6 m/s of meer. Alleen bij de Vechtdijk, die volledig uit zand bestaat met een grasmat, kwam de kritieke snelheid op 3,5 m/s. Bij een andere dijk was er geen of nauwelijks een grasmat aanwezig, deels door overbeweiding, ook in de winter, deels door het doodspuiten van gras. Deze dijk voldeed niet aan goed of behoorlijk beheer. In de Handreiking (2012) is aangehouden dat elke dijk met een open of gesloten grasmat een minimale kritieke snelheid heeft van 4 m/s. Op basis hiervan is gesteld dat tot een golfhoogte van 3 m en goede grasmat mag worden ontworpen op 5 l/s per m overslag. Deze waarde is vooral ingegeven door een minimale sterkte en een grote golfhoogte.

Bij regionale keringen komen golfhoogten van 1 m nauwelijks voor. Bij golfhoogten kleiner dan 1 m worden zelfs nauwelijks snelheden in de overslaande golf gehaald die groter zijn dan 4 m/s. Met andere woorden, als de golfhoogte kleiner is dan 1 m, dan is er geen belasting die tot schade kan leiden. Zeker bij golfhoogten van 0,5 m en kleiner, hoeft er niet gevreesd te worden voor erosie door overslaande golven. De belasting is gewoon te klein en de belasting begint ook al op overlopen te lijken.

Bovenstaande geeft aan dat golfhoogten van 0,25-0,5 m in de meren van een boezemstelsel nauwelijks schade kunnen geven door golfoverslag als het overslagdebiet 10 l/s per m of lager is en er een grasmat aanwezig is. Alleen voor hogere golfhoogten zal men iets preciezer moeten kijken. Dit is een groot verschil met wat nu in de Leidraad (2007) staat. Ten eerste hoeft men niet naar golfoverslag in kanalen en vaarten te kijken (een minimale kruinhoogtemarge is hier voldoende) en bij meren is het zaak vooral naar die vakken te kijken waar de golfhoogte hoger is dan 0,5 m.

Tot slot was er in 2007 nog niets bekend over grasbekleding op zandige ondergrond en de sterkte tegen golfoverslag. Door de overslagproeven op de Vechtdijk bij Zwolle is hier verandering in gekomen, omdat die dijk volledig uit zand bestond. Ook de methode van cumulatieve overbelasting kan hier worden aangehouden met een kritieke snelheid van 3,5 m/s.

In de Leidraad (2007) wordt genoemd dat begaanbaarheid van de kruin geëist kan worden bij maatgevende omstandigheden. Bij rivieren en kanalen (waterlopen smaller dan 200 m) is dat altijd het geval wat betreft watersnelheden over de kruin. Die zijn zo klein dat dit nooit een belemmering voor begaanbaarheid zal zijn. Bij meren, met golfhoogten tot 1 m, komen grotere snelheden van overstromend water voor als er golfoverslagdebieten ontstaan van 5 – 10 l/s per m. Maar ook hier zal begaanbaarheid niet een groot probleem zijn. Bij proeven in de Deltagoot is aangetoond dat bij een golfhoogte van 1,5 m of meer een persoon op de dijk wordt weggespoeld als de golfoverslag

tegen 20 l/s per m loopt. Zodra de golfhoogte kleiner dan 1 m is en het overslagdebiet veel kleiner, dan is begaanbaarheid geen probleem meer.

Bovenstaande laat onverlet dat een overslag van 1 l/s per m of meer wel het binnentalud verzadigd en dat bij hoge regionale keringen afschuiven zou kunnen ontstaan. Dit mechanisme is eigenlijk onafhankelijk van de grootte van golfoverslag.

5. Conclusies en aanbevelingen

De Leidraad voor regionale keringen is voor wat betreft golfoverslag of vereiste kruinhoogte eigenlijk teveel gebaseerd op wat gebruikelijk is bij primaire keringen. In twee richtingen zou de Leidraad kunnen worden aangepast of verbeterd. Ten eerste is dit door een goede beschrijving van het systeem te geven, omdat een boezem behoorlijk anders reageert dan de zee, de grote meren of de grote rivieren. Vooral de combinaties van wind (scheefstand en golven) en regen (hoge waterstand) en het wel of niet pompen van water op en van de boezem, geven maatgevende situaties. Het onderkennen van maatgevende situaties kan ook aangeven waar de onzekerheid zit met betrekking tot de maatgevende waterstand en hoe groot die is.

Ten tweede zou er een aanpassing moeten komen richting het moeten bepalen van golfhoogte, respectievelijk golfoverslag en de toelaatbaarheid van golfoverslag. Voorgesteld wordt om voor waterlopen die minder dan 200 m breed zijn geen golfhoogte of overslag te bepalen, maar een minimale kruinhoogtemarge te eisen. Deze zou mogelijk afhankelijk kunnen zijn van de betrouwbaarheid van de schatting van de maatgevende waterstand, maar niet van de golfhoogte. Er hoeven dan alleen nog golven en golfoverslag op meren of andere grotere wateren te worden berekend. Tot een golfhoogte van 0,5 m kan zeker een overslagdebiet van 10 l/s per m worden aangehouden.

De juiste golfgroeiformule moet worden gebruikt. Deze zou golfgroei met beperkte strijklengte (tot enkele kilometers) en relatief ondiep water goed moeten beschrijven bij windsnelheden die eens per honderd jaar voorkomen. Mogelijk is dit de Young en Verhagen-formule. In ieder geval moet Promotor niet de gelegenheid bieden om twee formules te hanteren.

Begaanbaarheid van de kruin bij golfoverslag en golfhoogten kleiner dan 1 m is geen probleem.

Referenties

RWS (2012). Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde. Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu.