


Memorandum: Ontwerpkader secundaire functies waterkeringen

In relatie tot golfoverslag

POV

MACRO
STABILITEIT



Auteurs:
Joost den Bieman
Paul van Steeg
Suzanna Zwanenburg

Datum: 05/12/2018

Versie: 2 (definitief)

7. Referenties.....35

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

Uit het nabootsen van de effecten van golfoverslag op gras met de overslagsimulator (o.a. Deltares, 2017c), blijkt gras een stuk sterker dan voorheen gedacht. Het toepassen van deze nieuwe inzichten wordt gefaciliteerd in de WBI2017 methodiek, zodat het nu mogelijk is om waterkeringen te ontwerpen op hogere golfoverslagdebieten (bijv. 5 of 10 l/s/m). Op daarvoor geschikte dijktrajecten kan daarmee een hoger golfoverslagdebiet toe worden gestaan, zonder dat dit leidt tot een overstroming van het beschermde achterland. Deze nieuwe ontwerpruimte kan leiden tot een fiks lagere benodigde kruinhoogte. Op die manier kunnen versterkingsopgaven en de daarmee gemoeide kosten gereduceerd worden.

De veiligheidsbeoordeling in WBI2017 borgt dat de waterkering ook bij hogere toegestane golfoverslagdebieten veiligheid biedt tegen overstroming van het beschermde achterland. Echter, een waterkering vervult meer functies dan alleen bescherming tegen overstroming. Er is dikwijls sprake van allerhande secundaire functies, variërend van het (spoor)wegverkeer tot het beschermen tegen zoutbezwaar. Bij het toelaten van meer golfoverslag ondervinden deze secundaire functies mogelijk negatieve consequenties. Daarmee is het de vraag in hoeverre men, bij het toestaan van een hoger golfoverslagdebiet, in het ontwerp ook rekening dient te houden met deze secundaire functies.

In het voorliggende memo wordt een ontwerpkader geschetst voor de secundaire functies van waterkeringen waarbij een verhoogd golfoverslagdebiet wordt toegestaan. Het doel van dit memo is het opzetten van een kader voor beheerders en ontwerpers van waterkeringen, waarin de eisen aan de secundaire functies gekwantificeerd kunnen worden. Dit memo heeft vooralsnog geen formele status.

1.2. Relatie tot andere projecten

In POVM/Deltares (2018) zijn de consequenties van het verhogen van het toegestane golfoverslagdebiet in de volle breedte beschouwd. Secundaire functies zijn hier ook onderdeel van, maar er wordt nog geen ontwerpkader geschetst. Hiervoor is in Sweco (2018) een plan van aanpak opgesteld, waarvan de uitvoering in het voorliggend memo geschiedt.

Belangrijke bronnen hiervoor over de verschillende grenstoestanden m.b.t. waterkeringen zijn de factsheet over uiterste grenstoestand (UGT) en bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) (KPR, 2017) en de UGT/BGT memo die daarop aanhaakt (Deltares, 2017a). Daarnaast geeft de Basisspecificatie Dijk aan waar men bij het opstellen van een specificatie voor een dijk aan moet denken.

1.3. Afbakening

In het voorliggende memo wordt expliciet gekeken naar secundaire functies van waterkeringen in relatie tot (een verhoogd) golfoverslag(debiet). Dat wil niet zeggen dat secundaire functies niet ook te lijden kunnen hebben onder andere faalmechanismen dan golfoverslag, maar dat is buiten de scope van dit memo. Daarnaast worden slechts dijken beschouwd, dus expliciet geen kunstwerken en duinen. Merk op dat golfoverslag op meerdere manieren kan worden uitgedrukt, zoals: golfoverslagdebieten, stroomsnelheden en volumes. In dit memo beperken we ons tot golfoverslagdebieten.

In hoofdstuk 3 worden voorstellen gedaan voor de getalswaarde van de norm voor secundaire functies m.b.t. golfoverslag. De norm voor een secundaire functie wordt ook uitgedrukt in termen van een frequentie, maar wijkt af van de trajectnorm voor het dijktraject (die betreft namelijk de primaire functie: veiligheid tegen overstroming). Deze normvoorstellen moeten ook slechts als voorstellen worden geïnterpreteerd, aangezien dit bij de beheerder ligt en er een hoop niet-technische aspecten mee gemoeid zijn.

1.4. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de gebruikte definities beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft de verschillende secundaire functies en het kader waarin deze beschouwd kunnen worden. Daarnaast wordt per functie een voorstel gedaan voor een getalswaarde van de norm en een kritiek golfoverslagdebiet. In hoofdstuk 4 wordt het ontwerpkader toegelicht aan de hand van voorbeelden. Hoofdstuk 5 geeft inzicht in het handelingsperspectief ten aanzien van het ontwerp van waterkeringen en secundaire functies. In hoofdstuk 6 worden de conclusies gepresenteerd.

2. Definities

Om onduidelijkheid te voorkomen zijn onderstaand de definities van enkele belangrijke begrippen in het kader van secundaire functies van waterkeringen opgenomen. Hierbij is geput uit de definities uit de Grondslagen voor hoogwaterbescherming (ENW, 2017) en de Eurocodes. Dit sluit aan bij de eerdere werken door KPR (2017) en Sweco (2018)¹.

Falen van een waterkering

In de Grondslagen (ENW, 2017) wordt het falen van een waterkering gedefinieerd als het overschrijden van de uiterste grenstoestand (UGT, zie onderstaande definitie).

Bezwijken van een waterkering

In de Grondslagen (ENW, 2017) wordt bezwijken gedefinieerd als het verlies van samenhang of een grote geometrieverandering van de waterkering. Bezwijken is dus niet hetzelfde als falen. Enerzijds kan een waterkering falen (het achterland overstroomt) terwijl deze niet bezwijkt (de dijk zelf is nog intact). Anderzijds kan een waterkering bezwijken (grote geometrieverandering) maar niet falen (er vindt geen overstrooming plaats van het achterland).

Primaire functie van een waterkering

In dit memo wordt met de term primaire functie van een waterkering gebruikt. Deze is in de Grondslagen (ENW, 2017) gedefinieerd als het voorkomen van een overstrooming van het door de waterkering beschermde gebied, zodanig dat de overstrooming dodelijke slachtoffers of substantiële schade tot gevolg heeft.

Secundaire functies van een waterkering

Een waterkering vervult naast de primaire functie ook tal van andere functies. Alle functies die niet onder de primaire functie vallen (zie bovenstaande definitie), worden in dit memo als secundaire functies van de waterkering aangeduid. In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van deze secundaire functies en een voorstel gedaan voor de bijbehorende norm en kritiek golfoverslagdebiet. Merk op dat het doel niet is om iedere denkbare secundaire functie te identificeren. De focus ligt expliciet op de secundaire functies die een waterkeringbeheerder wellicht zou willen faciliteren in het ontwerp van de waterkering en beïnvloed worden door overslaand water.

Uiterste grenstoestand (UGT)

Voor de UGT en BGT wordt in KPR (2017) verwezen naar twee bronnen, namelijk de Waterwet, met toelichting in de Grondslagen voor Hoogwaterbescherming (ENW, 2017), en de Eurocodes. In voorliggend memo wordt aangenomen dat de Waterwet hierin leidend is.

¹ Merk op dat in Sweco (2018) een eerdere versie van KPR (2017) is opgenomen van 20 april 2016. Hierin is raamwerk functies en eisen als bijlage opgenomen. In dit raamwerk is een eerste gedachte voor een kritiek golfoverslagdebiet en een norm per secundaire functie gepresenteerd. Dit raamwerk is in latere versies niet meer opgenomen. Wanneer in dit memo aan KPR (2017) wordt gerefereerd, wordt daarmee ook de eerdere versies van hetzelfde memo bedoeld.

Wat betreft de UGT van de primaire functie van een waterkering wordt in de Waterwet gesproken van het verlies van waterkerend vermogen van een dijktraject, met als gevolg een overstroming die leidt tot dodelijke slachtoffers of substantiële economische schade. Ook in de Eurocodes wordt de veiligheid van personen genoemd.

De UGT toegepast op de primaire functie van waterkeringen wordt dus geïnterpreteerd gebaseerd op de gevolgen (overstroming i.c.m. dodelijke slachtoffers of substantiële schade). De UGT is dus niet direct gekoppeld aan de toestand van de waterkering zelf. Met andere woorden; de dijk mag bijv. zwaar vervormen, zolang er geen overstroming met doden/substantiële schade is wordt de UGT niet overschreden.

De Grondslagen (ENW, 2017) doen geen uitspraak over de UGT in relatie tot de secundaire functies van een waterkering. Daarnaast wordt er in de Eurocodes onder andere gesproken over de UGT als toestand gerelateerd aan (de toestand die vooraf gaat aan) de instorting van de constructie. In termen van secundaire functies van de waterkering zou dat bijvoorbeeld kunnen zijn: het instorten van een dijkhuis, breken van leidingen in de dijk of het buitensporig vervormen van een weg. Niet voor alle secundaire functies is het eenvoudig of zinnig om een UGT te bedenken (wat is bijvoorbeeld de UGT van recreatie). Daarnaast is het maar zeer de vraag of het nuttig is om naar de UGT van secundaire functies te kijken, gezien deze in de praktijk voor een groot deel samen zullen vallen met de UGT van de primaire functie van de waterkering. Een grote bres in een dijk zorgt er bijvoorbeeld voor dat de weg over de dijk deels weggeslagen is, maar de primaire functie wordt ook niet meer vervuld (zie ook de voorbeelden in Tabel 1). In dit memo wordt niet verder ingegaan op de UGT van secundaire functies.

Bruikbaarheids grenstoestand (BGT)

In de Grondslagen (ENW, 2017) wordt de BGT van de primaire functie van de waterkering beschreven als de situatie waarin nog niet direct een overstroming optreedt, maar wel dusdanig grote vervorming of schade is ontstaan dat (naderhand) ingrijpen geboden is. Een voorbeeld hiervan is als de waterkering bezwijkt, maar niet faalt. De Eurocodes spreken van een grenstoestand met impact op het comfort van mensen, het functioneren van de constructie en het uiterlijk van het bouwwerk. Deze definitie uit de Eurocodes is slechts deels van toepassing op de BGT van een waterkering, omdat het functioneren van de waterkering (namelijk het voorkomen van overstromingen met doden of substantiële schade tot gevolg) behoort tot de UGT, zie ook de voorbeelden in Tabel 1.

De beschrijving in de Grondslagen (ENW, 2017) gaat uit van de primaire functie. Wanneer we deze definities en redenerlijnen toepassen op de secundaire functies van een waterkering zijn er meerdere interpretaties mogelijk. In het voorliggend memo wordt de volgende interpretatie gehanteerd; wanneer er over secundaire functies van de waterkering wordt gesproken, dan wordt de BGT van die secundaire functies bedoeld. Er wordt immers gekeken naar wanneer bijv. wegen (tijdelijk) niet meer gebruikt kunnen worden, niet naar of wegen dusdanig beschadigd raken dat ze zonder reparatie niet meer gebruikt kunnen worden (ook als de onmiddellijke dreiging van het water verdwenen is).

Tabel 1. Voorbeelden van UGT en BGT situaties voor primaire en secundaire functies.

Functie	UGT	BGT
Primair	Bres in de dijk: overstroming met dodelijke slachtoffers	Afschuiving binnentalud, geen overstroming tot gevolg
Secundair	Bres in de dijk: weg over de kruin deels weggeslagen.	Golfoverslag over de dijk en weg: geen overstroming maar weg niet meer begaanbaar

Norm

In de Waterwet zijn alle primaire waterkeringen in Nederland opgedeeld in dijktrajecten, en is voor ieder dijktraject een (traject)norm gespecificeerd. Deze norm is sinds 2017 veelal gedefinieerd als een overstromingskans. Dat wil zeggen de kans op verlies van waterkerend vermogen van een dijktraject waardoor het door het dijktraject beschermde gebied zodanig overstroomt dat dodelijke slachtoffers of substantiële schade ontstaan. Met andere woorden, als de overstroming de uiterste grenstoestand van de dijk overschrijdt.

Illustratiepunt is een resultaat van een probabilistische berekening. Het is de combinatie van variabelen die de grootste kansbijdrage heeft aan het falen en als zodanig als maatgevend wordt gezien. Aan deze combinatie kan men het onderlinge belang van de verschillende belastingsvariabelen zien voor een specifieke probabilistische som.

Stormgedreven watersystemen zijn gebieden waar de benodigde kruinhoogte van een waterkering in dominante mate wordt bepaald door stormen, en dus door een combinatie van wind, golven en stormopzet. Dit is het geval langs de kust, op delen van de grote meren (IJsselmeer en Markermeer) en in delen van de estuaria (Rijn-Maasmonding en Westerschelde). Kenmerkend voor deze gebieden is dat de kruinhoogte wordt bepaald door grote golfhoogtes en/of hoge waterstanden.

Afvoergedreven watersystemen kennen een dominante invloed van de rivierafvoer, zoals de bovenrivieren (bovenstroomse delen van de Rijn en Maas). In deze systemen is de rivierafvoer de belangrijkste invloed op de benodigde kruinhoogte. Dit wil overigens niet zeggen dat wind en golven hierbij geen rol spelen, maar deze rol is van ondergeschikt belang aan die van de rivierafvoer, die voor hoog water zorgt.

3. Secundaire functies van waterkeringen

Onderstaand wordt de BGT (bruikbaarheidsgrenstoestand) van verschillende secundaire functies van de waterkering toegelicht. Deze functies komen overeen met de functies zoals gehanteerd door KPR (2017) en Sweco (2018). Daarnaast zijn POVM/Deltares (2018), Deltares (2017a; 2017b), RWS (2017) en RWS Zeeland & PBZ (2015) geraadpleegd. Merk op dat in dit memo generiek wordt gesproken over secundaire functies, maar dat in RWS (2017) expliciet onderscheid wordt gemaakt tussen aspecten en functies.

De beschouwde secundaire functies zijn:

- Regulier onderhoud en inspecties
- Inspecteerbaarheid en noodreparaties in extreme omstandigheden
- Wateroverlast
- Zoutbezwaar
- (Spoor)wegverkeer
- Ontsluiting bij evacuatie
- Toegankelijkheid bij noodreparaties
- Faciliteren wonen
- Faciliteren kabels en leidingen
- Faciliteren recreatie
- Agrarisch medegebruik (beheer)
- Faciliteren LNC-waarden

Om het faciliteren van deze secundaire functies kwantitatief te maken, is voor iedere secundaire functie een getalswaarde voor de norm (een maximale kans van voorkomen) en een kritiek golfoverslagdebiet (een bovengrens voor de golfoverslag over de waterkering) voorgesteld. De norm voor secundaire functies kan absoluut (constante waarde) of relatief aan de trajectnorm (een fractie van de trajectnorm) gedefinieerd worden. Merk op dat de norm voor een secundaire functie niet dezelfde is als de (traject)norm van een dijktraject, die laatste gaat namelijk over de primaire functie van de waterkering. Het kritiek golfoverslag kan ook op twee manieren gedefinieerd worden: een constante, generieke waarde die voor elk dijktraject gebruikt kan worden, of een dijktraject-afhankelijke waarde. Die laatste optie is relevant als er locatie specifieke aspecten een belangrijke rol spelen in het vervullen van een secundaire functie (denk bijvoorbeeld aan hoe wateroverlast en inundatiediepte afhankelijk zijn van de hoogteligging van het achterland).

Met een norm en een kritiek golfoverslagdebiet kan, met behulp van het WBI2017 instrumentarium, een berekening worden gemaakt waarbij de eisen vanuit de secundaire functies worden vergeleken met de eisen vanuit de primaire functie. Deze werkwijze wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 4.

Om inzicht te geven in de interpretatie van frequenties en normen is in Tabel 2 voor een tijdsspanne van 50 jaar zowel het gemiddeld aantal gebeurtenissen als de kans op minstens één gebeurtenis in die periode weergegeven voor verschillende frequenties.

Tabel 2. Interpretatie van frequenties, met gemiddeld aantal gebeurtenissen en de kans op minstens 1 gebeurtenis, beiden voor een tijdsspanne van 50 jaar (onder de aanname van een Poisson-proces).

Frequentie [1/jaar]	Gem. aantal gebeurtenissen in 50 jaar	Kans op ≥ 1 gebeurtenis in 50 jaar [%]
1/10	5	99,3
1/25	2	86,5
1/50	1	63,2
1/100	0,5	39,3
1/1.000	0,05	4,9

3.1. Regulier onderhoud en inspecties

Om de waterkering in goede staat te houden zijn met enige regelmaat zowel onderhoud als inspecties nodig (zie Figuur 1). De vraag is of gepland onderhoud en geplande inspecties problemen ondervinden bij een verhoging van het toegestane overslagdebiet. Gepland onderhoud kan dat wellicht relatief eenvoudig worden uitgesteld wanneer er zich een situatie voordoet met golfoverslag. Een geplande inspectie zou ook kunnen worden uitgesteld.

Omdat regulier onderhoud en inspecties relatief gemakkelijk uitgesteld kunnen worden is er geen reden om voor regulier onderhoud en inspecties een kritiek golfoverslagdebiet of norm voor te stellen.



Figuur 1. Reparatie van scheuren in een veendijk langs de Enkele Wiericke (foto: www.nos.nl).

3.2. Inspecteerbaarheid in extreme omstandigheden

Om de staat van een waterkering goed in te kunnen schatten onder extreme condities en tijdig de eerste aanwijzingen van het falen ervan waar te nemen is er inspectie nodig. De informatie uit inspecties is input voor beslissingen betreffende o.a. evacuatie of noodreparaties. Hierbij is de vraag of het verhogen van het toegestane golfoverslagdebiet inspectie al bij niet-normatieve omstandigheden praktisch onmogelijk maakt. Uitgangspunt hierbij is dat de waterkeringbeheerder de waterkering moet kunnen betreden om een inspectie effectief uit te voeren.

In EurOtop (2016) worden waarden voor golfoverslagdebieten en –volumes gegeven waarbij een waterkering niet meer betreden dient te worden, zie Tabel 3. Het kritieke debiet dan wel volume is afhankelijk van de significante golfhoogte die optreedt. Anders gezegd, hoe hoger de golf, hoe eerder het (bij gelijkblijvend gemiddeld golfoverslagdebiet) onveilig is voor personen op de waterkering. Hierbij moet opgemerkt worden dat deze getallen specifiek zijn afgeleid voor golfoverslag, zodat er bij een significante golfhoogte kleiner dan 0,5 m geen limiet meer wordt gesteld aan het golfoverslagdebiet. Bij een golfoverslagberekening met Hydra-NL wordt er gelijktijdig naar golfoverslag en naar overloop gekeken. Daarom is het verstandig om toch een limiet aan te houden, zodat een berekening ook voor overloop gedomineerde locaties tot een zinnig antwoord leidt. Daarom wordt voorgesteld in dit geval dezelfde waarden te gebruiken als voor de golfhoogte van 1 m (te weten $q = 10 - 20$ l/s/m en $V = 600$ l/m), zijnde de naastgelegen klasse.

Voor stormgedreven watersystemen zullen vaak grotere golfhoogtes gevonden worden dan voor afvoergedreven watersystemen, en daarmee zal de eis aan het debiet strenger zijn voor stormgedreven systemen.



Figuur 2. Inspectie van de dijk bij hoog water in de Vecht (foto: www.wdodelta.nl).

Tabel 3. Golfoverslaglimieten voor personen en voertuigen, vertaald uit EurOtop (2016), Tabel 3.3. Merk op dat 'voertuigen op de waterkering' duidt op voertuigen die met lage snelheid over de waterkering rijden, bijvoorbeeld voor inspectie doeleinden.

Type en reden van gevaar		Gemiddeld overslagdebiet q (l/s per m)	Maximaal overslagvolume V _{max} (l per m)
Personen op een waterkering bij veel overtoppings geweld, voornamelijk verticale keringen		Geen toegang tot waterkering wanneer meer overslag wordt voorspeld dan:	Geen toegang tot waterkering wanneer meer overslag wordt voorspeld dan:
Personen op een kade of dijk met goed zicht op het water	H _{m0} = 3 m	0,3	600
	H _{m0} = 2 m	1	600
	H _{m0} = 1 m	10-20	600
	H _{m0} < 0.5 m	ongelimiteerd	ongelimiteerd
Voertuigen op de waterkering	H _{m0} = 3 m	< 5	2000
	H _{m0} = 2 m	10-20	2000
	H _{m0} = 1 m	< 75	2000
Snelwegen, verkeer met hoge snelheid		Geen toegang wanneer er gevaar is voor vuil wat meegesleurd wordt de weg op	Geen toegang wanneer er gevaar is voor vuil wat meegesleurd wordt de weg op

De waarden in Tabel 3 zijn afgeleid ervan uitgaande dat men zich op de kruin van de dijk bevindt. Wanneer het voor de inspectie nodig is om ook het binnentalud van een dijk te begaan, moet men vermoedelijk rekening houden met lagere toegestane maximale golfoverslagdebieten en –volumes. Hiervoor zijn meerdere redenen: een persoon op een talud staat minder stabiel, water stroom mogelijk met een hogere snelheid over het talud dan over de kruin en de zichtbaarheid van de golfaanval is minder tot nihil op het binnentalud, zodat men zich niet schrap kan zetten. Naast de begaanbaarheid van de waterkering kan de waarneembaarheid van de schade aan de waterkering afnemen, met name bij zeer frequente golfoverslag.

Kritiek golfoverslagdebiet en normvoorstel

Voor de inspecteerbaarheid wordt verondersteld dat de waterkering te voet nog toegankelijk moet zijn. De waarden voor het kritieke golfoverslagdebiet worden overgenomen uit Tabel 3, met uitzondering van het ongelimiteerde debiet zoals eerder beargumenteerd.

Wat betreft de norm lijkt het logisch om dit te koppelen aan de trajectnorm. Gezien het significante belang van de inspecteerbaarheid wordt voorgesteld om hiervoor een factor 10 soepelere norm dan de trajectnorm te hanteren (KPR, 2017).

3.3. Wateroverlast

Bij een verhoogd golfoverslagdebiet neemt ook de kans op wateroverlast in het achterland toe (zie Figuur 3). ENW (2017) definieert een overstroming als een gemiddelde waterdiepte groter dan 0,20 m optreedt binnen een gebied met dezelfde postcode. Tot aan 0,20 m is er geen sprake van overstroming, maar slechts van wateroverlast. Vanaf welke mate van hinder door overslaand water er van wateroverlast gesproken mag worden is in de bestaande literatuur niet eenduidig vastgelegd. Vanuit het grondwaterbeheer wordt vaak een bepaalde mate van drooglegging aangehouden, waarmee een gegeven afstand tussen het grondwaterpeil en het maaiveld, het straatniveau of een bouwpeil wordt geborgd. Het overslaande water hoeft echter niet in de grond geïnfiltreerd te zijn om overlast te veroorzaken. Binnen het kader van dit memo wordt de suggestie van KPR (2017) aangehouden om de wateroverlast te definiëren als startend bij 0,10 m gemiddelde inundatiediepte binnen een gebied met dezelfde postcode (in contrast met een overstroming die start bij 0,20 m inundatiediepte).

Doordat de definitie van een overstroming en wateroverlast gestoeld is op de gemiddelde waterdiepte in een gebied is er dus ook informatie over het achterland nodig om een uitspraak over wateroverlast te kunnen doen. Dit betekent dat er dus geen generieke eis in termen van kritiek golfoverslagdebiet gedefinieerd kan worden, maar dat dit per beschouwde waterkering bekeken moet worden. Merk op dat golfoverslag niet het enige aan de waterkering gerelateerde mechanisme is dat wateroverlast veroorzaakt. Zowel het optreden van kwel als het falen van kunstwerken kunnen voor wateroverlast zorgen, maar vallen buiten de scope van dit memo omdat ze niet aan golfoverslag gerelateerd zijn.

KPR (2018) beschrijft een werkwijze waarmee een inschatting gemaakt kan worden hoe zwaar de wateroverlast is voor een gegeven gebied. Deze werkwijze wordt aangehouden bij het uitwerken van de voorbeelden in hoofdstuk 4.



Figuur 3. Wateroverlast in Slenaken, Limburg (foto: Diana Scheilen).

Kritiek golfoverslagdebiet en normvoorstel

Zoals eerder genoemd is het niet mogelijk om de definitie op basis van gemiddelde inundatiediepte te verenigen met één generieke waarde voor het kritieke golfoverslagdebiet. Er zal per dijktraject bekeken moeten worden bij welk golfoverslagdebiet de kritieke inundatiediepte van 0,10 m wordt bereikt.

Voor wateroverlast zou bijvoorbeeld een norm van 1/50 per jaar kunnen worden aangehouden (KPR, 2017).

Een norm van 1/50 per jaar lijkt vrij soepel in vergelijking met de normen voor wateroverlast door regenval of oppervlaktewater. Deze normen kunnen in sommige provincies immers oplopen tot 1/100 per jaar in bebouwd gebied. Echter, deze hebben juridisch de status van inspanningsverplichting in plaats van resultaatverplichting. Dat wil zeggen dat een waterschap verplicht is zich in te spannen om aan deze normen te voldoen, maar er volgens geen maatregelen als het resultaat van deze inspanningen niet aan de norm voldoet. Daarnaast wordt er bij wateroverlast door regenval of oppervlaktewater onderscheid gemaakt naar landgebruik (bijv. bebouwd gebied, akkerbouw en glastuinbouw), waarbij ook veel soepelere normen (zoals 1/10 per jaar) gehanteerd worden, zie ook Tabel 4.

Tabel 4. Normen voor waterkwantiteit van de provincie Zuid-Holland (bron: waterverordening Zuid-Holland).

Norm binnen bebouwde kom [1/j]		Norm buiten bebouwde kom [1/j]	
Bebouwing	1/100	Hoofdinfrastructuur	1/100
Glastuinbouw	1/50	Glastuinbouw en hoogwaardige land- en tuinbouw	1/50
Overig gebied	1/10	Akkerbouw	1/25
		Grasland (1 maart – 1 oktober)	1/10

3.4. Zoutbezwaar

Zoutbezwaar is mogelijk van toepassing wanneer het overslaande water zout is, en er dusdanig veel water overslaat dat de ondergrond en het grondwater in onacceptabele mate verzilt. Praktisch gezien komt dit probleem dus alleen voor langs de kust en in estuaria. Zoutbezwaar kan problematisch zijn voor gebieden waar drinkwater uit het grondwater gewonnen wordt of landbouw plaatsvindt die onder verzilting te lijden heeft. Naast het grondwater is het ook mogelijk dat het oppervlakte water verzilt. Beiden hebben mogelijk een significante impact op de ecologie en op eventueel aanwezige constructies (bijv. versnelde corrosie).

Het ligt voor de hand om grenzen te stellen aan het chloridegehalte van het grondwater in het achterland. Het is echter de vraag hoe dit vertaald kan worden naar een kritiek golfoverslagdebiet en hoe generiek deze vertaalslag is tussen verschillende dijktrajecten.

Kritiek golfoverslagdebiet en normvoorstel

In KPR (2017) wordt een voorstel gedaan voor drie categorieën aan chlorideconcentraties en bijbehorende normen, zie Tabel 5. De vertaling van golfoverslagdebiet naar chloridegehalte is echter afhankelijk van het specifieke dijktraject.

Tabel 5. Categorieën voor zoutgehaltes en bijbehorende normen, uit KPR (2017).

Chlorideconcentratie achterland [mg/l]	Norm [1/j]
> 2.000	1/50
> 4.000	1/100
> 10.000	1/200

3.5. (Spoor)wegverkeer

Wanneer we praten over het faciliteren van verkeer over (spoor)wegen gaat het over infrastructuur die zich ofwel op het dijklichaam bevindt, ofwel dusdanig dichtbij dat deze infrastructuur ook direct beïnvloed wordt door golfoverslag over de dijk. Het gaat hier dus niet over het uitvallen van infrastructuur door inundatie van het achterland. Daarnaast gaat het om regulier gebruik van de infrastructuur, dus expliciet niet om evacuatie.

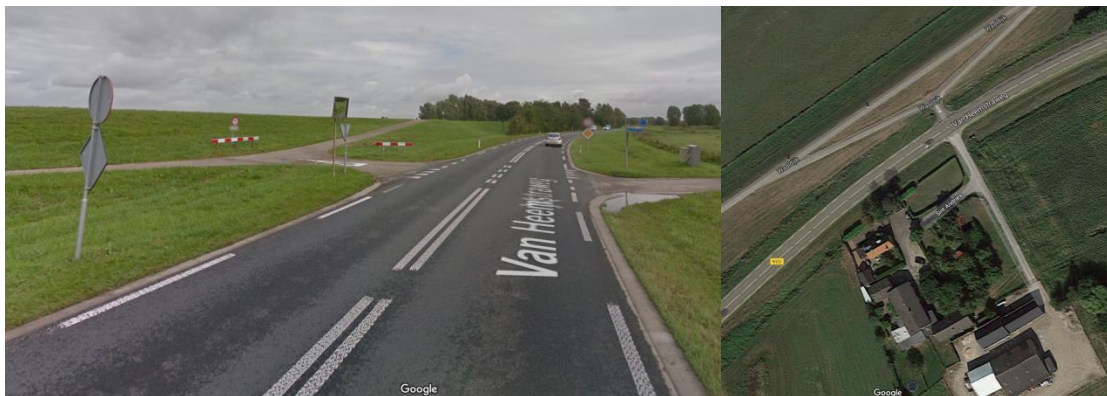
Het ligt voor de hand om in de normbepaling onderscheid te maken naar het type infrastructuur: spoorwegen, snelwegen, provinciale en regionale wegen. Daarnaast is het mogelijk dat wegen op of direct naast de dijk onderdeel zijn van de aanrijroute naar een ziekenhuis. Dat zou een reden kunnen zijn om een afwijkende (strengere) norm te hanteren. Dit dient per geval bekeken te worden.

In de praktijk is het vaak zo dat snelwegen en spoorlijnen niet over de kruin van een dijk lopen (op de kruin van dijken ligt wel vaak een regionale weg). Uiteraard moeten snelwegen en spoorlijnen wel dijken kruisen, maar vaak gebeurt dit ver boven de kruinhoogte van een dijk of middels een tunnel. Daarmee heeft een eventueel verhoogd golfoverslagdebiet over de dijk nauwelijks invloed op de begaanbaarheid van spoorlijnen en snelwegen.

Daarnaast komt het frequent voor dat er infrastructuur vrijwel parallel aan een dijktraject wordt aangelegd, op kleine afstand van de waterkering zelf. Als de infrastructuur vervolgens niet significant verhoogd is aangelegd, is het aannemelijk dat de golfoverslag over de waterkering ook een belemmering voor de naastliggende infrastructuur vormt. Zie de voorbeelden hiervan in Figuur 4 en Figuur 5.



Figuur 4. Streetview en satellietfoto voor de snelweg A6 tussen Lelystad en de Ketelbrug (bron: Google).



Figuur 5. Streetview en satellietfoto voor de provinciale weg N322 bij Sint Andries (bron: Google).

Kritiek golfoverslagdebiet en normvoorstel

In KPR (2017) wordt voor het kritieke golfoverslagdebiet bij (spoor)wegen 1 l/s/m aangehouden. Dit strookt niet met de getallen voor voertuigen in Tabel 3, echter wordt daar uitgegaan van een enkel voertuig met zeer lage snelheid t.b.v. inspectie. Hier gaat het daarentegen om personenvervoer met hogere snelheid en bestuurders die niet noodzakelijk water op de weg verwachten. Daarnaast is het de verwachting dat overslaand water ook materiaal op de weg achterlaat, wat ook hinder geeft in het verkeer. Met name voor stormgedreven systemen, waar ook relatief kleine gemiddelde golfoverslagdebieten gepaard gaan met hoge golven en aanzienlijke momentane golfoverslagvolumes. Daarom wordt aangeraden om geen golfoverslag toe te staan op (spoor)wegen. De bijbehorende rekenwaarde is 0,1 l/s/m, omdat een berekening met 0 l/s/m niet tot een zinnig antwoord leidt.

Wat betreft de normen lijkt het logisch om onderscheid te maken tussen de verschillende types infrastructuur; spoorwegen 1/50 per jaar, snelwegen 1/50 per jaar, provinciale wegen 1/25 per jaar en regionale wegen 1/10 per jaar (KPR, 2017).

3.6. Ontsluiting bij evacuatie

Evacuatie kan onderverdeeld worden in verticale en horizontale evacuatie. Verticale evacuatie is verplaatsen naar ruimtes die droog blijven bij een overstroming, zoals hogere verdiepingen of zolders. Verticale evacuatie wordt niet verder beschouwd in dit memo. Bij horizontale evacuatie tracht men het gebied dat wellicht overstroomt te verlaten richting hoger gelegen gebieden die niet (kunnen) overstromen, zie Figuur 6. In de praktijk leidt dit tot veel wegverkeer. Officiële evacuatieroutes lopen doorgaans niet over de waterkering. Echter, voor een deel van de inwoners is de weg over de waterkering de enige manier om het gebied te verlaten. Dit wordt bemoeilijkt wanneer er golfoverslag over de waterkering plaatsvindt.

Een horizontale evacuatie kan alleen succesvol plaatsvinden als de oproep tot evacuatie tijdig gegeven wordt. Gezien de grootte van de vervoersstroom en de bijbehorende stremmingen is er voldoende tijd nodig om mensen het gebied uit te krijgen. Bij onvoldoende tijd tussen oproep tot evacuatie en overstroming bestaat de kans dat men tijdens de evacuatie (bijv. in de auto) vast komt te zitten door de overstroming. Dat maakt dat er slechts effectief horizontaal geëvacueerd kan worden wanneer daar ruim van tevoren (ordegrootte

één etmaal) de oproep toe kan worden gegeven. Dit maakt dat horizontaal evacueren vele malen effectiever is bij dreiging door rivierafvoer (afvoergolf met een tijdschaal van weken) dan bij dreiging in stormgedreven systemen (storm met tijdschaal van uren).



Figuur 6. Evacuatie tijdens de watersnood in 1995 (foto: www.heemkundeverenigingleeuwen.nl).

Kritiek golfoverslagdebiet en normvoorstel

Vanwege de tijdsspanne tussen de oproep tot horizontale evacuatie en de dreigende overstroming, is het onwaarschijnlijk dat er tijdens de evacuatie al golfoverslag plaatsvindt over de waterkering. Daarmee is het in de praktijk niet nodig om een kritiek golfoverslagdebiet of norm te definiëren

3.7. Toegankelijkheid bij noodreparaties

Wanneer geconstateerd wordt dat een waterkering zodanig beschadigd is dat de waterkerende functie gevaar loopt kan het nodig zijn om een noodreparatie uit te voeren. Wanneer een noodreparatie uitgevoerd moet worden onder extreme omstandigheden met golfoverslag is het de vraag of het veilig is voor mensen en (zware) voertuigen om zich op de waterkering te begeven. In het algemeen zijn noodreparaties moeilijk te verenigen met hoge golfoverslagdebieten, met name in stormgedreven watersystemen omdat hier sprake is van grote golfhoogtes en bijbehorende kortdurende golfoverslag events met grote volumes, hetgeen het werken op de waterkering sterk bemoeilijkt, zo niet onmogelijk maakt. Merk hierbij op dat de primaire functie van de waterkering zo is ingestoken dat er geen noodreparaties nodig zouden moeten zijn.

Bij noodreparaties kunnen ook geotechnische faalmechanismen een rol spelen, in het bijzonder wanneer er voor een reparatie zware voertuigen of machines nodig zijn. Geotechnische faalmechanismen vallen echter buiten de scope van dit memo.



Figuur 7. Oefening van een noodreparatie op Texel (foto: www.texelsecourant.nl).

Kritiek golfoverslagdebiet en normvoorstel

Afhankelijk van de voorziene werkzaamheden bij een noodreparatie zullen zich personen, voertuigen en machinerie op de waterkering bevinden, die allen andere kritieke golfoverslag eisen hebben (vergelijk personen en voertuigen in Tabel 3). Daarnaast kan de voorziene werkwijze van de noodreparatie leiden tot additionele of strengere eisen. Dit maakt dat het kritiek overslagdebiet afhankelijk is van de voorziene noodreparatie. Hiervoor is dus geen generiek geldende eis te formuleren.

Wat betreft de norm lijkt het logisch om aan te sluiten bij de norm voor inspecteerbaarheid, gezien aan de hand van een inspectie kan worden vastgesteld of het nodig is een noodreparatie uit te voeren. Dat betekent dat wordt voorgesteld om een factor 10 soepelere norm dan de trajectnorm te hanteren

3.8. Faciliteren wonen

Bij de secundaire functie faciliteren wonen worden woningen bedoeld die (gedeeltelijk) op of in de waterkering staan, zowel op het binnen als het buitentalud (zie Figuur 8). Nadrukkelijk wordt niet gekeken naar woningen in het achterland. In de praktijk gaat het vooral om woningen op rivierdijken.



Figuur 8. Dijkhuis langs de Lek (foto: Frans van Vuuren).

Het toestaan van verhoogde golfoverslagdebieten zou juist voor deze woningen op de waterkering kunnen zorgen voor lokale schade en overlast. In deze situaties hoeft er niet direct sprake te zijn van wateroverlast in het achterland. Juist omdat de woningen zich direct op of naast de waterkering bevinden, wordt het faciliteren van de functie wonen al bij kleinere golfoverslagdebieten en –volumes onmogelijk. Verder zouden er vervormingen in het dijklichaam kunnen plaatsvinden die de waterkerende functie niet in gevaar brengen, maar wel dusdanige schade aan de woning toebrengen dat de functie wonen niet langer vervuld wordt.

Merk hierbij op dat onacceptabele schade aan het dijklichaam door de aanwezigheid van de woning getoetst dient te worden in het kader van de waterkerende functie (bijvoorbeeld door ontgroning op de overgang van dijklichaam naar woning bij golfoverslag). Daarmee is de aanname dat dit nooit normatief kan zijn in het kader van dit memo.

Kritiek golfoverslagdebiet en normvoorstel

Het kwantificeren in de vorm van een norm en een bijbehorend kritiek golfoverslagdebiet is nog een witte vlek. Omdat het gaat om een debiet waarbij de functie wonen niet meer vervuld kan worden, is de exacte constructie en ligging van de woning van belang. Het is bijvoorbeeld goed denkbaar dat het niveau van de woning t.o.v. de kruinhoogte van de dijk uitmaakt voor welk debiet nog toelaatbaar is. Dit pleit voor enerzijds meer gericht onderzoek, anderzijds naar het uitwerken van specifieke (verschillende) cases om te achterhalen hoe generiek/specifiek een kritiek golfoverslagdebiet is.

3.9. Faciliteren kabels en leidingen

Een van de mogelijke secundaire functies van een waterkering is het faciliteren van kabels en leidingen. Wanneer deze door het dijklichaam lopen kunnen grote vervormingen van dit dijklichaam voor schade aan deze kabels en leidingen zorgen. Merk hierbij op dat er al getoetst is op dusdanige schade aan leidingen dat deze op hun beurt het dijklichaam beschadigen, en zo de primaire functie van de dijk in gevaar brengen.

Omdat de schade wordt veroorzaakt door vervormingen van het dijklichaam, is het moeilijk om hier direct een kritiek golfoverslagdebiet aan toe te wijzen. De vervormingen ontstaan immers door geotechnische faalmechanismen en niet direct door het overslaande water.

M.b.t. de te hanteren norm ligt het voor de hand om onderscheid te maken naar het belang van de kabels en leidingen; men onderscheidt huisaansluitingen, regionale en landelijke kabels en leidingen.

Kritiek golfoverslagdebiet en normvoorstel

Het faciliteren van kabels en leidingen heeft niet zozeer direct te lijden onder golfoverslag, als wel onder geotechnische faalmechanismen. Dit maakt dat hier dus niet direct een golfoverslagdebiet aan te koppelen is. Het is logischer om bijvoorbeeld een grens in termen van maximale vervorming van het dijklichaam te definiëren, dit ligt echter buiten de scope van dit memo.

We maken onderscheid in de verschillende soorten kabels en leidingen; huisaansluitingen 1/10 per jaar, regionaal 1/25 per jaar en landelijk 1/100 per jaar (KPR, 2017).

3.10. Faciliteren recreatie

Het faciliteren van recreatie op de dijk wordt gerelateerd aan de begaanbaarheid van de dijk voor voetgangers en fietsers. Dit vertaalt zich naar de begaanbaarheid van kruin, voetpaden, fietspaden of regionale wegen voor voetgangers en fietsers.

Het is niet zo dat er onder extreme weersomstandigheden, waarbij golfoverslag plaatsvindt, zich per definitie geen recreanten op de waterkering begeven. Juist het vaak spectaculaire weer en bijbehorend watergeweld heeft aantrekkingskracht op mensen (een soort ramptoerisme). Historische cijfers uit het Verenigd Koninkrijk spreken van twee tot vier doden per jaar langs de kust (Allsop et al., 2003), doordat mensen door golven meegetrokken worden van golfbrekers, rotspartijen of het strand. Merk op dat de kans op overlijden vermoedelijk kleiner is wanneer iemand door een overslaande golf van de dijk valt richting het binnentalud, omdat men niet direct te water raakt zoals aan de kust wel vaak het geval is.



Figuur 9. Golfbaan Kleiburg nabij Brielle is deels binnen- en deels buitendijks gelegen, waarbij – met toestemming van het waterschap – ook gebruik wordt gemaakt van de reserverings- en kernzone (afbeelding: Google Earth).

Wanneer voetgangers en fietsers over een regionale weg moeten, is er een overlap met wegverkeer. In dit geval hangt het van de norm af welke van de twee functies dominant is. Anders gezegd; de functie met de strengere combinatie van norm en golfoverslagdebiet is bepalend, de andere functie is dan per definitie gegarandeerd.

Kritiek golfoverslagdebiet en normvoorstel

In KPR (2017) wordt voor het faciliteren van recreatie een kritiek overslagdebiet van 1 l/s/m genoemd. Merk op dat dit niet overeenkomt met de waarden uit Tabel 3. Die waarden zijn gebaseerd op of een persoon zich nog enigszins veilig op de waterkering kan begeven. Dit is echter onder dussdanige omstandigheden dat er effectief van recreatie geen sprake meer is. Analoog aan (spoor)wegverkeer wordt ook voor recreatie aanbevolen om geen golfoverslag toe te staan. Dit komt effectief neer op een kritiek golfoverslagdebiet van 0,1 l/s/m.

Een potentiële norm voor de functie recreatie is 1/1 per jaar (KPR, 2017). Dit is een vrij soepele norm, waarmee wordt aangegeven dat het aanvaardbaar is als de functie recreatie gemiddeld eenmaal per jaar niet vervuld kan worden.

3.11. Agrarisch medegebruik (beheer)

Met name op grasdijken maakt het agrarisch medegebruik onderdeel uit van het beheer van de waterkering. Door maaien of beweiden (begrazen) wordt beoogd de graskwaliteit hoog te houden. Het verhogen van het toegestane golfoverslagdebiet heeft met name invloed op de beweiding. Maaien zou relatief eenvoudig uitgesteld kunnen worden, maar in het geval van beweiding zou het vee (voornamelijk schapen) tijdig van de dijk weggehaald moeten worden. Dit niet alleen uit oogpunt van het welzijn van het vee, maar het is mogelijk dat de aanwezigheid van vee op een zeer natte dijk (door grotere golfoverslagdebieten) zorgt dat de grasmat extra schade oploopt. Merk op dat beweiding vooral plaatsvindt in de periode tussen 1 april en 1 oktober en maaien wordt ook vooral binnen die periode gedaan. In dit 'zomerhalfjaar' zijn er significant minder stormen en zijn de afvoeren van de grote rivieren lager dan in het winterhalfjaar. Omdat golfoverslag in de meeste watersystemen vooral plaatsvindt in het winterhalfjaar, is de kans op golfoverslag terwijl er nog vee op de waterkering staat minimaal.



Figuur 10. Voorbeelden van beweiding (links) en verschillende typen hooien en bemaaien (rechts), foto's: www.handreikinggrasbekleding.nl.

Kritiek golfoverslagdebiet en normvoorstel

Voor beweiding en maaien is het in de praktijk niet nodig om een kritiek golfoverslagdebiet of norm te definiëren, omdat de periode waarin deze plaatsvinden nauwelijks overlap heeft met de periode waarin golfoverslag plaatsvindt.

3.12. Faciliteren LNC-waarden

Een waterkering faciliteert vaak ook Landschaps-, Natuur- en Cultuurhistorische waarden. Zo zijn dijken vaak onderdeel van een kenmerkend cultuurhistorisch landschap en kunnen ze ruimte bieden aan bepaalde types natuur. Daarnaast zijn er verschillende iconische kunstwerken die onderdeel van de waterkering uitmaken.

De vraag is in hoeverre deze waarden in het geding komen bij een verhoging van het toegestane golfoverslagdebiet. Aangaande de landschaps- en cultuurhistorische waarden (zie bijvoorbeeld Figuur 11) kan gesteld worden dat deze behouden blijven zolang de waterkering geen extreme aangezichtsbepalende schade oploopt. Dit soort schade vindt naar verwachting alleen plaats onder normatieve omstandigheden. Het lijkt vanuit dat opzicht dan ook niet nodig om hiervoor apart normen op te stellen.



Figuur 11. Links: De historische binnenstad van Dordrecht is een beschermd stadsgezicht. De waterkering loopt grofweg op de scheiding tussen de landzijde en de poort- of waterzijde (Gemeente Dordrecht, 2014). Rechts: het Gemaal Buma is een rijksmonument en maakt onderdeel uit van de waterkering (foto: www.zuiderzeeland.nl).

Wat betreft de natuurwaarden op de waterkering is het denkbaar dat deze te lijden hebben onder een verhoging van de toegestane golfoverslag. Wellicht is echter het herstellend vermogen van de aanwezige natuur dusdanig dat schade na een golfoverslag event vanzelf herstelt. Vermoedelijk is het daarom ook vanuit het oogpunt van natuurwaarden niet nodig om aparte normen op te stellen.

Kritiek golfoverslagdebiet en normvoorstel

Op basis van het bovenstaande is het niet nodig om een kritiek golfoverslagdebiet of norm te definiëren voor het faciliteren van LNC-waarden.

3.13. Overzicht secundaire functies

Een overzicht van de hierboven besproken eisen aan secundaire functies van waterkeringen is gegeven in Tabel 6. Voor de functies regulier onderhoud en inspecties, agrarisch medegebruik en LNC-waarden is het niet nodig gebleken om normen en kritieke overslagdebieten te definiëren. Er hoeft voor deze functies dus ook geen berekening te worden uitgevoerd.

Voor de functies wateroverlast en zoutbezwaar is het niet mogelijk om een generieke eis op te stellen betreffende het golfoverslagdebiet. Dit komt door de sterke invloed van traject specifieke kenmerken op deze functies. Er zal dus per traject bekeken moeten worden wat een geschikte waarde voor het kritiek golfoverslagdebiet is.

Het faciliteren van kabels en leidingen wordt niet direct beïnvloed door het golfoverslagdebiet. Schade aan kabels en leidingen wordt veroorzaakt door geotechnische faalmechanismen, maar die zijn buiten de scope van dit memo.

De functie wonen blijkt nog een witte vlek. Het is nog de vraag wanneer de functie niet meer vervuld kan worden (bij welk golfoverslagdebiet) en of hiervoor een generiek criterium kan worden opgesteld. Hierbij is het goed denkbaar dat dit criterium in de praktijk traject specifiek of zelfs woning specifiek is.

Voor de overige functies is een generieke norm en kritiek golfoverslagdebiet gedefinieerd.

Tabel 6. Overzicht van secundaire functies en bijbehorend kritiek golfoverslagdebiet en norm.

Secundaire functie	Kritiek golfoverslagdebiet [l/s/m]	Voorgestelde norm [1/jaar]
Regulier onderhoud en inspecties	Niet nodig	
Inspecteerbaarheid en noodreparaties in extreme omstandigheden	$H_{m0} \leq 1m$: 10 $1 m < H_{m0} \leq 2m$: 1 $2 m < H_{m0} \leq 3m$: 0,3	10 x Trajectnorm
Wateroverlast	Trajectafhankelijk	1/50
Zoutbezwaar	Trajectafhankelijk	1/50 (>2.000 mg/l chloride) 1/100 (>4.000 mg/l chloride) 1/200 (>10.000 mg/l chloride)
(Spoor)wegverkeer	0,1	Regionale weg: 1/10 Provinciale weg : 1/25 Snelweg/spoorlijn: 1/50
Ontsluiting bij evacuatie	Niet nodig	
Toegankelijkheid bij noodreparaties	Niet nodig	
Wonen	Witte vlek	
Kabels en leidingen	n.v.t.	Huisaansluitingen: 1/10 Regionaal: 1/25 Landelijk: 1/100
Recreatie	0,1	1/1
Agrarisch medegebruik (beheer)	Niet nodig	
LNC-waarden	Niet nodig	

4. Uitgewerkte voorbeelden

In dit hoofdstuk wordt er op een drietal voorbeeldlocaties gekeken of het verhogen van het kritieke golfoverslagdebiet een negatieve impact heeft op de secundaire functies van de waterkering. Hiertoe worden voor zowel primaire als secundaire functies berekeningen gemaakt met Hydra-NL, onderdeel van de WBI2017 software. De resultaten worden uitgedrukt in termen van een benodigde kruinhoogte per functie. Als de benodigde kruinhoogtes voor de secundaire functies allen onder de benodigde kruinhoogte voor de primaire functie van de waterkering uitkomen, dan zijn er geen aanvullende maatregelen nodig.

Tabel 7. Overzicht van de voorbeeldlocaties, inclusief geschatte oriëntatie.

Locatie	Hydra naam	Oriëntatie [°N]	XRD [m]	YRD [m]
Varik	043-06_0124_1_WA_km0923	90	153.876	425.552
Heesselt	043-06_0157_WA_km0927	270	152.186	425.584
Afsluitdijk	WZ_1_201_vk_00060	315	142.263	558.933

Voor de volgende locaties zijn voorbeelden uitgewerkt: Varik, Heesselt en de Afsluitdijk (zie Tabel 7). Varik en Heesselt zijn locaties langs de Waal die geografisch dicht bij elkaar liggen, maar door een rivierbocht een tegenovergestelde oriëntatie hebben (Oost resp. West). Hiermee wordt het verschil geïllustreerd tussen een afvoergedomineerde locatie en een locatie waar wind en golven belangrijk zijn. De Afsluitdijk representeert een ander watersysteem (kust) en de hogere golfbelastingen die daarmee gepaard gaan. De secundaire functies die relevant zijn voor de drie voorbeeldlocaties zijn weergegeven in Tabel 8.

De onderstaande berekeningen zijn uitgevoerd met Hydra-NL versie 2.4.1 i.c.m. de volgende databases: WBI2017_Bovenrijn_43-6_v04 en WBI2017_Waddenzee_West_201_v03. Merk op dat voor alle berekeningen een fictief dijkprofiel (helling buitentalud 1:3) i.c.m. een geschatte oriëntatie gebruikt zijn. Merk op dat er niet is uitgegaan van een zichtjaar in de toekomst. Daarom is er in deze voorbeelden dan ook geen rekening gehouden met de effecten van klimaatverandering.

Tabel 8. Relevante secundaire functies (aangeduid met vinkjes) voor de drie voorbeeldlocaties.

	Secundaire functie	Varik	Heesselt	Afsluitdijk
1	Regulier onderhoud en inspecties ²	✓	✓	✓
2	Inspecteerbaarheid en noodreparaties in extreme omstandigheden	✓	✓	✓
3	Wateroverlast	✓	✓	✗
4	Zoutbezwaar	✗	✗	✗
5	Wegverkeer	✓	✓	✓
6	Ontsluiting bij evacuatie ²	✓	✓	✗
7	Toegankelijkheid bij noodreparaties ²			
8	Wonen	✗	✗	✗
9	Kabels en leidingen	✗	✗	✗
10	Recreatie	✓	✓	✓
11	Agrarisch medegebruik ²	✓	✓	✗
12	LNC-waarden ²	✓	✓	✓

4.1. Varik

De ligging van de voorbeeldlocaties Varik en Heesselt is weergegeven in Figuur 12. De bijbehorende secundaire functies zijn samengevat in Tabel 9. Uiteraard zijn ook hier onderhoudbaarheid en inspecteerbaarheid van de waterkering van toepassing. De dijk beschermt een bewoond achterland en over de kruin van de dijk loopt een regionale weg.

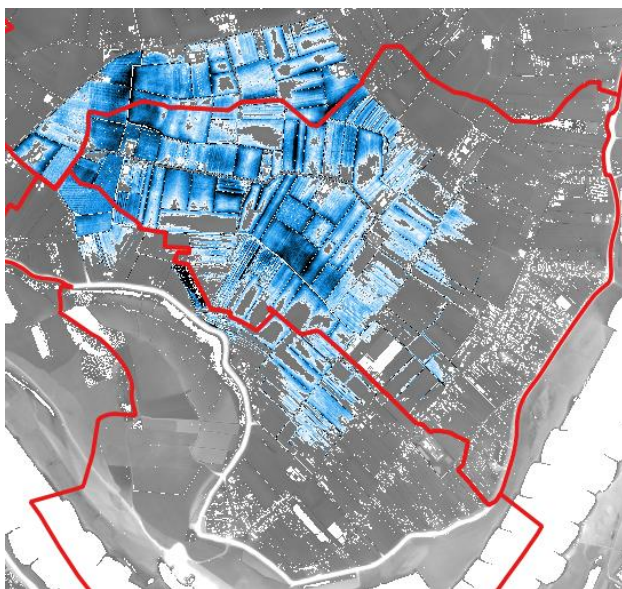


Figuur 12. Satellietfoto met daarin aangegeven de voorbeeldlocaties Heesselt (groen) en Varik (rood) (bron: Google Earth).

² Voor deze secundaire functies is geen berekening nodig. Voor nadere details, zie hoofdstuk 3.

Voor de functies inspecteerbaarheid, (spoor)wegverkeer en recreatie wordt met Hydra-NL de benodigde kruinhoogte voor die functies berekend. Deze kruinhoogte kan eenvoudig worden vergeleken met de kruinhoogte benodigd voor de primaire functie.

Voor wateroverlast zijn er meer stappen nodig, hiervoor is geput uit KPR (2018). Eerst wordt met een sterk vereenvoudigde overstromingsberekening (bakjesbenadering) een schatting gemaakt van het oppervlak van het achterland dat onderloopt bij gemiddelde waterdieptes kleiner dan 20 cm binnen een postcodegebied³ (zie Figuur 13). Daarna wordt het representatieve waterstandsverloop voor de beschouwde locatie bepaald. Hiermee wordt een kritiek golfoverslagdebiet voor wateroverlast bepaald. Vervolgens wordt er middels een Hydra-NL som ook voor wateroverlast een benodigde kruinhoogte worden bepaald. Voor Varik en Heesselt geeft deze (sterk vereenvoudigde) methode een kritiek overslagdebiet van 0,3 l/s/m.



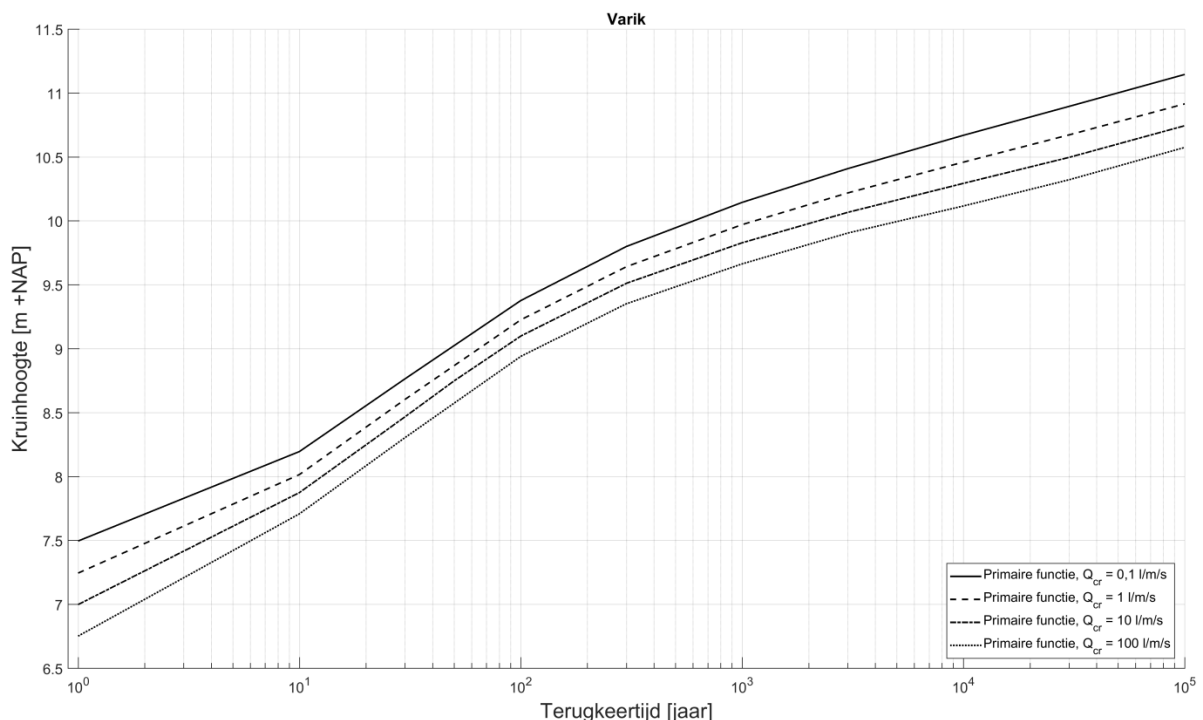
Figuur 13. Voorbeeld van eenvoudige overstromingsbenadering voor Varik en Heesselt, met postcodegebieden (rode lijnen) en inundatiediepte (blauw, donkerder is dieper). Gemiddelde inundatie in het getoonde postcodegebied is ca. 10 cm.

³ Hiervoor is gebruik gemaakt van QGis v3.4.0, AHN3 DTM files van www.pdok.nl en shapefile van de postcodegebieden gemaakt door ESRI Nederland onder de [CC-BY 3.0 NL](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/nl/) licentie.

Tabel 9. Relevante secundaire functies voor voorbeeld Varik.

	Secundaire functie	Q_{cr} [l/s/m]	Norm [1/j]
1	Regulier onderhoud en inspecties ⁴	Berekening niet nodig	
2	Inspecteerbaarheid en noodreparaties in extreme omstandigheden	10	1/1.000 ⁵
3	Wateroverlast	0,3	1/50
5	Wegverkeer	1	1/10
8	Recreatie	1	1/1
9	Agrarisch medegebruik	Berekening niet nodig	
10	LNC-waarden	Berekening niet nodig	

De resultaten van de Hydra-NL berekeningen voor Varik zijn weergegeven in Figuur 15. Omdat deze figuur vrij veel informatie bevat, wordt deze figuur stapsgewijs opgebouwd. In Figuur 14 is voor Varik de benodigde kruinhoogte uitgezet tegen de terugkeertijd voor verschillende kritieke overslagdebieten. Deze lijnen geven inzicht in de gevolgen van het veranderen van het kritiek overslagdebiet (verticale afstand tussen lijnen) of het veranderen van de norm (steilheid van de lijn).

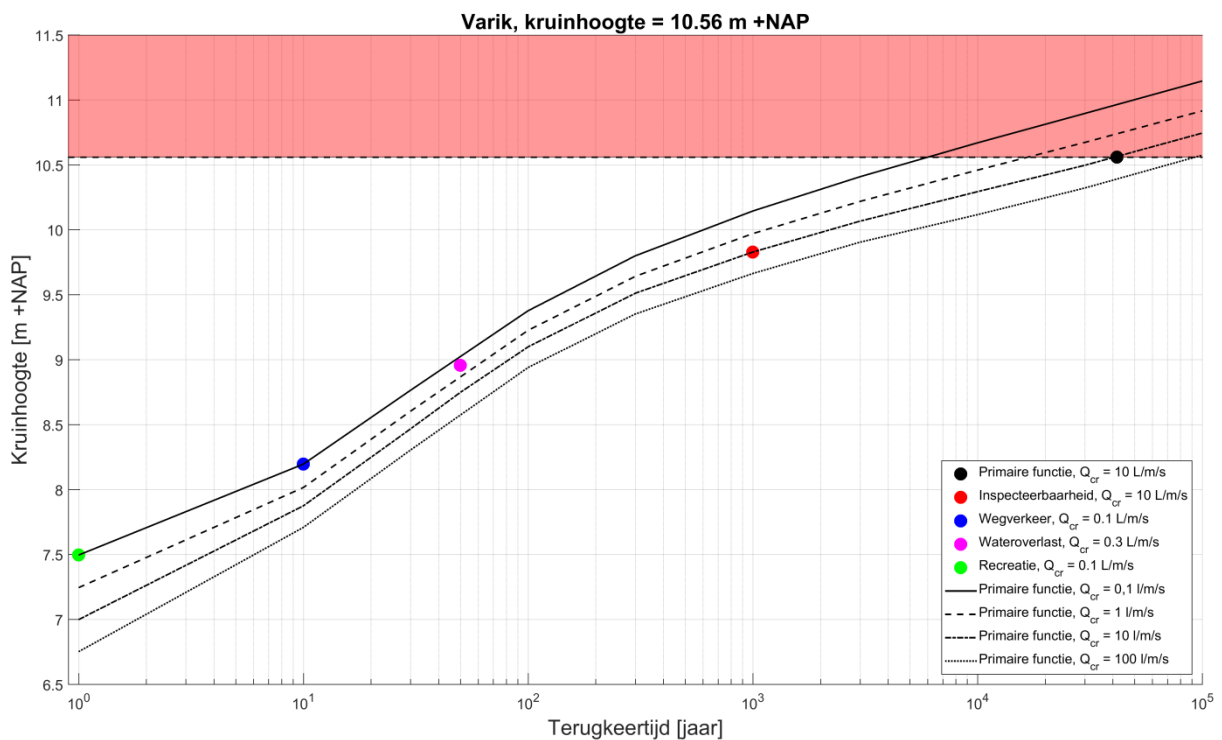


Figuur 14. De benodigde kruinhoogte tegenover de terugkeertijd, voor verschillende golfoverslagdebieten.

⁴ Voor deze secundaire functies is geen berekening nodig. Voor nadere details, zie hoofdstuk 3.

⁵ De trajectnorm voor Varik (traject 43-6) is 1/10.000 per jaar (ondergrens). Voor deze functie is een factor 10 soepelere norm aangehouden.

In Figuur 15 zijn de benodigde kruinhoogtes voor primaire en secundaire functies van voorbeeldlocatie Varik toegevoegd aan de lijnen uit Figuur 14. Hieruit blijkt dat de benodigde dijkhoogte van de primaire functie hoog genoeg is om ook de secundaire functies te waarborgen. De trajectnorm voor Varik is 1/10.000 per jaar en de lengte-effectfactor is 1. Gezamenlijk met een kritiek golfoverslagdebiet van 10 l/s/m zorgt dit voor een doorsnede eis van $0.24/(1 \cdot 10.000) = 1/41.667$ per jaar. Voor de functie inspecteerbaarheid spreekt dat voor zich, omdat die functie dezelfde waarde voor de Q_{cr} heeft, maar een minder strenge norm (ergo: die voldoet dus per definitie als de primaire functie voldoet). De andere secundaire functies hebben kleinere (en dus strengere) Q_{cr} , maar niet genoeg om maatgevend te worden.



Figuur 15. Benodigde kruinhoogte voor primaire en secundaire functies voor de voorbeeldlocatie Varik.

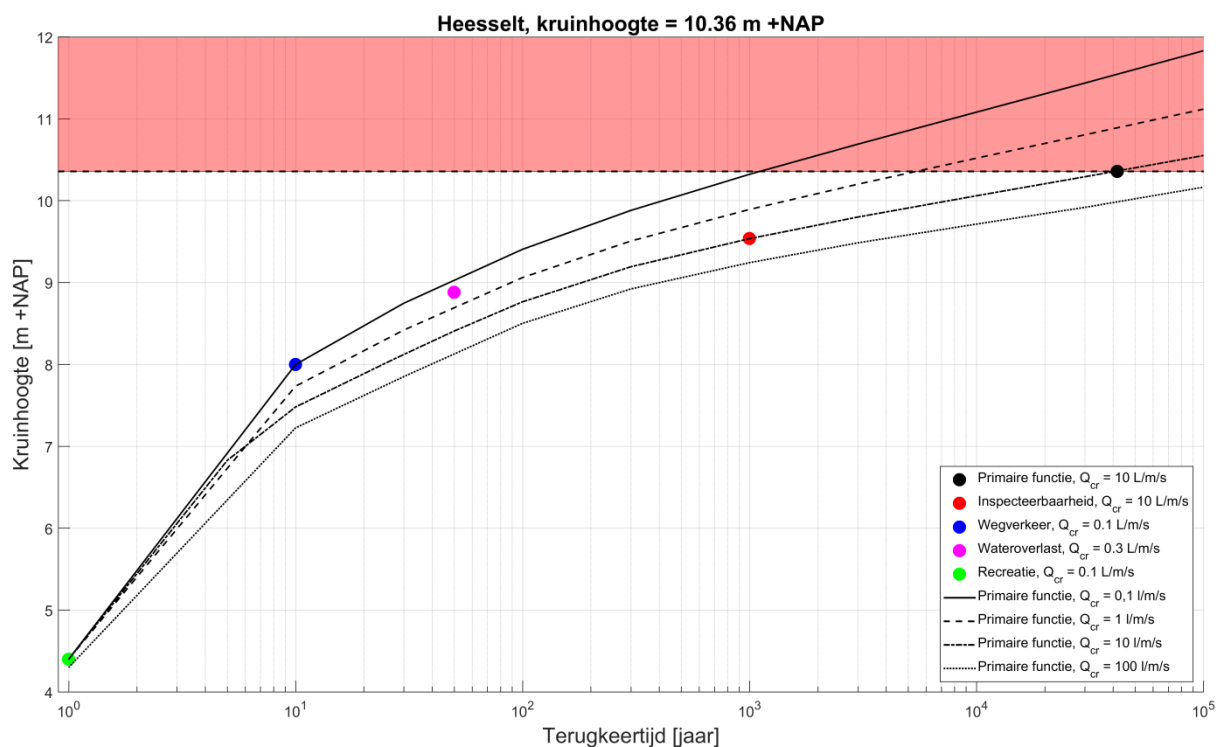
4.2. Heesselt

In Figuur 12 wordt de ligging van de voorbeeldlocatie Heesselt aangegeven. De relevante secundaire functies zijn samengevat in Tabel 10, en zijn gelijk aan die van de locatie Varik. Het voornaamste verschil tussen de locaties, naast de ligging, is de oriëntatie van het profiel.

Tabel 10. Relevante secundaire functies voor voorbeeld Heesselt.

	Secundaire functie	Q_{cr} [l/s/m]	Norm [1/j]
1	Regulier onderhoud en inspecties	Berekening niet nodig	
2	Inspecteerbaarheid en noodreparaties in extreme omstandigheden	10	1/1.000 ⁶
3	Wateroverlast	0,3	1/50
5	Wegverkeer	1	1/10
8	Recreatie	1	1/1
9	Agrarisch medegebruik	Berekening niet nodig	
10	LNC-waarden	Berekening niet nodig	

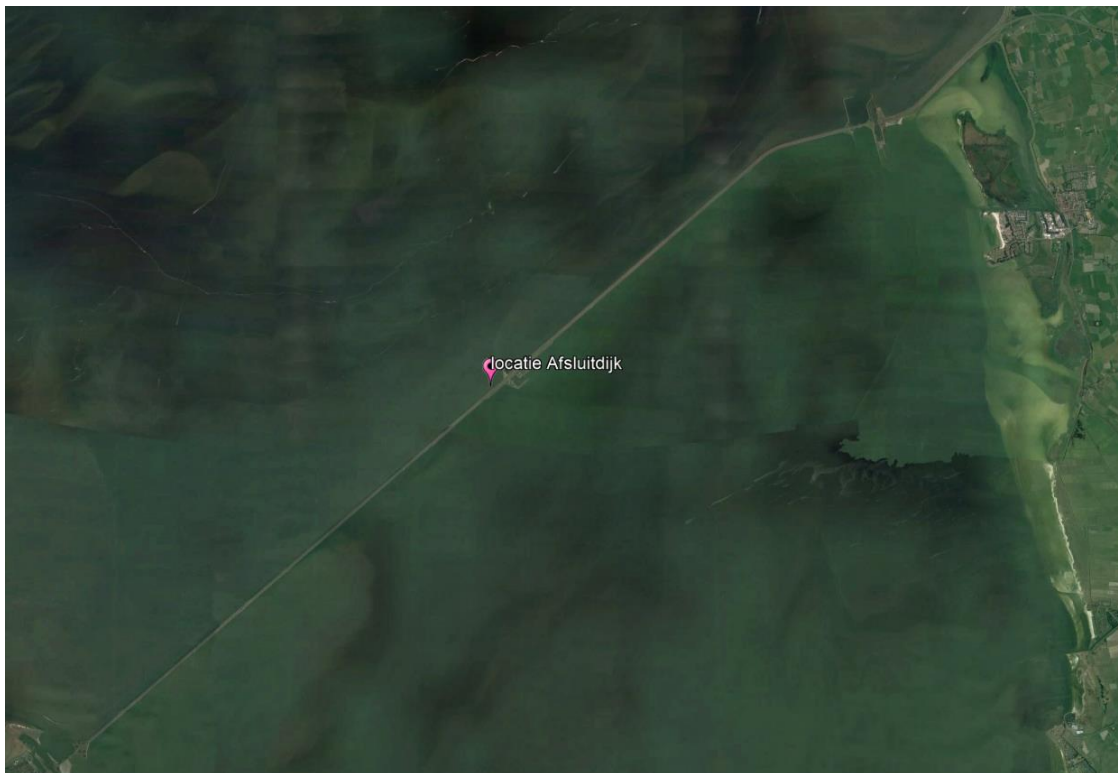
Voor de voorbeeldlocatie Heesselt wordt dezelfde werkwijze gevolgd als beschreven bij de voorbeeldlocatie Varik. In Figuur 16 zijn de benodigde kruinhoogtes voor primaire en secundaire functies van voorbeeldlocatie Heesselt weergegeven. Deze figuur kent dezelfde opbouw als de figuren voor Varik Ook hier is, net als bij voorbeeldlocatie Varik, de kruin hoog genoeg om ook de secundaire functies te faciliteren.



Figuur 16. Benodigde kruinhoogte voor primaire en secundaire functies voor de voorbeeldlocatie Heesselt.

⁶ De trajectnorm voor Heesselt (traject 43-6) is 1/10.000 per jaar (ondergrens). Voor deze functie is een factor 10 soepelere norm aangehouden.

4.3. Afsluitdijk



Figuur 17. Satellietfoto met daarin de voorbeeldlocatie Afsluitdijk (roze) aangegeven (bron: Google Earth).

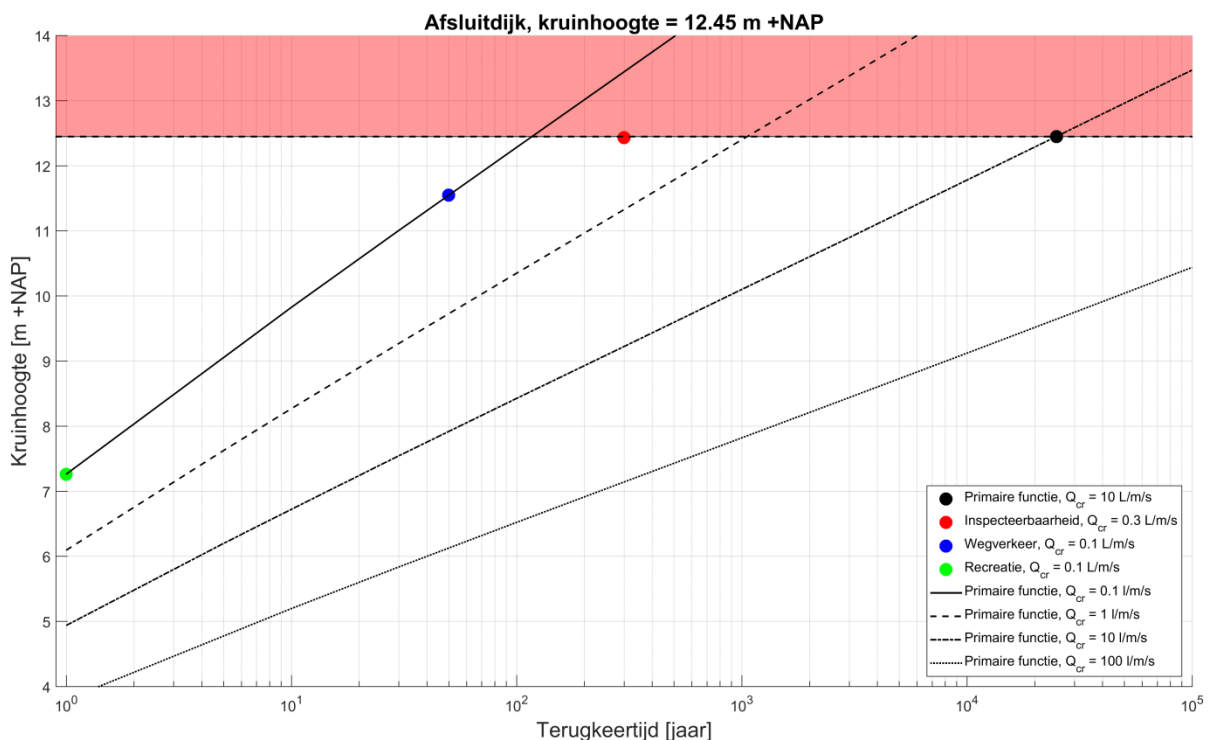
De relevante secundaire functies van de Afsluitdijk zijn weergegeven in Tabel 11. De veelvoorkomende functies regulier onderhoud en inspecties (wordt hier verder niet beschouwd) en inspecteerbaarheid in extreme omstandigheden zijn ook hier relevant. Daarnaast ligt er een snelweg (de A7) over de Afsluitdijk, dus er is belangrijke weginfrastructuur die overlast kan ondervinden van overslaand water. Tussen de snelweg en de kruin loopt een fietspad voor recreanten en de Afsluitdijk vertegenwoordigt een belangrijke cultuurhistorische waarde.

Tabel 11. Relevante secundaire functies voor voorbeeld Afsluitdijk.

	Secundaire functie	Q_{cr} [l/s/m]	Norm [1/j]
1	Regulier onderhoud en inspecties	Berekening niet nodig	
2	Inspecteerbaarheid en noodreparaties in extreme omstandigheden	0.3	1/300 ⁷
5	Wegverkeer	1	1/50
8	Recreatie	1	11
10	LNC-waarden	Berekening niet nodig	

⁷ De trajectnorm voor de Afsluitdijk (traject 201) is 1/3.000 per jaar (ondergrens). Voor deze functie is een factor 10 soepelere norm aangehouden.

In Figuur 18 worden de resultaten voor de voorbeeldlocatie Afsluitdijk weergegeven. De figuur laat de benodigde kruinhoogte voor primaire en secundaire functies zien, uitgezet tegen de terugkeertijd. De trajectnorm voor de Afsluitdijk is 1/3.000 en de lengte-effectfactor is 2. Gezamenlijk met een kritiek golfoverslagdebiet van 10 l/s/m zorgt dit voor een doorsnede eis van $0.24/(2*3000) = 1/25.000$ per jaar. Om de primaire functie te kunnen vervullen is er een kruinhoogte van 12,45 m +NAP nodig. Zoals te zien is in de figuur, resulteren de eisen die voortvloeien uit de functies recreatie en (spoor)wegverkeer in een lagere benodigde kruinhoogte dan de primaire functie. Voor de inspecteerbaarheid is de benodigde kruinhoogte slechts 2 cm lager dan de benodigde kruinhoogte vanuit de primaire functie. In dit geval zijn er dus net geen extra maatregelen nodig om de secundaire functies te faciliteren.



Figuur 18. Benodigde kruinhoogte voor primaire en secundaire functies voor de voorbeeldlocatie Afsluitdijk.

4.4. Duiding van resultaten uit voorbeelden

De drie uitgewerkte voorbeelden laten duidelijk verschillend gedrag zien. In Varik en Heesselt ligt de benodigde kruinhoogte voor de secundaire functies significant lager dan de kruinhoogte benodigd voor de primaire functie. Dat betekent ook dat een verandering in norm of kritiek overslagdebiet niet snel zal zorgen dat de secundaire functies maatgevend worden. Duidelijk is ook dat voor deze locaties het veranderen van het kritieke golfoverslagdebiet een relatief beperkte invloed heeft op de benodigde kruinhoogte. Anders gezegd, golven zijn minder belangrijk op deze locaties. Dat is overigens niet noodzakelijk het geval op alle locaties in het rivierengebied. Met name in het Benedenrivierengebied zijn er locaties met grote strijklengtes (brede wateren zoals in het Haringvliet) waar golven wel belangrijk zijn.

In contrast daarmee de Afsluitdijk, waar het veranderen van het kritieke golfoverslagdebiet meters kan uitmaken op de benodigde kruinhoogte. Op deze locatie zijn golven dus weldegelijk erg belangrijk. Juist op deze locaties waar het golfoverslagdebiet zoveel effect heeft, is het veel waarschijnlijker dat een hoger toegestaan golfoverslagdebiet voor de primaire functie conflicteert met de kleinere debieten voor de secundaire functies. In het voorbeeld voldoet de kruinhoogte voor de primaire functie nog net voor de primaire functies. Het is goed mogelijk dat er langs de Afsluitdijk een andere locatie te vinden is waar dat niet meer het geval is, en de secundaire functie inspecteerbaarheid maatgevend wordt.

In Figuur 15, Figuur 16 en Figuur 18 is niet alleen te zien of secundaire functies maatgevend zijn, ook is te zien hoeveel speelruimte er nog is. Dit kan enerzijds door de benodigde kruinhoogtes voor primaire en secundaire functies met elkaar te vergelijken. Anderzijds kan de het snijpunt van de lijn met het desbetreffende kritiek golfoverslagdebiet en het rode vlak beschouwd worden. Zo is bijvoorbeeld het wegverkeer op de Afsluitdijk (Figuur 18) met een terugkeertijd van ca. 100 jaar gehinderd (i.p.v. de geëiste 50 jaar). Deze manier van naar de resultaten kijken kan ook uitkomst bieden bij discussies over de getalswaarde van een norm. Men zou bijvoorbeeld aan recreatie in Heesselt (Figuur 16) een norm van 1/10 of zelfs 1/100 per jaar kunnen hanteren, zonder dat de eisen aan recreatie maatgevend worden voor de kruinhoogte. Daarnaast laten de lijnen in de figuren zien wat het effect is van een verandering van de norm, zowel in termen van terugkeertijd als in kritiek overslagdebiet.

5. Handelingsperspectief

Wanneer blijkt dat het ontwerp gebaseerd op het vervullen van de primaire functie van de waterkering niet voldoet voor (één van de) secundaire functies, dient de ontwerper te handelen. De mogelijke aanpassingen laten zich groeperen in drie 'vrijheidsgraden':

1. Vergroten van de sterkte/verkleinen van de belasting
2. Aanpassen van de normstelling
3. Aanpassen van de secundaire functie

Vergroten sterkte/verkleinen belasting

Als men het ontwerp zodanig aan kan passen dat er minder golfoverslag plaatsvindt, kan dit genoeg zijn om de secundaire functies wel te faciliteren. Hierbij kan gedacht worden aan het simpelweg ophogen van de kruin, het toepassen van grotere ruwheid op het buitentalud of het implementeren van maatregelen die de golfhoogte reduceren. Let hierbij op dat de beoogde maatregelen effectief zijn bij de situatie die maatgevend is voor de secundaire functie. Als bijvoorbeeld een situatie met een wat lagere waterstand maatgevend is voor de secundaire functie, moet de maatregel effectief zijn juist bij die lagere waterstand, en niet noodzakelijk bij de hogere waterstand die maatgevend is voor de primaire functie.

Aanpassen normstelling

Een andere mogelijkheid wanneer een waterkering niet voldoet voor een secundaire functie is het aanpassen van de gehanteerde norm. Voor sommige secundaire functies, zoals het faciliteren van wonen, zal dit maatschappelijk gevoelig liggen. Daarmee is het aanpassen van de norm lang niet altijd een oplossing. Bij de functie zoutbezwaar is het bijvoorbeeld wel denkbaar dat het voor sommige trajecten minder erg is als er wat frequenter een grotere zoutlast optreedt. Bijvoorbeeld als er geen drinkwater wordt gewonnen in het gebied en er gewassen worden geteeld die resistent zijn tegen zout. Bij een aanpassing van de normstelling kunnen weergaves als in Figuur 15, Figuur 16 en Figuur 18 helpen het beleid te bepalen. De lijnen in de figuren geven immers aan tot welke terugkeertijd bepaalde kritieke overslaggebieden gehaald worden voor een vaste kruinhoogte.

Aanpassen secundaire functies

De (invulling van) de secundaire functies van de waterkering kan ook aangepast worden om zo het probleem weg te nemen. Dit zou kunnen door middel van beleidsmaatregelen, bijvoorbeeld een (spoor)weg langs een waterkering wordt afgesloten als er golfoverslag dreigt, of het seizoensgebonden maken van bepaalde vormen van recreatie.

Daarnaast zijn er ook fysieke mitigerende maatregelen te bedenken die het probleem wegnemen. Bijvoorbeeld het ophogen van een weg naast de waterkering, eventueel in combinatie met duikers onder de weg om het overslaande water af te voeren. Een ander voorbeeld is het bestendig maken van woningen tegen golfoverslag.

6. Conclusies en aanbevelingen

6.1. Conclusies

In dit memo is een kader opgesteld voor het ontwerpen van de secundaire functies van een waterkering op golfoverslagdebiet. Merk op dat dit ontwerpkader geen officiële status heeft. Om tot het kader te komen is eerst een overzicht gemaakt van potentiële secundaire functies van de waterkering die invloed ondervinden van golfoverslag en die een waterkeringbeheerder zou willen faciliteren. Het ontwerpkader bestaat uit een kritiek overslagdebiet en een normfrequentie per secundaire functie. Hiermee kan berekend worden of een ontwerp voor een waterkering aan de eisen voor secundaire functies.

Er is dus voor elke relevante secundaire functie een golfoverslagdebiet vastgesteld waarbij de functie nog net vervuld kan worden (kritiek golfoverslagdebiet). Niet voor iedere secundaire functie kan hiervoor een generieke waarde worden aangehouden, voor enkele functies zullen deze kritieke golfoverslagdebieten trajectafhankelijk bepaald moeten worden. Ook is voor iedere secundaire functie een normfrequentie voorgesteld. Merk op dat het vaststellen van een norm een beleidsbeslissing is, daarom blijft het in dit memo slechts bij een voorstel.

Het opgestelde ontwerpkader is toegepast op drie voorbeeldlocaties met fictieve dijkprofielen. De resultaten hiervan geven inzicht in het belang van secundaire functies bij het ontwerp en de gevoeligheid van de keuzes omtrent de normstelling en golfoverslagdebieten. Zo is het effect van het kiezen van een strenger golfoverslagdebiet in termen van benodigde kruinhoogte gering voor de locaties Varik en Heesselt, maar voor de Afsluitdijk betekent het een verschil van meer dan 1 m.

Afsluitend wordt een aantal opties geschetst voor wanneer de eisen aan een secundaire functie maatgevend worden in het ontwerp. Hierin zijn drie oplossingsrichtingen gedefinieerd: het vergroten van sterkte/verkleinen belasting, het aanpassen van de normstelling en het aanpassen van de secundaire functie.

6.2. Aanbevelingen

Voor een deel van de in hoofdstuk 3 besproken functies is vastgesteld dat (ook) geotechnische faalmechanismen een significante rol spelen. Daarmee zou het nuttig zijn om soortgelijk ontwerpkader uit te werken, bijvoorbeeld voor macrostabiliteit. Daarvoor zou, op een manier vergelijkbaar met de figuren in hoofdstuk 4, de waterstand uitgezet kunnen worden tegen de terugkeertijd, om zo de verschillende secundaire functies betreffende macrostabiliteit te beschouwen.

Voor het definiëren van de eisen aan kritiek golfoverslagdebiet per secundaire functie is gebruik gemaakt van bestaande kennis. Voor sommige functies is deze bestaande kennis beperkt. Wanneer het in de praktijk lijkt dat juist één van deze functies maatgevend is, zou het kunnen lonen om de eisen voor die functie beter te onderbouwen.

7. Referenties

Allsop, N.W.H., T. Bruce, J. Pearson, J.S. Alderson en T Pullen 2003. *Violent wave overtopping at the coast: when are we safe?* Proceedings of the International Conference on Coastal Management, 2003. Pp. 54-69.

Deltares, 2017a. *UGT en BGT bij het ontwerpen van een waterkering*. Auteur: Nelle van Veen. Memorandum 11200575-013-GEO-0004, 11 december 2017.

Deltares, 2017b. *KPP Versterking Onderzoek Waterveiligheid: Toestand bekledingen*. Auteurs: Paul van Steeg en Mark Klein Breteler. Rapport 11200537-005-ZWS-0003, 12 december 2017.

Deltares, 2017c. *Onderbouwing kansverdelingen kritisch overslagdebiet ten behoeve van het OI2014v4*. Auteurs: André van Hoven en Jentsje van der Meer. Rapport 1230090-011-GEO-0006, februari 2017.

ENW, 2017. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming*. Tweede druk.

EurOtop, 2016. *Manual on wave overtopping of sea defences and related structures: An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application*. www.overtopping-manual.com, tweede editie.

Gemeente Dordrecht, 2014. *Beeldkwaliteitplan binnenstad*. Maart 2014.

Kennisplatform Risicobenadering (KPR), 2018. *Hoe om te gaan met waterbezwaar als gevolg van hoge golfoverslagdebieten?* Auteurs: Durk Riedstra, Ilka Tánčzos en Alfons Smale, 15 oktober 2018.

Kennisplatform Risicobenadering (KPR), 2017. *UGT en BGT bij het ontwerpen van waterkeringen (discussiestuk)*. Auteurs: Wouter ter Horst en Bob van Bree. Factsheet, twee versies: 20 april 2016 en 19 oktober 2017.

POVM/Deltares, 2018. *POVM - Integrale benadering toegestaan golfoverslagdebiet*. Auteurs: Suzanna Zwanenburg, Paul van Steeg en André van Hoven. Rapport 11201043-002-HYE-0001, 6 juli 2018.

Rijkswaterstaat, 2017. *Basisspecificatie – Dijk*. Versie 3.0.1, 1 december 2017.

Rijkswaterstaat Zeeland & Projectbureau Zeeweringen, 2015. *Handreiking Dijkbekledingen – Deel 1: Algemeen*. Januari 2015.

Sweco, 2018. *Plan van aanpak voor het opstellen van een ontwerp kader voor de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) bij het ontwerpen van waterkeringen*. Auteur: Nienke Lips. Rapport 357475, 9 april 2018.

