



Waterschap
Rivierenland

*sterke dijken
schoon water*



Innovatie kruinhoogte

Kunnen we verdere kruinverhoging beperken?

De nieuwe normen en het nieuwe ontwerpinstrumentarium lijken op veel plaatsen niet alleen sterkere, maar ook hogere dijken noodzakelijk te maken. Ook in het rivierengebied. Dijkverhoging betekent meestal een groter ruimtebeslag. En dat terwijl ook maatregelen tegen piping en om de stabiliteit van dijken te vergroten al veel ruimte vragen. Ruimte van bewoners en ondernemers met op- en afritten, of natuurgebied. Daar komt bij dat op veel plaatsen de dijken kortgeleden nog zijn verhoogd, of dat rivierverruimende maatregelen zijn genomen. Dijkverhoging vraagt grote investeringen en vermindert tevens het woongenot van de burgers die langs de dijk wonen. Alles bij elkaar redenen genoeg om te verkennen of conventionele dijkverhoging valt te voorkomen.

Waterschap Rivierenland heeft het initiatief genomen en met steun van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) onderzoek laten doen naar alternatieven voor conventionele kruinverhoging. De directe aanleiding vormt de dijkversterking Tiel-Waardenburg, die buitengewoon lastig is (hoogteopgave ca. 1 m) met veel huizen die dicht op de dijk staan. De uitkomsten van het onderzoek zijn echter voor veel dijktrajecten relevant, vooral in het rivierengebied.

Aanpak op hoofdlijnen

Er is onderzoek gedaan naar drie groepen maatregelen, namelijk:

- 1 die de belasting op de dijk verkleinen, vooral de golfbelasting*
- 2 die de kerende hoogte vergroten zonder extra ruimtebeslag*
- 3 die de sterkte van het binnentalud zodanig vergroten dat overloop en overslag niet tot dijkdoorbraak leiden*

Eerst is globaal verkend welke maatregelen allemaal in aanmerking zouden kunnen komen. Daarna is voor een selectie van maatregelen de effectiviteit onderzocht; waarbij de betekenis van effectiviteit varieerde van te bereiken kruinverlaging, via te keren hoogte, tot toelaatbaar overslagvolume. Noodmaatregelen (zandzakken of strobalen) en maatregelen die als structurele oplossing onvoldoende betrouwbaar werden gevonden (bijvoorbeeld watergevulde slangen), zijn niet verder beschouwd. Ten slotte zijn de maatregelen breder beoordeeld op hun toepasbaarheid, met behulp van een afwegingskader.

Het dijkversterkingsproject Tiel-Waardenburg gaat nu verder met de ontwerp-opgave om deze maatregelen te combineren, met elkaar en met conventionele maatregelen, om de dijk aan de nieuwe normen te laten voldoen met behoud of versterking van de ruimtelijke kwaliteit van dit traject.





Grienden als golfdempende begroeiing bij Steurgat (Noordwaard)

Golfdempende begroeiing

Onderzochte maatregelen: hun effect en voor- en nadelen

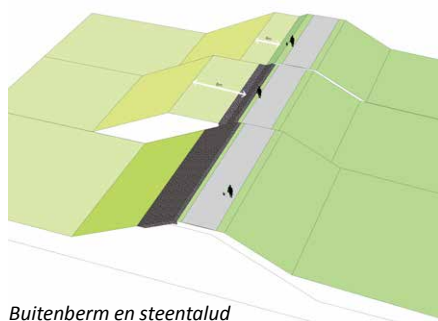
Golfoverslagvolume verkleinen

Om het golfoverslagvolume te verkleinen tot onder een aanvaardbare hoeveelheid, moet hetzij de golfhoogte worden verkleind – maar liefst ook het watervolume in de golf –, of de oploop tot (over de) kruin worden beperkt.

Daarvoor komen in aanmerking:

- *golfdempende begroeiing op het voorland*
- *een buitenberm die de golven doet breken*
- *steenbestorting op het buitentalud die de golfoploop beperkt.*

Bij het onderzoek naar wat begroeiing op het voorland zou kunnen betekenen (rapport van [Deltares](#), 2016), moest met een tweedimensionaal golfmodel (SWAN) worden gerekend. Daarbij bleek dat golven door stroming gereduceerd worden. Dit



Buitenberm en steentalud

effect kan lokaal tot ca. 0,2 m reductie op de benodigde dijkhoogte opleveren. Deze reductie is (nog) niet verdisconteerd in de vigerende belastingmodellen en leidraden.

Begroeiing op het voorland kan de golven vervolgens nog zoveel dempen dat, afhankelijk van de locatie, de breedte van de begroeiingsstrook en het soort begroeiing, in het onderzoeksgebied nog een 0,1-0,4 m lagere kruin mogelijk is. Hoe hoger de golven zijn, des te effectiever de demping en reductie op de benodigde dijkhoogte. Echter naarmate golven meer uitgedempt worden gaat de waterstand een grotere rol spelen in het bepalen van de benodigde kruinhoogte. Dit betekent dat dan een hogere waterstand moet worden aangehouden dan in de situatie met (hogere) golven. Begroeiing met dichte takkenstelsels op hoogwaterniveau is het meest effectief, zoals wilgengriend of meidoornstruweel. Bos met verspreid staande stammen en het takkenstelsel boven hoogwater dempt veel minder. En de begroeiingsstrook moet veel meer dan 20 m breed zijn; dat kan in het rivierengebied onaanvaardbare opstuwing veroorzaken, en is dus alleen in brede stroomluwe uiterwaarden mogelijk. Maar juist daar vormen golven vaak een belangrijke bijdrage aan de belasting op de dijk. Net zoals langs de grote wateren en meren van West- en Noord-Nederland.

Een buitenberm ([HKV](#), 2016) op of net onder hoogwaterniveau breekt de golven. Daardoor kan de kruin van de dijk lager: ongeveer 0,1-0,4 m. Hoe breder de berm, des te lager de dijk kan. Bij een smalle berm (4 m) kan de dijk niet heel veel lager. Maar een heel brede berm (> 8 m) vraagt natuurlijk weer veel ruimte, terwijl het verschil in hoogte tussen dijk kruin en berm dan juist klein wordt (een dikke 0,5 m). Het geheel oogt dan nog steeds breed, terwijl juist beperking van het ruimtebeslag werd beoogd. Op de berm is medegebruik goed mogelijk, bijvoorbeeld een fiets- of wandelpad, met haagjes en straatmeubilair. Voor dorpsfronten is het dus een interessante maatregel. De maatregel is elders wel toegepast, maar is nieuw voor het rivierengebied.

Bestorting met breuksteen op het buitentalud voorkomt dat golven tegen de dijk oplopen. In plaats daarvan slaan ze kapot. Daarbij komt er minder water over de kruin, die dan 0,1-0,2 m lager kan. Op groene dijken in het rivierengebied stuit steenbestorting op maatschappelijke weerstand. Bij schaarndijken is wel zetssteen gebruikt; die oogt veel prettiger en is goed beloopbaar, maar die remt golven niet effectief. Langs de grote meren, waar de peilverschillen niet zo groot zijn, is stortsteen wel een veel gebruikt materiaal op en voor dijken.

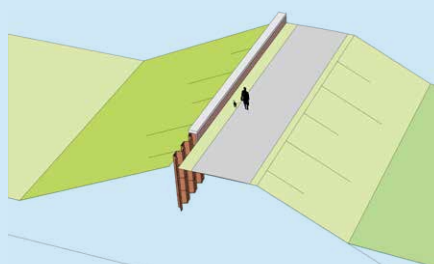
Kerende hoogte vergroten

Om de kerende hoogte te vergroten zonder extra ruimtebeslag komen veel constructieve maatregelen in aanmerking, die in het rapport van [Infram](#) (2016) zijn besproken en geïllustreerd. Grofweg gaat het om:

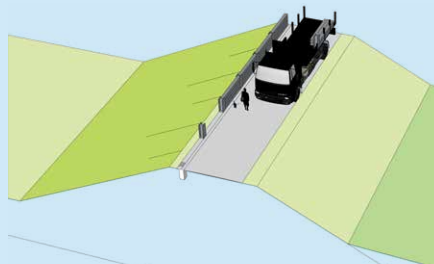
- een vaste keermuur
- tijdelijke waterkeringen, zoals:
 - een in de dijk verzonken wand
 - een wegneembare systeemwand

Een keermuur kan op de buitenrand van de kruin worden geplaatst. Meestal wordt, in verband met de sterkte, een damwand geslagen, die wordt afgewerkt met een betonnen deksloof en eventueel metselwerk. Met een holle buitenzijde of 'neus' wordt overslag effectief voorkomen. Tussen een muur en de rijweg moet 0,9 m ruimte worden gehouden, waardoor vaak een verbreding van de dijk nodig is. Met een keermuur kan het hoogtetekort volledig worden opgevangen, maar voor de vele op- en afritten in het rivierengebied zijn coupures nodig en boven een bepaalde hoogte wordt ook het uitzicht sterk belemmerd. Het karakter van een keermuur maakt de maatregel weinig geschikt voor landelijk gebied met groene dijken. Op een harde zeewering misstaat een niet te hoge damwand met betonnen deksloof echter niet.

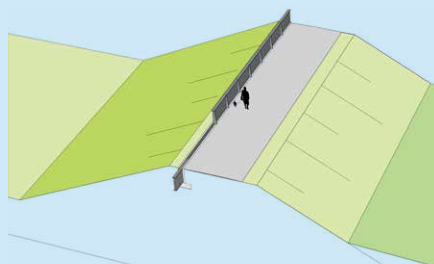
Een zelfsluitende of omhoog te draaien wand hoeft niet vanuit een opslagruimte te worden aangevoerd, want is in de dijk verzonken in een betonnen goot. Dat maakt hem kwetsbaar voor vervuiling, maar het voordeel is dat geen extra dijkbreedte nodig is, want de keerwand is in verzonken toestand overrijdbaar. En vrijwel onzichtbaar. Met deze maatregel kan een hoogtetekort volledig worden opgelost, maar de (kwets-bare) techniek en relatief hoge prijs staan grootschalige toepassing in de weg. Bij coupures en stadsfronten is het een aantrekkelijke maatregel.



Vaste constructie op de kruin



Tijdelijke kering - wegneembare systeemwand



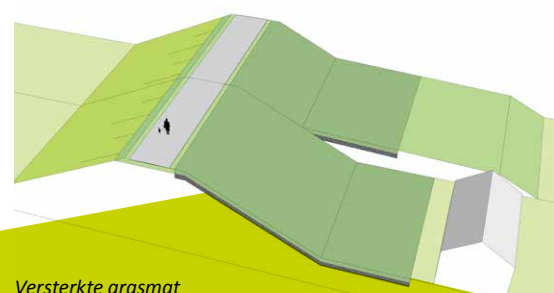
Tijdelijke kering - in dijk verzonken wand

Een systeemwand is een wand die alleen bij hoogwater wordt opgebouwd. Deze bestaat uit, bij grote hoogte meestal geschoorde, staanders waartussen schotbalken van staal, aluminium of (vooral vroeger) hout. Systeemwanden worden in het buitenland veelvuldig toegepast, tot wel 3 m kerende hoogte. In Nederland worden systeemwanden gebruikt langs de onbedijkte Maas. De logistiek van deze maatregel vraagt bijzondere aandacht (opslag, tijdige opbouw in relatie tot snelheid ontwikkeling hoogwatersituatie). Reden om er niet voor grote dijk lengtes van afhankelijk te willen zijn, en zeker niet in gebieden waar storm bepalend is voor gevaarlijk hoogwater. Ook deze maatregel leent zich vooral voor coupures en stadsfronten.

Binnentalud versterken

Door het versterken van het binnentalud rapport van [Infram](#) (2016) kan worden voorkomen dat de dijk faalt door grote hoeveelheden overslag of zelfs overlopen. In het nieuwe hoogwaterbeschermingsbeleid is sprake van falen als er een bres in de dijk ontstaat of als er zoveel water over de dijk komt dat het achterliggend watersysteem dit niet aan kan of plaatselijk onacceptabel diep wordt; daarvoor is in de nieuwe Grondslagen voor Hoogwaterbescherming een criterium opgesteld dat ongeveer overeenkomt met 0,2 m diep in een niet te klein gebiedje. Onder voorwaarden zou met een versterkt binnentalud een hoger overslagdebiet kunnen worden toegepast dan de momenteel voor primaire waterkeringen aan te houden 5 l/m/s. Voorwaarden zijn dat cruciale (gebruiks)functies in het invloedsgebied van de waterkering tot op zekere hoogte mogelijk blijven. Golfoverslag heeft mogelijk effect op het watersysteem (wateroverlast) en de toegankelijkheid van de dijk voor inspectie en evacuatie. Aan deze functies worden betrouwbaarheidseisen gesteld. De betrouwbaarheidseis geeft aan hoe groot de kans mag zijn dat de functie niet meer mogelijk is. Deze betrouwbaarheidseisen zullen voor dijktraject Tiel-Waardenburg naar verwachting lager zijn dan de veiligheidseis voor een overstroming (1/10.000).

Versterking van het binnentalud moet dus allereerst voorkomen dat erosie optreedt, waardoor de dijk uiteindelijk doorbreekt. Dat kan met harde bekleding, met geotextiel, of met kunststof doorgroeibare matten die eventueel onder de zoden kunnen. Een zorgpunt is dat zo'n versterking in ander materiaal dan grond aaneengesloten moet zijn en niet door (onderhouds-)werkzaamheden beschadigd raakt. Het is ook mogelijk om het binnentalud te versterken met een goede kleilaag en een goedverzorgde grasmat. Ook helpt het als knikken in het talud, aan boven en onderzijde, worden voorkomen.



Versterkte grasmat

Afwegingskader en redeneerlijn

| | effectiviteit | combineerbaarheid | kosten (NCW) in k€/m | functioneringszekerheid/ beheersbaarheid | inpasbaarheid/ ruimtelijke kwaliteit | aanpasbaarheid/ flexibiliteit | Totaal |
|---|---------------|-------------------|----------------------|--|--------------------------------------|-------------------------------|--------|
| golfdempende begroeiing uiterwaard | + | + | 0,2 - 1 | + | + | ++ | ++ |
| golffremming: haag buitentalud | + | + | 0,1 - 0,5 | - | - | 0 | - |
| buitenberm/steentalud | + | ++ | 0,3-1,2 | ++ | - | + | 0 / + |
| vaste constructie op kruin | ++ | + | 3-4 | ++ | 0 | - | 0 / + |
| tijdelijke kering op kruin | ++ | ++ | 3-7 | - | 0 | + | - |
| versterken binnentalud met vaste overlaging | ++ | + | 3-4 | 0 | - | -- | -- |
| grasversterking binnentalud | + | + | 0,2 | + | 0 | 0 | + |

De onderzochte maatregelen verschillen op veel punten. Daarom is een afwegingskader opgesteld om tot een eerste oordeel te komen over bruikbaarheid en aantrekkelijkheid. Dat kader sluit aan bij het hoofddoel, beperking kruinverhoging, mits tegen aanvaardbare kosten en onder voorwaarden van functioneringszekerheid en goede inpasbaarheid.

Concreet zijn de volgende criteria gebruikt:

- **Effectiviteit:** verlaging benodigde kruinhoogte/ vermindering overslagvolume, invloed op andere faalmechanismen, combineerbaarheid met andere maatregelen
- **Kosten:** 'Life Cycle Costs', dus van aanleg en van beheer en onderhoud (netto contant gemaakt)
- **Functioneringszekerheid en beheersbaarheid:** dat laatste zowel op lange termijn als tijdens een hoogwater
- **Inpasbaarheid en ruimtelijke kwaliteit:** ruimtebeslag, meekoppelkansen en neveneffecten
- **Aanpasbaarheid:** uitbreidbaarheid en omkeerbaarheid. Aan de hand van dit afwegingskader zijn de maatregelen besproken door waterschappers van het bureau en van de praktijk, adviseurs en ontwerpers, waarna gezamenlijk een redeneerlijn is opgesteld over de toepasbaarheid in het dijk versterkings-traject Tiel-Waardenburg.

Die redeneerlijn luidt:

0. *Maak gebruik van de (vrijwel kosteloze) mogelijkheid de hydraulische belasting opnieuw te berekenen, rekening houdend met stroming.*
 - 1a. *Reken het golfdempende effect van bestaande begroeiing in uiterwaarden door.*
 - 1b. *Plant in stroomluwe uiterwaarden golfdempende begroeiing aan waar ruimtelijk inpasbaar (hydraulische toetsing, Natura2000, landschapsbeeld).*
2. *Pas eventueel steentalud toe dat de golfploop vermindert bij schaar-dijken, bij smalle uiterwaarden of als begroeiing de rivierafvoer teveel belemmert.*
3. *Gebruik de bestaande (over)sterkte van de grasmat om grotere overslagvolumes toe te staan, of het versterken van het binnentalud met mat op dijkvakken die toch worden aangepakt; beide waar vanuit omgeving gezien meer (kortdurende) overslag toelaatbaar is.*
4. *Pas een buitenberm (of buitenwaartse verbreding) alleen dan toe als verhoging op grote bezwaren stuit en wanneer dit vanuit andere functie(s) wenselijk is (bijv. scheiden van verkeerstromen) en esthetisch aanvaardbaar.*
5. *Beperk de toepassing van tijdelijke en vaste constructies op de kruin tot stedelijk gebied, en tot die dijkvakken in landelijk gebied waar noch binnen-*

noch buitendijks ruimte is om de dijk in grond te verhogen.

6. *In geval van een vaste muur dient men over de muur te kunnen kijken (maximaal bijv. 1m hoog) en is ecologische inpasping (passages voor mens en dier) een aandachtspunt.*
7. *Noodmaatregelen / tijdelijke maatregelen worden niet in een ontwerp voor een structurele versterking over grote lengtes gebruikt, maar alleen op korte trajecten en om eventueel de levensduur van de waterkering te verlengen (bijv. als tijdens de levensduur blijkt dat het klimaat sneller verandert).*



Waterschap
Rivierenland

Voor meer informatie kunt u contact opnemen met:
Mathijs Bos, m.bos@wsrl.nl

Waterschap Rivierenland
Postbus 599
4000 AN Tiel
(0344) 64 90 90