

Verkenning deltadijken

Han Knoeff
Gerald Jan Ellen

1205259-000

Titel
Verkenning deltadijken

Project 1205259-000 **Kenmerk** 1205259-000-ZWS-0004 **Pagina's** 40

Trefwoorden
Deltadijk, overstromingsrisico, hoogwaterbescherming, waterkering, dijk

Samenvatting

In het nationaal Waterplan worden deltadijken beschreven als dijken die zo hoog, breed of sterk zijn dat de kans op een plotselinge en oncontroleerbare overstroming vrijwel nihil is. Deltadijken kunnen gecombineerd worden met andere functies.

Over deltadijken bestaan veel verschillende beelden. Daarbij worden aan deltadijken verschillende eigenschappen toegedicht. De meeste beelden van deltadijken leggen de nadruk op multifunctionaliteit. Dit rapport beschrijft de kansen en belemmeringen van deltadijken voor hoogwaterbescherming in Nederland.

Kenmerkend van deltadijken voor hoogwaterbescherming is dat door extra eisen aan de sterkte van een waterkering te stellen het overstromingsrisico verder wordt gereduceerd. De extra eisen dienen om de kans op en/of de gevolgen van een dijkdoorbraak te reduceren. De eisen hebben betrekking op faalkans en faalgedrag bij overbelasten. Door extra eisen aan faalgedrag wordt de kans op een plotselinge overstroming, en daarmee het slachtofferisico verkleind. Door scherpere eisen aan de faalkans wordt de kans op een oncontroleerbare overstroming en bijbehorende schade en slachtoffers gereduceerd. De exacte eisen zijn situatiespecifiek en worden lokaal vastgesteld.

Er is geen instrumentarium beschikbaar waarmee de relatie tussen faalgedrag en slachtofferisico kwalitatief kan worden bepaald. Vanuit maatschappelijke kosten en baten is het niet rendabel om overal 'doorbraakbestendige' deltadijken aan te leggen, waarbij de faalkans 100 keer kleiner is dan wordt voorgeschreven. Vanuit slachtofferisico is het aantrekkelijk om op ongeveer 200 kilometer 'doorbraakbestendige' deltadijken aan te leggen.

Referenties

-

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	sep. 2011	Han Knoeff		Jaap Kwadijk			
	okt. 2011	Han Knoeff		Jaap Kwadijk		Toon Segeren	
	nov. 2011	Han Knoeff		Jaap Kwadijk		Toon Segeren	
	feb. 2012	Han Knoeff		Jaap Kwadijk		Gerard Blom	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Doel van de verkenning deltadijken	2
1.3 Waarom een verkenning deltadijken	2
1.4 Opbouw van het rapport	3
2 Dijken in historisch perspectief	5
2.1 Stormvloedramp van 1953 en aanbevelingen van Deltacommissie	5
2.2 Huidige overschrijdingskansbenadering van hoogwaterbescherming	5
2.3 Ontwerp conform de TAW (ENW) Leidraden	6
2.4 Nieuwe inzichten en ontwikkelingen	7
2.5 Overstromingskansbenadering: Marsroute en VNK	7
3 Wat is een deltadijk?	9
3.1 Perspectieven voor deltadijken	9
3.2 Verschillende beelden	9
3.3 Uitwerking functie hoogwaterbescherming	12
4 Een uitwerking van de deltadijk	17
4.1 Uitgangspunten	17
4.2 Ontwerp	19
4.3 Investeringskosten	21
4.4 Vermeden schade	23
4.5 Slachtofferrisico's	24
5 Juridische en bestuurlijke haalbaarheid van deltadijken	27
5.1 Juridische haalbaarheid	27
5.2 Bestuurlijke haalbaarheid	28
6 Toekomst perspectief van de deltadijk	29
6.1 De deltadijk in het licht van het historisch perspectief	29
6.2 Waar, welke locaties?	29
6.3 Hoe, welke eisen?	31
6.4 Wanneer, maatregel of strategie?	32
7 Conclusie	33
Referenties	35
Bijlage(n)	
A Colofon	A-1
B Veiligheidseisen conform de Leidraden	B-1

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het Nationaal Waterplan (NWP) is het rijksplan voor het waterbeleid voor de periode 2009-2015. Dit plan geeft op hoofdlijnen aan welk beleid het Rijk in deze periode 2009 - 2015 voert om te komen tot een duurzaam waterbeheer. Het Nationaal Waterplan richt zich op bescherming tegen overstromingen, voldoende en schoon water en diverse vormen van gebruik van water. Voor de bescherming tegen overstromen beschrijft het plan drie lagen; preventie, ruimtelijke inrichting en rampenbeheersing. Voor de preventielaag wordt voor 2040 het volgende streefbeeld beschreven:

'Preventie is de hoeksteen van het waterveiligheidsbeleid. Er is een nieuw normenstelsel van kracht dat de veiligheid van dijkringen uitdrukt in overstromingskansen. Alle primaire waterkeringen voldoen aan de vigerende normen. Naast de nu al bestaande keringen zijn andere, innovatieve concepten ontwikkeld en gerealiseerd zoals de deltadijk (robuuste of brede dijken). Sommige primaire keringen gelegen in kwetsbare stedelijke gebieden zijn omgevormd tot hele brede dijken, die ook voor andere functies worden gebruikt. Een groot aantal dijken in Nederland wordt ook gebruikt voor andere doeleinden, zoals recreatie, energieopwekking en natuur (NWP, pag 70)'.

Het kabinet geeft in het NWP aan dat zij met een verkenning van deltadijken de haalbaarheid van nieuwe preventieve concepten voor het beheersen van overstromingsrisico's wil onderzoeken. Het gaat daarbij om zowel het robuuster versterken van waterkeringen als ook om het innovatief combineren met andere functies. Voor de deltadijk gebruikt het NWP de definitie uit het eindrapport van de commissie Veerman Deze omschrijving is weergegeven in onderstaande tekstbox.

Deltadijken

Deltadijken zijn zo hoog, breed of sterk dat de kans op een plotselinge en oncontroleerbare overstroming vrijwel nihil is. Afhankelijk van de specifieke situatie, verschilt het karakter van de Deltadijk: de precieze uitvoering vereist plaatselijk maatwerk. Het kan in de vorm van een doorbraakbestendige dijk, in de vorm van een extra hoge dijk, een hele brede dijk, of een van binnen extra versterkte dijk (bijvoorbeeld door het aanbrengen van damwanden). Het gaat er om de risico's (ofwel kansen ofwel gevolgen) op een (economisch) optimale manier te verminderen.

Deltadijken kunnen, afhankelijk van hun vorm, gecombineerd worden met andere functies. In stedelijk gebieden zouden Deltadijken bijvoorbeeld kunnen worden gecombineerd met projecten waarin bedrijventerreinen en woonwijken opnieuw ingericht worden. Wanneer infrastructuur in of op een dijk wordt ondergebracht, ontstaat echte ruimtewinst en ruimtelijke kwaliteit.

Tekstbox 1.1 Omschrijving deltadijk in het Nationaal Waterplan

Dit rapport bevat de resultaten van een verkennend onderzoek naar de kansen en beperkingen van deltadijken voor hoogwaterbescherming in Nederland, inclusief ruimtelijke en financiële consequenties. *Voor hoogwaterbescherming stellen deltadijken extra eisen aan de sterkte van een waterkering waardoor het overstromingsrisico verder wordt gereduceerd. De extra eisen dienen om de kans op en/of de gevolgen van een dijkdoorbraak te reduceren. De eisen hebben betrekking op faalkans en faalgedrag bij overbelasten.* Het rapport maakt inzichtelijk waar in Nederland het concept deltadijk kansrijk is.

1.2 Doel van de verkenning deltadijken

Het hoofddoel van deze verkenning is het onderzoeken van de haalbaarheid van deltadijken voor hoogwaterbescherming in Nederland. De verkenning wil antwoord geven op de volgende vragen:

- Welke kansen en beperkingen zijn er voor toepassing van deltadijken voor hoogwaterbescherming in Nederland?
- In welk opzicht wijken deltadijken af van reguliere dijkontwerpen en welke zijn daarvan de ruimtelijke en financiële consequenties?

1.3 Waarom een verkenning deltadijken

Het kabinet neemt in het Nationaal Waterplan de aanbeveling van de commissie Veerman over om een verkenning naar de kansen en belemmeringen van deltadijken uit te voeren. De commissie Veerman was ingesteld om na te gaan hoe de bescherming van de Nederlandse kust en het achterland op lange termijn in voldoende mate kan worden gegarandeerd.

De commissie Veerman onderkent grote onzekerheden in toekomstige ontwikkelingen en zoekt de oplossing voor duurzame hoogwaterbescherming in flexibele maatregelen; *'De aanbevelingen zijn flexibel en geleidelijk te realiseren en bevatten handelingsperspectief voor de korte termijn'*. Met mogelijkheden voor lokaal maatwerk en lokale afstemming moet de deltadijk optimale invulling aan de gevraagde flexibiliteit geven.

De vraag naar een verkenning deltadijken vraagt om een reflectie op de huidige manier waarop in Nederland dijken worden ontworpen. Er wordt gevraagd om in het licht van bovengenoemde ontwikkelingen te onderzoeken welke kansen en beperkingen er zijn om dijken op een andere manier te ontwerpen: dijken die sterker, breder of hoger zijn dan de huidige dijken en een plotselinge oncontroleerbare overstroming zo goed als uitsluiten. Voor de duidelijkheid wordt opgemerkt dat met de huidige toets en ontwerprichtlijnen al wordt beoogd dat dijken een voldoende kleine faalkans hebben. De verkenning deltadijken onderzoekt de kansen en beperkingen om het overstromingsrisico verder te beperken of te beheersen.

Toenemende druk op ruimte vraagt om actiever op zoek te gaan naar meerdere functies van de dijk. Door de koppeling van de veiligheidsopgave aan ruimtelijke ontwikkelingen komen meer integrale oplossingsrichtingen in beeld. In een verkenning deltadijken wordt door het kabinet gevraagd te onderzoeken welke belemmeringen er zijn voor het toekennen van meerdere functies aan de dijk. In deze verkenning wordt vooral ingegaan op het aspect van hoogwaterbescherming. In Ellen et al (2011) wordt specifiek ingegaan op het multifunctionele aspect van deltadijken.

Eerste aanbeveling van de commissie Veerman

De huidige veiligheidsniveaus van alle dijkringen moeten met een factor 10 verbeterd worden. Hiertoe moeten de normen zo snel mogelijk (2013) worden vastgesteld. Daar waar meer veiligheid gewenst is, is het concept van de Deltadijk veelbelovend (deze dijken zijn zo hoog, of zo breed of zo sterk dat de kans op een plotselinge en oncontroleerbare overstroming vrijwel nihil is). Gelet op specifieke of plaatselijke omstandigheden is maatwerk hierbij het devies. Maatregelen voor de verhoging van het veiligheidsniveau moeten voor 2050 zijn gerealiseerd

Tekstbox 1.2 Eerste aanbeveling commissie Veerman (Deltacommissie, 2008:12)

1.4 Opbouw van het rapport

Het kader voor deze verkenning is de vraag uit het Nationaal Waterplan naar een verkenning deltadijken. Deze vraag wordt in deze studie vanuit de historische ontwikkeling van hoogwaterbescherming beantwoord. In hoofdstuk 2 wordt daarom de achtergrond van de dijkenbouw in Nederland beschreven.

Over de deltadijk blijken in Nederland veel verschillende beelden te bestaan. Aan de deltadijk worden verschillende eigenschappen aan deze dijken toegedicht. Het historisch perspectief en deze verschillende beelden worden in hoofdstuk 3 gebruikt om de deltadijk nader te omschrijven.

In hoofdstuk 4 wordt een uitwerking van de deltadijk gegeven. De uitwerking geeft handen en voeten aan de theoretische beschrijving uit hoofdstuk 3. In het hoofdstuk wordt ingegaan op vorm, investeringskosten en baten van deltadijken.

In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op juridische en bestuurlijke aspecten van deltadijken zoals die in hoofdstuk 3 zijn omschreven. Onderzocht wordt of de deltadijk in het huidige beleid past.

Op wat voor manier deltadijken in Nederland voor hoogwaterbescherming kunnen worden toegepast, is in hoofdstuk 6 beschreven.

Conclusies uit deze verkenning zijn tenslotte samengevat in hoofdstuk 7.

2 Dijken in historisch perspectief

Nederland wordt al eeuwen door dijken, duinen en kunstwerken beschermd tegen overstromingen. Er is dan ook een lange 'traditie' in het ontwerpen en bouwen van dijken. In de loop van de tijd is veel kennis ontwikkeld over de belasting op en de sterkte van waterkeringen. Het ontwerp van dijken heeft steeds meer een wetenschappelijke basis gekregen: van Andries Vierlingh in zijn Tractaat van Dyckagie tot de leidraden zoals opgesteld door de TAW/ENW. In dit hoofdstuk een korte schets van de ontwikkelingen in het ontwerpen en bouwen van dijken sinds 1953 om het concept van een deltadijk in (historisch) perspectief te kunnen plaatsen.

2.1 Stormvloedramp van 1953 en aanbevelingen van Deltacommissie

Voor het voorkomen van overstromingen worden in Nederland dijken gebouwd. Dijken falen daarbij als deze overlopen of doordat de dijk doorbreekt. Opgemerkt wordt dat overlopen vaak een doorbraak tot gevolg heeft.

De stormvloedramp van 1953 heeft een grote invloed gehad op de ontwikkeling van de dijkbouw in Nederland. In 1953 zijn veel dijken bezweken niet omdat de waterstand op zee hoger was dan de kruin van de dijk, maar omdat golven over de kruin sloegen. De binnentaluds van de toenmalige dijken waren vrij steil en de kwaliteit van de bekleding was matig, waardoor schade aan de binnenzijde van de dijken door golfoverslag tot dijkdoorbraken leidde. Zo zijn in 1953 op tal van plaatsen bressen in de dijk ontstaan. Deze ervaringen zijn mede bepalend geweest voor de grote aandacht die het faalmechanisme 'overloop/overslag' heeft gekregen bij het ontwerp van dijken. Een dijk moet voldoende hoog zijn om te voorkomen dat schade van het binnentalud door overloop en overslag optreedt.

De stormvloedramp heeft ook een impuls gegeven aan het denken over de gewenste mate van bescherming. Tot dan was de gebruikelijke reactie op een ramp om de hoogte van een nieuwe dijk te relateren aan de hoogst bekende waterstand. De eerste Deltacommissie heeft hiervoor een nieuwe benadering geïntroduceerd. Uitgangspunt van de door de commissie voorgestelde benadering was om per dijkkringgebied een gewenst veiligheidsniveau vast te stellen op basis van economische optimalisatie. Een veiligheidsniveau gebaseerd op enerzijds de kosten van het versterken en verhogen van waterkeringen en anderzijds de mogelijke schade bij een overstroming.

2.2 Huidige overschrijdingskansbenadering van hoogwaterbescherming

In haar eindrapport deed de Deltacommissie ook aanbevelingen voor een meer wetenschappelijke benadering waarbij waterkeringen op basis van een overstromingsrisico worden ontworpen. Een deel van deze aanbevelingen was nog niet realiseerbaar, vooral omdat de kans op het doorbreken van een waterkering (en daarmee de kans op een overstroming), nog niet voldoende nauwkeurig kon worden bepaald. Mede daarom is indertijd gekozen voor een vereenvoudigde veiligheidsbenadering, gebaseerd op ontwerpbelastingen.

Deze veiligheidsbenadering van hoogwaterbescherming is vooral een praktische benadering, waarbij elk dijkvak zo ontworpen wordt dat dit veilig een bepaalde waterstand kan keren. Uitgangspunt daarin zijn waterstanden als de meest dominante belasting. Bij het ontwerp van de waterkering wordt ten opzichte van deze waterstand vervolgens een zekere marge gehanteerd, die afhankelijk is van wind- en golfklimaat. Bovendien wordt een reserve gehanteerd voor onzekerheden.

Doel is ervoor te zorgen dat elk individueel dijkvak voldoende hoog en sterk is om een bepaalde extreme waterstand met bijbehorende golfbelasting ('overlopen' en 'golfoverslag') veilig te keren.

Op deze wijze is voor ieder dijkkringgebied een veiligheidsniveau in de vorm overschrijdingskansen van waterstanden vastgelegd. Zo gelden voor de dichtbevolkte Randstad ontwerpwaterstanden met een overschrijdingskans van 1/10.000 per jaar. Voor de gebieden met minder inwoners en minder economische waarde/activiteiten wordt uitgegaan van grotere overschrijdingskansen. De overschrijdingskansen, die ook wel worden aangeduid als normfrequenties of normen zijn in de Waterwet vastgelegd.

De ontwerpwijze zoals geschetst door de Deltacommissie staat bekend als de overbelastingsbenadering per dijkvak. Deze is nader omschreven in de 'Leidraad Grondslagen voor Waterkeren' (TAW, 1998). Overbelasten wordt geacht op te treden wanneer het debiet door golfoverslag groter is dan een toelaatbaar debiet. Als dit debiet wordt overschreden is de waterkering overbelast, wat nog niet hoeft te betekenen dat de waterkering op dat moment ook doorbreekt.

2.3 Ontwerp conform de TAW (ENW) Leidraden

Ontwerp en toetsing van waterkeringen zijn steeds meer wetenschappelijk onderbouwd. Voor het ontwerpen van dijken zijn er technische leidraden waarin staat aangegeven hoe een dijk met een bepaalde hoogte moet worden vormgegeven. Voor het toetsen van waterkeringen zijn er hydraulische randvoorwaarden en het voorschrift toetsen op veiligheid. De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) welke is overgegaan in het Expertise Netwerk Waterveiligheid heeft een belangrijke rol gespeeld in het ontwikkelen van deze leidraden.

De vigerende ontwerp-eisen voor dijken zijn in verschillende leidraden (zie bijlage B) vastgelegd en bevatten de volgende criteria:

- Een toelaatbare kans op *overbelasten*. Deze kans is gelijk aan de in de wet vastgelegde overschrijdingskans, de normfrequentie. Onder overbelasten wordt een waterstand of een combinatie van waterstand en golven verstaan, waarbij een (veilig gekozen) toelaatbaar overloop/overslagdebiet wordt overschreden. Het toelaatbaar debiet hangt af van de bekleding van de dijk en maatregelen die worden genomen om wateroverlast door overlopen/overslag te voorkomen.
- Een toelaatbare kans op *falen* door aan overslag en overloop gerelateerde mechanismen waarbij nog geen overbelasten optreedt. In deel 1 van de Leidraad voor ontwerpen van rivierdijken is deze kans gelijk gesteld aan 10 % van normfrequentie. In de overige leidraden wordt die kans niet expliciet genoemd, maar wordt impliciet wel een dergelijke eis gesteld. Het toelaatbare golfoverslagdebiet moet namelijk 'veilig' gekozen zijn.¹
- Een toelaatbare kans op *falen* door niet aan overloop/golfoverslag gerelateerde faalmechanismen, waarbij nog geen overbelasten optreedt. Deze kans is gelijk aan 10 % van de normfrequentie.

1. De hoogte van een waterkering is geen faalmechanisme maar gerelateerd aan de weerstand tegen overslag en overloop. Hoe lager de waterkering hoe hoger het overslagdebiet. In de ontwerpleidraden en toetsvoorschriften worden rekenregels gegeven voor het bepalen van de weerstand tegen overloop/overslag. Bij grote overslagdebieten (10 l/m/s en hoger) wordt in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid aangegeven dat ook op de gevolgen ten aanzien van wateroverlast moeten worden onderzocht.

Met deze criteria wordt geen (toelaatbare) faalkans (en dus overstromingskans) gespecificeerd. Een dijk die bij een kleine overbelasting faalt (doorbreekt) kan in beginsel nog voldoen aan deze criteria. Doordat het toelaatbare golfoverslagdebiet echter 'veilig' gekozen moet worden, zal ook de kans op falen bij een kleine overbelasting niet groot zijn. In bijlage B is via een tentatieve en intuïtieve analyse geschat dat de toelaatbare faalkans gelijk is aan 0,5 à 1 keer de normfrequentie waarbij de faalkans voor 70 tot 90% bepaald door overloop en overslag gerelateerde mechanismen.

In de leidraden wordt de toelaatbare kans op falen door niet aan overloop/golfoverslag gerelateerde faalmechanismen geborgd door voornamelijk empirisch tot stand gekomen ontwerpregels en –criteria (voor macrostabiliteit, opbarsten en piping, et cetera). De met deze ontwerpregels/ontwerpcriteria feitelijk gerealiseerde kans op falen is bij het opstellen van de Leidraden echter niet nader onderzocht. De genoemde toelaatbare faalkans moet gezien worden als bedoeld door de Leidraden. In werkelijkheid betreft het een schatting van wat met de vigerende technische regels en criteria mogelijk is.

2.4 Nieuwe inzichten en ontwikkelingen

Door onderzoek, ondermeer in het kader van de programma's Sterkte Belasting Waterkeren (SBW) en Veiligheid Nederland in Kaart (VNK), neemt de kennis van de sterkte van waterkeringen steeds verder toe. Golfoverslag proeven hebben laten zien dat de waterkeringen qua erosiebestendigheid mogelijk wat meer overslag aan kunnen dan waar in de huidige voorschriften vanuit wordt gegaan. Iets minder scherpe eisen aan golfoverslag kunnen direct invloed hebben op de benodigde hoogte van de waterkering.

Onderzoek in het kader van VNK heeft laten zien dat de werkelijke faalkans vaak groter is dan de in de leidraden veronderstelde 0,5 à 1 keer de normfrequentie. Het onderzoek geeft verder aan dat het belang van het faalmechanisme 'piping' in de huidige leidraden en voorschriften mogelijk is onderschat (ENW, 2009). Om de bijdrage van piping aan de faalkans te beperken zijn bredere bermen of kwelschermen nodig. Het onderzoek geeft bovendien aan dat bij rivierdijken de bijdrage aan de totale faalkans van mechanismen die niet aan golfoverslag zijn gerelateerd minimaal 50 % is. Dit in tegenstelling tot de overheersende gedachte die uitging van 10%.

De nieuwe inzichten onderstrepen het belang voor een evenwichtige aanpak met aandacht voor alle mechanismen. Op dit moment wordt onderzocht hoe de inzichten in de bestaande toets- en ontwerpregels kunnen worden verwerkt.

2.5 Overstromingskansbenadering: Marsroute en VNK

Volgens de huidige benadering voor hoogwaterbescherming dienen de dijkvakken een vastgestelde waterstand veilig te keren. Hiermee is de kans op een daadwerkelijke overstroming van een dijkkringgebied echter nog niet vastgesteld. De waterkering moet de ontwerpwaterstand veilig te kunnen keren. Een iets hogere waterstand leidt praktisch echter niet direct tot een dijkdoorbraak. Daarentegen is er ook een kleine kans dat de dijk beneden de ontwerpwaterstand doorbreekt. De huidige veiligheidsbenadering richt zich op afzonderlijke vakken. Daardoor komt de samenhang tussen het falen van de verschillende vakken van het waterkeringstelsel niet in beeld. De kans op een overstroming van een dijkkringgebied is niet vanzelfsprekend gelijk aan de kans op het overschrijden van de ontwerpbelasting (de normfrequentie), integendeel de overstromingskans is doorgaans groter.

Het onderzoekprogramma Marsroute van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) en Rijkswaterstaat is gestart om de beperkingen van de huidige benadering te ondervangen en volwaardig invulling te geven aan de aanbevelingen van de eerste Deltacommissie. Voornaamste doelstelling van de Marsroute was te komen tot een veiligheidsbenadering op basis van overstromingsrisico's. Het belangrijkste verschil met de huidige veiligheidsbenadering zit in:

- de overgang van een dijkvak- naar een dijkkringbenadering;
- het op gelijkwaardige wijze rekening houden met verschillende faalmechanismen; en
- het op een systematische manier betrekken van onzekerheden in de berekening van de overstromingskans.

De Marsroute is via een aantal stappen uitgemond in het onderzoek 'Veiligheid Nederland in Kaart' (VNK-1 en -2). Binnen VNK wordt gewerkt aan het kwantificeren van de overstromingskansen, de overstromingsgevolgen en daarmee de overstromingsrisico's van de verschillende dijkringen. Voor een deel van de dijkringen zijn inmiddels overstromingskansen berekend voor de huidige situatie en zijn de gevolgen van overstromingen berekend.

3 Wat is een deltadijk?

Over deltadijken blijken veel verschillende beelden te bestaan en er worden verschillende eigenschappen aan toegedicht. Dit hoofdstuk gaat in op deze beelden en eigenschappen om te komen tot een functionele beschrijving van de deltadijk.

3.1 Perspectieven voor deltadijken

De term deltadijk is in deze verkenning verbonden aan het Nationaal Waterplan. In het verleden zijn dijken echter ook al aangeduid als deltadijken, namelijk als ze werden versterkt conform het advies van de 1e Deltacommissie (zeedijken), respectievelijk de commissies Becht en Boertien 1 en 2 (rivierdijken).

‘Een dijk welke onder alle omstandigheden in stand blijft’

In december 1954, ongeveer twee jaar na de overstromingsramp van 1953, schrijft Edelman (Rijkswaterstaat) een pleidooi voor doorbraakvrije zeedijken: ‘een dijk, welke onder alle omstandigheden als waterkering of overlaat in stand blijft’. Als belangrijkste kenmerken noemde Edelman een flauw binnentalud (1:3) en een goede grasmatt. Te steile taluds werden beschouwd als een van de hoofdoorzaken van het falen van de zeedijken tijdens de stormvloed.

Tekstvak 3.1: Doorbraakvrije zeedijk,

In het Nationaal Waterplan worden deltadijken vanuit twee perspectieven benaderd: Hoogwaterbescherming en ruimtegebruik. Deze perspectieven zijn historisch onlosmakelijk met elkaar zijn verbonden. De vorm van een dijk wordt immers bepaald door haar functie, het type belasting, de ondergrond en het lokale ruimtegebruik. Een dijk is altijd maatwerk.

De belangrijkste kenmerken van de functie *hoogwaterbescherming* is het ‘voorkomen van een plotselinge, of oncontroleerbare overstroming’. Dit wordt gerealiseerd door waterkeringen ‘sterker, breder en/of hoger dan de huidige dijken’ te ontwerpen. Deze functiekenmerken worden verder uitgewerkt in paragraaf 3.2.

Wat betreft de tweede functie, *ruimtegebruik*, geeft het Nationaal Waterplan aan dat deltadijken geschikt (gemaakt) kunnen zijn voor *multifunctioneel gebruik*. Dit aspect van deltadijken is uitgewerkt in de ‘verkennende notitie multifunctioneel medegebruik van de waterkering’ (Ellen et al. 2011) en wordt in dit rapport niet verder besproken.

3.2 Verschillende beelden

De twee functies hoogwaterbescherming en ruimtegebruik leiden er in de praktijk toe dat de beelden die bestaan van een deltadijk vaak zeer verschillend zijn. In publicaties en de media circuleren verschillende namen voor en beelden van dijken die het label deltadijk krijgen zoals een overstroombare dijk, overslagbestendige dijk, superdijk, klimaatdijk/multidijk en doorbraakvrije dijk. Hieronder beschrijven we een aantal van deze beelden.

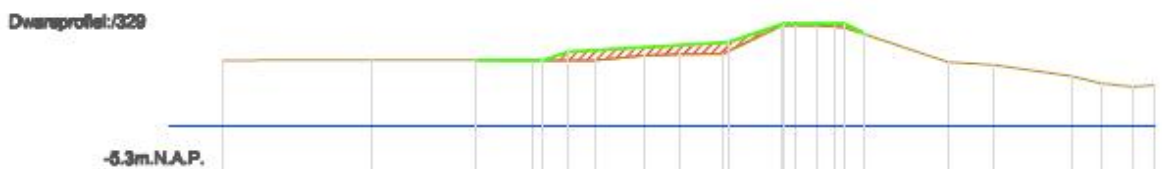
‘Doorbraakvrije’ dijk

De ‘doorbraakvrije’ dijk zoals beschreven door Silva en van Velzen (2008) start vanuit de functie hoogwaterbescherming en is gericht op het technisch operationaliseren- en kwantificeren van een ‘doorbraakvrije’ dijk.

Volgens Silva en van Velzen is een 'doorbraakvrije' dijk een dijk die:

- keert tot aan de kruin;
- niet faalt als er een gelimiteerde hoeveelheid water overheen slaat of loopt. De hoeveelheid water is afhankelijk van taludhelling en bekleding van de dijk.
- een binnenbekleding heeft van gras waarbij in het rivierengebied 10 l/m/s en voor zee, meer en estuariumdijken 30 l/m/s voor zee-, meer- en estuariumdijken niet leidt tot erosie van het binnentalud;
- een binnentalud van 1:3 of flauwer heeft. Bij steilere taluds is het gevaar van infiltratie van golfoverslagwater en vervolgens afschuiven van het binnentalud aanwezig;
- een kans op doorbreken van de dijk heeft die 100 x kleiner is dan wordt beoogd met de bestaande ontwerpregels. Ook bij een doorbraakvrije dijk is er dus nog een (zeer kleine) kans op doorbreken.

Ondanks dat bij een 'doorbraakvrije' dijk de functie hoogwaterbescherming voorop staat kan deze net als de huidige dijken ook andere functies vervullen. Veel bestaande dijken bevatten ontsluitingswegen, fietspaden of andere infrastructuur.

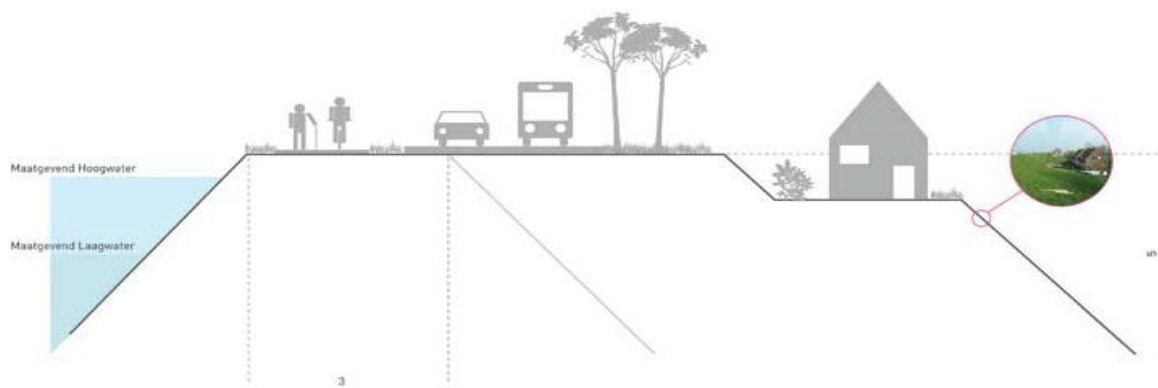


Figuur 3.1 Dwarsprofiel 'doorbraakvrije' dijk dijkkring 36 – Keent – langs de Waal (Bron: Pilotstudie Keent, Provincie Noord-Brabant, 2010)

Klimaatdijk/Multidijk

Bij de klimaatdijk/multidijk ligt de nadruk op multifunctionaliteit. De dijk is gedefinieerd als een multifunctionele 'hoogwaterbeschermingszone' die blijvend veiligheid biedt, ook als het klimaat in de toekomst verder verandert (Hartog, 2009). Door Hartog wordt veel nadruk gelegd op het *breder* zijn van klimaatdijken. De Klimaatdijk of Multidijk is geïnspireerd op de superdijken die in Japan worden gebouwd (zie o.a. De Moel et al., 2010),

Figuur 3.2 Een Klimaatdijkvoorstel voor Tiel (bron: Grontmij, in Moel et al 2010)



Superdijk (super levee)

Langs de Arakawa rivier in Japan wordt het concept superdijken geïmplementeerd. Het benedenstroomse deel van de 180 km lange Arakawa rivier stroomt door de buitenwijken van Tokio. Extreme neerslag treedt op in het regenseizoen en door tyfoons. In combinatie met hoge rivierstanden leidt dit tot een groot overstromingsrisico. De waterkeringen langs de Arakawa rivier zijn ontworpen op een waterstand met een overschrijdingsfrequentie van $1/200 \text{ jaar}^{-1}$. Superdijken worden als volgt gedefinieerd (Arakawa-Karyu River Office, 2007).

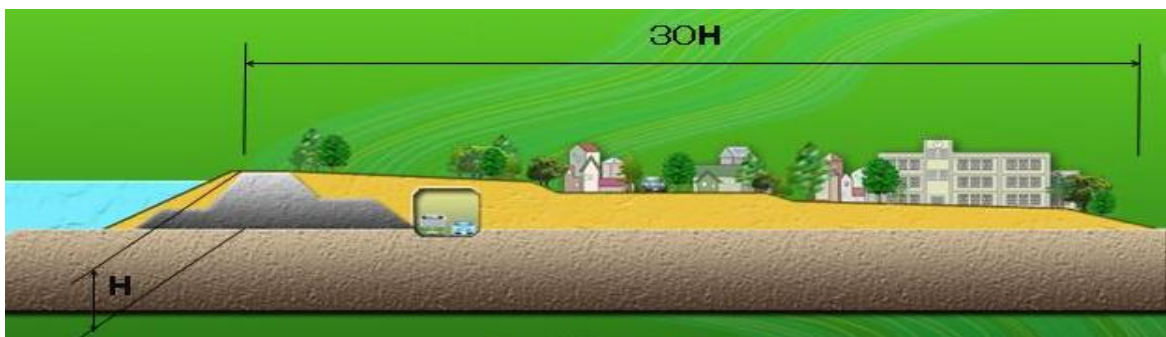
'Super levees are a new type of levee that can withstand floods and earthquakes and be built in tandem with urban renovation projects. Super levees minimize damage by preventing breaching in massive floods that exceed reasonable forecast'.

De superdijk in Japan is een dijk waarbij integraal wordt gekeken naar:

- hoogwaterbescherming, een binnentalud van 1:30 voorkomt instabiliteit van de waterkering en schade door overslag/overloop.
- aardbevingbestendigheid, door grondverbetering en het grote gewicht van de superdijk wordt de kans op verweking van de ondergrond verkleind.
- rampenbeheersing, de dijk fungeert als een terp (evacuatiegebied) bij overstromingen
- ruimtelijke ontwikkeling, door superdijken ontstaat een open publieke ruimte langs de rivier
- stedelijke ontwikkeling, parallel met de aanleg van superdijken wordt de wijk langs de rivier gereconstrueerd. Gebouwen langs de dijk worden afgebroken. Herbouw vindt plaats op de superdijk.



Figuur 3.3 Superlevee Arakawa river. De superdijk gefotografeerd vanaf de traditionele dijk.



Figuur 3.4 Dwarsprofiel van een super levee (bron: presentatie Edogawacity, office of public Works, 2010)

Tenslotte

Uit de beelden kan worden geconcludeerd dat er meerdere toepassingen zijn voor de aanleg van deltidijken. Vanuit waterveiligheid kunnen dijken worden gebruikt voor invulling van diverse lagen uit het meerlaagsveiligheidsbeleid.

De dijk kan worden gebruikt als evacuatieplaats of vluchtweg bij rampenbeheersing. Deltadijken kunnen ruimte bieden aan kritieke infrastructuur. Met name binnen een stedelijke omgeving geeft de deltadijk daarnaast nieuwe mogelijkheden voor ruimtelijke inpassing van de waterkering.

Hoogwaterbescherming blijft echter de hoofdfunctie van (delta)dijken. Voor deze functie dienen minimale eisen te worden geformuleerd, waaraan deltadijken moeten voldoen. Op de aard van deze eisen wordt in de volgende paragraaf ingegaan.

3.3 Uitwerking functie hoogwaterbescherming

Algemeen

Deze verkenning gaat uit van de omschrijving van 'de deltadijk' uit het Nationaal Waterplan. Deltadijken worden daarin beschreven als dijken die zo hoog, breed of sterk zijn dat de kans op een plotselinge en oncontroleerbare overstroming vrijwel nihil is². Uitgangspunt daarbij zijn de wettelijk vastgestelde norm, toetsvoorschriften en uitwerking van ontwerputgangspunten in leidraden.

Het kenmerk van de deltadijk is dat door extra eisen aan de sterkte van een waterkering te stellen het overstromingsrisico wordt gereduceerd. De extra eisen dienen om de kans op of de gevolgen van een dijkdoorbraak te reduceren. De eisen hebben betrekking op faalkans en faalgedrag bij overbelasten en kunnen variëren van het praktisch uitsluiten van specifieke mechanismen (grondmechanisch falen) tot het praktisch 'doorbraakbestendig' maken van de waterkering.

De exacte eisen zijn situatieafhankelijk en worden per locatie vastgesteld. Daarbij dient een afweging te worden gemaakt tussen de kosten om extra veiligheid te creëren en de beoogde baten. In de afweging kunnen naast economische en slachtofferisico ook andere aspecten, zoals financiële (hebben we het geld überhaupt) of politieke (is het maatschappelijk wenselijk) worden meegenomen.

Scherpere eisen leiden tot grotere dimensies van de dijk. In de huidige praktijk hebben dijkontwerpen ook soms grotere afmetingen dan strikt noodzakelijk (bijvoorbeeld overhoogte). Dit is niet bedoeld voor het creëren van extra veiligheid maar dient ter voorkoming dat een waterkering op korte termijn weer moet worden versterkt door tegenvallende veranderingen van de hydraulische belastingen. Dit wordt aangeduid als 'robuust ontwerpen'. Scherpere eisen aan een deltadijk dienen niet als vervanging van robuust ontwerpen.

Voorkomen van plotselinge overstromingen

Het *plotselinge* karakter van een overstroming heeft te maken met het faalgedrag en kan zich op twee manieren uiten. Enerzijds betreft dit het plotse optreden. Met het plotse optreden wordt bedoeld dat de kans op het optreden van een mechanisme dat leidt tot dijkdoorbraak sterk toe neemt bij hogere (dan norm) belastingen.

2. Met de huidige leidraden zijn ontworpen wordt ook beoogd waterkeringen te ontwerpen die onder , deze omschrijving vallen. Het vereiste veiligheidsniveau is hoog. De beoogde dimensies van waterkeringen zijn zo hoog, breed en sterk dat de kans op een overstroming van een dijkkring zeer klein is. Daarnaast zijn de huidige veiligheidseisen, conform de omschrijving van de deltadijk in het NWP, gebaseerd op een economische afweging.

Dit is bijvoorbeeld het geval bij piping. Anderzijds uit het plotselinge karakter zich in het onverwachte in de zin van 'korte tijd tussen eerste symptomen en feitelijke doorbraak'.

Het slachtofferrisico wordt beïnvloed door het plotselinge karakter van het dijkdoorbraakproces. Wanneer een doorbraak zich aankondigt, bijvoorbeeld door grote hoeveelheden golfoverslag, komt een eventuele doorbraak niet als een verrassing. Als er bovendien lange tijd zit tussen het begin van bezwijken en de feitelijke doorbraak, is er meer tijd voor noodmaatregelen of evacueren. 'Opbarsten en piping' wordt gezien als een onberekenbaar mechanisme dat plotseling optreedt. De tijd tussen aankondigen (sterke toename van de zandproductie bij zandmeevoerende wellen) en een feitelijke doorbraak kan betrekkelijk kort zijn, zeker wanneer de buitenwaterstand nog stijgt.

In hoofdstuk 4 wordt de variant van een deltadijk, waarbij de kans dat de waterkering 'onverwacht' en 'plots' doorbreekt wordt gereduceerd door strengere eisen aan grondmechanisch falen, uitgewerkt. Dat wil zeggen dat scherpere eisen worden gesteld aan mechanismen die tot een doorbraak leiden maar niet zijn gerelateerd aan overloop en overslag³.

In het extreme geval kan er bij een deltadijk in het riviereengebied voor worden gekozen de kans op een dijkdoorbraak door grondmechanisch falen zo goed als uit te sluiten, zelfs als de waterstand op de rivier gelijk is aan de kruinhoogte van de waterkering. In het laatste geval is sprake van 'keren tot de kruin'. Opgemerkt wordt dat falen door andere mechanismen dan overloop en overslag nooit geheel kan worden uitgesloten. Wel kan de kans op het optreden van een mechanisme sterk worden gereduceerd.

Voorkomen van oncontroleerbare overstromingen

Het voorkomen van *oncontroleerbare* overstromingen kan zich op twee manieren uiten. Dit is enerzijds mogelijk door 'doorbraakbestendige' waterkeringen aan te leggen op locaties waar een doorbraak relatief grote gevolgen heeft. Hierdoor wordt de kans dat een waterkering op een kritische locatie doorbreekt, ook bij hogere dan normbelastingen, gereduceerd. Anderzijds worden overstromingen controleerbaar door het vertragen van bresgroei, na het optreden van een dijkdoorbraak. Hierdoor stijgt het water in het overstroomde gebied minder snel. In deze verkenning wordt op het laatste aspect niet verder ingegaan.

De 'doorbraakbestendige' deltadijk is de tweede variant die in het volgende hoofdstuk wordt uitgewerkt. Bij een 'doorbraakbestendige' dijk worden zowel aan grondmechanisch falen als aan overloop en overslag gerelateerde mechanismen die tot doorbraak kunnen leiden scherpere eisen dan minimaal voor ontwerp en toetsing vereist, worden gesteld. Opgemerkt wordt dat een dijkdoorbraak nooit kan worden uitgesloten.

Hogere eisen aan overloop- en overslag gerelateerde mechanismen kunnen worden vertaald in het verhogen van de kruin of het verflauwen en versterken van het binnentalud.

Bij het verhogen van de kruin wordt voorkomen dat het volume overslaand water de dijk beschadigt en een doorbraak veroorzaakt. Bij de laatste maatregel wordt ervoor gekozen dat bij overbelasten meer water over de dijk het achterland instroomt. De dijk mag overlopen. Overlopen veroorzaakt daarbij wateroverlast maar leidt niet tot een overstroming. Dit principe is weergegeven in Figuur 3.5.

3. Opgemerkt wordt dat bij een slechte grasmat of steil binnentalud ook overslag kan leiden tot plotselinge overstroming.

Twee varianten

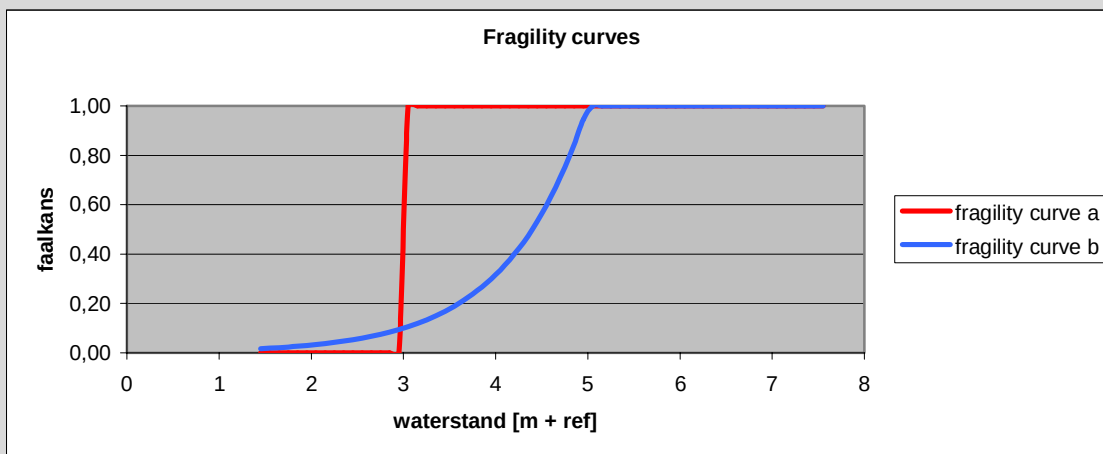
In het volgende hoofdstuk worden de twee in deze paragraaf genoemde varianten van de deltadijk verder uitgewerkt, te weten:

- Variant 1. De eerste variant betreft 'Uitsluiten grondmechanisch falen' die het *plotselinge* van een overstroming beïnvloedt door extra eisen te stellen aan het faalgedrag.
- Variant 2. De tweede variant is de 'Doorbraakbestendige deltadijk' die het oncontroleerbare van een overstroming beïnvloedt door extra eisen te stellen aan de faalkans.

Faalkans en faalgedrag bij dijkdoorbraken

De faalkans van een dijk is één parameter om de veiligheid tegen overstromen van het achterliggende gebied te karakteriseren. Voor deze kans maakt het niet uit door welk mechanisme een dijk faalt. Het faalgedrag is bij deltadijken een andere belangrijke parameter om de veiligheid tegen overstromen aan te geven. Een manier om het faalgedrag te karakteriseren is via het aangeven van de 'fragility curve'. In een 'fragility curve' wordt de relatie tussen waterstand (belasting) en kans op falen beschreven.

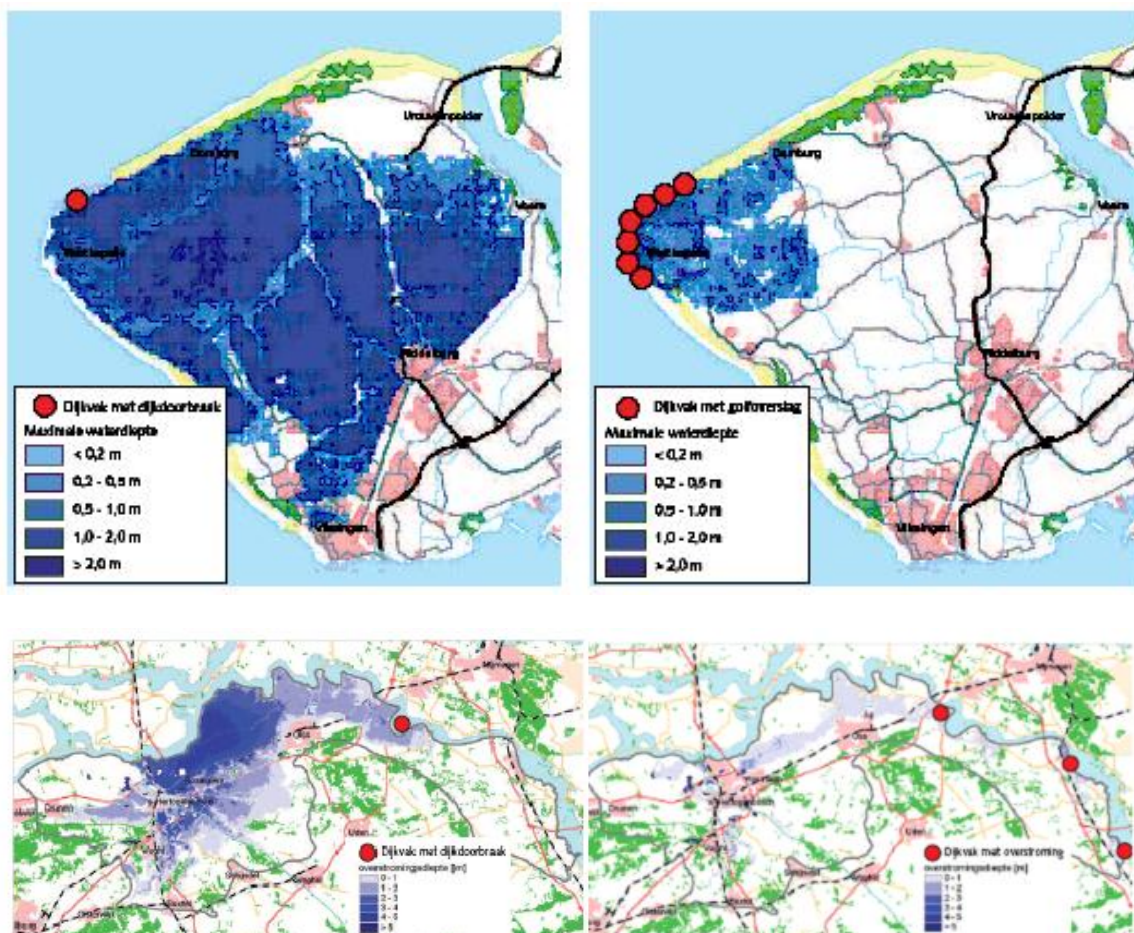
In onderstaande figuur zijn twee 'fragility curves' getekend. Één waar bij een bepaalde waterstand (bijvoorbeeld de ontwerpwaterstand) de kans op falen (doorbraak) scherp toeneemt van 0 tot 1, en een, waarbij er beneden de ontwerpwaterstand al een kans op falen is, die geleidelijk toeneemt tot 1 bij waterstanden hoger dan de ontwerpwaterstand. De faalkans, rekening houdend met de kansen op het optreden de waterstanden, is voor beide 'fragility curves' hetzelfde. Maar het faalgedrag is verschillend.



Fragility curves: (a) scherpe toename van de kans op falen bij een gegeven waterstand en (b) geleidelijke toename (ontwerpwaterstand 3 m + ref)

Voor de normeringsdiscussie in het project WV21 is uitgegaan van de 'fragility curve' (a). In werkelijkheid is faalgedrag altijd zoals 'fragility curve' (b). De 'fragility curve' (b) dijk is daarbij een samenstel van de 'fragility curves' voor elk van de potentiële mechanismen die tot doorbraak kunnen leiden. Bij elke waterstand wordt de faalkans gedomineerd door de het mechanisme dat het meeste bijdraagt aan de faalkans.

Voor het bepalen van de economische schadeverwachting is de totale faalkans belangrijk en het faalgedrag van ondergeschikt belang. Voor het slachtoffer risico is het faalgedrag wel van belang. De kans op 'plotselinge' dijkdoorbraak kan beperkt worden, door ervoor te zorgen dat mechanismen die onverwacht optreden, zoals bijvoorbeeld opbarsten en piping, niet bepalend zijn voor de totale 'fragility curve' van de dijk. Praktisch komt dit er op neer dat de bijdragen van deze mechanismen aan de totale doorbraakkans in verhouding klein zullen moeten zijn, ten opzichte van de mechanismen met taai (en waarneembaar) faalgedrag.



Figuur 3.5 Wateroverlast versus doorbraak. Op de kaartjes is de waterdiepte te zien als een dijk in Walcheren (boven) en Land van Heusden / De Maaskant (onder) doorbreekt (links) en of blijft staan (rechts) bij gelijke waterstanden. (Bron: Silva en Van Velzen, 2008).. Als de dijken blijven staan stroomt water over de dijk maar dit is aanzienlijk minder dan bij een doorbraak. Ook stijgt het water aanzienlijk minder snel, wat de mensen meer gelegenheid geeft een veilig heenkomen te zoeken.

4 Een uitwerking van de deltadijk

De vorm en uitvoering van een deltadijk is lokaal maatwerk. Om enig gevoel bij het principe van de deltadijk te krijgen wordt in dit hoofdstuk een beeld gegeven wat het verkleinen van de kans op grondmechanisch falen' (variant 1) of het maken van 'doorbraakbestendige' deltadijken (variant 2) in de praktijk betekent. De case studie helpt bij het inventariseren van kansen en belemmeringen van de deltadijk. Bovendien geeft de case studie inzicht waar het concept deltadijk in Nederland kansrijk is.

4.1 Uitgangspunten

Voor de casestudie is gebruik gemaakt van basisgegevens van waterkeringen die in het project Waterveiligheid 21^e eeuw zijn verzameld. In dit project zijn de dijken in Nederland opgesplitst in 800 trajecten, variërend 500 m tot 5 km lengte. Voor elk traject zijn karakteristieke kenmerken van de geometrie, zoals taludhellingen, maaiveldniveaus en kruinhoogten verzameld en is een stochastisch ondergrondmodel opgesteld. In het stochastisch ondergrondmodel worden de meest voorkomende bodemopbouwen in een dijktraject met kans van voorkomen beschreven. Bij elke bodemopbouw is een dwarsprofiel berekend dat aan de huidige toetsvoorschriften voldoet. Deze dwarsprofielen zijn uitgangspunt voor het ontwerp van deltadijken.

Voor het operationaliseren van de scherpere eisen die aan de twee deltadijken varianten worden gesteld, is aansluiting gezocht bij de Quick Scan Doorbraakvrije Dijk (Silva en Van Velzen, 2008). In deze studie wordt een 'doorbraakbestendige' dijk gedefinieerd als een dijk waarvan de kans op falen 100 keer kleiner is dan de normen voorschrijven. Voor 'uitsluiten grondmechanisch falen' zijn de eisen aan de mechanismen piping, macrostabiliteit en 'bezwijken bekleding' in deze studie 100 keer strenger aangenomen dan de normen voorschrijven.

Voor het ontwerp van een deltadijk zijn deze eisen vertaald in hogere veiligheidsfactoren. Voor dimensionering op 'bezwijken steenbekleding' en overloop- en overslag gerelateerde faalmechanismen is dit niet mogelijk omdat hiervoor geen partiële veiligheidsfactoren bestaan. Voor het ontwerp van deltadijken dient het huidige instrumentarium rondom gras en steen bekledingen op een aantal aspecten te worden aangevuld. Een instrumentarium die de relatie legt tussen helling van het binnentalud, type bekleding, overslagdebiet en faalkans is gewenst.

In deze verkenning wordt op basis van resultaten uit SBW onderzoek aangenomen dat de kans op een dijkdoorbraak door erosie van een grasbekleding of afschuiving van het binnentalud verwaarloosbaar klein is, als respectievelijk het overslagdebiet maximaal 10 l/m/s bij rivierdijken en 30 l/m/s⁴ bij zeedijken bedraagt en de helling van het binnentalud minimaal 1:3 is.

Indien het overslagdebiet groter is dan deze kritieke overslagdebieten zijn voor een 'doorbraakbestendige' deltadijk aanvullende maatregelen nodig om de kans op een dijkdoorbraak door overloop/overslag te reduceren.

4. In de toetsvoorschriften worden hogere overslagdebieten alleen onder voorwaarden toegestaan. In deze verkenning wordt uitgegaan dat de deltadijk aan deze voorwaarden voldoet.

Deze maatregelen kunnen bestaan uit het verhogen van de kruin, het verflauwen van het binnentalud of het versterken van de binnenbekleding door het toepassen van een geotextiel, doorgroeistenen of asfalt. Bij het dimensioneren van een deltadijk wordt voor 'bezwijken van bekleding', overloop en overslag gerelateerde mechanismen gerekend met een ontwerpbelasting bij een 100 keer kleinere overschrijdingskans dan de norm.

Volgens de nieuwe inzichten uit het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) wordt met de huidige leidraden de faalkans van een waterkering voor circa 50% bepaald door grondmechanisch falen en voor circa 50 % door overloop en overslag gerelateerde mechanismen. Indien de kans op grondmechanisch falen 100 keer kleiner is, wordt de bijdrage van deze mechanismen aan de totale faalkans gereduceerd van 50 % tot circa 1%.

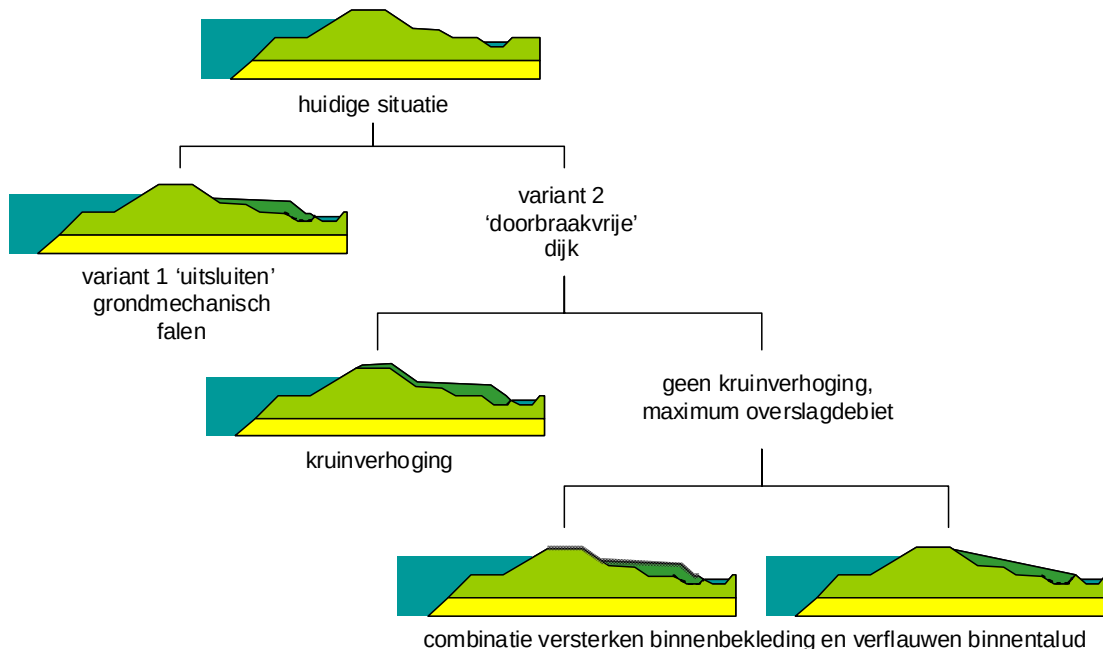
Uitgangspunt voor het ontwerpen van deltadijken is dat versterkingen binnendijs zoveel mogelijk in grond, door het aanleggen van (extra) stabiliteit- en pipingbermen, worden uitgevoerd. Bij de uitwerking van deltadijken wordt geen rekening gehouden met rivierverruimende maatregelen. Daarbij wordt opgemerkt dat met deltadijken de toegevoegde waarde van toekomstige dijkterugleggingen of andere rivierverruimende maatregelen verandert. Wanneer een binnendijkse versterking door de aanwezigheid van bebouwing niet mogelijk is, wordt uitgegaan van een constructieve oplossing in de vorm van een damwand of kistdam.

Voor het ontwerpen van deltadijken is verder zo veel mogelijk aangesloten bij het project WV21. De zichttermijn en de levensduur van de ontwerpen bedraagt 50 jaar. Er wordt rekening gehouden met het lengte-effect bij piping.

	Deltadijk variant	
	1 'Uitsluiten grondmechanisch falen'	2 'Doorbraakbestendig'
Principe	Voorkomt plotseling overstrooming door beïnvloeden faalgedrag.	Voorkomt oncontroleerbare overstrooming door verlagen faalkans
Veiligheidseisen in case studie	Scherpere eisen (100 keer strenger dan voorgeschreven in leidraden) aan mechanismen piping, macroinstabiliteit en bezwijken bekleding	Scherpere eisen (100 keer strenger dan voorgeschreven in leidraden) aan mechanismen door overloop/overslag, piping, macrostabiliteit, bezwijken bekleding
Ruimtebeslag (paragraaf 4.2)	Wordt bepaald door strengere eisen aan piping en macrostabiliteit. Deze eisen, en dus het ruimtebeslag, zijn voor beide varianten gelijk.	
Investeringskosten (paragraaf 4.3)	Bepaald conform bepaling investeringskosten voor normeringsdiscussie in WV21	Bepaald conform bepaling investeringskosten voor normeringsdiscussie in WV21 waarbij twee varianten worden onderscheiden: - maximum overslagdebiet - constante kruin
Vermeden schade (paragraaf 4.4)	Faalgedrag van de waterkering heeft weinig effect op vermeden schade (zie tekstbox 3.2)	Schade wordt veroorzaakt door wateroverlast, aangenomen op 10 % van schade bij overstrooming.
Reductie slachtofferisico (paragraaf 4.4)	Er bestaat geen instrumentarium die relatie legt tussen faalgedrag van waterkering en slachtofferisico.	Voor analyses aangenomen dat kans op doorbraak in dijktraject dat als deltadijk is uitgevoerd verwaarloosbaar klein is.

Tabel 4.1 Overzicht principe en uitgangspunten case studie

Een overzicht van principe en uitgangspunten van de twee varianten die in dit hoofdstuk worden uitgewerkt zijn weergegeven in Tabel 4.1.



Figuur 4.2 Overzicht principe en uitgangspunten case studie

4.2 Ontwerp

Voor het ontwerpen van deltadijken is het modelinstrumentarium DAM (Dijk Analyse Module) gebruikt. Het model en de gebruikte instellingen zijn beschreven in de achtergrondrapportage van het technisch cluster (Knoeff et al. 2011)

De resultaten van de DAM module worden vervolgens gebruikt voor de berekening van de kosten met behulp van het KOSWAT instrumentarium. Hierin wordt een zogenaamde 'verdringingsreeks' gehanteerd bij het vaststellen van de benodigde constructieve maatregelen in geval van ruimtetekort, dus in het geval er over een bepaalde lengte van het dijkvak geen oplossing in grond mogelijk is. Kortweg komt het er op neer dat al naar gelang de beschikbare ruimte kleiner is, er overgestapt wordt naar een constructieve oplossing, die steeds minder ruimte zal vergen. De analyse van de kosten van de deltadijken staat beschreven in het deelrapport kostenramingen (De Grave, 2011).

Rivierengebied

Om aan strengere eisen van variant 1 (grondmechanisch falen) en variant 2 ('doorbraakbestendige' deltadijk) te voldoen heeft een deltadijk een andere vorm dan een traditionele dijk. Dat geldt vooral in het rivierengebied. De binnentaluds zijn flauwer (minimaal 1:3) om meer golfoverslag toe te kunnen laten en/of om de dijk meer stabiliteit te geven. Bovendien zijn bermen aan de binnenzijde nodig of langer, om de stabiliteit te garanderen en vooral om het falen door piping tegen te gaan. Dit leidt tot een groter ruimtebeslag⁵.

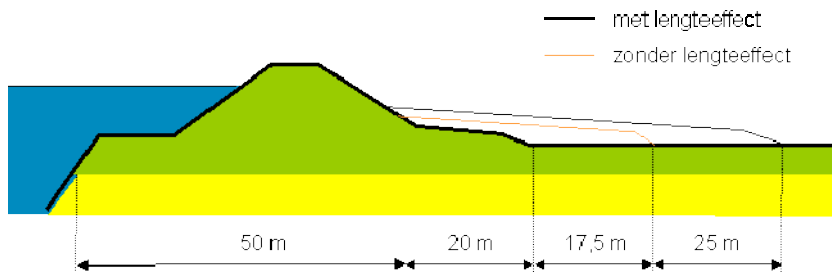
⁵ Ruimtebeslag is dijk lengte maal dijk breedte (de afstand tussen binnen- en buitenteen van dijk)

Het totale ruimtebeslag voor dijken in het rivierengebied neemt toe met ongeveer 2000 ha (ongeveer 40 %) wanneer overgegaan wordt naar de aanleg deltadijken. Met onderscheid naar de regio's van het Deltaprogramma, wordt in de regio Rivieren - Rijn en Waal de grootste toename van het ruimtebeslag gevonden: ongeveer 70%.

Per km dijklengthe is ruim 2,5 ha extra nodig. In regio Rijnmond-Drechtsteden gaat de aanleg van Deltadijken met het minste extra ruimtebeslag gepaard: ruim 10%. Per km dijklengthe is dat ongeveer 0,5 ha extra. Het verschil in ruimtebeslag van deltadijken tussen boven- en benedenrivierengebied is grotendeels te verklaren doordat bermen bij de benedenrivieren relatief kort zijn omdat het faalmechanisme piping hier minder van invloed is dan in het bovenrivierengebied.

In regio Rivieren – Rijn en Waal moet vaak worden teruggefallen op constructieve oplossingen zoals damwanden omdat bebouwing de aanleg van bermen in de weg staat. Dit is het geval op ongeveer 30% van de dijklengthe. In de andere regio's in het rivierengebied schommelt dit percentage rond de 20%.

Figuur 4.1 geeft een voorbeeld van een dijk waarbij de kans op een dijkdoorbraak wordt bepaald door overslag en overloop gerelateerde mechanismen. In de huidige situatie is een pipingberm van 20 m aanwezig. Op het niveau van het dijkvak is een extra berm nodig van circa 17,5 meter om de kans op een doorbraak door piping met een factor 100 te reduceren. Om die factor op het niveau van de dijkring voor de overstromingskans te realiseren, moet de berm nogmaals met 25 meter worden verlengd.



Figuur 4.1 Voorbeeld van een deltadijk langs rivieren, zonder en met lengte-effect voor piping.

Dijken langs kust, meren en estuaria

De huidige dijken langs de kust zijn ontworpen op een overslagdebiet van 1 l/s per meter.. Door de overwegend zandige ondergrond en omdat de hoogte van de waterkeringen wordt bepaald door golfoploop, is de kans op grondmechanisch falen minder afhankelijk van de buitenwaterstand en veelal niet maatgevend. Indien een overslagdebiet van 30 l/m/s wordt toegestaan, is er sprake van een zekere 'overhoogte' die kan worden benut voor het aanleggen van deltadijken. Aanvullende maatregelen bij deltadijken zijn nodig om te voldoen aan hogere eisen voor falen van buitenbekleding (vervangen steenbekleding) en instabiliteit van binnenbekleding (verflauwen binnentalud).

Kunstwerken

In de primaire waterkeringen komen volop kunstwerken voor, die vaak een waterkerende rol in combinatie met een andere functie vervullen. De belangrijkste faalmechanismen bij kunstwerken zijn golfoverslag en -overloop, piping, stabiliteit van (delen van) de constructie en betrouwbaarheid van de sluiting van de keermiddelen.

Aanpassing tot een hoger veiligheidsniveau van een deltadijk vraagt zwaardere uitvoering van voorzieningen tegen piping en voor stabiliteit van de constructie(onderdelen).

Door de procedures goed vast te leggen en door regelmatig oefeningen te houden is het mogelijk de kans op niet-sluiten terug te brengen, een factor 100 zal veelal slechts haalbaar zijn wanneer dubbele keringen worden aangelegd.

B-keringen

B-keringen zijn keringen die voor de dijkkringgebieden liggen en direct buitenwater keren.

Bij B-keringen is onderscheid te maken in (beweegbare) stormvloedkeringen, zoals de Maeslantkering, en vaste dammen, zoals de Afsluitdijk en Brouwersdam.

De kans op falen van stormvloedkeringen is verdisconteerd in de toets- en ontwerppeilen voor de achterliggende A-keringen. Het is veelal niet mogelijk de kans op falen van stormvloedkeringen te verlagen waardoor toets- en ontwerppeil van achterliggende A keringen stijgt.

Om de vaste dammen op een hoger veiligheidsniveau te brengen is net als bij A-keringen een zwaardere uitvoering nodig.

C-keringen

Compartimenterende C-keringen vormen een scheiding tussen twee dijkringen met een verschillende norm. De compartimentering treedt in werking wanneer een A- of B-kering faalt. Omdat de normen niet veranderen, blijft de functie van en eisen aan C-keringen gelijk.

4.3 Investeringskosten

De benodigde investeringskosten zijn berekend per dijktraject. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat de huidige dijk voldoet aan de vigerende normen (waarin de nieuwe inzichten rondom piping niet zijn verwerkt), dat de functies van de dijk voor en na versterking hetzelfde blijven en de bestaande infrastructuur in de invloedszone van de waterkering wordt vervangen. Een uitgebreide beschrijving van de berekening van de investeringskosten is beschreven in De Grave (2011).

Op basis van de aannames en het prijspeil 2009 bedragen de totale investeringskosten voor de vorming van 'doorbraakbestendige' deltadijken voor alle categorie A keringen in Nederland ongeveer 20 miljard euro. De gemiddelde kosten variëren per watersysteem van 6 miljoen langs IJssel, Maas en IJsselmeer tot 12 miljoen per kilometer langs de kust. De gemiddelde kosten bedragen 8 miljoen euro per kilometer.⁶

De investeringskosten voor deltadijken in het rivierengebied hebben vooral betrekking op versterking in grond (bermen) of constructieve maatregelen. Langs kust, meren en estuaria gaat het vooral om het vervangen van de buitenbekleding.

De investeringskosten van variant 2, 'doorbraakbestendige' deltadijken, per deelgebied zijn weergegeven in Tabel 4.2. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen een deltadijk waarbij de kans op dijkdoorbraak door overslag en overloop wordt gereduceerd door het verhogen van de kruin (kolom 2) en het versterken van het binnentalud (kolom 3).

6. Dit is een significant verschil ten opzichte van de eerder uitgevoerde studie door Silva en Van Velzen (2008). Zij kwamen voor heel Nederland op een bedrag van 11,5 miljard Euro uit (4,6 miljoen per kilometer). Het verschil wordt met name veroorzaakt door nieuwe inzichten rondom piping, het meenemen van klimaatverandering en een robuustheidtoeslag in het ontwerp.

Als de kosten van het versterken van het binnentalud van het totaal worden afgetrokken blijven de kosten van de deltadijk variant 1 'uitsluiten grondmechanisch falen' over. Deze bedragen circa 16 miljard euro.

Tabel 4.3 Kosten voor de aanleg van 'doorbraakbestendige' deltadijken per deltaregio. (bron: de Grave, 2011)

Deelgebied (lengte categorie A keringen in km)	Investeringskosten 'doorbraakbestendige' deltadijk (M€)			
	Beperkt overslagdebit (kruinverhoging)	Versterking binnentalud	Totaal constructief	Traditioneel faalkans 100 keer kleiner
Rijnmond-Drechtsteden (347)	2734	2539	6715	3250
Rijn en Waal (394)	3864	4381	5917	3850
IJssel (404)	2571	2748	3873	2400
Maas (212)	1325	1203	2313	1500
IJsselmeer (422)	2568	2291	4824	2600
Kust (65)	905	766	1379	1300 (schatting)
Wadden (231)	2091	2115	2805	2150
ZW Delta (423)	3809	4023	5631	4250
Totaal (2498)	19868	20066	33458	21300

In de derde kolom zijn de kosten gegeven wanneer 'doorbraakbestendige' dijken geheel constructief worden uitgevoerd. Dijkversterkingen worden daarbij niet in grond, maar met damwanden, diepwanden en kistdammen uitgevoerd. In deze verkenning is niet gekeken naar het effect van constructieve oplossingen op het plotse karakter van overstromingen. Kanttekening bij deze kosten is dat er rekening mee moet worden gehouden dat de kosten voor beheer en onderhoud aanzienlijk zullen stijgen. Dit komt niet terug in de geraamde investeringskosten. Tevens is de levensduur van een constructie veelal beperkt, zodat deze na verloop van tijd vervangen zal moeten worden. In totaal zijn de kosten van een constructieve deltadijk voor alle primaire waterkeringen ongeveer 35 miljard Euro.

De laatste kolom bevat de kosten voor dijken die op een traditionele manier doorbraak vrij worden gemaakt. Het belangrijkste verschil met de doorbraakbestendige dijk dat een traditioneel dijkontwerp uitgaat van een lager overslagdebit over de dijk. Een lager overslagdebit leidt onder ontwerpomstandigheden tot minder wateroverlast.

Aanzienlijke besparingen zijn te bereiken door de aanleg van deltadijken te combineren met het op orde brengen van dijken in de hoogwaterbeschermingsprogramma's. Een groot deel van de investeringskosten bestaan namelijk uit vaste kosten.

Bij het combineren van de aanleg van deltadijken aan reguliere dijkversterkingstrajecten zijn de extra investeringskosten van deltadijken naar verwachting 20% tot 60% van de in de tabel genoemde kosten. Voor de IJssel bedragen de investeringskosten voor deltadijken circa 6 miljoen Euro per kilometer bedragen. Wanneer de aanleg van een deltadijk wordt gecombineerd met een reguliere dijkversterking bedragen de extra kosten voor een deltadijk 1,5 à 4 miljoen per kilometer.

De 'werkelijke' extra kosten zijn sterk afhankelijk van de lokale situatie. De extra kosten nemen sterk toe wanneer bij een deltadijk een damwandscherm of kistdam constructie moet worden toegepast terwijl dit bij een reguliere dijkversterking nog niet nodig is.

4.4 Vermeden schade

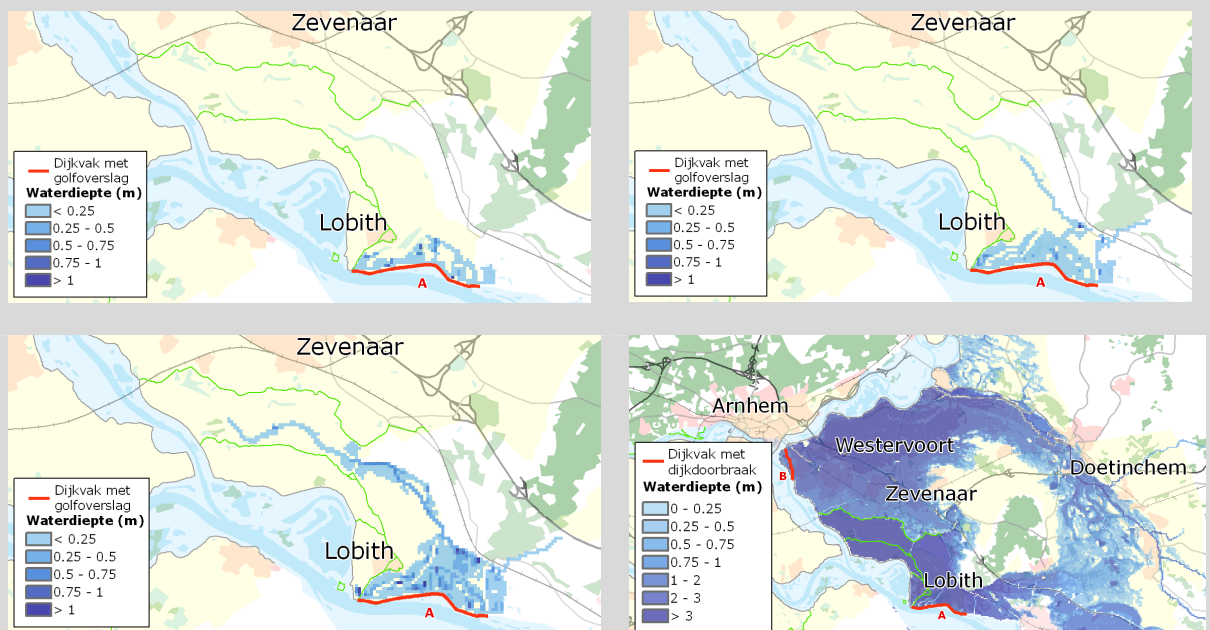
De economische baten van deltidijken bestaan uit vermeden overstromingsschade. Deze zijn voor variant 2 bepaald met dezelfde uitgangpunten en methoden als gebruikt in de MKBA van WV21. Voor variant 1 is het niet mogelijk de vermeden schade te bepalen. Omdat de kans op een dijkdoorbraak door overloop en overslag in deze variant niet wordt gereduceerd, zal de vermeden schade vele malen kleiner zijn dan bij een doorbraakbestendige dijk.

Bij de 'doorbraakvrije' deltidijken wordt, op basis van enkele overstromingsberekeningen voor dijkkring 48 (Tekstvak 4.4), aangenomen dat indien deze dijken rondom de hele dijkkring worden aangelegd, de jaarlijkse schadeverwachting met 90 tot 99% wordt gereduceerd⁷. Uit berekeningen volgt dat de jaarlijkse overstromingsschade in het rivierengebied bij aanleg van deltidijken bij 90% schadereductie 40 miljoen euro per jaar bedraagt.

Waterbezwaar bij Deltadijken

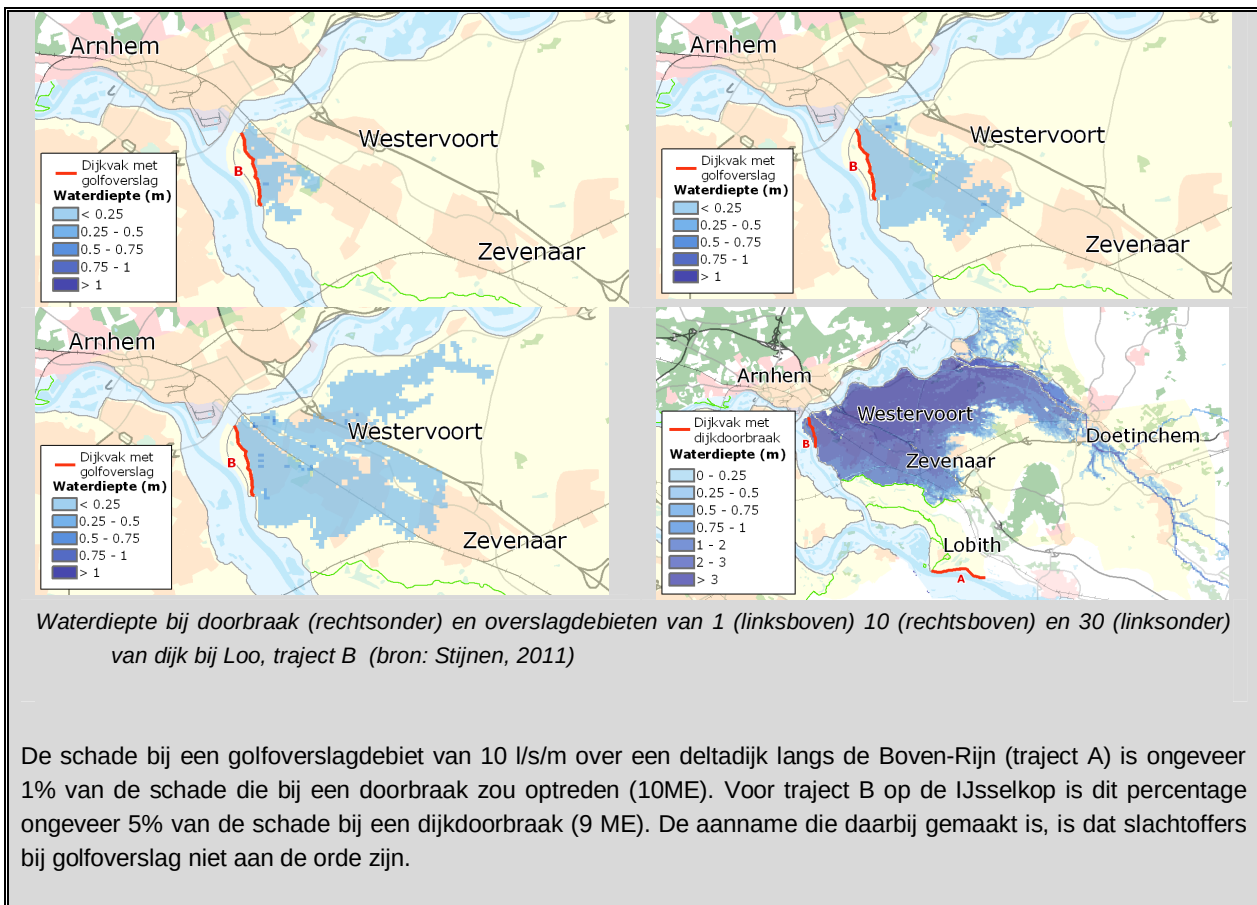
Bij deltidijken loopt of slaat er soms water over de kruin, waardoor er enig waterbezwaar kan optreden in het gebied achter de dijk. Om dit aspect verder uit te werken zijn voor twee locaties in dijkkring Rijn en IJssel (dijkkringnummer 48) modelberekening uitgevoerd. Hierbij is uitgegaan van een golfoverslagdebiet van 1, 10 en 30 l/s per meter. Bij een overslagdebiet van 30 l/m/s blijft de wateroverlast lokaal en waterdiepte beperkt tot 0,25 m. Ter vergelijking zijn daarnaast de gevolgen bij een doorbraak van de huidige dijk in beeld gebracht.

Opgemerkt wordt dat de hoeveelheid water door golfoverslag bij een overslag van 10 l/s per meter in dijkkring 48 ruwweg overeenkomt met de hoeveelheid water die gedurende 4 dagen door regen valt met een kans van voorkomen van gemiddeld eens in de 100 jaar.



Waterdiepte bij doorbraak (rechtsonder) en overslagdebieten van 1 (linksboven) 10 (rechtsboven) en 30 (linksonder) van dijk bij Spijk – traject A (bron: Stijnen, 2011)

7. Ten opzichte van het restrisico zoals dit is het restrisico wat is berekend in de Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse van het project WV21 bij de economisch optimale overstromingskans (Kind 2011)



Tekstvak 4.4 Waterbezwaar bij deltadijken

Het is binnen deze studie niet mogelijk om op basis van een economische afweging van investeringskosten en vermeden schade optimale eisen aan deltadijken vast te stellen. De hiervoor benodigde relaties tussen enerzijds investeringskosten en sterkte van waterkeringen en anderzijds vermeden schade en sterkte van waterkeringen zijn niet beschikbaar en wijken af van reguliere dijken.

4.5 Slachtofferrisico's

De kans op overstromingen in Nederland is heel klein, maar de gevolgen kunnen groot zijn (Klijn & De Grave, 2008). Bij een dijkdoorbraak kan een groot gebied snel onderlopen, met grote economische schade, maatschappelijke ontwrichting en soms grote aantallen dodelijke slachtoffers als gevolg. In deze uitwerking is onderzocht of en waar 'doorbraakbestendige' deltadijken (variant 1) tot een substantiële afname van slachtofferrisico's kunnen leiden. Daarbij gaat het bij deltadijken om dijktrajecten binnen dijkringen en niet de gehele dijkkring. Het slachtofferrisico wordt soms voor een groot deel bepaald door één of enkele doorbraaklocaties. In dat geval zal het slachtofferrisico al afnemen door alleen die bepalende delen van de dijkkring om te vormen tot 'doorbraakbestendige' deltadijk.

Het is binnen deze studie niet mogelijk om de reductie van het slachtofferrisico in variant 1, grondmechanisch falen, te bepalen. Er bestaat (nog) geen instrumentarium waarbij gevolgen afhankelijk van het faalgedrag van de kering kunnen worden bepaald. Theoretisch bepalen extra eisen aan de constructie het gedrag van de waterkering bij overbelasten.

Dit geeft extra tijd geven voor het nemen van maatregelen en kan de zelfredzaamheid verhogen. Er zijn geen gegevens bekend over de mate waarmee extra eisen aan faalgedrag van de waterkering het slachtofferisico reduceren.

Het slachtofferisico geeft de combinatie weer van de kans op een overstroming en het gevolg in termen van slachtoffers. Het slachtofferisico is op twee manieren te beschouwen: het risico dat een individu slachtoffer wordt en het maatschappelijk risico dat een grote groep slachtoffer wordt. Beide risico's zijn in de verkenning uitgewerkt.

Bij onderzoek naar groepsrisico's wordt de relatie onderzocht tussen de kans van optreden van een gebeurtenis en het aantal slachtoffers dat daarbij valt. Voor het verlagen van het individuele risico zijn maatregelen in ruimtelijke ordening en rampenbeheersing, zeker in relatief dunbevolkte streken zoals het rivierengebied, vaak effectiever dan de aanleg van deltadijken. Voor achtergrondinformatie bij de bepaling van het slachtofferisico wordt verwezen naar de deelrapportage van De Bruijn & Van der Doef (2011).

Uit de uitwerking van het slachtofferisico volgt dat als op ongeveer 200 kilometer dijk (minder dan 10% van de primaire waterkeringen) 'doorbraakbestendige' deltadijken worden aangelegd het jaarlijks verwachte aantal slachtoffers ten gevolge overstroming daalt met globaal 50%. Dit komt met name door de reductie van het groepsrisico in het benedenrivierengebied. De trajecten zijn weergegeven in Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Trajecten die bij omvorming tot deltadijk het grootste effect hebben op slachtofferisico's. In alle getallen is rekening gehouden met evacuatie.

Deel van dijkkring	Trajectnaam	Reductie slachtofferisico		Lengte dijktraject (km)
		aantal personen	percentage van totaal aantal	
17-1 IJsselmonde	Nieuwe Maas, Oost van A16	1080	65	5,9
30-1 Zuid-Beveland west	Hansweert	580	77	4,5
18-1 Pernis	Gehele dijkkring	500	>90	5,2
	Zeeuws-Vlaanderen	190	73	2,3
32-2 Oost	18_Terneuzen Veerhaven			
45-1 Gelderse Vallei (Nederrijn)	Grebbedijk (gehele dijkkring)	260	>90	5,3
35-1 Donge	Oost van Overdiepse polder	310	60	6,5
22-1 Dordrecht	Wantij en Nieuwe Merwede oost van zeedijk	280	81	7,4
15-1 Lopiker & Krimpenerwaard	Gehele dijkkring	1600	>90	48.
14-1 Zuid-Holland kust	Scheveningen Boulevard & Noordwijk	300	56	10
20-3 Voorne Putten – Oost	Gehele dijkkring	540	>90	20
	Alblasserwaard			
16-1 Vijfherenlanden	Waal en Lekzijde	1770	70	25

5 Juridische en bestuurlijke haalbaarheid van deltadijken

Is het aanleggen en op orde houden van deltadijken juridisch en bestuurlijk haalbaar? Hieronder passeren de aandachtspunten uit wet- en regelgeving de revue en bestuurlijke vraagstukken die samenhangen met het ontwerp, aanleg en onderhoud en financiering.

5.1 Juridische haalbaarheid

Ontwerp

Het ontwerp van een deltadijk moet ten minste voldoen aan de norm voor waterveiligheid die volgt uit de Waterwet. Het toepassen van een deltadijk op dijkkringniveau of op een deel daarvan heeft twee gevolgen:

- Verschillende veiligheidsniveaus binnen een dijkkring. Door van een deel van de dijkkring als een deltadijk aan te leggen, zijn binnen de dijkkring verschillende veiligheidsniveaus aanwezig. Dit is ook het geval bij reguliere verbetermaatregelen. De meest recent aangelegde dijken zullen vaak meer veiligheid bieden dan dijken die er al lang liggen.
- Verschillen in veiligheidsniveau tussen aangrenzende en tegenover elkaar liggende dijkkringen. Op dit moment kan voor naburige dijkkringen ook al een andere norm van toepassing zijn.

Deze twee gevolgen staan de juridische haalbaarheid van deltadijken niet in de weg. De Raad van State heeft aangegeven dat afwijkingen ten opzichte van de wettelijke randvoorwaarden *niet uitgesloten moeten worden*. Wel dient deze te berusten op een draagkrachtige motivering.

Planvorming

Vanuit de Wet milieubeheer schrijft het Besluit milieueffectrapportage bij 'de aanleg, wijziging of uitbreiding van werken inzake kanalisering of ter beperking van overstromingen, met inbegrip van primaire waterkeringen en rivierdijken' een milieueffectrapportage voor. De milieueffectrapportage moet de informatie opleveren om het milieubelang volwaardig mee te wegen in de besluitvorming. Bij de aanleg van een deltadijk is een milieueffectrapportage, net als bij reguliere dijkversterkingen, vereist.

Toetsen

De Waterwet schrijft voor dat de waterkeringbeheerders iedere zes jaar toetsen of de primaire waterkeringen aan de normen uit de wet voldoen. De toetsregels staan in het Wettelijk Toetsinstrumentarium (WTI), dat de staatsecretaris van Infrastructuur en Milieu iedere zes jaar vaststelt. Het instrumentarium bestaat uit de Hydraulische Randvoorwaarden (HR) en het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV). In de HR staan voor alle locaties de maatgevende belastingen door waterstanden en golven. Het VTV geeft de toetsmethode en de rekenregels voor de toetsing. Een deltadijk dient net als traditionele dijken getoetst te kunnen worden.

Beheer en onderhoud

Voor beheer en onderhoud van deltadijken vormt de huidige wet- en regelgeving geen belemmering. Deltadijken verschillen voor dit aspect niet van reguliere dijken.

In het geval een deltadijk een multifunctioneel karakter heeft, vragen drie uitgangspunten wel speciale aandacht:

1. De functionaliteit van de dijk mag niet worden ondermijnd.
2. Het toetsen van en onderhoud aan de dijk moet mogelijk zijn en blijven.
3. Toekomstige dijkversterkingen moeten mogelijk zijn.

Dit zijn aandachtspunten, maar deze zijn niet onoplosbaar. De wijze waarop dit geregeld wordt, kan per situatie verschillen. Voor andere aspecten van multifunctioneel medegebruik van de waterkering verwijzen wij naar het Deltares rapport 'Verkennde notitie multifunctioneel medegebruik van de waterkering'.

5.2 Bestuurlijke haalbaarheid

Waterbeheer in Nederland is belegd bij instituties zoals waterschappen, provincies en het Ministerie van I&M. Het handelen van dergelijke instituties is de verantwoordelijkheid van een democratisch gekozen bestuur. Bestuurders nemen beslissingen op basis van verschillende afwegingscriteria. Twee belangrijke afwegingen in het geval van een deltadijk zijn: financiering en aansprakelijkheid.

Financiering

Het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) regelt de financiering voor versterkingen die nodig zijn om aan de wettelijke norm te voldoen. Uitgangspunt hierbij is 'sober en doelmatig'. Het extra hoog, breed of sterk maken van een dijk wordt dus niet per definitie vanuit het HWBP gefinancierd. Als dit wordt gewenst moeten hier andere middelen voor worden gevonden. In het geval dat sprake is van multifunctioneel gebruik, komen de meerkosten van het multifunctioneel maken van een dijk voor rekening van de ontwikkelaar. Het Hoogheemraadschap van Delfland zegt hierover (Delfland, 2010:57): *'Medegebruik in de leggerzonering van de waterkering is onder maatschappelijk verantwoorde kosten mogelijk als het functioneren van de waterkering volgens gestelde veiligheidseisen nu en in de toekomst niet wordt aangetast, als het beheer en onderhoud van de kering niet wordt belemmerd en de kosten van het beheer niet onevenredig toenemen'*.

Aansprakelijkheid

De zaak *Dijkverschuiving Wilnis*⁸ heeft ertoe geleid dat veenkaden, en dus ook dijken, juridisch aangemerkt worden als een opstal volgens artikel 6:174 van het Burgerlijk Wetboek. Door het aanmerken van een dijk als opstal is de bezitter van de dijk aansprakelijk voor eventuele schade (Rijswick, 2011). Door multifunctioneel gebruik toe te staan, neemt het risico voor de bezitter of 'verpachter' van de dijk toe.

⁸ <http://www.rechtspraak.nl/Actualiteiten/HogeRaad+doet+17+december+uitspraak+over+aansprakelijkheid+dijkverschuiving+Wilnis.htm> (d.d. 20 december 2010)

6 Toekomst perspectief van de deltadijk

Voor hoogwaterbescherming stellen deltadijken extra eisen aan de sterkte van een waterkering waardoor het overstromingsrisico verder wordt gereduceerd. De extra eisen dienen om de kans op en/of de gevolgen van een dijkdoorbraak te reduceren. De eisen hebben betrekking op faalkans en faalgedrag bij overbelasten.

De deltadijk past in de in hoofdstuk 2 beschreven lijn, waarmee in Nederland van oudsher wordt omgegaan met overstromingsrisico's. Aan de hand van de bevindingen uit hoofdstuk 4 wordt in dit hoofdstuk aangegeven waar, hoe en wanneer deltadijken in Nederland zouden kunnen worden toegepast.

6.1 De deltadijk in het licht van het historisch perspectief

In de huidige ontwerpbenadering worden aan alle dijkvakken rond een dijkkring dezelfde eisen gesteld. De gevolgen van een overstroming kunnen, afhankelijk van de locatie van een dijkdoorbraak, sterk uiteen lopen. Binnen een overstromingskansbenadering kan hierop ingespeeld worden door de eisen aan de sterkte van de waterkering te variëren binnen een dijkkring: strenge eisen bij grote gevolgen en wat minder strenge eisen bij geringe gevolgen. Binnen een overstromingsrisicobenadering kan daarbij rekening worden gehouden met de verschillende faalmechanismen.

In de analyses van slachtofferisico's en maatschappelijke kosten en baten is binnen het project WV21 een eerste aanzet gemaakt in de richting van een differentiatie van eisen binnen dijkkringen. Dijkkringen zijn met het oog op significante verschillen in gevolgen onderverdeeld in dijkkringdelen. Ook bij de beheersing van slachtofferisico's kan differentiatie van sterkte binnen een dijkkring aantrekkelijk zijn. Met extra sterke dijken op de meest kwetsbare plekken kan het slachtofferisico op een doelmatige manier worden gereduceerd; een kwestie van lokaal maatwerk.

Een overstromingsrisico kan verder worden gereduceerd door in het ontwerp rekening te houden met het faalgedrag van de verschillende mechanismen. Dit is mogelijk door bij een dijkontwerp toelaatbare bijdragen van de verschillende mechanismen aan de faalkans (faalkans begroting) af te stemmen op indicatoren die de gevolgen van overloop en dijkdoorbraken beschrijven (stijgsnelheden van water, overstromingsdiepte en -omvang, evacuatiefractie). Hierdoor wordt het mogelijk het dijkontwerp te optimaliseren op basis van gevolgbeperking. Langs de dijkkring kunnen verschillende faalkans begrotingen worden toegepast, om het overstromingsrisico optimaal te reduceren. Het concept deltadijk past in deze benadering.

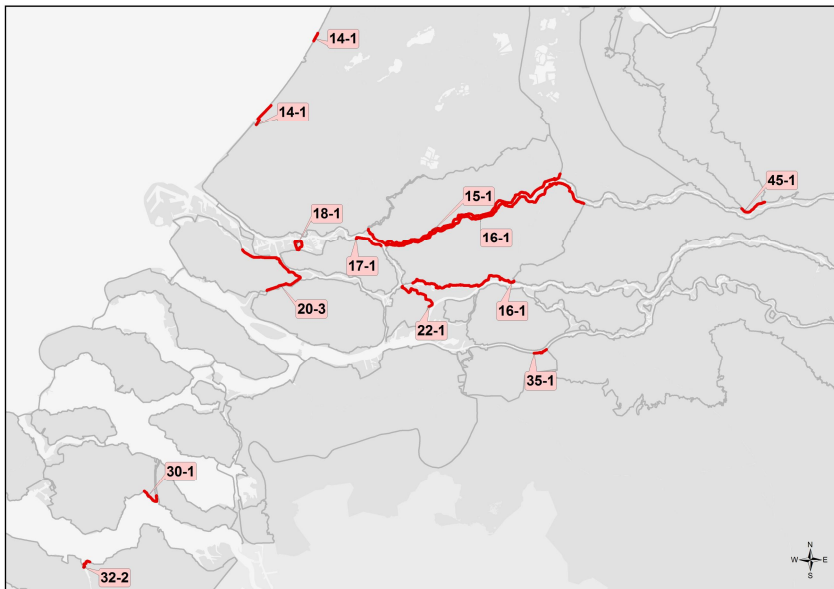
6.2 Waar, welke locaties?

De kern van het principe van deltadijken is dat door scherpere eisen aan de sterkte van dijken te stellen de kans op plotselinge en oncontroleerbare overstromingen sterk wordt gereduceerd. Door op dijktrajecten scherpere eisen aan faalkans en faalgedrag te stellen kan het overstromingsrisico worden verkleind.

Vanuit economisch oogpunt ligt het voor de hand om scherpere eisen aan faalkans en faalgedrag af te leiden voor dijktrajecten waar het vanuit het oogpunt van maatschappelijke kosten en baten gunstig is om een kleinere overstromingskans te realiseren.

Dit betreft dijkkring(del)en in Flevoland, het bovenrivierengebied (Rijn, Waal, IJssel, bedijkte Maas) en het benedenrivierengebied (rondom Rijnmond en de Drechtsteden). Het is uit economisch oogpunt niet rendabel om, overal deltadijken aan te leggen die 100 keer sterker zijn dan de huidige normen voorschrijven.

Op 11 trajecten dragen scherpere eisen aan faalkans en faalgedrag significant bij aan reductie van het slachtofferisico. Met de aanleg van ca. 200 km deltadijk (minder dan 10% van alle A-keringen) waarbij de faalkans met een factor 100 wordt gereduceerd, wordt het jaarlijkse slachtofferisico⁹ gehalveerd. De betrokken dijkkringen liggen vrijwel allemaal in de regio Rijnmond - Drechtsteden. Bij enkele dijkkringen moeten de bestaande waterkeringen worden uitgebreid tot deltadijken langs de volledige dijkkring. In de andere dijkkringen volstaat de aanleg van deltadijken over een klein traject.



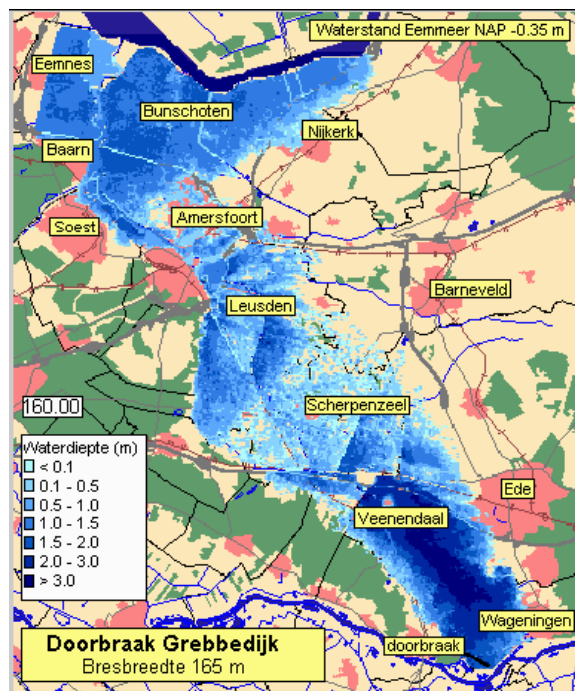
Figuur 6.1 11 trajecten waarbij deltadijken sterk bijdragen aan reductie van slachtofferisico

De discussies rondom deltadijken en normering raken elkaar. De normeringsdiscussie gaat vooral over de toelaatbare faalkans. De deltadijk voegt daarbij de discussie over faalgedrag toe. Binnen het deltaprogramma wordt onderzocht in hoeverre het overstromingsrisico van bovengenoemde dijkkringgebieden in de nabije toekomst moet worden gereduceerd door een strengere normering van primaire keringen. Het concept deltadijken gaat verder dan scherpere normen. Bij deltadijken worden extra eisen aan de sterkte bij overbelasten van de kering gesteld. Door in het ontwerp rekening te houden met het gedrag en gevolgen van de verschillende faalmechanismen wordt het overstromingsrisico bij deltadijken verder gereduceerd.

Een voorbeeld voor deze discussie is de Grebbedijk. De Grebbedijk beschermt de Gelderse Vallei tegen overstromingen. Bij dijkdoorbraken van de Grebbedijk zijn in het verleden grote delen van de Gelderse Vallei, waaronder Veenendaal en Amersfoort onder water komen te staan. De Grebbedijk voldoet aan de veiligheidsvoorschriften. Uit divers onderzoek blijkt echter dat door de grote gevolgen van een doorbraak en de geringe lengte van de Grebbedijk strengere eisen aan de toelaatbare faalkans voor de hand ligt (Provincie Utrecht, 2008).

9. Jaarlijkse slachtofferisico is het product van de kans per jaar op een overstroming en het aantal slachtoffers bij een overstroming

Een deltadijk waarbij scherpere eisen aan faalkans en faalgedrag worden gesteld kan hier uit economisch en maatschappelijk perspectief een effectieve maatregel zijn om het overstromingsrisico te reduceren. Provincie en Waterschap noemen de deltadijk een kansrijk reëel alternatief voor een reguliere dijkversterking (bron presentatie Waterschap Vallei en Eem, deltadijken workshop 15 juni 2010).



Figuur 6.2 Grebbedijk (bron figuur: presentatie Waterschap Vallei en Eem, deltadijken workshop 15 juni 2010)

6.3 Hoe, welke eisen?

De scherpere eisen die aan de sterkte van deltadijken worden gesteld zijn locatie afhankelijk. De optimale eisen kunnen niet worden afgeleid uit de in het project WV21 berekende optimale overstromingskans. In de kosten-baten analyses die in het project WV21 zijn uitgevoerd, wordt er van uitgegaan dat dijken bij overbelasten direct falen. In de praktijk, zal afhankelijk van het dominante mechanisme, ook bij een weinig overbelasten de dijk vaak nog blijven staan. De kerneigenschappen van deltadijken 'reduceren van kans op oncontroleerbare overstroming' en vooral 'reduceren van kans op plotselinge overstroming' hebben juist betrekking op het faalgedrag bij overbelasten. Voor het bepalen van de scherpere eisen is een analyse nodig waarin gerekend kan worden met het faalgedrag, de wijze waarop een dijk doorbreekt.

Bij deltadijken ligt de vraag op tafel wat een (economisch) optimaal ontwerp van een dijk is, wanneer niet alleen gekeken wordt naar de optimale hoogte (zoals in WV21), maar ook (en gelijktijdig!) naar de optimale sterkte (breedte van de dijk, taludhellingen en bekledingen, bermbreedte ter voorkoming van piping, et cetera). En waarbij zowel rekening gehouden wordt met de gevolgen van een dijkdoorbraak, als met de gevolgen van overloop zonder dat de dijk doorbreekt. Dit is alleen mogelijk indien een instrumentarium beschikbaar is dat bij het bepalen van faalkans en gevolgen van overstromingen rekening houdt met het faalgedrag.

6.4 Wanneer, maatregel of strategie?

Op basis van de aannames en het prijspeil 2009 bedragen de totale investeringskosten voor de vorming van 'doorbraakbestendige' deltadijken, waarvan de faalkans 100 keer kleiner is dan de huidige normen voorschrijven, voor heel Nederland ongeveer 20 miljard euro. Per kilometer variëren de kosten van 6 miljoen euro langs Maas en IJssel tot meer dan 10 miljoen langs de kust en in het Waddengebied.

Deze investeringskosten voor deltadijken zijn hoog. Het vervangen van alle keringen lijkt vanuit economische overwegingen geen redelijke investering. Wel een reële aanpak is de volgende: ga, op het moment dat dijkversterking aan de orde is na of de inzet van zulke dijken overstromingsrisico lokaal effectief kunnen reduceren zowel uit economisch oogpunt als vanuit slachtofferrisico. Bepaal vervolgens de extra kosten ten opzichte van de standaard dijkversterking. Op basis van de uitkomst kan al dan niet gekozen worden voor deltadijken.

De financiering van de extra kosten voor deltadijken zijn lastig. Immers het uitgangspunt van het Hoogwater Beschermingsprogramma (HWBP), dat dijkversterkingen financiert, is soberheid en doelmatigheid. Indien echter door lokaal inzetten van deltadijken, Nederlands als geheel veiliger wordt, zijn dergelijke dijken in ieder geval doelmatig. Mocht dit tot extra kosten leiden zou op plaatsen waar minder risico gelopen wordt gekozen kunnen worden voor temporiseren. Ervan uitgaande dat de belangrijkste winst lokaal wordt behaald, leidt dit overigens ook tot de vraag wie (welke overheden) in dat geval zullen bijdragen aan de financiering.

7 Conclusie

Dit hoofdstuk bevat de conclusie uit de verkenning deltadijken.

Over deltadijken bestaan veel verschillende beelden. Aan deltadijken worden verschillende eigenschappen toegedicht. De meeste beelden van deltadijken leggen de nadruk op multifunctionaliteit van waterkeringen. Dit rapport beschrijft de kansen en belemmeringen van deltadijken voor hoogwaterbescherming in Nederland.

Kenmerkend van deltadijken voor hoogwaterbescherming is dat door extra eisen aan de sterkte van een waterkering het overstromingsrisico verder wordt gereduceerd. De extra eisen dienen om de kans op en/of de gevolgen van een dijkdoorbraak te reduceren. De eisen hebben betrekking op faalkans en faalgedrag bij overbelasten. Door extra eisen met betrekking tot faalgedrag wordt de kans op een *plotselinge* overstroming, en daarmee het slachtofferisico verkleind. Door scherpere aan de faalkans wordt de kans op een *oncontroleerbare* overstroming en bijbehorende schade en slachtoffers gereduceerd. De deltadijk past in de lijn, waarmee in Nederland van oudsher wordt omgegaan met overstromingsrisico's.

De exacte eisen zijn situatieafhankelijk en worden per locatie vastgesteld. Daarbij dient een afweging te worden gemaakt tussen de kosten om extra veiligheid te creëren en de beoogde baten. In de afweging kunnen naast economische en slachtofferisico ook andere aspecten, zoals financiële (hebben we het geld überhaupt) of politieke (is het maatschappelijk wenselijk en zijn er andere redenen voor deltadijken) worden meegenomen.

Voor het bepalen van de eisen die aan deltadijken worden gesteld is een instrumentarium nodig dat een relatie legt tussen de kans op een dijkdoorbraak, de wijze waarop de dijk doorbreekt en de gevolgen van een dijkdoorbraak of overloop als de dijk niet doorbreekt. Dit instrumentarium is niet beschikbaar.

Om enig gevoel bij het principe van de deltadijk zijn twee varianten uitgewerkt. Daarbij is een beeld geschetst wat het verkleinen van de kans op grondmechanisch falen' (variant 1) of het maken van 'doorbraakbestendige' deltadijken (variant 2) in de praktijk betekent. Voor het ontwerp van een 'doorbraakbestendige dijk' worden 100 keer strengere eisen dan leidraden voorschrijven gehanteerd. Geconcludeerd wordt dat het economisch niet rendabel is om op sommige locaties maar zeker niet in heel Nederland dijken aan te leggen die 100 keer sterker zijn dan de huidige leidraden voorschrijven. Door op ongeveer 200 kilometer (minder dan 10%) van de primaire waterkeringen 'doorbraakbestendige' deltadijken aan te leggen daalt het jaarlijks verwachte aantal slachtoffers ten gevolge van overstroming met circa 50% en wordt een substantiële reductie van het groepsrisico gerealiseerd.

Binnen het huidige juridische en bestuurlijke kader is het aanleggen en op orde houden van deltadijken mogelijk. Een reële aanpak voor implementatie van deltadijken is dan dat op het moment dat een dijkversterking aan de orde is na of de inzet van deltadijken het overstromingsrisico lokaal effectief kunnen reduceren zowel uit economisch oogpunt als vanuit slachtofferisico. Indien dit het geval is en ervan uitgaande dat de belangrijkste winst vooral lokaal wordt behaald, is de vraag wie (welke overheden) zullen bijdragen aan de financiering van de extra kosten ten opzichte van een reguliere dijkversterking. Naast financiering is, vooral bij multifunctioneel gebruik, aansprakelijkheid van deltadijken een aandachtspunt.

Referenties

In het kader van de verkenning Deltadijken zijn de volgende rapportages en memo's opgeleverd, die ten grondslag liggen aan de voorliggende rapportage. Deze rapportages en memo's zijn te downloaden via <http://kennisonline.deltares.nl/>

- Bruijn, K. de, en Klijn, F., (2011), Deltadijken: locaties waar deze het meest effectief slachtoffer risico's reduceren, Deltares, Delft
- Calle, E., Knoeff, H., Meij, R. van der., en Stijnen, J., (2011), Memo Deltadijken, Deltares, Delft
- Franssen, R, Veen, B. van der, Altamirano, M., Berg, F. van den, Knoeff, H., (2011) Bestuurlijke haalbaarheid van deltdadijken, Deltares, Delft
- Grave, P., (2011), Deltadijken, kostenramingen, Deltares, Delft
- Hoven, A. van., (2010), Memo Doorbraakvrije Dijken inbreng ervaringen vanuit SBW Golfoverslag en Sterkte Grasbekledingen, Deltares, Delft
- Knoeff, H., Meij, R. van der, Schelfhout, H. (2011) Verkenning Deltadijken, Technisch Cluster, Deltares, Delft.
- Kind, J., (2011b), Memo Kengetallen kosten-batenanalyse Deltadijken, Deltares, Delft
- Linden, L. van., en Linden., T. van., (2010) Verkenning deltdadijken Initiatieven en ervaringen, Deltares, Utrecht
- Te Linde, A.H., (2011). Extreme Rijn- en Maasafvoer en regionale neerslagintensiteit in Nederland. Memo. Deltares, Utrecht.
- Meij, R. van der., en Zwan, I. van der., (2011), Visualisatie Deltadijken, Deltares, Delft
- Stijnen, J., (2011), Memo golfoverslagsimulaties deltdijk, HKV LIJN IN WATER, Lelystad
- Verheij, F., (2011), Memo Kosten Bekleding, Deltares, Delft

Overige referenties uit het rapport zijn:

- De Bruijn, K.M. & Van der Doef, M. (2011). Gevolgen van overstromingen. Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid in de 21e eeuw. Project 120144.004, Deltares, Delft, Nederland.
- Ellen, G.J. et al. (2011), Verkennende notitie Multifunctioneel medegebruik van de Waterkering, beantwoording signaleringsvraag #5 van de deltdacommissaris, Deltares, Delft.
- Hoogheemraadschap van Delfland, (2010). Ontwerp Delflands Algemeen Waterkeringenbeleid Veilig nu en in de toekomst, samen met de omgeving, Hoogheemraadschap van Delfland, Delft
- Kind, J. (2011), Maatschappelijke kosten-baten analyse Waterveiligheid 21^e eeuw. Project 120144-006, Deltares Delft

- Klijn, F. Grave, P. de., (2008). Grenzen aan de gevolgen van een overstroming? Een reflectie op de uitkomsten van de Compartimenteringstudie. Deltares-rapport T2513.50, Delft.
- Provincie Utrecht, (2011) Verkenning Grebbedijk, Grebbedijk als Deltadijk?, Provincie Utrecht, Utrecht.
- Rijswick, M. van, (2011). Presentatie: Juridificering van inspecties en het waterschap, presentatie gehouden op de 8e .kennisdag waterkeringen 2011, STOWA <http://www.inspectiewaterkeringen.nl/content.asp?page=318>
- Silva, W. & E. van Velzen (red.), (2008). De dijk van de toekomst? Quick-scan doorbraakvrije dijken. Rapport RWS-Waterdienst 2008.052/ Deltares-rapport Q4558.32.

A Colofon

Bij het uitvoeren van de verkenning Deltadijken is gebruik gemaakt van kennis en expertise van:

Frank Alberts (Rijkswaterstaat Waterdienst)
Mónica Alejandra Altamirano
Maaïke Bos
Frans van den Berg
Ed Calle
Gerald Jan Ellen
Rosalie Franssen
Peter de Grave
Frank den Heijer
Andre van Hoven
Sonja Karstens
Jarl Kind
Frans Klijn
Han Knoeff
Jaap Kwadijk
Bastiaan Kuijper (HKV Lijn in water)
Thomas van der Linden
Lybrich van der Linden
Raymond van der Meij
Herman van der Most
Gerda Roeleveld
Durk Riedstra (Rijkswaterstaat Waterdienst)
Wim Silva (Rijkswaterstaat Waterdienst)
Harry Schelfhout
Robert Slomp (Rijkswaterstaat Waterdienst)
Jan Stijnen (HKV Lijn in water)
Bonne van der Veen
Emiel van Velzen
Henk Verheij
Irene van der Zwan

B Veiligheidseisen conform de Leidraden

De veiligheidseisen, zoals geformuleerd in de huidige leidraden, zijn weergegeven in *textbox B.1*. De eisen in de leidraden zijn verschillend geformuleerd. Zo geldt de overbelastingseis in deel 2 van de leidraad voor rivierdijken (LOR2) voor de gehele dijkkring en in de Leidraad voor zee- en meerdijken voor elk afzonderlijk dijkvak. Onder overbelasten verstaan we het optreden van een waterstand of een combinatie van waterstand en golven, waarbij een (veilig gekozen) toelaatbaar overloop/overslagdebiet wordt overschreden. In deel 1 van de leidraad voor rivierdijken (LOR1) wordt de overbelastingseis alleen impliciet genoemd. Daarbij wordt overigens wel expliciet een toelaatbare faalkans door overloop/golfoverslag bij niet overbelasten genoemd (10% van de normfrequentie). Deze eis is niet genoemd in de volgende leidraden; in feite is deze 10% een indicatie van hoe veilig het toelaatbare overslagdebiet gekozen dient te worden. De vigerende veiligheidseisen voor dijken zijn dus vastgelegd in de volgende criteria:

- Een toelaatbare kans op *overbelasten*. Deze kans is gelijk aan de wettelijke norm.
- Een toelaatbare kans op *falen* door overslag en overloop gerelateerde mechanismen waarbij geen overbelasten optreedt. In de LOR1 is deze kans is gelijk aan 10 % van normfrequentie. In de overige leidraden wordt die kans niet expliciet genoemd, maar wordt impliciet wel een dergelijke eis gesteld. Het toelaatbare golfoverslagdebiet moet namelijk 'veilig' gekozen zijn.
- Een toelaatbare kans op *falen* door niet aan overloop/golfoverslag gerelateerde faalmechanismen, waarbij nog geen overbelasten optreedt. Deze kans is gelijk aan 10 % van de wettelijke norm.

Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 1 (LOR1, 1987)

1. Kans op doorbraak in een dijkkringgebied door golfoverslag, bezien over alle hoogwatertoppen beneden MHW, maximaal 10% van de overschrijdingskans van MHW (deze overschrijdingskans wordt verder aangeduid als normfrequentie).
2. Bij waterstanden gelijk of lager dan MHW, kans op doorbraak ergens langs het dijkkringgebied door andere oorzaken (afschuiving, interne erosie, e.d.) verwaarloosbaar, wat geïnterpreteerd is als maximaal 10% van de normfrequentie.

Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 2 (LOR2, 1989)

1. Kans dat ergens langs het dijkkringgebied het overslagdebiet groter is dan het toelaatbare overslagdebiet (deze gebeurtenis wordt verder aangeduid als overbelasting), is maximaal gelijk aan de normfrequentie.
2. Kans op doorbraak ergens langs het dijkkringgebied door andere oorzaken dan overslag (afschuiving, interne erosie, e.d.) verwaarloosbaar, wat geïnterpreteerd is als maximaal 10% van de normfrequentie.

Leidraad Zee- en Meerdijken (LZM, 1999)

1. Kans op overbelasting per dijkvak is maximaal gelijk aan de normfrequentie.
2. Bij waterstanden gelijk of lager dan MHW, kans op doorbraak ergens langs het dijkkringgebied door andere oorzaken (afschuiving, interne erosie, e.d.) verwaarloosbaar, wat geïnterpreteerd is als maximaal 10% van de normfrequentie.

Leidraad Rivieren (LR, 2007)

1. Kans op overbelasting is maximaal gelijk aan de normfrequentie
 - a. voor bovenrivierengebied: kans geldt per dijkvak
 - b. toegestaan voor dijkkringen in Zuid-Holland: kans geldt voor de dijkkring
2. Indien geen overbelasten optreedt: kans op doorbraak ergens langs het dijkkringgebied door andere oorzaken (afschuiving, interne erosie, e.d.) maximaal 10% van de normfrequentie.

Tekstbox B.1: Omschrijving van veiligheidsuitgangspunten in de TAW (ENW) leidraden voor dijken (bron: Leidraad Grondslagen voor Waterkeren, 1998; bepalingen in LR toegevoegd)

Er zijn geen criteria voor de (toelaatbare) faalkans (en dus de overstromingskans). Een dijk die bij een kleine overbelasting al faalt (doorbreekt) voldoet nog aan de gestelde criteria. In de praktijk, echter, zal het tweede criterium verhinderen dat dijken, die slechts weinig overbelast worden, daadwerkelijk falen.

De faalkans bestaat uit drie bijdragen, namelijk:

1. de kans op falen bij overbelasten
2. de kans op falen bij 'niet overbelasten', waarbij:
 - i. falen het gevolg is van overslag, of
 - ii. falen het gevolg is van een ander mechanisme dan overslag.

Alleen voor de bijdrage 2.ii wordt in de vigerende leidraden een toelaatbare waarde genoemd, namelijk 0,10 keer de normfrequentie.

De bijdragen 1 en 2.i zijn afhankelijk van de veiligheid in de keuze van het toelaatbaar golfoverslagdebiet. In de LOR1 wordt wel een toelaatbare waarde van de bijdrage 2.i genoemd, namelijk 0,10 keer de normfrequentie. Aannemelijk is dat zo'n waarde, of iets in die orde ook in de latere leidraden is beoogd. We veronderstellen daarom dat de impliciet toelaatbare bijdrage, door veilige keuze van het toelaatbare overslagdebiet ξ keer de normfrequentie is, waarbij ξ in de orde van 0,10 ligt (bijvoorbeeld 0,10 – 0,20). Aannemelijk is dat zeker niet beoogd is die bijdrage kleiner te laten zijn dan de bijdrage 2.ii. De keuze van het toelaatbare golfoverslagdebiet is eveneens bepalen voor de bijdrage aan de faalkans bij overbelasten. Hoe groter dit debiet, hoe groter de deze bijdrage aan de faalkans. Maar die is zeker niet groter dan de kans op overbelasten (de normfrequentie). Immers, de kans op falen gegeven dat overbelasten optreedt, is uiteraard maximaal 1. We noteren die kans daarom als: $\eta \times$ de normfrequentie, waarbij η in elk geval groter is dan ξ en kleiner dan 1.

De totale impliciet beoogde toelaatbare faalkans is derhalve (bij benadering):

$$P_f = (\eta + \xi + 0,10) \times \text{de normfrequentie}$$

waarbij η (ruim) groter is dan ξ en ξ minimaal gelijk is aan 0,10. Gaan we, tentatief, uit van $\xi=0,10$ en $\eta=0,20$, dan is de impliciet beoogde toelaatbare (totale) faalkans gelijk aan 0,40 keer de normfrequentie. Gaan we uit van $\eta=1$ (wat de bovengrens is) en $\xi=0,10$ (wat bij een grote waarde van η eigenlijk een onrealistisch kleine waarde is), dan is de impliciet beoogde faalkans 1,20 keer de normfrequentie. In het eerste geval is de verhouding tussen bijdragen aan de faalkans door aan overslag gerelateerde en niet aan overslag gerelateerde faalmechanismen 75%-25%. In het tweede geval is die verhouding ongeveer 90%-10%, maar, zoals gezegd, zijn hier al onrealistische aannamen voor nodig. Niettemin leeft breed de perceptie dat, wanneer conform de leidraden ontworpen wordt, deze 90%-10% verhouding wordt gerealiseerd. Deze analyse van de criteria in de leidraden geeft hier echter geen aanleiding toe.

Opgemerkt wordt dat in de Leidraden de toelaatbare faalkans geborgd wordt door voornamelijk empirisch tot stand gekomen ontwerpregels en –criteria (voor macrostabiliteit, opbarsten en piping, et cetera). De met deze ontwerpregels/ontwerpcriteria feitelijk gerealiseerde kans op falen is bij het opstellen van de Leidraden echter niet nader onderzocht. De genoemde toelaatbare faalkans moet daarom gezien worden als bedoeld door de Leidraden. In werkelijkheid betreft het een schatting van wat met de vigerende technische regels en criteria mogelijk is.