



Jasper Fiselier, DHV

Jarl Kind, RWS Waterdienst

Siemen Prins, DHV

Financiële onderbouwing robuust ontwerp dijken

De primaire keringen in Nederland worden elke vijf jaar getoetst. Bij onvoldoende hoogte of stabiliteit wordt de dijk verbeterd en daarbij zo nodig verhoogd. Bij het bepalen van de ontwerphoogte wordt doorgaans rekening gehouden met ontwikkelingen in de maatgevende waterstand over de komende 50 jaar. Bij het bepalen van deze ontwerphoogte en -periode wordt geen rekening gehouden met onzekerheden ten aanzien van de ontwikkeling in rivierafvoer en peilen en ook niet met een eventuele aanpassing van de veiligheidsnorm. In de laatste Leidraad voor de Rivieren wordt wel geadviseerd een ontwerp toeslag van circa 30 centimeter mee te nemen in verband met modelonzekerheden.

In deze studie wordt aangegeven hoe onzekerheden kunnen worden doorvertaald in een ontwerphoogte van dijken door hierbij een financieel-economische invalshoek te hanteren. Impliciet wordt hiermee ook de onderbouwing gegeven voor een, uit oogpunt van de kosten, zo robuust mogelijk ontwerp. De resulterende ontwerphoogten laten opmerkelijke verschillen zien, afhankelijk van de lokale situatie. Ook is het opmerkelijk dat, vergeleken met de gangbare praktijk, vanuit financieel-economische optiek vaak gekozen

kan worden voor een robuustere aanpak. Of daar ook daadwerkelijk voor gekozen wordt, hangt echter niet zozeer af van de centen, maar vooral van effecten op natuur, landschap en aanwezige bebouwing.

Bij dijkversterking wordt uitgegaan van een toets- en een ontwerphoogte. De toetshoogte geeft aan hoe hoog de dijk, gegeven een veiligheidsnorm en maatgevende afvoer, minimaal moet zijn. Als een dijk te laag blijkt, dan moet deze worden verhoogd. De ontwerphoogte die hierbij

wordt aangehouden, hangt vooral af van de gewenste functionele levensduur van de dijk. Bij het bepalen van de ontwerphoogte kan men kiezen voor een kortere of langere functionele levensduur, bijvoorbeeld voor 50 jaar of voor 100 jaar. Meestal wordt om maatschappelijke redenen al niet gekozen voor een levensduur korter dan 50 jaar. Een ontwerphoogte passend bij een functionele levensduur van 100 jaar brengt natuurlijk meer kosten met zich mee. Beschouwt men echter een langere periode, bijvoorbeeld 100 jaar, dan moet men bij een ontwerphoogte passend bij 50 jaar al twee keer verhogen.

Bij het verhogen van een dijk maakt men al relatief veel kosten voor slopen van de oude bekleding en aanbrengen van de nieuwe bekleding, ook bij een kleine verhoging. Elke volgende centimeter verhoging is verhoudingsgewijs goedkoper. Twee keer een halve meter verhogen is daardoor in absolute zin - dus zonder disconteren - fors duurder dan één keer een meter. Daar staat weer tegenover dat vanuit het perspectief van de totale kosten het altijd gunstiger is om investeringen uit te stellen. Een investering van 100 euro over 50 jaar komt bij een discontovoet van 4% overeen met minder dan tien euro nu. Toch is elke 20 jaar verhogen, verdisconteerd, dat wil zeggen, uitgedrukt in euro's van nu, toch al gauw duurder dan elke 50 jaar verhogen, en er zijn situaties waarbij elke 50 jaar verhogen duurder is dan eenmaal in de 100 jaar.

De benadering die in deze werkwijze wordt gevolgd, kent een aanvliegroute via de financieel-economische invalshoek. Wat

Bij het bepalen van de optimale ontwerphorizont en -hoogte spelen de volgende begrippen een rol:

- De toetshoogte oftewel de hoogte waaraan de dijk minimaal moet voldoen om niet te worden afgekeurd. De toetshoogte wordt afgeleid van de maatgevende waterstand, zoals die optreedt bij een afvoerpiek die volgens de veiligheidsnorm nog moet kunnen worden gekeerd;
- De ontwerphoogte oftewel de hoogte waarop de te versterken dijk wordt ontworpen. De ontwerphoogte ligt altijd hoger dan de toetshoogte. Hoeveel hoger hangt af van de gewenste functionele levensduur;
- De technische levensduur oftewel de periode dat een ontwerp of onderdelen hiervan nog technisch goed functioneren. De technische levensduur kan verschillend zijn voor verschillende onderdelen. Zo gaat het grondlichaam van een dijk veel langer mee dan de bekleding;
- De functionele levensduur oftewel de periode waarin een ontwerp nog voldoet aan de functionele eisen, die bijvoorbeeld samenhangen met de trendmatig oplopende maatgevende waterhoogte. Hoe lang is de dijk nog hoog genoeg?
- De economische optimale ontwerpperiode, die afhankelijk is van de maatregelkosten en de vermeden schade. Er bestaat een optimaal ontwerp waarbij de totale maatschappelijke kosten over een langere periode het kleinste zijn. Deze benadering staat aan de basis van de veiligheidsnormering in Nederland;
- De financieel-economische optimale ontwerpperiode, die afhankelijk is van de ontwikkeling in functionele eisen en kosten. Er bestaat een ontwerp dat op langere termijn de minste totale kosten met zich meebrengt. In deze benadering wordt niet gekeken naar maatschappelijke baten in de vorm van vermeden schade.

financieel-economisch het meest optimale ontwerp is, hangt af van de totale kosten die samenhangen met versterken en verhogen en het beheer en onderhoud van de dijk. Er wordt daarbij uitgegaan van een periode van 100 jaar waarover de kosten berekend worden. De totale kosten omvatten alle investeringen in (opeenvolgende) versterkingen en beheer en onderhoud uitgedrukt in euro's van nu. Er wordt daarbij alleen gekeken naar de kosten en niet naar de economische baten van versterking, zoals een lagere schadeverwachting. De financieel economische invalshoek geeft daarmee - uitgaande van de situatie dat een dijkverbetering dient te worden uitgevoerd - een onderbouwing van de ontwerphoogte, maar niet van de toetshoogte.

Onzekere ontwikkelingen in toetshoogte

In de voorgaande redenering wordt nog uitgegaan van een lineair toenemende ontwerpogave, bijvoorbeeld als gevolg van het toenemen van de maatgevende afvoer op de Rijn. Deze toename is gebaseerd op één van de vier KNMI-scenario's (doorgaans een gemiddelde). Er zijn echter ook andere, meer en minder extreme scenario's mogelijk. Zo kan de toename sneller gaan dan verwacht. Dit kan betekenen dat men al na 30 jaar opnieuw moet verhogen in plaats van na 50 jaar, waarop de dijk oorspronkelijk is ontworpen. Het is ook mogelijk dat de toename minder snel gaat. In dat geval kan men veel langer toe dan de 50 jaar welke het uitgangspunt voor het aanvankelijke ontwerp vormde. Hoe sneller de toename van de toetshoogte, des te eerder een langere ontwerpprocedure ook financieel-economisch het meest gunstig kan blijken.

De veranderingen in de afvoer en daarmee in de maatgevende waterstand verschillen tussen boven- en benedenrivieren. Zo moet in het benedenrivierengebied ook rekening worden gehouden met zeespiegelstijging, maar is anderzijds het karakter van de rivieren ook heel verschillend (brede rivieren). Er is daarom in deze studie onderscheid gemaakt naar beide type gebieden.

De toetshoogte (of ontwerpogave) hangt echter niet alleen af van de ontwikkelingen in de afvoer maar, in ieder geval in theorie, ook af van mogelijke ontwikkelingen ten aanzien van de veiligheidsnorm. Zo vinden de huidige normen hun oorsprong in de jaren 60 (Deltacommissie). Op dit moment loopt bij Rijkswaterstaat het programma 'Waterveiligheid 21e eeuw', waarin onder andere de huidige veiligheidsnormen van primaire waterkeringen tegen het licht gehouden worden. Dit wordt gedaan mede in de context van de sinds de jaren 60 toegenomen waarden en bevolkingsomvang in het voor overstromingen gevoelige deel van Nederland. Ook in de toekomst wordt een verdere economische groei in deze gebieden verwacht en daarmee een verdere stijging van de schade bij overstroming. Zo neemt bij een economische groei van twee procent per jaar de schade toe met een factor 7 over 100 jaar. In enkele dijkkringen, bijvoor-

beeld die waarin veel stedelijke uitbreidingen plaatsvinden, kan de schade nog sneller toenemen. Als men ervan uitgaat dat het overstromingsrisico (kans maal schade) niet mag toenemen, dan zal men de norm strenger moeten maken wat resulteert in een toename van de toetshoogte. Deze toename is verschillend voor boven- en benedenrivierengebied en ligt in centimeters uitgedrukt in dezelfde orde van grootte als de toename als gevolg van het toenemen van de maatgevende afvoer. Bij het bepalen van de optimale ontwerpogave dient men behalve de onzekerheid in het klimaatsscenario dus ook rekening te houden met verschillende mogelijke ruimtelijke-economische scenario's die aanleiding geven tot een aanpassing van de hoogte van de normen.

Bij een snelle toename van de toetshoogte ligt het voor de hand om de ontwerpogave groter te maken om zo een voldoende lange functionele levensduur van de dijk te kunnen garanderen. Op deze wijze is dan ook de ontwikkeling in de toetshoogte gekoppeld aan de ontwerpogave. Voor verschillende, mogelijke, ontwikkelingen van de toetshoogte kan worden bepaald wat financieel-economisch de meest gunstige functionele levensduur en ontwerpogave

is. Door de resultaten van verschillende mogelijke economische en klimaatontwikkelingen te combineren, kan de meest gunstige ontwerpogave voor een combinatie aan scenario's worden bepaald.

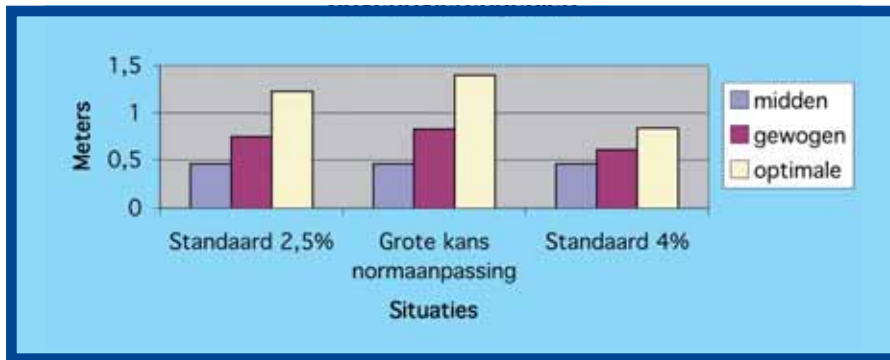
Resultaten

De resultaten hangen mede af van de discontovoet, die wordt gebruikt bij het terugrekenen van toekomstige investeringen naar contante waarde. Er is daarom gekeken naar de resultaten bij een discontovoet van 4% en 2,5%. Daarnaast is nog een aparte set scenario's doorgerekend, waarbij is uitgegaan van een grotere kans op normaanpassing bij een discontovoet van 2,5%. Hier worden de resultaten van deze twee situaties besproken: die van een kale dijk zonder steunberm en van een dijk met steunberm. Beide situaties kunnen worden gezien als uitersten wat betreft kostencurve voor een kale dijk zonder constructies.

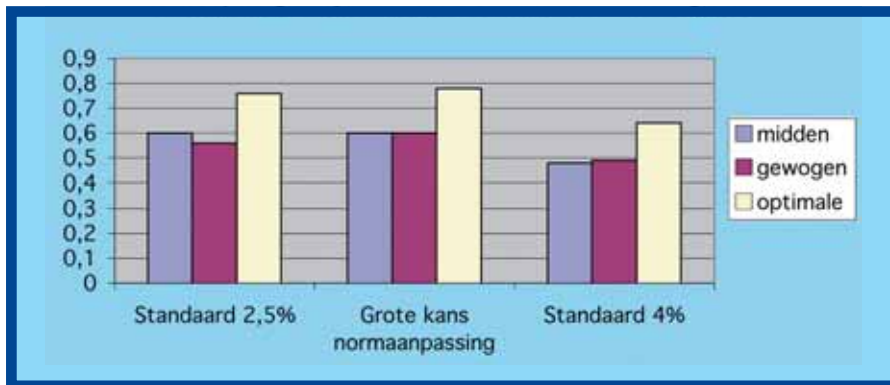
In afbeelding 1 zijn de resultaten weergegeven voor een dijk zonder steunberm in het bovenrivierengebied zonder aanwezigheid van woningen en leidingen nabij de dijkteen. Uit de resultaten valt af te lezen dat sprake is van grote verschillen in ontwerpogave tussen het

Om te onderzoeken hoe om te gaan met deze verschillende scenario's en hoe deze door te vertalen naar een ontwerpogave zijn de volgende stappen gezet:

- Voor verschillende typen dijkontwerp in het beneden- en bovenrivierengebied zijn kostencurven opgesteld op basis van reële situaties en ontwerpen. In deze ontwerpen is rekening gehouden met zetting en het al dan niet aanwezig zijn van wegen. De aanwezigheid van bebouwing, infrastructuur en leidingen is daarbij als variabele - wel of niet aanwezig op een bepaalde afstand van de dijk - meegenomen;
- Voor situaties in het boven- en benedengebied zijn gecombineerde scenario's opgesteld voor de verwachte toename in toetshoogte, zoals die samenhangen met verwachtingen ten aanzien van de afvoer, en ten aanzien van mogelijke aanpassingen van de veiligheidsnorm. Hierbij is ook aangegeven welke kans van optreden aan een gecombineerd scenario is toegekend. Door het combineren van een minimaal, midden en maximaal scenario voor normaanpassing en ook voor de toename van de (piek)afvoer ontstaan zo negen scenario's elk met een specifieke kans van optreden en een bijbehorende ontwikkeling van de toetshoogte;
- Voor deze negen scenario's zijn 'kalenders' opgesteld voor verschillende verhogingsfrequenties variërend van elke tien jaar tot eens in de 200 jaar. De kalenders geven aan op welk moment weer sprake is van een verhoging, wanneer onderhoud aan dijken en aan wegen aan de orde is en wanneer als gevolg van de verhoging woningen en infrastructuur moeten wijken. In alle scenario's wordt standaard uitgegaan van het meenemen van de 30 cm toeslag in de ontwerpogave, zoals in de nieuwe Leidraad is geadviseerd vanwege modelonzekerheden;
- Van elk scenario zijn vervolgens de totale kosten bepaald voor elke verhogingsfrequentie. Hierbij is rekening gehouden met alle investeringen, beheer en onderhoud en zijn kosten in de toekomst teruggerekend naar euro's nu. Ook is hiermee rekening gehouden met restwaarden in de vorm van nog beschikbare overhoogte van de dijk;
- Vervolgens is per scenario bepaald welke verhogingsfrequentie en daarmee ontwerpogave leidt tot de laagste totale kosten in de komende 100 jaar. De hieruit resulterende negen ontwerpogaven zijn vervolgens met elkaar gewogen op basis van de kans van optreden van elk scenario tot een gewogen ontwerpogave. Deze ontwerpogave en bijbehorende ontwerpogave levert bij een onzekere toekomst in principe de laagste totale kosten;
- Aangezien blijkt dat de resulterende kostencurve in het bereik tussen de 50 en 150 jaar veelal erg vlak loopt, is ook voor alle negen scenario's gekeken naar een langere ontwerpprocedure en hogere ontwerpogave die niet meer dan tien procent duurder is dan de uit oopunt van totale kosten meest gunstige ontwerpprocedure en -hoogte. Vervolgens is uit deze negen scenario's een gewogen optimale ontwerpogave en -versterkingsfrequentie bepaald. Deze extra totale kosten kunnen grotendeels worden verantwoord vanuit de verwachte afname in economische schadeverwachting die het gevolg is van het hanteren van een langere ontwerpprocedure en daarom in de eerste jaren na aanleg verhoudingsgewijs veel veiligere dijk;
- De gewogen meest kostengunstige en de optimale ontwerpogave zijn vervolgens vergeleken met de gangbare ontwerpogave, waarbij wordt uitgegaan van een veronderstelde lineaire toename van de afvoer.



Afb. 1: Ontwerphoogten voor een dijk zonder steunberm in het bovenrivierengebied en voor verschillende uitgangspunten en scenario's.



Afb. 2: Ontwerphoogten voor een dijk met steunberm in het benedenrivierengebied en voor verschillende uitgangspunten en scenario's.

(nu gebruikelijke) middenscenario, het als boven beschreven financieel-economische gewogen scenario en het scenario waarin de kosten tot tien procent hoger mogen uitvallen. De ontwerphoogte van de laatste is twee tot drie maal zo groot als het gebruikelijke middenscenario, afhankelijk van de discontovoet die wordt gehanteerd. Een grotere kans op normaanpassing geeft nog een aanzienlijke toename in het verschil tussen de scenario's. We zien ook dat de discontovoet van grote invloed is op de ontwerphoogte, maar niet op de verhoudingen tussen de verschillende scenario's. De resultaten voor het benedenrivierengebied geven eenzelfde beeld maar met nog iets grotere optimale ontwerphoogten.

Afbeelding 1 heeft betrekking op een kale dijk en laat de theoretisch maximale verschillen zien. Bij aanwezigheid van woningen worden grotere ontwerphoogten verhoudingsgewijs snel duurder en is sprake van een minder groot verschil tussen de scenario's.

De resultaten voor deze situatie impliceren in feite dat vanuit het oogpunt van de totale kosten gekozen kan worden voor een veel langere ontwerpperiode en veel robuustere versterking dan op dit moment gangbaar is. Men kan ook stellen dat niet de centen, maar in dit geval andere overwegingen de doorslaggevende rol zouden kunnen geven. Het kan daarbij bijvoorbeeld gaan op mogelijke effecten op de natuur, het al dan niet moeten slopen van woningen en cultuurerfgoed en dergelijke.

Afbeelding 2 laat de verschillen in ontwerphoogte zien voor een dijk met steunberm

in het benedenrivierengebied. Dit is een situatie met steil oplopende kostencurve. Een hogere ontwerphoogte komt daarbij overeen met veel hogere kosten. We zien dan ook dat deze situatie een wezenlijk ander beeld geeft en dat het midden en gewogen scenario nauwelijks verschillen. Het optimale scenario ligt echter ook nu nog steeds een stuk hoger. In het kader van de studie zijn nog meer situaties mee in beschouwing genomen.

We komen tot de volgende algemene conclusies:

- Een dijk met steunberm heeft een kortere ontwerphorizont dan een dijk zonder steunberm, omdat voor dit type dijk de kosten van verhoging relatief sneller stijgen met het toenemen van de ontwerphoogte. Aanwezigheid van woningen, leidingen en kunstwerken leidt tot een kortere ontwerphorizont, aangezien bij een kortere functionele levensduur deze verhoudingsgewijs grote investeringen langer worden uitgesteld. Eén en ander is wel sterk afhankelijk van de positie van de woningen, leidingen en kunstwerken ten opzichte van de dijk. Liggen ze erg dicht bij de dijk, dan kunnen ook bij een kortere functionele levensduur deze investeringen niet worden uitgesteld en is een langere functionele levensduur weer gunstiger;
- Hoe sneller de maatgevende waterstand toeneemt, des te gunstiger een langere functionele levensduur en dus hogere ontwerphoogte zal zijn. De reden hiervan is dat bij een snel stijgende ontwerphoogte een kortere functionele levensduur leidt tot vaker en daarmee in totaal duurder ingrijpen;

- Afhankelijk van de verhoudingsgewijze invloed van minimale en maximale scenario's kan sprake zijn van een kortere of langere optimale functionele levensduur. Daarbij kan worden opgemerkt dat het rekening houden met normaanpassing meestal leidt tot een toename van de functionele levensduur, omdat een aanpassing van de norm altijd leidt tot een snellere toename in de ontwerpogave.

We zien in veel gevallen dat de curve van de totale gekapitaliseerde kosten erg vlak loopt tussen de 50 en 120 jaar en dat ontwerphoogten in dit bereik elkaar weinig schelen in totale kosten. Men komt tot een veel langere functionele levensduur als het optimum tot tien procent duurder mag zijn dan de ontwerphoogte met de laagste kosten.

Aanbevelingen

De doorgerekende voorbeelden laten zien dat het meenemen van onzekerheden van grote invloed kan zijn op de optimale ontwerphoogte. Eén en ander hangt daarbij sterk af van de situatie en ook van de kansen die aan verschillende scenario's worden toegekend. Als we ervan uitgaan dat het middenscenario niet de enige mogelijke toekomst is, dan dienen andere scenario's ook in de berekeningen te worden meegenomen.

Toch zien we dat in Nederland op dit moment doorgaans alleen wordt ontworpen uitgaande van een meest waarschijnlijk geachte middenscenario. De door het KNMI afgegeven vier nieuwe scenario's hebben ieder echter een even grote kans. Het robuust zijn van een oplossing hangt niet alleen af van hoe goed de oplossing het doet bij een minimaal of gemiddeld scenario, maar juist hoe het voldoet over de volle bandbreedte van mogelijke scenario's. En dan zien we dat een langere ontwerphorizont dan nu gebruikelijk is (orde 80 tot 120 jaar) in veel gevallen een verstandige keus lijkt te zijn.