

Waarom deltadijken bijdragen aan een robuust systeem

Marjolein Mens¹, Jantsje M. van Loon-Steensma², Tessa Eikelboom³

¹Deltares, Zoetwatersystemen, afdeling Risicoanalyse voor Waterbeheer

²Wageningen Universiteit en Researchcentrum, Earth System Science Group

³Instituut voor Milieuvraagstukken (IVM), Vrije Universiteit Amsterdam

Klimaatverandering vraagt om een klimaatbestendige gebiedsinrichting. Voor gebieden met een overstromingsrisico betekent dit vaak dat dijken moeten worden versterkt en/of verhoogd. Daarnaast komt er met *Meerlaagsveiligheid* meer aandacht voor ruimtelijke ordening en rampenbeheersing. Kennis voor Klimaat (KvK) onderzoekt maatregelen die het overstromingsrisico reduceren. Deze maatregelen moeten passen in een strategie voor de lange termijn, die rekening houdt met onzekerheden. De deltadijk is zo'n maatregel. Deltadijken blijken niet alleen het risico van overstromingen te reduceren, maar ook de robuustheid van een gebied voor hoge rivierafvoeren te vergroten. Dit komt doordat ze enerzijds weerstand bieden tegen regelmatig terugkerende afvoeren en anderzijds de schade beperken bij extremere afvoeren. In dit artikel laten we zien hoe deltadijken de robuustheid van een fictief gebied voor hoge rivierafvoeren kunnen verhogen en hoe dat gekwantificeerd kan worden. U zult zien dat het effect van een maatregel sterk afhankelijk is van de grootte van de afvoergolf. Dit betekent dat zelfs met deltadijken een extreem hoge afvoer een probleem is. Daar staat tegenover dat de schade veel geleidelijker toeneemt dan met gewone dijken, waardoor het gebied kan blijven functioneren bij hogere afvoeren. Tot slot leest u in de discussie waarom deltadijken multifunctioneel zouden moeten worden en hoe 'interactieve ruimtelijke instrumenten' (zoals de *TouchTable*) het afwegen van adaptatiemaatregelen ondersteunen.

Er is voldoende reden om maatregelen te onderzoeken die het risico van overstromingen kunnen verlagen. De verwachting is dat er door klimaatverandering vaker extreme rivierafvoeren zullen voorkomen en dat maatgevende rivierafvoeren hoger zullen worden. Zonder maatregelen leidt dit tot een toename van het overstromingsrisico. De schade door overstromingen zal daarbij toenemen door de verwachte ontwikkeling van de economische waarde achter de dijken. Als het huidige beleid wordt voortgezet, wordt de risicotename tegengegaan door dijken te verhogen en te versterken. Het is echter de vraag of dit beleid wenselijk is [1]. Ten eerste kunnen de investeringen die hiermee zijn gemoeid op de lange termijn groot zijn. Ten tweede is het soms maatschappelijk onwenselijk om de dijken steeds verder te verhogen of regelmatig in hetzelfde gebied de dijk op de schop te nemen. Dit is niet nieuw. Het project Ruimte voor de Rivier is ooit mede gestart omdat men bedenkingen kreeg tegen steeds hogere dijken en meer waarde ging hechten aan ruimtelijke kwaliteit.

Op basis van welke criteria moeten maatregelen beoordeeld worden? Behalve verlaging van het overstromingsrisico tegen maatschappelijk aanvaardbare kosten, willen beleidsmakers graag een robuuster systeem. Binnen KvK (Thema Climate-Proof Flood Risk Management) wordt een raamwerk voor robuustheidsanalyse ontwikkeld, om te kunnen evalueren hoe maatregelen bijdragen aan een robuust systeem. Als een systeem robuust is voor rivierafvoeren, dan ontstaat zelfs bij bovenmaatgevende omstandigheden geen onbeheersbare situatie of ramp [2]. Bij een robuustheidsanalyse staat daarom de analyse van de gevolgen van overstromingen voor verschillende afvoergolven centraal.

De belangrijkste aspecten van systeemrobustheid zijn [3]:

- reactiedrempel of weerstand (het afvoerbereik waarbij geen schade optreedt);
- beheersbaarheid van de gevolgen (wateroverlast, overstroming of ramp);
- proportionaliteit van de gevolgen (mate van geleidelijkheid waarmee de schade toeneemt met een toename van de afvoer).

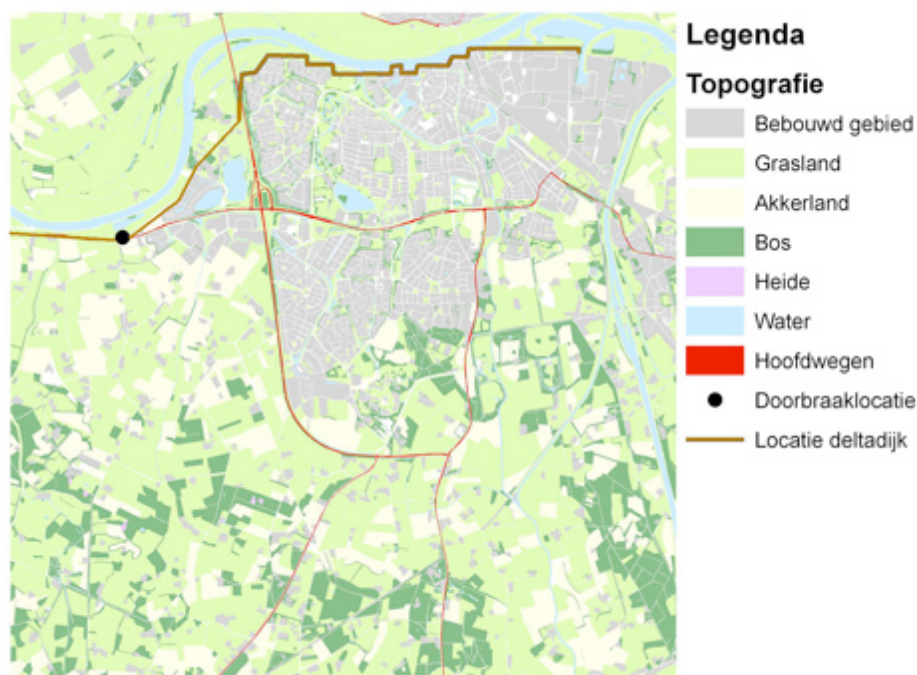
Mogelijke maatregelen

Voor dit artikel hebben we de volgende alternatieve maatregelen beoordeeld op hun robuustheid:

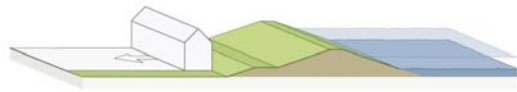
- A0 reguliere dijkverhoging (nualternatief)
- A1 aanleg van een deltadijk over de hele lengte,
- A2 aanleg van een deltadijk met verschil in hoogte
- A3 aanleg van een deltadijk met verschil in hoogte, en aanleg van een compartimenteringsdijk.

Een deltadijk is zo hoog, breed en sterk dat de kans op een plotselinge en oncontroleerbare overstroming vrijwel nihil is. Bij bovenmaatgevende waterstanden kan er water over de (aarden) dijk stromen zonder dat hij faalt door erosie. Omdat de dijk niet faalt, zal de overstroming minder ernstig zijn en zal er minder schade optreden. Dit effect kan nog vergroot worden als de dijken niet overal even hoog worden gemaakt. De deltadijken in alternatief 2 en 3 hebben dit verschil in hoogte, waardoor het landelijke gebied eerder overstroomt dan het stedelijke gebied en er in totaal minder schade zal optreden.

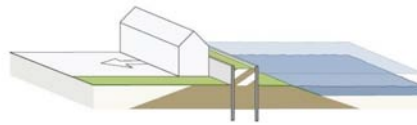
Voor deze verkenning gebruiken we een fictief studiegebied (figuur 1). Langs de rivier liggen over de hele lengte hoge dijken, die een extreme waterstand moeten kunnen keren die gemiddeld gezien eens per 1250 jaar voorkomt (maatgevende afvoer van ongeveer 2.600 m³/s). In het landelijke gebied heeft de dijk een traditioneel, aarden profiel (zie voorbeeld in figuur 2) en het stedelijke gebied wordt beschermd door kades (zie voorbeeld in figuur 3).



Figuur 1. Fictief studiegebied



Figuur 2. Brede dijk, profieltekening (a) en foto (b). [7] (foto: Marjolein Mens)



Figuur 3. Kistdam profieltekening (a) en foto (b). [7] (foto: Marjolein Mens)

Nul-alternatief (A0) - Reguliere dijkverhoging

Voor het nulalternatief worden de dijken op traditionele wijze verhoogd en versterkt. In het stedelijk gebied worden de kademuren verhoogd. Er wordt daarbij geen rekening gehouden met ruimtelijke kwaliteit. In het overstromingsmodel bevindt de doorbraaklocatie zich buiten het stedelijk gebied.

Alternatief 1 (A1) - Deltadijk

In dit alternatief worden deltdijken aangelegd over de hele lengte van de rivier. De hoogte komt overeen met het huidige toetspeil, en ze zijn doorbraakvrij (bijvoorbeeld door een brede binnenberm en een asfaltbekleding). Doordat deze dijken bij overstromen niet breken, zal de schade minder groot zijn dan in het nulalternatief.

Alternatief 2 (A2) - Deltadijk met verschil in hoogte

Ook in dit alternatief wordt langs het hele traject een deltdijk aangelegd, maar in het landelijk gebied is die 10 cm lager dan in het stedelijk gebied. Het landelijke gebied zal dus eerder overstromen dan het stedelijke gebied, waardoor het stedelijke gebied wordt ontlast.

Alternatief 3 (A3) - Deltadijk met verschil in hoogte én compartimentering

Alternatief 2 wordt hier uitgebreid met gevolgenbeperking in de vorm van een compartimenteringsdijk ter hoogte van de snelweg. De stad wordt hiermee extra beschermd tegen een overstroming. Door de andere ruimtelijke verdeling van het water worden de gevolgen beperkt. De snelweg ligt al op een verhoging waardoor de maatregel landschappelijk niet ingrijpend is. Voor compartimentering zullen doorgangen (zoals viaducten) afsluitbaar gemaakt moeten worden.

Vergelijking van de alternatieven

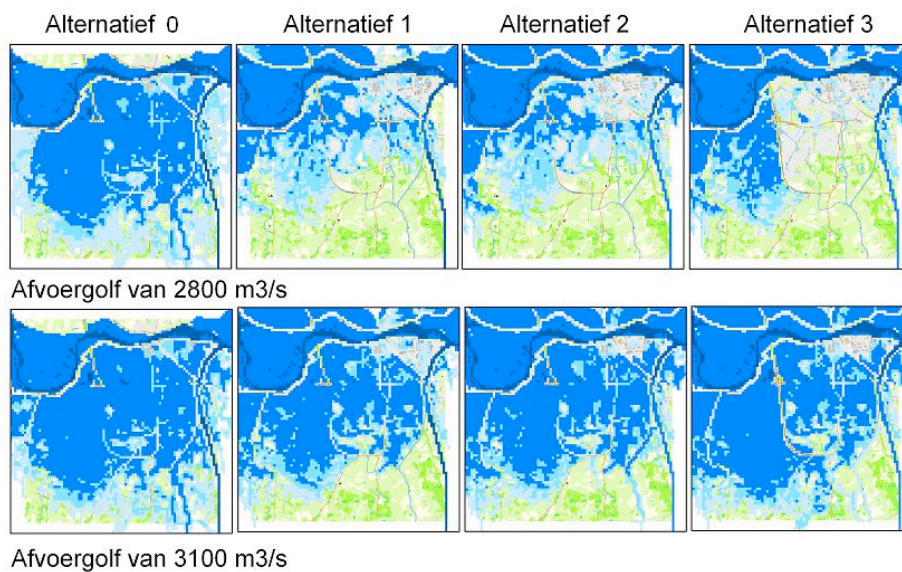
We hebben gekeken naar de effecten van een dijkdorbraak (A0) en dijkoverlopen (A1-A3) op de waterdiepte en de schade in het achterliggende gebied, bij verschillende afvoergolven: 2.600 m³/s (de huidige maatgevende afvoer), 2.800 m³/s en 3.100 m³/s.

Figuur 4 toont de waterdieptekaarten voor alle alternatieven en alle afvoergolven. Figuur 5 toont de bijbehorende schade in miljoen euro als functie van de afvoergolf. Hierbij is voor A0 aangenomen dat er

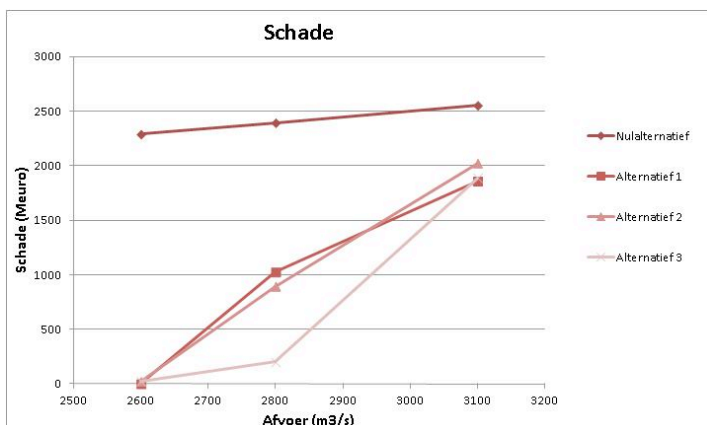
ook bij $Q=2.600 \text{ m}^3/\text{s}$ kans is op een dijkdoorbraak, hoewel de dijken berekend zijn op een hogere afvoer (ze zijn immers verhoogd en versterkt). Deze aanname is gebaseerd op het feit dat de reactiedrempel bij gewone dijken heel onzeker is. Bij deltadijken is deze drempel veel nauwkeuriger te bepalen.

Uit Figuur 5 blijkt dat bij een relatief kleine overschrijding van de maatgevende afvoer (dus bij $2.800 \text{ m}^3/\text{s}$) in A1 en A2 (deltadijken) minder schade optreedt dan in A0. Voegen we daar een compartimenteringsdijk aan toe (A3), dan blijft de stad bij deze afvoer bijna helemaal droog. Bij grotere overschrijdingen van de maatgevende afvoer (dus bij $3.100 \text{ m}^3/\text{s}$) overstroomt de stad ook, ondanks de compartimenteringsdijk. Met andere woorden: hoe hoger de afvoergolf, hoe kleiner het verschil in schade tussen de alternatieven en het nulalternatief.

In absolute zin is de schade in de alternatieven A1-A3 bij alle afvoeren lager dan in A0. Dit komt doordat deltadijken niet breken maar overlopen, waardoor er minder water het gebied instroomt. Wat verder opvalt, is dat de schade bij alle deltadijk-alternatieven bij toenemende afvoer veel geleidelijker oploopt dan bij de traditionele dijken van A0. Het verschil tussen A2 en A3 is minimaal. Het effect van de iets lagere deltadijken in het landelijke gebied is niet zichtbaar, omdat alleen naar de maximale waterdieptes gekeken wordt. Wel duurt het langer voordat het water de stad bereikt, waardoor er mogelijk minder slachtoffers zullen vallen. Het effect op slachtoffers is in dit artikel niet meegenomen.



Figuur 4. Waterdieptekaarten per afvoergolf en alternatief



Figuur 5. Overstromingsschade als functie van de rivierafvoer, per alternatief

Samenvattend constateren we het volgende over robuustheid:

- de weerstand is in alle alternatieven gelijk, maar is in A0 het meest onzeker;
- de beheersbaarheid is in alle deltadijk-alternatieven verbeterd, doordat de dijken niet meer breken. Het effect is het grootst in A3, omdat de compartimenteringsdijk voorkomt dat de stad overstroomt. Bij welke afvoer de compartimenteringsdijk daadwerkelijk zal 'falen' (overlopen) hangt af van zijn hoogte;
- de proportionaliteit in A1, A2 en A3 is groter dan in A0, omdat er relatief weinig schade optreedt bij een kleine overschrijding van de maatgevende afvoer.

De meerwaarde van een robuustheidsbenadering

Deze verkenning illustreert een robuustheidsbenadering voor het vergelijken van maatregelen die overstromingsrisico reduceren. Het gaat hier even niet om de kosteneffectiviteit van de maatregelen, uitgedrukt in de ratio overstromingsrisicoreductie/investeringskosten, maar om de relatie tussen overstromingsgevolgen en afvoergolven (figuur 5). Hieruit blijkt dat het effect van een maatregel afhangt van de afvoergolf die optreedt. Met deltadijken neemt de overstromingsschade veel geleidelijker toe dan met traditionele dijken. Deze grotere proportionaliteit, samen met een lagere overstromingsschade bij alle afvoergolven, zorgt ervoor dat het gebied bij meer afvoergolven kan blijven functioneren. De beheersbaarheid van de overstroming neemt dus toe. Alternatief 3, deltadijken met verschil in hoogte en een compartimenteringsdijk, scoort het hoogst op robuustheid.

De robuustheidsbenadering is een aanvulling op de risicobenadering. Dat kansverdelingen een minder grote rol spelen is een meerwaarde, omdat de kans op een overstroming moeilijk met zekerheid te bepalen is en omdat (overstromings-)kansen lastig te communiceren zijn. In plaats daarvan stellen we nu de vraag op welke afvoeren we voorbereid willen zijn. Vervolgens is de vraag op welke manier we ons voor willen bereiden: door tot een bepaalde afvoer nul schade te 'garanderen' met de mogelijkheid van een grote ramp (A0), of door bij sommige afvoeren al iets van schade toe te staan, maar ook te zorgen dat de schade geleidelijk oploopt bij toenemende afvoeren én de overstroming beheersbaar blijft (A1 t/m A3). Anders gezegd, bij een robuustheidsbenadering gaat het niet om het falen van een kering, maar om het falen van het gehele systeem (inclusief de waarde achter de dijken). Zolang het systeem kan blijven functioneren, en dus niet faalt, zijn zo nu en dan overstromingen geen ramp.

Deltadijken multifunctioneel?

We hebben laten zien dat deltadijken de systeemrobuustheid kunnen vergroten. Waar deltadijken het meest effectief zijn (stedelijk gebied) is er echter vaak geen ruimte om het dijktafsluitingsgebied te verflauwen of een brede berm aan te leggen. De situatie vraagt dan om een duurdere constructieve oplossing, zoals met

damwanden of kistdammen. Daarom is het interessant om te kijken naar de mogelijkheden voor medegebruik door andere functies, die de deltadijk mede kunnen bekostigen. Juist op een brede deltadijk is ruimte voor bebouwing, wegen of parken. Uit ontwerpessies voor gebiedsontwikkeling is gebleken dat voor stedenbouwkundigen de waterkerende functie van een deltadijk slechts één van de vele eisen voor gebiedsontwikkeling is en dat de kosten hiervan nauwelijks een belemmering vormen [8]. Verschillende studies onderzoeken momenteel de kansen en beperkingen van multifunctionele deltadijken [1,4,5,6], onder andere in het STW-NWO onderzoeksprogramma naar multifunctionele waterkeringen.

Inzet van interactieve ruimtelijke instrumenten

Met een robuustheidscriterium komt er weer een beslis criterium bij, naast onder andere het economische risico, het slachtofferrisico, investeringskosten, neveneffecten en flexibiliteit. Bovendien gaat het bij multifunctionele dijken om gebiedsontwikkeling, waarbij ruimtelijke informatie essentieel is. Kennis voor Klimaat onderzoekt hoe 'interactieve ruimtelijke instrumenten' (zoals *touchtables* en *maptables*) ingezet kunnen worden voor het ontwerpen van regionale adaptatiestrategieën. We noemen een aantal eigenschappen. Ten eerste kunnen de gebruikers snel wisselen tussen grote hoeveelheden kaartlagen. Ten tweede kan men meerdere criteria combineren in één kaartbeeld. Ten derde kan men de transparantie van een kaartlaag aanpassen of twee kaartlagen over elkaar heen schuiven. Als laatste kan men kaarten direct aanpassen en de effecten hiervan doorrekenen. De nieuwe informatie wordt een nieuwe kaartlaag of een tabel of grafiek. De interactieve communicatie vergroot het vertrouwen in de ruimtelijke informatie en heeft daardoor een positieve invloed op het planningsproces [9].

Literatuur

- 1 Klijn, F., Kok, M. en De Moel, H. (Eds.) (2012). Towards climate-change proof flood risk management: Exploration of innovative measures for the Netherlands' adaptation policy inspired by experiences from abroad, Interim report, Knowledge for Climate Utrecht.
- 2 Mens, M.J.P. en Haasnoot, M. (2012). Deltafact Robuustheid. STOWA Deltaproof/KvK.
- 3 Mens, M.J.P., F. Klijn, K. M. de Bruijn, and E. van Beek (2011), The meaning of system robustness for flood risk management, *Environmental Science & Policy*, 14(8), 1121-1131.
- 4 Ellen, G. J., Boers, M., Knoeff, H., Schelfhout, H., Tromp, E., Van den Berg, F., Borgers, H., Rengers, J., De Wit, S. & Wessels, J. (2011). Multifunctioneel medegebruik van de waterkering. Delft: AT Osborne & Deltares.
- 5 Loon-Steensma, J.M. van (2011). Robuuste multifunctionele rivierdijken: welke kansen en knelpunten zien stakeholders voor robuuste multifunctionele dijken langs de rivieren in het landelijk gebied? Alterra, Wageningen (Alterra-rapport 2228).
- 6 Moel, H. de; Beijersbergen, J.; Berg, F. van den; Goei, J. de; Koch, R.C. de; Koelewijn, A.R.; Loon-Steensma, van J.M.; Molenaar, I.M.; Steenbergen-Kajabová, J.; Schelfhout, H.; Versluis, S.; Zantinge, A.M., (2010). Klimaatdijk in de praktijk: Gebiedsspecifiek onderzoek naar nieuwe klimaatbestendige dijkverbeteringsalternatieven langs de Nederrijn en Lek. Utrecht : Klimaat voor ruimte, (KvK rapport 019/2010).
- 7 Urbanisten, Gemeente Rotterdam, Arcadis, Royal Haskoning, Deltares, Hoogheemraadschap van Schieland en Krimpenerwaard, Gemeente Schiedam, Waterschap Hollandse Delta, Hoogheemraadschap Delfland (2010). Veilige en goed ingepaste waterkeringen in Rotterdam. Rotterdam: Knowledge for Climate Program.
- 8 Bos, M. en Klijn, F. (2010). Deltadijken: ruimtelijke implicaties: Effecten en kansen van het doorbraakvrij maken van primaire waterkeringen. Deltares rapport 1201353.
- 9 Eikelboom, T. en Janssen, R. (2012). Interactive spatial tools for the design of regional adaptation strategies, *Journal of Environmental Management*, in press