



Beeld: Stockphoto

Orkaan Ike veroorzaakte in 2008 maar liefst 39 dodelijke slachtoffers en 30 miljard dollar aan materiële schade

AUTEURS



Kasper Stoeten
(ARCADIS)



Bas Jonkman
(TU Delft)



Matthijs van Ledden
(TU Delft, Royal
HaskoningDHV)



Arno Willems
(Iv-Infra)

HOE VOORSPEL- BAAR IS HET EFFECT VAN EEN ORKAAN IN EEN BAAI?

De Amerikaanse kustplaats Galveston, niet ver van Houston gelegen aan een baai, is kwetsbaar voor orkanen. Hoe gedraagt de waterstand tijdens orkanen zich in zo'n baai? En wat kunnen we daarvan leren als we effectieve maatregelen willen nemen om schade te beperken?

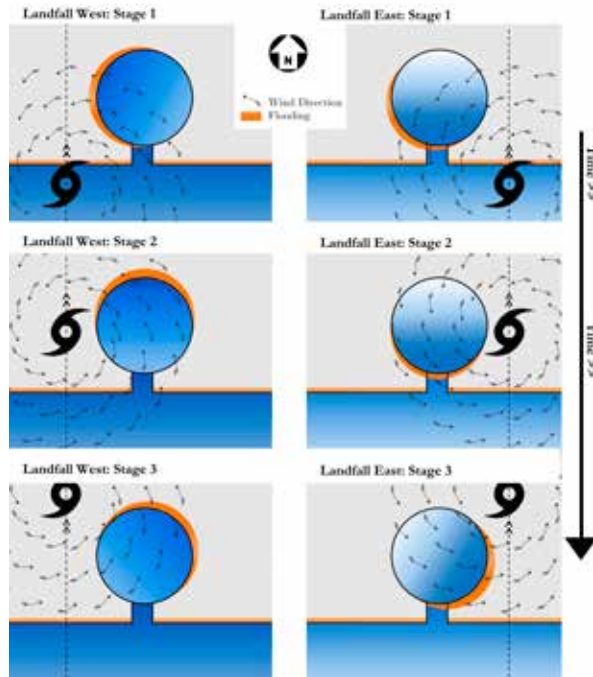
De invloed van het pad van een orkaan ten opzichte van de baai op stormvloed in een baai

In september 2008 kwam orkaan *Ike* aan land bij Galveston, een klein eilandstadje op circa 30 kilometer ten zuiden van Houston, in de Amerikaanse staat Texas. *Ike* was een orkaan met windsnelheden tot 160 kilometer per uur. Ondanks de verplichte evacuatie besloot circa één op de drie inwoners van Galveston de storm uit te zitten. Voor 39 personen pakte deze beslissing fataal uit. Daarnaast richtte de orkaan in de tien getroffen staten voor circa 30 miljard dollar schade aan. Maar het had veel erger kunnen zijn, of zoals professor Bill Merrell van de Texas A&M Universiteit uit Galveston het verwoordde: “*As bad as it was, we dodged a bullet*”.

Galveston is niet uniek. De bekendste steden in de VS, waaronder New York, New Orleans en Houston, zijn ontstaan uit handelsnederzettingen aan relatief kalme wateren van een baai of riviermonding. Afgelopen decennium hebben de orkanen *Sandy* (New York, 2012), *Ike* (Houston, 2008) en *Katrina* (New Orleans, 2005) benadrukt dat deze steden zeer kwetsbaar zijn voor overstromingen. Mede ingegeven door deze rampen vindt in de Verenigde Staten een verschuiving plaats van reactieve naar preventieve maatregelen; meer aandacht voor het voorkomen van schade. Dit artikel beschrijft de resultaten van een onderzoek naar de kans van het optreden van stormvloeden in het gebied nabij Houston en Galveston. Daarbij is rekening gehouden met de locatie waar een orkaan aan land komt en andere kenmerken. Tevens is het effect van verschillende beschermingsstrategieën verkend.

Galveston Bay

Galveston Bay is een semi-gesloten estuariumstelsel ter grootte van het IJsselmeer, gelegen aan de Golf van Mexico. Galveston Bay wordt gescheiden van de Golf door twee lage, langwerpige eilanden, Galveston Island en Bolivar Peninsula. De baai is relatief ondiep, heeft een zeer grote biodiversiteit en is een belangrijke economische motor voor de regio. De regio is voor Amerikaanse begrippen dichtbevolkt (circa 1,5 miljoen mensen) en de bevolking groeit snel. In het noorden van de baai bevindt zich de haven van Houston, de op één na de grootste haven van de VS en een knooppunt voor olie- en gasindustrie.



De combinatie van belangrijke industriële activiteiten, een hoge bevolkingsdichtheid en het relatief vlakke landschap maakt het gebied rondom Galveston Bay uiterst kwetsbaar voor overstromingen.

Als reactie op de verwoesting veroorzaakt door orkaan *Ike* zijn door verschillende partijen voorstellen gedaan om het gebied beter beschermen tegen stormvloed. Dit zijn zowel ideeën naar voorbeeld van de Nederlandse Deltawerken, die uitgaan van kustlijnverkorting alsmede voorstellen om kwetsbare gebieden binnen de baai lokaal te beschermen. Een voorbeeld van de eerste strategie is de *Ike Dike*, een ‘coastal spine’ langs de kust, bestaande uit een beweegbare stormvloedkering met een breedte van circa drie kilometer en 80 kilometer dijken op de eilanden voor de kust. Een voorbeeld van meer lokale bescherming is het voorstel voor de *Centennial Gate*, een enkele stormvloedkering in het Houston Ship Channel, naar het model van de Maeslantkering bij Hoek van Holland.

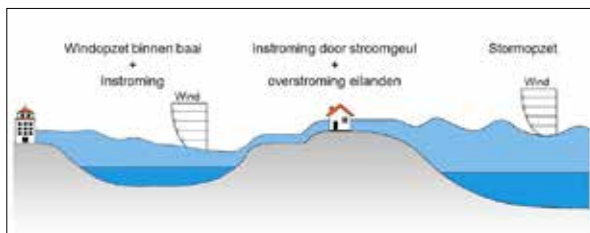
Orkanen en stormvloeden

De regio Houston/Galveston is één van de meest getroffen regio's in de Verenigde Staten. Gemiddeld treft eens per acht jaar een orkaan het gebied. Een orkaan is een tropische storm met een windsnelheid hoger dan windkracht 12. Rondom het oog van de orkaan treden de hoogste windsnelheden op,

Hoe voorspelbaar is de orkaan?

34

Stormopzet in een baai is een combinatie van instroming en windopzet binnen de baai



waarbij het gebied met windsnelheden van orkaankracht ongeveer 150 kilometer breed is. Op het noordelijk halfrond draaien orkanen tegen de wijzers van de klok in. Deze draairichting zorgt ervoor dat het sterkste windveld zich aan de rechterzijde van de orkaan bevindt (gezien in de trekrichting). Dit komt doordat aan de rechterkant van de orkaan de voorwaartse beweging van de orkaan het windveld versterkt. Aan de linkerzijde van de orkaan waait het juist minder hard, daar zijn de trekrichting en windrichting tegengesteld.

Waterstandsverhogingen tijdens orkanen (ook wel stormopzet genoemd) in een estuarium of baai worden veroorzaakt door instroming vanaf de oceaan en windopzet in de baai. De lokale windopzet in de baai is afhankelijk van windrichting en windsnelheid gedurende de storm. Instroming vanaf de oceaan wordt veroorzaakt door stroming door de stroomgeul bij zeer zware stormen ook stroming over de eilanden. De mate van instroming wordt bepaald door het waterstandsverschil tussen de baai en de zee en daarmee ook door lokale windopzet in de baai.

De figuur bovenaan deze pagina is een schematische weergave van Galveston Bay met een orkaan die stapsgewijs aan land komt. Een orkaan die ten westen van de baai aan land komt stuwt extra water de baai in. In dit geval wordt de baai blootgesteld aan het sterke aanlandige windveld dat zich aan de rechterkant van de orkaan bevindt. Vlak voor de orkaan aan land komt, wordt het water in de baai naar het westen gestuwd, tijdens het aan land komen van de storm naar het noorden en na de storm naar het oosten van de baai.

Orkanen die ten oosten van de baai aan land komen, stuwen juist het water de baai uit (zie de figuur op pagina 34). De stormopzet in de baai blijft in dit geval relatief beperkt. Vlak voor de orkaan aan land komt, wordt het water in de baai westen gestuwd, tijdens het aan land komen van de storm naar het zuiden en

na de storm naar het oosten van de baai.

Hieruit blijkt dat de locatie waar de orkaan aan land komt zeer belangrijk is voor stormopzet in estuaria. Zo ook bij *Ike*. Deze orkaan trok recht over Galveston Bay, waardoor de baai nooit heeft blootgestaan aan het sterkste windveld in het rechterdeel van de orkaan. Was *Ike* 30 kilometer westelijker aan land gekomen, dan was het water in de baai wel met enorme kracht opgestuwd richting het noorden van de baai. Dit zou zo goed als zeker tot overstromingen hebben geleid in Houston.

Hydrodynamische studie

Om inzicht te krijgen in waterstanden in een baai bij verschillende orkanen en de bijbehorende herhalingstijden is een elementair hydrodynamisch model ontwikkeld (Stoeten, 2013). Dit bestaat uit drie gekoppelde componenten: een meteorologisch orkaanmodel voor de windvelden, een kombergingsmodel voor de waterstanden in de baai en een 1D numeriek model voor de stormopzet aan de kust. Het model is op probabilistische wijze toegepast (door veel cases te laten doorrekenen) voor een groot aantal orkanen die op verschillende locaties aan land komen. Op deze manier is voor vier plekken in de baai en een locatie aan de kust de kans van het voorkomen van hoge waterstanden afgeleid.

Om inzicht te krijgen in de effectiviteit van diverse strategieën is ook een zeer indicatieve kosten-batenanalyse uitgevoerd. Met behulp van GIS zijn de resultaten van het hydrodynamische model gekoppeld aan de economische waarden in het gebied. Op basis van schadecurven is voor het hele gebied een inschatting gemaakt van de schade als functie van de kans van optreden. Eenzelfde analyse is uitgevoerd voor een baai met maatregelen zoals bijvoorbeeld de *Ike Dike* of de *Centennial Gate*. Hiermee is voor diverse maatregelen een indicatie verkregen van de effectiviteit bij gebeurtenissen met een bepaalde kans van voorkomen.

Resultaat en discussie

De resultaten van het hydrodynamische model laten zien dat voor Galveston Bay de waterstanden in de baai gemiddeld eens per honderd jaar hoger zijn dan

Galveston Bay: een semi-gesloten estuariumstelsel ter grootte van het IJsselmeer



die aan de kust. Bij een relatief ondiep estuarium zoals de Galveston Bay spelen zowel windopzet in de baai als instroming vanaf buitenaf een grote rol. Uit het onderzoek blijkt dat kustlijnverkorting hier een goede oplossing is. Met een kering langs de kust, aan de buitenzijde van de baai, kan de instroming significant worden beperkt. Toch blijft lokale windopzet in de baai van significant belang, wat lokaal alsnog tot overstromingen kan leiden. Het wordt derhalve aanbevolen om een combinatie van kustlijnverkorting en maatregelen binnen de baai te overwegen.

Vanwege de relatief hoge investeringskosten is kustlijnverkorting, zoals bij de Nederlandse Deltawerken, in het geval van Galveston Bay waarschijnlijk pas aantrekkelijk als men bereid is te investeren in een beschermingsniveau naar Nederlandse maatstaven. Het lokaal beschermen van kwetsbare gebieden in de baai is bij een lager beschermingsniveau zeker het overwegen waard.

In de risicoanalyse is alleen de directe economische impact van een overstroming bekeken. Het verdient aanbeveling om ook slachtoffers en de indirecte schade aan de chemische industrie in beschouwing te nemen. Ook de effecten van ingrepen, zoals bijvoorbeeld schade aan het ecosysteem door de bouw van een stormvloedkering, zijn van belang om mee te nemen in de analyse. De Nederlandse Deltawerken hebben laten zien dat het (deels) afsluiten van zeearmen grote gevolgen kan hebben voor het ecosysteem van de achterliggende baai. Met dit gegeven in het achterhoofd is het maar de vraag of een kosten-batenanalyse met indirecte aspecten ook gunstig uitpakt

voor een strategie gebaseerd op deltawerken en kustlijnverkorting.

Of men in Galveston daadwerkelijk een stormvloedkering gaat realiseren is nog niet duidelijk. Op dit moment wordt door diverse Texaanse partijen in samenwerking met de Technische Universiteit Delft, een uitgebreide studie uitgevoerd naar de mogelijkheden.

Kasper Stoeten
(ARCADIS)

Bas Jonkman
(TU Delft)

Matthijs van Ledden
(TU Delft, Royal HaskoningDHV)

Arno Willems
(Iv-Infra)

Dit artikel is mede gebaseerd op de scriptie waarmee Kasper Stoeten zijn masterstudie voltooide aan de TU Delft. Deze werd bekroond met Waternetwerk Scriptieprijs 2014. Koninklijk Nederlands Waternetwerk (KNW) reikt elk jaar twee prijzen uit de beste bachelor- en masterscriptie over een watergerelateerd thema aan een Nederlandse of Vlaamse onderwijsinstelling. Scripties moeten door begeleidende docenten worden ingezonden.

www.waternetwerk.nl

SAMENVATTING

Ruim zes jaar geleden verwoestte de stormvloed van orkaan *Ike* de stad Galveston, gelegen aan de Galveston Bay in de VS. Inmiddels is de meeste schade gerepareerd, maar blijft de grootste uitdaging over: het beschermen van het gebied tegen stormvloed. De afgelopen jaren zijn diverse beschermingsmaatregelen voorgesteld variërend van deltawerken (ofwel kustlijnverkorting) tot het lokaal beschermen van kwetsbare gebieden binnen de baai. Uit het onderzoek blijkt dat de locatie waar een orkaan aan land komt grote invloed heeft op stormopzet in estuaria. Kustlijnverkorting blijkt voor Galveston Bay een effectieve oplossing te zijn. Toch blijft lokale windopzet binnen de baai ook met deltawerken van belang. Daarom wordt aanbevolen een combinatie van kustlijnverkorting en maatregelen binnen de baai te overwegen.

Hoe voorspelbaar
is de orkaan?