

## **Promotieonderzoek als onderdeel van Meerjarige Veldmetingen Eems-Dollard**

De afgelopen jaren heeft waterbouwkundig ingenieur Patrick Oosterlo van de TU Delft aan zijn promotieonderzoek gewerkt, dat onderdeel is van de Meerjarige Veldmetingen Eems-Dollard.

Het veldmetingenproject in het Eems-Dollardestuarium richt zich op de dijksectie ten noorden van Delfzijl. Volgens de nieuwste overheidsnormeringen uit 2017 was deze dijk vier meter te laag en dus afgekeurd. Ten opzichte van de vorige beoordeling was dat verschil wel heel erg groot, en het leek men sterk dat de golven in de praktijk zo hoog zouden komen. Aangezien het ophogen van een dijk erg kostbaar is, wilde men voorkomen dat onnodige investeringen gedaan werden. Bij de planperiode van reguliere dijktrajecten wordt 50 jaar vooruitgekeken. Het betrokken waterschap Noorderzijlvest heeft die periode voor dit gebied nu ingekort tot 25 jaar, in combinatie met een meetprogramma van twaalf jaar om tot verbeterde inzichten te komen. Het doel van de meetcampagne is tweeledig: ten eerste, om de processen die van invloed zijn op de golven bij de kust beter te leren begrijpen, en ten tweede, om meer inzicht te krijgen in hoe hoog de golven bij de dijk omhoog lopen en hoeveel water er in theorie tijdens een zeer extreme storm over de dijk zou slaan. Om deze doelen te bereiken, wordt informatie verzameld over de waterstanden, golven, golfoploop en golfoverslag. Met deze informatie kan in de toekomst beter berekend worden hoe hoog de dijken moeten worden bij volgende dijkversterkingen.

Het promotieonderzoek bestaat uit twee onderdelen, welke bijdragen aan het veldmetingenproject. Doel van het promotieonderzoek is om meer inzicht te krijgen in de golfvoortplantingsprocessen in het estuarium en in (zeer) schuine golfoploop en golfoverslag op en over de dijken. Deze twee aspecten zijn van belang voor de extreme golfbelastingen op de dijk in het estuarium. De onzekerheden hierin dragen bij aan de huidige grote benodigde kruinhoogte van de dijk.

Informatie over de golven is belangrijk voor het ontwerp en de beoordeling van de dijken. Nauwkeurige gegevens over de golven tijdens extreme stormen zijn bekend voor het grootste deel van de Nederlandse kust, maar waren dat niet voor het gebied rond Delfzijl. Dit komt met name doordat het Eems-Dollardestuarium zeer complex is, en omdat er tot voor kort bijna geen metingen in het gebied beschikbaar waren. Het gebied is zo complex, omdat het een trechtersvorm heeft en bestaat uit een groot aantal diepe geulen en ondiepe platen. Tevens is het estuarium afwijkend van de rest van de Nederlandse kust. Het bijzondere aan het gebied is namelijk, dat de condities tijdens extreme stormen worden gekenmerkt door een afluende wind en golven die zeer schuin invallen op de dijken, tot 80° ten opzichte van de dijknormaal.

Omdat we de extreme condities waarvoor de dijken worden beoordeeld nog nooit hebben meegemaakt, zijn er geen metingen van dit soort stormen beschikbaar. Daarom worden deze gegevens bepaald door computermodellen die de golven berekenen en formules waarmee berekend kan worden hoeveel water er in theorie over de dijk zou slaan. Het is van groot belang dat deze condities nauwkeurig worden voorspeld door de modellen. Het zeer complexe estuarium vormt echter een grote uitdaging voor de modellen. De modellen voorspellen namelijk verrassend hoge en aanlandig gerichte golven, ondanks de afluende wind. Over de golfoploop en -overslag van golven die loodrecht op de dijk af komen, is al veel bekend. Over de invloed van schuin invallende golven op de oploop en overslag is echter slechts beperkt onderzoek beschikbaar. Golven die zeer schuin invallen op de dijken spelen juist een rol in het Eems-Dollardestuarium, vanwege de afluende wind tijdens extreme stormen. Het zijn onder andere deze onzekerheden in de golfmodellen en overslagformules, die leiden tot de onzekerheden in de vereiste hoogte van de dijk in het estuarium.

Het eerste onderwerp van het promotieonderzoek is het modelleren van golfvoortplantingsprocessen in het estuarium. Hiervoor is met name gebruik gemaakt van het golfmodel SWAN. Dit model wordt ook gebruikt voor de beoordeling van de dijken. Er is onderzocht welke golfprocessen een rol spelen in het estuarium en of het model de golfcondities in het gebied goed kan voorspellen. Omdat er helaas nog geen metingen in

het gebied beschikbaar waren, is het model onder andere vergeleken met meer geavanceerde golfmodellen, welke de golven in hoog detail kunnen berekenen. Hieruit blijkt dat een verscheidenheid aan processen een rol spelen in het gebied, die gezamenlijk een complex golfveld creëren en waardoor er in een storm tegelijkertijd golven vanuit verschillende richtingen bij de dijk aan kunnen komen. Tevens blijkt dat de golven inderdaad “om de bocht” bij de Eemshaven heen kunnen draaien en aanlandig kunnen worden bij de dijk, ondanks de afluende wind. Ook zijn er aanbevolen instellingen voor het SWAN-model bepaald, voor het modelleren van deze golfvoortplantingseffecten. Het model blijkt redelijk goed te presteren in het estuarium, maar toch worden in dit complexe gebied ook enkele beperkingen van het SWAN-model duidelijk. Of de hoge golven - zoals voorspeld voor de beoordeling van de dijken – realistisch zijn, hangt voor een groot deel af van de nauwkeurigheid van de verschillende formules voor de zogenaamde windschuifspanning in het SWAN-model. Welke formule beter is, zal verder onderzoek uit moeten wijzen. Ten slotte is onderzocht welke locaties in het gebied het meest geschikt zijn voor golfmetingen in het veldmetingenproject. Met deze golfmetingen kunnen de resultaten van dit onderzoek verder worden gevalideerd.

Het tweede onderwerp van het promotieonderzoek is het meten van golfoploop en golfoverslag met laserscanners. Naast de onzekerheden in de overslagformules, speelt namelijk nog een ander aspect een rol. Tot nu toe werden de dijken beoordeeld op basis van het gemiddelde debiet van het water dat in theorie over de dijk zou slaan, het overslagdebiet. Hierbij werd aangenomen dat een bepaald debiet een bepaalde erosie van het dijktalud gaf. Momenteel is er echter een overgang gaande naar de zogenaamde “cumulatieve overbelastingmethode”. Bij deze methode wordt de erosie van de dijkbekleding expliciet meegenomen. Voor het ijken van deze methode zijn niet alleen metingen van het debiet nodig, maar ook van stroomsnelheden en laagdiktes van de golven.

Om deze extra parameters te kunnen meten en om meer inzicht te krijgen in de invloed van schuine golfaanval op de golfoploop en –overslag, is een nieuwe meettechniek ontwikkeld. Dit meetsysteem maakt gebruik van twee laserscanners en meet de oploophoogtes, laagdiktes en snelheden van de golven. De overslagvolumes en het overslagdebiet kunnen worden berekend uit de gemeten data. Het is de eerste keer dat deze techniek is toegepast op een echte dijk tijdens echte stormen. Om het systeem te kalibreren, zijn eerst veldproeven gedaan, met loodrechte en schuine golven gegenereerd door de golfoploopsimulator. Dit is een grote tank, gevuld met water. Door de bodem van de tank snel te openen, stroomt de tank leeg en wordt een individuele golf gesimuleerd. Naast deze veldproeven zijn proeven gedaan met een geavanceerd computermodel dat de golven simuleert. Hiermee is meer inzicht verkregen in de potentiële prestaties van het systeem, tijdens een echte storm met schuine golfaanval in het estuarium.

Omdat het systeem goed presteerde bij de kalibratieproeven, is het systeem in oktober 2019 op de dijk bij Uithuizerwad geplaatst, naast twee van de overslagbakken van het veldmetingenproject. Deze overslagbakken zijn een soort enorme brievenbussen met een uitstroomopening aan de onderkant. Bij een golf komt het water in die bakken terecht. Met een druksensor wordt het gewicht bepaald en op basis daarvan kan berekend worden hoeveel water er in theorie over de dijk slaat. Inmiddels is er een eerste storm met het lasersysteem gemeten (storm Ciara van februari 2020). Deze storm was zeer uniek en complex, met een afluende wind en langsgolven langs de dijk. Dit stelde het systeem meteen voor een grote uitdaging. Uit de resultaten blijkt dat het lasersysteem de golfoploophoogtes en de overslagdebieten goed kan bepalen. Verder hebben de metingen een aantal nieuwe inzichten in de kansverdeling van de schuine golfoploop en de laagdiktes van de oplopende golven opgeleverd. Met deze validatie van de meettechniek, is het mobiele systeem nu klaar voor gebruik op verschillende locaties in de meetcampagne in het estuarium in de komende jaren.

Op basis van de resultaten van dit promotieonderzoek, kunnen de onzekerheden in de vereiste kruinhoogte van de dijk mogelijk worden verkleind. De opgedane kennis draagt niet alleen bij aan het beter begrijpen en verminderen van de onzekerheden in de Eems-Dollard, maar ook op andere locaties. Verder draagt de

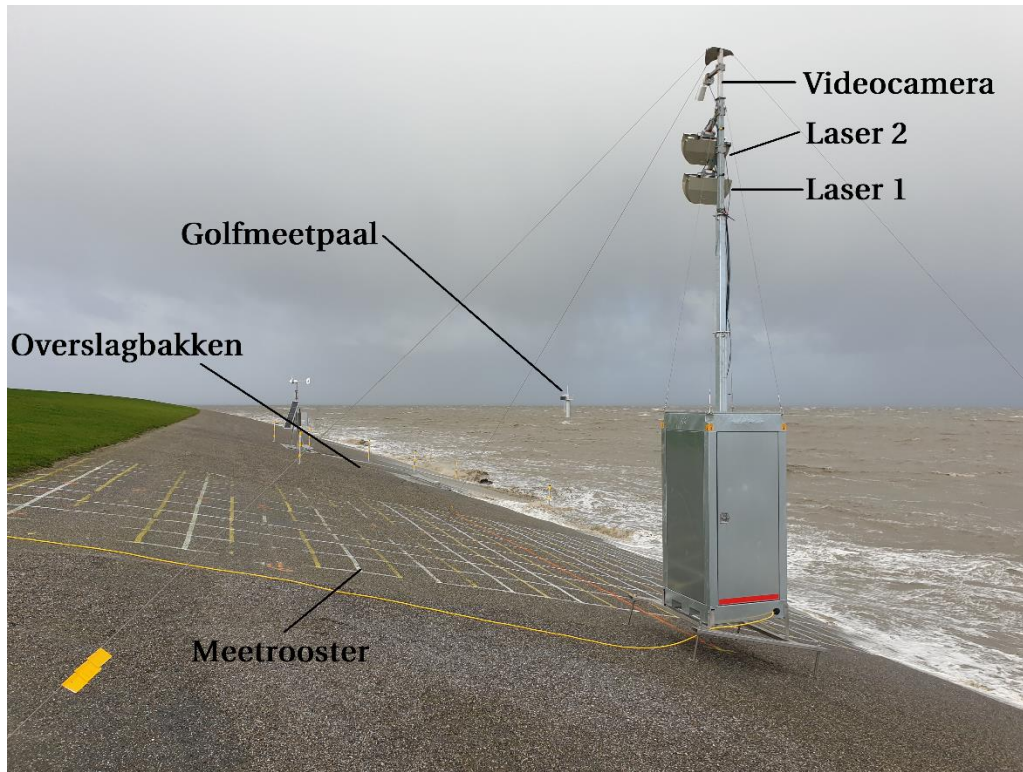
nieuwe kennis bij aan een betere beoordeling van de dijken in Nederland en aan de algemene kennis van de numerieke golfmodellen, golfoploop en golfoverslag. De verdediging van het proefschrift zal later dit jaar plaatsvinden.

Links naar een aantal video's en publicaties, behorende bij dit promotieonderzoek:

- Een video van de voortplanting van de golven in het gebied, gemodelleerd met een geavanceerd golfmodel: <https://youtu.be/SmzK1IpnDXs>
- Een video van de kalibratie van het laserscannersysteem met de golfoploopsimulator, met loodrechte golven: <https://youtu.be/KCfflQ-TPtk>
- Een video van de kalibratie van het laserscannersysteem met de golfoploopsimulator, met schuine golven: [https://youtu.be/RMy1Ah8bU\\_0](https://youtu.be/RMy1Ah8bU_0)
- Een video van de oploop van de golven op de dijk, gemodelleerd met een geavanceerd golfmodel: <https://youtu.be/cy-VWmV7aUA>
- Een video van de metingen met de golfoverslagbakken en het lasersysteem tijdens storm Ciara: <https://youtu.be/JrItZ58u6gU>
- Een wetenschappelijk artikel over het modelleren van de golfvoortplanting met de golfmodellen (Proceedings of 36th Conference on Coastal Engineering, Baltimore, Maryland, 2018): <https://doi.org/10.9753/icce.v36.papers.66>
- Een prijswinnend wetenschappelijk artikel over de kalibratie van het lasersysteem met loodrechte golven (Proceedings of the Coastal Structures Conference, Hannover, Duitsland, 2019): [https://doi.org/10.18451/978-3-939230-64-9\\_045](https://doi.org/10.18451/978-3-939230-64-9_045)
- Een wetenschappelijk artikel over de kalibratie van het lasersysteem met schuine golven (journal paper Coastal Engineering, 2021): <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2021.103915>



*Fig. 1. Kalibratie van de laserscanners (rechts) met behulp van de golfoploopsimulator (links).*



*Fig. 2. Lasersysteem op de dijk tijdens storm Ciara.*