



Memo

Aan
RWS-WVL

Datum 18 december 2018	Ons kenmerk 11202177-000-ZKS-0015	Aantal pagina's 6
Contactpersoon Thijs van Kessel	Doorkiesnummer +31(0)88 335 8239	E-mail Thijs.vanKessel@deltares.nl

Onderwerp
memo prognose baggerhoeveelheden Waddenzee

Memo prognose baggerhoeveelheden Waddenzee

Door Henk van den Boogaard en Thijs van Kessel

1 Inleiding

Rijkswaterstaat en Programma naar een Rijke Waddenzee laten sinds begin 2017 onderzoek doen naar zowel de kennis als de kennishuishouding van de morfologie van de Nederlandse Waddenzee. Het eerste doel is om kennis en begrip van de morfologische ontwikkeling van de Waddenzee op een structurele manier te verzamelen, te ordenen en te borgen. Het tweede doel is om te onderzoeken hoe deze kennis gebruikt wordt in beleid en beheer op het gebied van veiligheid, bereikbaarheid, gebruik en natuur(lijkheid). De doelgroepen van beide soorten kennis zijn zowel beleidsmakers, beheerders als wetenschappers. Deze memo wordt uitgebracht als onderdeel van het onderzoek.

Al vanaf 2014 loopt het project prognose baggerhoeveelheden Waddenzee, en sinds 2016 is dit een onderdeel van het overkoepelende onderzoek over de morfologie van de Waddenzee. De aanleiding voor dit project is de jaarlijkse behoefte aan baggerprognoses (zie voor meer achtergronden het verslag van de workshop van december 2014). Deze prognoses worden jaarlijks gemaakt door Herman Mulder (RWS-WVL) op basis van extrapolatie van historische baggervolumes d.m.v. lineaire trendanalyse in combinatie met deskundigenbeoordeling. In de afgelopen jaren is deze werkwijze meer geformaliseerd via de (door)ontwikkeling van een prognosetool in Excel (Quataert en Kuijper, 2016). Daarnaast is er gewerkt aan een regressiemodel naar het verband tussen hydro-meteo condities en baggervolumes (Van den Boogaard, 2016). Voor de representatie van deze condities zijn kentallen gebruikt die van diverse in de Waddenzee gemeten tijdreeksen van waterstanden, golven, saliniteit, en spuidebieten zijn afgeleid. Tot nu toe zijn vanwege beperkte beschikbaarheid (d.w.z. afwezigheid, of te lage dichtheid, of een te bewerkelijke ontsluiting) nog geen morfologische factoren gebruikt die voor baggervolumeprognoses mede van belang zouden kunnen zijn.

Het vergezicht is om de regressie-analyse te koppelen aan de Excel prognosetool zodat de prognose naar keuze is gebaseerd op de huidige trendanalyse of een uitgebreidere (of gecombineerde) analyse waarbij de historische cijfers genormaliseerd worden voor de opgetreden hydro-meteocondities en de voorspelling gebeurt voor langjarig gemiddelde hydro-

meteo-condities met een bandbreedte voor de typische variaties hierin. Hiermee wordt de voorspelling voor gemiddelde condities naar verwachting nauwkeuriger en wordt de bandbreedte rondom het gemiddelde inzichtelijk. Deze koppeling is overigens nog niet in 2018 voorzien.

Op 9 november 2017 is in Lelystad een workshop gehouden over mogelijke vervolgstappen (zie "Workshop baggerhoeveelheden Waddenzee", verslag van Van Kessel, 22 november 2017). De activiteiten voor 2018 zijn gebaseerd op de resultaten van deze workshop en een voorstel van Herman Mulder in aansluiting hierop. Dit zijn:

- **Werken aan begripsvorming over de ontwikkeling van de baggervolumes.** Op basis van het toegepaste regressiemodel zijn weliswaar significante correlaties vastgesteld met (combinaties van) diverse hydro-meteo parameters, maar de causaliteit en fysische betekenis zijn nog onvoldoende duidelijk.
- **Rekening houden met flankerende ontwikkelingen en eerdere activiteiten.** Er lopen diverse studies gerelateerd aan morfologie en sediment balans in de Waddenzee, o.a. in het kader van de studie naar de vaargeul Holwerd-Ameland en Kustgenese-2. Ook zijn er eerdere projecten uitgevoerd m.b.t. de prognose van baggerhoeveelheden, o.a. in de Maasmond (Fioole, 2012) en Westerschelde (Wang et al., 2003). Dit wordt d.m.v. een kleinschalige bijeenkomst geïnventariseerd. Deze bijeenkomst wordt ook gebruikt om de resultaten van de activiteiten voor 2018 zoals genoemd onder 1. verder te bespreken en vervolgstappen te definiëren voor 2019.

2 Resultaten

De resultaten van de regressieanalyse zijn gepresenteerd op een workshop van 4 oktober 2018. Zie hiervoor de dia's als bijlage bij het verslag van deze workshop. Ten opzichte van de eerdere versie van de regressieanalyse (zie Van den Boogaard en Van Kessel, 2016) zijn de volgende zaken toegevoegd of uitgebreid:

- De analyse is over een langere periode uitgevoerd, namelijk van 1989 – 2016 i.p.v. tot en met 2014 in de vorige studie.
- In plaats van alle invloedsfactoren in één keer mee te nemen is de regressie nu stapsgewijs uitgevoerd om vast te stellen welke factoren het meest bepalend zijn voor de prognose (stepwise regression). Via kentallen van statistische toetsen kan in elke stap het belang van het nieuw toevoegen van een variabele worden geverifieerd.
- Hierna beoordelen we op basis van onze kennis van het systeem of de modelmatig geselecteerde meest sturende factoren fysisch verklaarbaar zijn en of deze selectie voor de verschillende baggerlocaties (of eventueel voor clusters van locaties met fysisch, geometrisch of morfologisch vergelijkbare karakteristieken) consistent is.
- Dit leidt tot een oordeel over enerzijds mathematische geschiktheid en anderzijds de fysische duiding van het regressiemodel voor het maken van baggerprognoses.

Op hoofdlijnen zijn de resultaten als volgt:

- Met de regressie worden in het algemeen de beste resultaten gevonden bij de locaties met de hoogste baggervolumes.
- Tegelijkertijd zijn dat ook vaak de locaties met de sterkste trend in het temporeel verloop van de baggervolumes.
- Voor de locaties waar een trend aanwezig is, wordt het grootste deel van de variabiliteit met enkel die trendcomponent al verklaard.

- Voor het merendeel van de locaties is het aantal wezenlijk bepalende invloedsfactoren niet meer dan 4 à 5. Vaak nog minder, met name als de trend als afzonderlijke invloedsfactor wordt meegenomen.
- Opvallend is dat in de meest bepalende invloedsfactoren veelal saliniteiten en spuidebieten zijn en geen waterstanden of golven. Dit kan te maken hebben met de manier waarop de kentallen voor de invloed van waterstanden en golven (beide met één getal per jaar) zijn afgeleid uit de hoge resolutie tijdreeksen, en daarna via die aggregatie zijn meegenomen in de regressieanalyse. Dit is een van de meest voorname punten, wat nader onderzoek vraagt.
- Opvallend is dat hydro-meteo factoren afkomstig van verder weg gelegen meetstations vaak een grotere invloed hebben dan die van dichterbij gelegen meetstations. Dit is fysisch moeilijk te verklaren.

Zie voor meer detail de bijlage met de dia's van het regressiemodel. Hierin is voor een aantal locaties grafisch weergegeven hoe de kwaliteit van het regressiemodel toeneemt met het successievelijk toevoegen van invloedsfactoren.

Het regressiemodel is niet de enige methode om een prognose van baggerhoeveelheden te maken. Tijdens de workshop van 4 oktober 2018 zijn de volgende methodes gepresenteerd:

- 1 Huidige methode (Excel spreadsheet Mulder)
- 2 Regressiemodel (Van den Boogaard)
- 3 SURFTREND (Fioole)
- 4 ASMITA/Drempelmodel (Wang)
- 5 Delft3D (Deltares)
- 6 Geulmodel (Mulder)

Voor meer details over methodes 3 t/m 6 wordt verwezen naar het verslag van de workshop. De onderstaande discussie is mede gebaseerd op de discussie die gevoerd is tijdens deze workshop.

3 Discussie

Het regressiemodel biedt plus- en minpunten als baggerprognosetool. Het belangrijkste pluspunt is dat met een beperkt aantal invloedsfactoren in de meeste gevallen een betrouwbare hindcast van de baggerhoeveelheden kan worden gemaakt. Bovendien is de betrouwbaarheid het grootst voor locaties met het grootste baggervolume, d.w.z. de locaties die er het meest toe doen. Er zijn ook minpunten:

- Het grootste deel van de variabiliteit wordt meestal al enkel met de trend verklaard, waardoor de meerwaarde t.o.v. de huidige methode beperkt is.
- De overige invloedsfactoren zijn soms moeilijk fysisch te verklaren en het de vraag is of dit voortkomt uit toevallige correlatie in plaats van fysische causaliteit of uit niet-optimale representatie van invloedsfactoren.
- Het is daarom nog onzeker of de kwaliteit van een forecast vergelijkbaar zal zijn met de aangetoonde kwaliteit van de hindcast (temeer daar de invloedsfactoren zelf in de toekomst ook onzeker zijn).

Ombouw van het huidige regressiemodel tot een voorspelmodel vergt nog een investering en op basis van de resultaten tot nu toe is een meerwaarde t.o.v. de huidige prognosetool in Excel op basis van lineaire trendanalyse onzeker.

De volgende stappen zijn tenminste nog nodig om deze (mogelijke) meerwaarde te kunnen aantonen:

- Heroverweging/validatie/verbetering van het recept waarop de jaarrepresentanten van de hydro-meteo variabelen zijn afgeleid uit de tijdreeksen.
- Zo'n evaluatie zou ook moeten plaats vinden voor de jaarvolumes die in de regressie worden meegenomen, of feitelijk gecensureerd zouden moeten worden. Er zijn bijvoorbeeld jaren met baggervolumes gelijk aan nul terwijl in andere jaren die volumes aanzienlijk zijn. Een baggervolume gelijk aan nul suggereert dat om andere redenen (geld- of tijdgebrek) er in zo'n jaar niet gebaggerd werd.
- Op dit moment is een strikt lineair model verondersteld. Mede op basis van fysische overwegingen zouden potentiële niet-lineaire formuleringen overwogen moeten worden.
- Naast de hydro-meteo variabelen moet (op z'n minst voor verdere duiding van de huidige bevindingen) in de analyse ook meer expliciet geo-morfologische factoren worden betrokken.
- Verfijning van de wijze waarop nu met trends in de tijd wordt omgegaan (zie hieronder). In het huidige geval kunnen afwijkingen van een strikt lineaire trend ten onrechte verklaard gaan worden met grillige combinaties van de hydro-meteo variabelen.
- Gebruik van de baggerhoeveelheden van 1989 tot 2009 voor het 'kalibreren' van het regressiemodel en vanaf 2009 voor een voorspelling van de baggerhoeveelheden in de daaropvolgende jaren. Voor de 'toekomstige' waarde van de invloedsfactoren wordt hierbij het gemiddelde +/- een standaardafwijking aangehouden om een bandbreedte rond de voorspelling te bepalen. Behalve de onzekerheid in de toekomstige waarde van de invloedsfactoren is er ook nog de onzekerheid in de schatting van de modelparameters. Deze vertaalt zich eveneens naar een bandbreedte in de baggervolumevoorspelling. Beide onzekerheden moeten nog gecombineerd worden, bijvoorbeeld met een ensemble techniek.
- Vergelijking van deze voorspelling met die van de huidige prognosetool en met het daadwerkelijk opgetreden baggervolume. Dit geeft inzicht in de nauwkeurigheid van beide modellen.

Indien de meerwaarde hiermee niet overtuigend kan worden aangetoond, is het niet lonend om het regressiemodel verder door te ontwikkelen. Dit geldt ook als de nauwkeurigheid van de huidige prognosetool al voldoende nauwkeurig blijkt te zijn.

Mogelijke alternatieven voor het regressiemodel zijn tijdens de workshop geïnventariseerd. SURFTREND kan een waardevolle toevoeging/verbetering zijn op de huidige lineaire trendanalyse mits er voldoende datapunten aanwezig zijn. In geval van jaarlijkse baggercijfers kunnen alleen trendbreuken op langjarige termijn worden geïdentificeerd (bij de huidige prognose gebeurt dit ook maar wel op het oog op basis van deskundigenoordeel). Vanaf 2010 zijn er maandwaarden beschikbaar. Over een dergelijke korte periode is het verband tussen baggervolume en aanzanding of aanslibbing echter discutabel en hebben trendbreuken mogelijk geen natuurlijke oorzaak.

De overige methoden zijn gebaseerd op fysische i.p.v. statistische wetmatigheden en zijn wat betreft begripsvorming en zekerheid van causaliteit in het voordeel boven statistische methoden. Naarmate deze fysische wetmatigheden sterker zijn geschematiseerd is meer, en

een per baggervak waarschijnlijk verschillende, kalibratie nodig. Zo kunnen de sturende mechanismen voor de sedimentatie van zand en slib nogal afwijkend zijn en maakt het veel uit af sedimentatie optreedt op een drempel, middenin een geul, aan het uiteinde van een geul of in een havenbekken. Per probleemlocatie een apart model ontwikkelen voor baggerprognose is veel werk.

Met een meer gedetailleerd numeriek model zoals Delft3D is dit in principe niet nodig. Een morfologisch model met zand en slib met voldoende resolutie en gedetailleerde procesformuleringen om rondom alle baggervakken de morfologische ontwikkeling (inclusief baggeronderhoud) nauwkeurig te kunnen berekenen, is echter nog niet beschikbaar voor de Waddenzee. De ontwikkeling hiervan vergt een grote inspanning en het is onzeker of de gewenste nauwkeurigheid hiermee kan worden bereikt. De ontwikkeling van zo'n model is een algemene opgave en niet specifiek voor de prognose van baggerhoeveelheden. Voor de vaarweg Holwerd-Ameland en voor de Eems zijn hierin al stappen gezet.

4 Conclusies en aanbevelingen

In 2018 zijn we weer een stap verder gekomen met het regressiemodel voor het verklaren van baggerhoeveelheden op basis van hydro-meteo factoren. Het blijkt dat met een beperkt aantal invloedsfactoren meestal een betrouwbare regressie mogelijk is en dat de betrouwbaarheid toeneemt naarmate de baggervolumes groter zijn. De meerwaarde van het regressiemodel t.o.v. de huidige Excel prognosetool is echter nog niet aangetoond. Dit komt doordat het grootste deel van de variabiliteit al met de trend wordt bepaald en de huidige methode gebruikt deze al. Bovendien zijn de overige invloedsfactoren soms moeilijk fysisch te verklaren waardoor de voorspelkracht van het regressiemodel onzeker is.

Om een (mogelijke) meerwaarde aan te tonen moet het regressiemodel (al dan niet na aanpassingen/verbeteringen in het modelconcept en de representatie van diens invoeren, zoals hierboven al is aangegeven) eerst nog als voorspelmodel worden getest en moeten de voorspellingen voor een aantal jaren (b.v. periode 2009 – 2018) worden vergeleken met de voorspellingen met de huidige prognosetool en met de waargenomen baggervolumes. Indien de meerwaarde zo niet kan worden aangetoond, is verdere ontwikkeling zinloos. Dit geldt ook als de nauwkeurigheid van de huidige prognosetool t.o.v. de gewenste nauwkeurigheid al voldoende groot blijkt te zijn.

Alternatieven voor het regressiemodel zijn geïnventariseerd. Alle hebben voor- en nadelen, mede afhankelijk van de context. Indien een kwalitatief begrip van hoe het hydro-morfologische systeem zich rond baggervakken ontwikkelt belangrijker is dan een kwantitatieve voorspelling van de baggerhoeveelheden ligt een fysisch model meer voor de hand dan een statistisch model.

5 Referenties

Villars, N. (2018) Plan van Aanpak KPP 2018 project 2018 BO02 - Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en Baggerhoeveelheden. Deltares, 2018.

Van den Boogaard en Van Kessel (2016). Regressieanalyse voor prognose baggerhoeveelheden Waddenzee. Deltares memo 1230032-000-ZKS-0002 d.d. 7 juli 2016.

Quataert, E. en C. Kuijper (2016). Prognosetool baggerhoeveelheden Waddenzee. Gebruikershandleiding. Deltares rapport 1220031-000-ZKS-0011.

Verslag workshop baggerhoeveelheden d.d. 4 oktober 2018

Verslag workshop baggerhoeveelheden d.d. 9 november 2017

Verslag workshop stroomlijning prognose baggerhoeveelheden Waddenzee d.d. 4 december 2014

Fioole, A. (z.j. b). Handleiding SURFTREND. Rijkswaterstaat, Rotterdam

Fioole, A. (2012). Werkzaamheden t.b.v. data analyse en statistiek. Rijkswaterstaat, Rotterdam.

Wang, Z.B.; Jeuken, M.-C.J.L.; Kornman, B.A. (2003). A model for predicting dredging requirement in the Westerschelde, in: Proceedings of the International Conference on Estuaries and Coasts 2003 (IRTCEC), Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary, Hangzhou, China, November 9-11, 2003. pp. 430-435.