



Rivieraafvoer naar de Zeeuwse delta: herstel van een estuarium?

IR. WILLEMIJN ROSSEN, UNIVERSITEIT TWENTE

DR. IR. C. MARJOLEIN DOHMEN-JANSSEN, UNIVERSITEIT TWENTE

Momenteel worden voor het rivierengebied maatregelen opgesteld en uitgevoerd om de verwachte hogere rivieraafvoeren op te kunnen vangen. Naast het toepassen van deze maatregelen, wordt ook de mogelijkheid onderzocht om de Zeeuwse delta (Volkerak-Zoommeer, Grevelingenmeer en Oosterschelde) te gebruiken als bergingsgebied in tijden van (extreem) hoge rivieraafvoer. Het herstel van rivieraafvoer op deze bekkens kan naast meer veiligheid ook leiden tot een ecologisch herstel van de Deltawateren. Gecombineerd met het (weer) inlaten van getijdewater kan een estuariene zoet/zoutovergang met bijbehorende estuariene ecologie ontstaan. In dit onderzoek zijn twee varianten voor het afvoeren van rivierwater en het tegelijkertijd inlaten van getijdewater in de Zeeuwse delta kwantitatief verkend op waterstanden en chloridegehalten door middel van een simpel analytisch model voor een halfgesloten getijdenbekken. De conclusie luidt dat een (extreem) hoge rivieraafvoer op de Zeeuwse delta kan worden afgevoerd, zonder dat de veiligheidseis wordt overschreden. Om ook aan de wensen voor estuariene ecologie te voldoen is alleen een beperktere afvoer mogelijk.

In het project DeltainZicht ontwikkelen de provincies Zeeland, Noord-Brabant en Zuid-Holland, de waterschappen, gemeenten en verschillende belangenorganisaties een visie op de toekomst van de deltawateren. Hierbij wordt onder andere gestreefd naar het terugbrengen van de estuariene dynamiek in het gebied. Voor de aanleg van de Deltawerken was de delta een dynamisch gebied met open verbindingen tussen de rivieren en de zee. Tegenwoordig is de delta een verzameling van gescheiden zoet- en zoutwaterbekkens. Deze verregaande vorm van beheersing heeft negatieve gevolgen

voor onder andere de ecologie van deze wateren. De estuariene dynamiek kan worden teruggebracht door de wateren weer onder invloed van het getij te brengen en door het herstel van de rivieraafvoer op de delta en de uitwisseling van water tussen de verschillende bekkens. Voor het opnieuw toelaten van rivierwater en daarmee het terugbrengen van de estuariene dynamiek, zijn door DeltainZicht een viertal visies geformuleerd. In opdracht van het RIKZ in Middelburg zijn in dit onderzoek op basis van deze visies twee varianten voor rivieraafvoer verder kwantitatief ingevuld.

Het rivierwater, afkomstig van de Rijn, Maas en Brabantse rivieren, stroomt bij deze twee varianten via de Volkeraksluizen en de sluizen in de Brabantse rivieren op het Volkerak/Zoommeer. Vanwege de beperkte bergingscapaciteit van dit meer is verdere doorvoer naar zee noodzakelijk. Deze doorvoer gaat via Grevelingen (variant Volkerak/Zoommeer-Grevelingen) of Oosterschelde (variant Volkerak/Zoommeer-Oosterschelde). De twee varianten staan in afbeelding 1. De drie bekkens zijn hierin vereenvoudigd tot een lijn. Tevens is verondersteld dat geen uitwisseling plaatsvindt van water tussen de twee doorvoervarianten. Dit maakt het opstellen van het model en het uitvoeren van de berekeningen eenvoudiger. Vanwege het verkennende karakter van dit onderzoek is dit gerechtvaardigd. Het waterbeheer van de Westerschelde en het noordelijk deltabekken is buiten beschouwing gelaten. In de Brouwersdam is een stormvloedkering verondersteld van hetzelfde type als die in de Oosterschelde. Hierdoor komt de tak Volkerak/Zoommeer-Grevelingenmeer onder invloed te staan van het getij. De stormvloedkering in de Oosterschelde blijft gehandhaafd. Op beide takken zijn geen obstakels verondersteld in de vorm van dammen of doorlaatwerken. De harde scheiding van zoet en zout water ontbreekt, zodat de uitwisseling van water volledig is. Tevens staan de bekkens onder een zo groot mogelijke invloed van het getij wat de estuariene dynamiek bevordert.

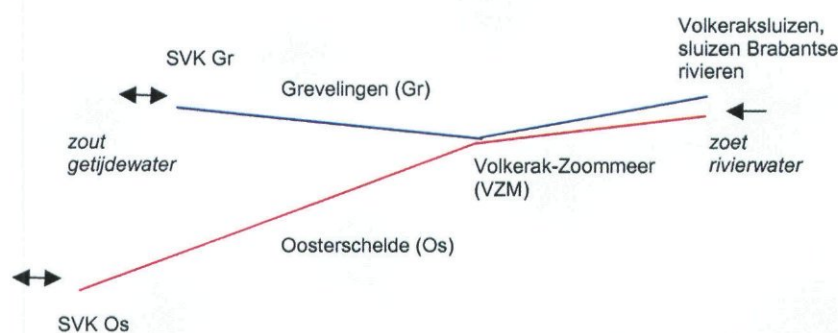
Veiligheid

De afvoer van rivierwater op de Zeeuwse delta heeft een gunstig effect op de maatgevende hoogwaterstanden in het zuidwesten van het benedenrivierengebied. Op het Hollandsch Diep kan een waterstandverlaging van circa 50 cm worden bereikt¹⁾. Het veiligheidsprobleem mag echter niet worden afgewenteld op de Zeeuwse delta. Daarom is voor dit onderzoek een veiligheidseis opgesteld, waaraan de berekende waterstanden worden getoetst. Deze eis is afgeleid van het huidige minimale toetspeil van de Oosterscheldedijken, NAP +3,45 meter. De Oosterscheldedijken zijn als enige in het onderzoeksgebied primaire waterkeringen, waardoor alleen van deze dijken toetspeilen bekend zijn. Voor de dijken rondom het Grevelingenmeer en Volkerak-/Zoommeer is daarom eveneens een toetspeil van NAP +3,45 meter aangenomen.

Ecologie

Herstel van rivieraafvoer en de getijbeweging op de twee bekkens kan een gunstig effect hebben op de ecologie. De getijbeweging mengt het zoete en zoute water waardoor onder andere in langrichting van het estuarium een geleidelijke overgang van zoet naar zout water ontstaat. De vestiging van estua-

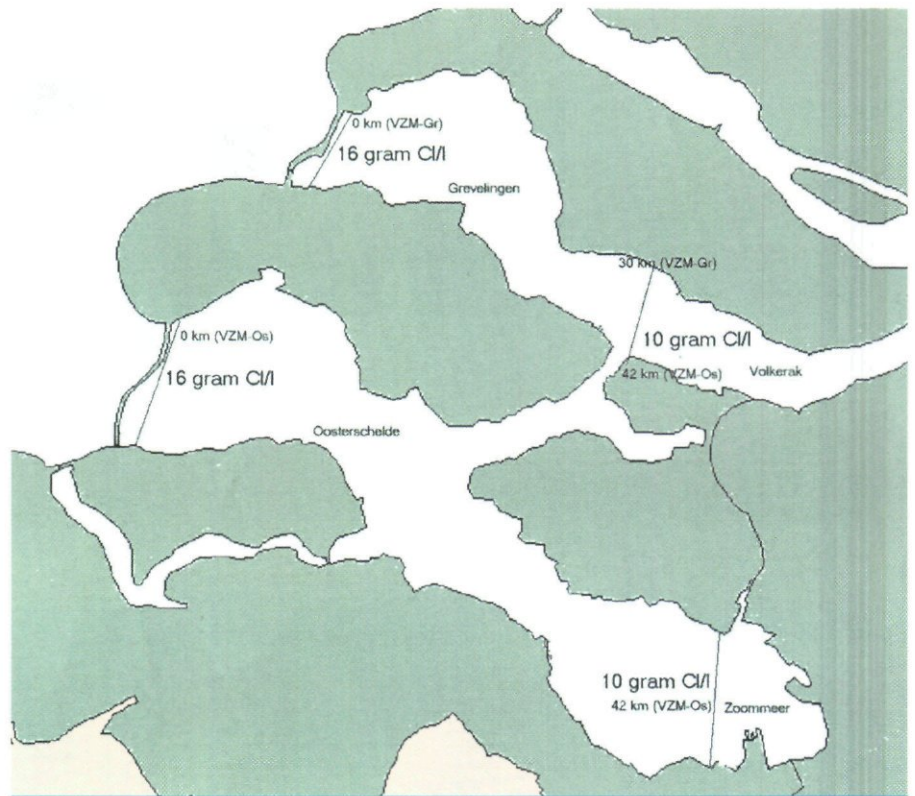
Afb. 1: Schematisatie van het onderzoeksgebied en doorvoervarianten.



riene soorten is daardoor mogelijk, omdat saliniteit een belangrijke factor is voor de aanwezigheid van deze soorten². Bij de bepaling van de gewenste saliniteitsgrenzen van de zoet/zout-overgang is uitgegaan van de zout-tolerantie van de kokkel en mossel en van zee-gras. Deze soorten hebben een grote ecologische betekenis. In estuaria zijn bodemdieren namelijk een belangrijke schakel in de voedselketen. Zeegrasvelden bieden weer voedsel en beschutting aan bodemdieren. Vogels vinden vervolgens voedsel in de velden of eten het zeegras zelf. Tevens functioneren de zee-grasvelden als paai- en opgroeigebied van vissen. Daarnaast is naar de kokkel en mossel veel onderzoek verricht vanwege de gemakkelijke bemonstering en het economisch belang³.

De gewenste saliniteitsgrenzen van de zoet-zout overgang zijn uitgedrukt in chloridgehaltes, aangezien de chlorositeit van het water eenvoudiger te meten is dan de saliniteit. Voor kokkels en mosselen vormt een gemiddelde chlorositeit van tien tot elf gram per liter de ondergrens⁴. Bij deze waarde kunnen kokkels en mosselen gedurende lange tijd makkelijk overleven en reproduceren. Voor zee-gras is een ondergrens van tien tot twaalf gram per liter gevonden. Zee-gras gedijt het beste in een brakke omgeving waarin het zoutgehalte niet te hoog kan worden. Een chlorositeit van 16 gram per liter geldt als bovengrens⁵.

In de huidige situatie leven er in de Oosterschelde mosselen en kokkels. In het Grevelingenmeer is de mosselproductie sinds 1977 teruggevallen en komen vrijwel geen kokkels meer voor⁶. Daarnaast neemt in beide systemen het areaal aan zee-gras af. Dit valt voornamelijk te wijten aan de hoge zoutgehaltes⁷. Zowel de boven- als ondergrens zullen binnen de bekkens Volkerak/Zoommeer-Grevelingen en Volkerak/Zoommeer-Oosterschelde moeten vallen om zo de kokkel, mossel en het zee-gras weer terug te krijgen of te behouden. De gewenste geografische ligging van de chloridengrenzen is in afbeelding 2 te zien. De mate van menging van zoet en zout water in een estuarium wordt weergegeven met het estuariumgetal α . Het is de verhouding tussen de hoeveelheid zoet en zout water dat gedurende een getijperiode het estuarium in- en uitstroomt. De menging zal in het estuarium goed ($\alpha < 0,1$) tot gedeeltelijk goed ($0,1 < \alpha < 1$) moeten zijn. Een gelaagd systeem ($\alpha > 1$) is namelijk niet wenselijk vanwege het kunnen optreden van zuurstofloosheid en de daarmee gepaard gaande sterfte van flora en fauna. Een estuariumgetal in de buurt van 1 neigt meer naar een gelaagd systeem. Een goed tot gedeeltelijk gemengd estuarium is in dit onderzoek daarom aangegeven met een estuariumgetal $\alpha \leq 0,5$.



Afb. 2: Geografische ligging minimale chloridegehalte voor kokkel, mossel en zee-gras (10 g/l) en maximale chloridegehalte voor zee-gras (16 g/l).

Analytisch model

Om te bepalen welke rivierafvoer maximaal mogelijk is, zijn waterstanden en chloridgehaltes berekend. De berekeningen zijn gemaakt voor twee extreme situaties: een geopende en een gesloten stormvloedkering. De waterstand bij een geopende stormvloedkering zal variëren ten gevolge van de getijbeweging. Het gebruikte model is gebaseerd op een model voor getijvoortplanting in een half-gesloten getijdebekken. Beide varianten hebben namelijk de vorm van een getijdebekken met een gesloten einde (Volkeraksluizen). In een getijdebekken volgt de getijbeweging voornamelijk de hoofdgeul. Daarom is voor beide bekkens één hoofdgeul⁸ verondersteld met een constante diepte, kombergende en stroomvoerende breedte.

De verandering in waterstand bij een gesloten stormvloedkering zal veroorzaakt worden door de rivierafvoer. Dit is berekend met behulp van een eenvoudige Q-h-relatie, ervan uitgaande dat het rivierwater vrij kan afstromen op het bekken. De uiteindelijke waterstand is een optelling van de beginwaterstand in het getijdebekken op het moment dat de kering sluit en de verandering in waterstand ten gevolge van de rivierafvoer. Deze waterstand is afhankelijk van de sluitingsduur van de kering.

Voor de berekening van de chlorositeit van het water is gebruik gemaakt van een disper-

siemodel dat de longitudinale verdeling van zout langs de hoofdgeul berekent⁹. Een quasi-stationaire situatie wordt verondersteld, waardoor de berekende chloridgehaltes getijgemiddeld zijn. Daarnaast zijn ze ook dieptegemiddeld, zodat het model alleen toepasbaar is op een goed tot gedeeltelijk gemengd estuarium. In dit soort estuaria is namelijk (bijna) geen verandering in chlorositeit over de diepte. De uit data afgeleide dispersiecoëfficiënt is een gemiddelde over een aantal doottij/springtij-cycli en getijperiodes, waardoor de verdeling van zout langs het estuarium alleen afhankelijk is van de rivierafvoer.

Scenario's

Voor beide doorvoervarianten is voor zowel een geopende als een gesloten kering onderzocht hoeveel rivierafvoer op het bekken ingelaten kan worden om te voldoen aan de veiligheidseis. De maximale rivierafvoer op de bekkens is gesteld op 2650 kubieke meter per seconde. Dit is een optelling van de maximale spuicapaciteit van de Volkeraksluizen (2500 kubieke meter per seconde) en de waarde voor extreme afvoer van de Brabantse rivieren (150 kubieke meter per seconde¹⁰). Bij de geopende kering is gerekend met een vloed tijdens springtij. Dit is voor het veiligheids criterium de meest extreme situatie. Bij de gesloten kering is gerekend met drie sluitingsperiodes van de kering: een vloedperiode, één getijperiode en twee getijperiodes. Daarbij is uitgegaan van het huidige sluitingsregime van de Oos-

terschelde: de stormvloedkering sluit wanneer aan de zeezijde een peil wordt verwacht van NAP +3,0 meter. Als het peil op de Oosterschelde NAP +1,0 meter bereikt, sluit de kering¹¹⁾. Uitgaande van de veiligheidsseis kan de waterstandsverandering veroorzaakt door de rivierafvoer dus maximaal 2,45 meter zijn. Vervolgens is onderzocht bij welke rivierafvoer voldaan wordt aan de wensen vanuit de ecologie. Dit is alleen gedaan voor de situatie waarbij de kering geopend is. Bij een gesloten kering ontbreekt namelijk de getijbeweging, waardoor een gelaagd systeem optreedt. Het gebruikte dispersiemodel voor de berekening van de verdeling van de chloridegehalten langs het estuarium is daardoor niet toepasbaar.

Resultaten en conclusies

Er blijkt geen rivierafvoer te zijn waarbij aan alle eisen vanuit de ecologie wordt voldaan. De optimale oplossing wordt bereikt bij een maximale rivierafvoer van 94 kubieke meter per seconde op het bekken Volkerak/Zoommeer-Oosterschelde en 75 kubieke meter per seconde op het bekken Volkerak/Zoommeer-Grevelingen. In beide gevallen wordt aan de eisen voor waterstand en estuariumgetal ruim voldaan, terwijl op Volkerak/Zoommeer-Oosterschelde de bovengrens in chlorositeit wordt bereikt op $x = 5$ in plaats van $x = 0$ kilometer en op Volkerak/Zoommeer-Grevelingen de ondergrens bereikt wordt op $x = 25$ in plaats van $x = 30$ kilometer.

Een voorwaarde is dat de rivierafvoer constant moet zijn. Op deze manier kan op de systemen een ecologisch evenwicht ontstaan. Het garanderen van deze constante spui kan een probleem worden wanneer er geen of minder rivierafvoer is, bijvoorbeeld in droge periodes. Wanneer de bekkens gebruikt worden om extra rivierwater af te voeren tijdens extreem hoog water, zal de afvoer veel groter zijn dan de voor ecologie gewenste waarde. Dit doet zich echter slechts zelden voor en duurt relatief kort. Door de constante spui zullen de takken ecologisch goed in evenwicht zijn. Daardoor kunnen ze waarschijnlijk sneller herstellen van deze extreme verstoring dan wanneer die constante spui niet aanwezig zou zijn geweest.

Op het bekken Volkerak/Zoommeer-Oosterschelde kan zowel bij geopende als gesloten kering het meeste rivierwater binnenstromen. De voorkeur gaat daarom uit naar deze variant als het gaat om de ontwikkeling van estuariene dynamiek. Bij de variant Volkerak/Zoommeer-Grevelingen moet de Brouwersdam verbouwd worden naar een stormvloedkering en zal de Grevelingendam aangepast moeten worden. Bij de variant Volkerak/Zoommeer-Oosterschelde zijn alleen aanpassingen aan de Philipsdam en Oesterdam (huidige dammen

tussen Oosterschelde en Volkerak/Zoommeer) nodig. Dit zou een tweede reden kunnen zijn om te kiezen voor afvoer via Volkerak/Zoommeer-Oosterschelde.

Andere belangen

Het is waardevol om uit te zoeken hoe andere gebruiksfuncties van het deltagebied (visserij, recreatie, landbouw, scheepvaart) zullen reageren op het herstellen van de rivierafvoer. Daarnaast zal moeten worden onderzocht of de overige gebruiksfuncties kunnen worden ingepast in de in dit onderzoek opgestelde ecologische randvoorwaarden. Op deze manier kunnen de belangen van de actoren meegenomen worden in het traject van de verdere kwantificering van de visievorming. Wanneer dit op hetzelfde niveau van vereenvoudiging gebeurt, kan gemakkelijker vergeleken worden waardoor knelpunten tussen de verschillende functies kwantitatief zichtbaar worden.

Het hier gebruikte analytische model is stationair: verandering in de tijd ontbreekt. Het is daarom niet mogelijk te berekenen hoe lang het duurt voordat de zoet/zout-overgang weer is hersteld na een grote verstoring en hoe de chloridegehalten variëren over een aantal getijperiodes en springtij/doodtij-cycli. Een tijdsafhankelijk model zal hierover uitkomst moeten bieden.

De zoutconcentratie is in dit onderzoek gerelateerd aan het voorkomen van kokkel en mossel. Een toename van zoet water gaat vaak gepaard met een verandering in andere abiotische factoren dan zoutgehalte alleen (voedsel beschikbaarheid, temperatuur, sedimenttype en stroomsnelheid). Al deze factoren hebben invloed op de bodemfauna. Een verdere studie naar de invloed van deze factoren geeft meer inzicht in de effecten van zoetwaterafvoer op de bodemfauna in de Zeeuwse delta. 

LITERATUUR

- 1) WL Delft Hydraulics en HKV (2001). Rivierkundige analyses ten behoeve van de Spankrachtstudie deelproject 5: doorvoer Volkeraksluizen. RIZA.
- 2) Leeuw C. de en J. Backx (2000). Naar een herstel van estuariene gradiënten in Nederland. Literatuurstudie naar de algemene ecologische principes van estuariene gradiënten ten behoeve van herstelmaatregelen langs de Nederlandse kust. RIKZ/RIZA.
- 3) Vos M. en W. Wolff (2001). Ontwerp-ecotopenstelsel voor de brakke Rijkswateren. Mariene biologie Rijksuniversiteit Groningen.
- 4) Aerts L. (2002). Zouttoleranties bij kokkels en mossels. Literatuurstudie uitgevoerd in het kader van de effectenstudie (ES)2-Afsluitdijk. Royal Haskoning.
- 5) Jong D. de en V. de Jonge (1989). Zeegras, *Zostera marina* L. *Zostera noltii* Horn.; een ecologisch profiel en het voorkomen in Nederland. Nota GWAO-89.1003.

- 6) Anoniem (1997). Nieuwe kijk op natuur in het Deltagebied. Bewerking van het IKC-kennisdocument 'Ecosysteemvisie Delta'. Ministerie van LNV directie Zuidwest.
- 7) Haas H. (1998). Zoet water naar de Oosterschelde: een verkenning naar de effecten op natuur en visserij. RIKZ.
- 8) Dronkers J. en M. Stive (1998). College fysica van kustsystemen. Faculteit Natuur- en Sterrenkunde, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Universiteit Utrecht.
- 9) Phan H. en C. Vreugdenhil (2002). Climate change effects on salinity intrusion of the Red River Delta. Universiteit Twente.
- 10) Haas H. en M. Tosserams (2001). Balanceren tussen zoet en zout, ruimte voor veerkracht en veiligheid in de Delta. RIKZ/RIZA.
- 11) Berchum A. van en G. Wattel (1997). De Oosterschelde, van estuarium naar zeearm. Bekkenrapportage 1991-1996. RIKZ.