

Zeespiegelstijging dramatisch voor Noord-Hollandse boezem

Vanwege klimaatveranderingen zullen externe invloeden als wind, neerslagspreiding en zeespiegelstijging in de toekomst meer invloed krijgen op regionale watersystemen. Aan de hand van het polder-boezemsysteem van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier is modelmatig onderzocht wat de gevoeligheid van dergelijke systemen is voor deze factoren tijdens extreme neerslagomstandigheden. Het blijkt dat de windinvloed klein is, al is deze sterk afhankelijk van de hoek waaruit de wind waait en de afvoermogelijkheden van het systeem. Omdat de boezem belast wordt door poldergemalen met een begrensde capaciteit, heeft neerslagspreiding tijdens extreme omstandigheden een verwaarloosbare invloed op de waterstanden. Zeespiegelstijging heeft echter wel een grote invloed, omdat deze leidt tot een afname van de spuicapaciteit. Boezemsystemen die lozen onder vrij verval, zullen in de toekomst dus tot het verleden gaan behoren en moeten worden aangepast om nog te kunnen blijven functioneren.

Met de ondertekening van het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) op 2 juli 2003 hebben de waterschappen zich geconformeerd aan het nationale beleid op het gebied van waterproblemen. Onderdeel van het akkoord is dat de veiligheid van het regionale watersysteem geanalyseerd dient te worden. In de inrichting en het beheer bepalen echter slechts ten dele de veiligheid ervan. Externe factoren als wind, neerslagspreiding en zeespiegelstijging zijn ook van belang en zullen vanwege klimaatverandering in de toekomst wellicht een grotere rol gaan spelen. Voor het regionale watersysteem van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier is daarom met een hydraulisch model (Sobek-CF), waarin de polders als afwaterend gebied zijn opgenomen, een analyse uitgevoerd naar het effect van deze externe factoren op de veiligheid¹⁾.

Boezemsysteem

Het regionale watersysteem van Hollands Noorderkwartier kan geclassificeerd worden als een polder-boezemsysteem²⁾ (zie afbeelding 1). Het teveel aan water in de ongeveer 1.100 km² polders wordt omhoog gepompt naar de boezem die het water transporteert naar eindgemalen of spuisluizen, waarmee het water wordt geloosd op het buitenwater (Waddenzee, Noordzeekanaal, IJsselmeer en Markermeer). Naast de polders watert nog 50 km² gebied onder vrij verval af op de boezem (duinen en het zogeheten boezemland). In droge perioden wordt juist water uit het IJsselmeer en het Markermeer naar

de polders gebracht via de boezem. Het boezemsysteem is dus cruciaal voor de afvoer uit en aanvoer naar de polders. Het boezemsysteem bestaat op zijn beurt weer uit enkele boezemstelsels, die aan elkaar gekoppeld zijn door sluisen en gemalen. Drie van deze boezemstelsels zijn in de analyse in beschouwing genomen (zie afbeelding 2): de Schermerboezem (deels bemalen, deels lozing onder vrij verval), de Amstelmeerboezem (vrij verval) en de VRNK-boezem (bemalen).

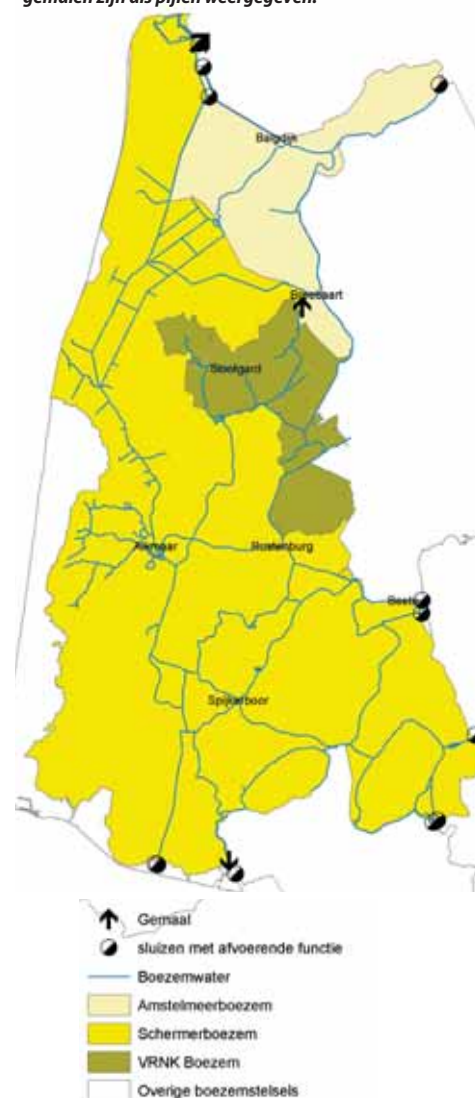
De boezem heeft een bergende maar vooral afvoerende functie. Om water af te kunnen voeren, moet voldoende druk geleverd worden en stelt zich een verhang in over de watergang. Dit geeft een noodzakelijke waterstandverhoging achterin het systeem (oftewel bovenstrooms in het systeem), zodat daar geregeld verhoogde waterstanden voorkomen (middelste deel van afbeelding 3). De waterstanden kunnen vervolgens nog verder stijgen wanneer de aanvoer van water uit de polders groter is dan de afvoer naar het buitenwater. In dat geval gaat het systeem water bergen en stijgen de waterstanden net zo lang totdat de aanvoer afneemt of de afvoer toeneemt (onderste deel van afbeelding 3).

Gevoeligheid

Tot op heden bleek het boezembeheer voldoende om de veiligheid van het achterliggende gebied te garanderen. Door klimaatveranderingen zal echter een aantal externe invloeden, waarop het waterschap geen invloed heeft, wijzigen, waardoor de veiligheid mogelijk in het geding komt: wind, neerslag en zeespiegelstijging.

Voor deze factoren is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Qua neerslag is gerekend met een extreme neerslaggebeurtenis die tevens gepaard ging met hoge buitenwaterstanden. Om de invloed van de onderzochte variabelen te bepalen, zijn de

Afb. 2: Overzicht van het boezemstelsel van Hollands Noorderkwartier: de Schermerboezem, de Amstelmeerboezem en de VRNK-boezem. De gemalen zijn als pijlen weergegeven.



Afb. 1: Schematische weergave van een polder-boezemsysteem.



resultaten ervan vergeleken met een referentiesituatie: wind (0 m/s), neerslag van één neerslagstation voor het hele gebied en gemeten waterstanden op de Noordzee en Waddenzee.

Windinvloed

De windinvloed is bepaald door de windsnelheid en -richting op twee manieren te variëren: de werkelijk gemeten dag-gemiddelde windsnelheid en -richting en een constante westenwind, verhoogd conform het W+-klimaatscenario van het KNMI.

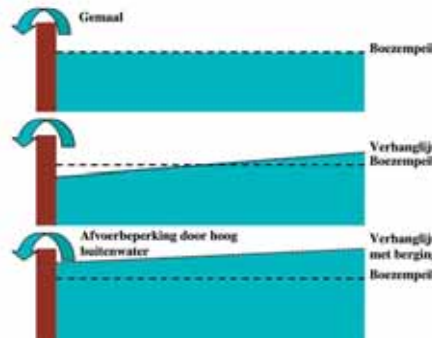
Voorafgaand aan de maximale waterstand kwam de wind vier dagen lang uit het noordwesten met een windkracht 3 tot 5. De tabel op de volgende pagina toont het verschil in maximale waterstand tussen de situatie met en zonder het in beschouwing nemen van de windinvloed. De verschillen zijn erg klein en bijna overal daalt de waterstand. Alleen bij Rustenburg neemt de waterstand toe met vier centimeter (twaalf procent). Volgens een analytische beschouwing wordt een toename in het zuidoosten verwacht van zeven centimeter (zie kader). De invloed is echter beperkt, omdat de extra windopzet de spui-efficiëntie verhoogt. Zo neemt de afvoer bij de twee grootste spuisluisen naar het Markermeer met respectievelijk 18 en 27 procent toe. Dit compenseert de windopstuwing volledig. Hoewel verwacht werd dat windinvloed leidt tot een opstuwing in de orde van grootte van enkele decimeters, blijkt dit effect dus mee te vallen. De oorzaken hiervan zijn de windsnelheid die niet uitzonderlijk hoog is, de relatief grote waterdiepte en vooral de verhoging van de spui-efficiëntie in de zuidoostelijke hoek van de Schermerboezem. Op de VRNK-boezem, die maar één afvoerpunt heeft, nemen de waterstanden wel toe. Naast de windopstuwing komt dit doordat het gemaal aan de noordkant van de boezem bij een noordwestenwind niet optimaal gebruikt kan worden.

Windopstuwing kan worden berekend met

$$s = \frac{\alpha \cdot v_w^2 \cdot l \cdot \cos \phi}{h}$$

- waarin s = opstuwing (m)
- α = empirische coëfficiënt, voor kanalen $2 \times 10^{-7} \text{ s}^2/\text{m}$
- v_w = windsnelheid (m/s)
- l = lengte betrokken gebied (m)
- ϕ = hoek tussen windrichting en lengteas van het betrokken gebied (graden)
- h = gemiddelde waterdiepte (m)

In de dagen voorafgaand aan de maximale waterstand van september 1994 was de gemiddelde windsnelheid 6,8 m/s (windkracht 4) uit het noordwesten. De lengte van de Schermerboezem (noord-zuid) bedraagt 56 kilometer en de gemiddelde waterdiepte vijf meter. De opstuwing over de Schermerboezem bij deze omstandigheden bedraagt normaliter dus ongeveer zeven centimeter.



Afb. 3: Schematisch zijaanzicht van de boezem tijdens afvoer en waterberging.

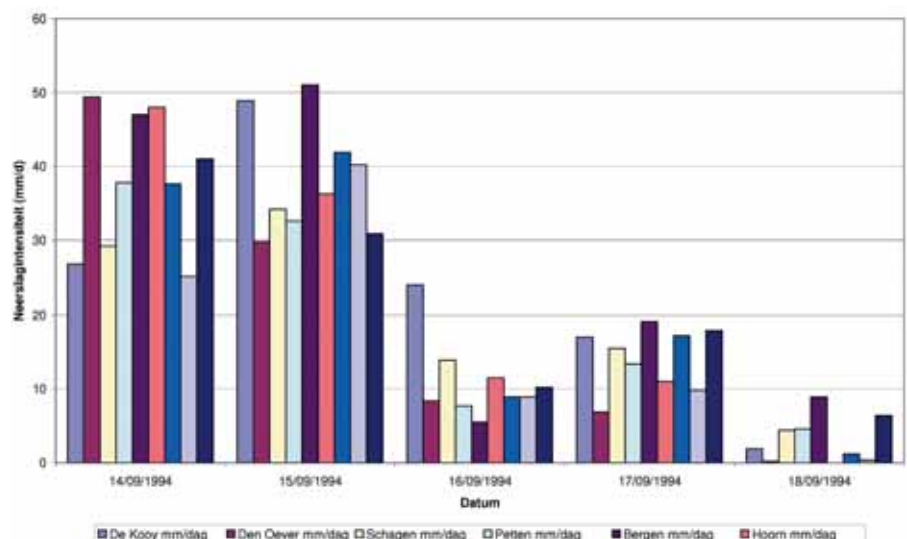
Naast de gemeten windsnelheid en -richting is ook gerekend met een constante westenwind met een snelheid van 9,7 m/s (windkracht 5). Deze snelheid is vier procent hoger dan de gemeten maximale windsnelheid in september 1994, conform het W+-klimaatscenario van het KNMI³⁾. Er is gerekend met een westenwind, omdat de oostkant van de Schermerboezem, die normaliter een kritiek punt vormt in het boezembeheer, dan extra belast wordt. Doordat de windrichting langer aanhoudt dan bij het vorige scenario, zal zich naar verwachting tevens een duidelijkere verhanglijn instellen. Bij westenwind neemt in het oostelijke deel van de Schermerboezem (Beets), waar de hoogste waterstanden te verwachten zijn, de waterstand enkele centimeters toe ten opzichte van de referentiesituatie (zie de tabel). Bij een langdurige stevige wind uit een vaste hoek sturt het water dus wel degelijk op, al wordt ook hier het effect deels gecompenseerd door de toegenomen spui-efficiëntie. Aan de westkant van de Schermerboezem (Alkmaar) worden waterstanden berekend die enkele centimeters lager zijn dan voor de referentiesituatie. Op de Amstelmeerboezem zijn de effecten kleiner, omdat de afvoerrichting in deze boezem noord-zuid georiënteerd is in plaats van west-oost. In de VRNK-boezem blijkt de waterstand bij westenwind nauwelijks te veranderen. Dit komt doordat het gemaal, in tegenstelling tot een situatie met noordwestenwind, bij

westenwind wel de gehele periode gebruikt kan worden.

Invloed van neerslagspreiding

In dit scenario is de spreiding van de neerslag over het gebied in beschouwing genomen door gebruik te maken van negen neerslagstations in plaats van één. Dit heeft een afname van het totale neerslagvolume met tien procent tot gevolg in de dagen voorafgaand aan de piekwaterstand. In afbeelding 4 is het verloop van de neerslagintensiteit tijdens deze dagen weergegeven voor de verschillende neerslagstations. Uit de grafiek blijkt dat de verdeling van de neerslag in de tijd weliswaar varieert per neerslagstation, maar dat toch een algemene trend zichtbaar is met relatief veel neerslag op 14 en 15 september, gevolgd door drie dagen met minder neerslag. Tabel 1 toont het verschil met de referentiesituatie. Uit de tabel volgt dat met het in beschouwing nemen van neerslagspreiding de waterstand op bijna de gehele Schermerboezem met ongeveer een centimeter daalt. Ook op het grootste deel van de Amstelmeerboezem en de VRNK-boezem daalt de waterstand met een à twee centimeter, wat een relatieve afname van twee tot vijf procent inhoudt. Het feit dat de afname van de piekwaterstand kleiner is dan de afname van het gemiddelde neerslagvolume is het gevolg van de beperkende factor die de poldergemalen vormen in de afvoer van het water vanuit de polders richting de boezem. Het extra neerslagvolume in een zeer extreme bui ten opzichte van een hevige bui wordt zodoende in de polders geborgen en niet in de boezem. De maatgevende waterstand op de boezem is voor extreme periodes dus vooral afhankelijk van de afvoercapaciteit van de poldergemalen en de afvoerbegrenzing van de boezem en niet zozeer van de neerslagintensiteit. Deze bevinding is aangetoond in ander modelonderzoek⁴⁾. Voor minder extreme natte periodes kan het meenemen van ruimtelijke variatie echter wel tot grote variatie van afvoer uit de polders leiden⁵⁾. Dit heeft als gevolg dat voor dergelijke situaties het effect van ruimtelijke variabiliteit in de neerslag op boezem-

Afb. 4: Neerslagintensiteit per dag voor de verschillende neerslagstations.



	Schermerboezem			Amstelmeerboezem		VRNK-boezem	
	Alkmaar	Beets	Spijkerboor	Balgdijk	Breebaart	Slootgaard	Rustenburg
	(0,50 m)	(0,50 m)	(0,49 m)	(0,75 m)	(0,83 m)	(0,19 m)	(0,33 m)
gemeten wind	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0	-0.01	+0.04
westenwind	-0.02	+0.05	0	-0.02	-0.02	-0.01	0
neerslagspreiding	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	0	-0.01
verhoogde zeespiegel	+0.05	+0.04	+0.03	+0.15	+0.14	0	0

Toename van de maximale waterstand (in meter) tijdens de doorgerekende periode op verschillende locaties voor de onderzochte scenario's. De locaties zijn terug te vinden in afbeelding 2. Tussen haakjes is steeds de waterstandstijging in de referentiesituatie weergegeven.

waterstanden groter is dan voor extreme neerslagsituaties.

Invloed van zeespiegelstijging

Tenslotte is de invloed van zeespiegelstijging bekeken. Conform het W+-klimaatscenario va het KNMI zou de zeespiegelstijging tot 2050 door klimaatverandering 25 centimeter bedragen. Aangenomen is hierbij dat de verhoging van de zeespiegel niet doorwerkt op de binnenwateren. Uit tabel 1 blijkt dat verhoging van de zeespiegel vooral invloed heeft op de Amstelmeerboezem en in mindere mate op de Schermerboezem. Het grote effect op de Amstelmeerboezem is te verklaren door het feit dat in de huidige situatie ongeveer de helft van het water dat de polders op deze boezem uitslaan, onder vrij verval wordt afgevoerd naar de Waddenzee. Door de zeespiegelstijging neemt de spuicapaciteit van de Amstelmeerboezem in de gesimuleerde kritieke periode met 70 procent af.

De Schermerboezem spuit slechts voor een zeer klein deel (in de gesimuleerde periode minder dan een procent, bij lagere buitenwaterstanden neemt het aandeel spui echter toe) richting de Waddenzee. De rest van het water wordt uitgemalen óf wordt gespuid naar het Markermeer en Noordzeekanaal. Het uitgemalen volume blijft bij verhoging van de zeespiegel echter min of meer gelijk. De waterstanden nemen wel enkele centimeters toe door de toegenomen aanvoer vanuit de Amstelmeerboezem naar de Schermerboezem die het gevolg is van de hogere waterstand op de Amstelmeerboezem. De VRNK-boezem wordt

geheel bemalen. Zeespiegelstijging heeft dus nauwelijks invloed op de maatgevende waterstand op deze boezem.

Conclusies

Op basis van de uitgevoerde analyses kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- n Voor de boezem van Hollands Noorderkwartier, met relatief diepe watergangen en voldoende afvoermogelijkheden op diverse locaties, blijkt de opstuwung als gevolg van de wind kleiner dan verwacht, al is deze sterk afhankelijk van de hoek waaruit de wind waait. Als de wind uit een gunstige hoek waait, neemt de afvoerefficiëntie sterk toe. Voor boezems met maar één enkel afvoerpunt is de waterstand sterk afhankelijk van de locatie van dit punt in relatie tot de windrichting;
- n De invloed van neerslagspreiding op de boezem is tijdens extreme neerslagcondities klein als gevolg van de beperkende factor die de poldergemalen vormen in de afvoer van het water vanuit de polders naar de boezem. Als de neerslagintensiteit de capaciteit van de poldergemalen overtreft, zal de extra neerslag in de polders worden geborgen en met een debiet gelijk aan de gemaalcapaciteit worden afgevoerd. Een nog verdere toename van het neerslagvolume heeft dus geen invloed op de waterstanden in de boezem;
- n Zeespiegelstijging leidt tot een afname van de afvoer van polder-boezemsystemen met vrije lozing op zee en dus tot een toename van de frequentie van

voorkomen van onacceptabel hoge waterstanden. Als een systeem daarnaast ook andere maal- of spuimogelijkheden heeft, zoals vrije lozing op binnenwater of een ander boezemstelsel, zal betere benutting van deze mogelijkheden dit effect deels compenseren. Met het doorzetten van de zeespiegelstijging zullen de laatst overgebleven boezemsystemen die lozen onder vrij verval in de toekomst tot het verleden gaan behoren. Watersystemen die eeuwenlang dienst hebben gedaan, zullen in de toekomst dus toch echt moeten worden aangepast om nog te kunnen blijven functioneren.

**Eric van Dijk en Jeroen Hermans
(Nelen & Schuurmans)
Maarten Poort (Hoogheemraadschap
Hollands Noorderkwartier)**

NOTEN

- 1) Nelen & Schuurmans (2007). Boezemstudie 2007. Dossier I0031, Boezemaatregelen HHNK.
- 2) Van Leeuwen E., G. Litjens, K. van Heeringen, W. Helmer, P. Baan en L. Boeije (1998). Evaluatie waterhuishoudkundige infrastructuur. Waterloopkundig Laboratorium. Rapport T1622.50.
- 3) KNMI (2006). KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific Report WR 2006-01.
- 4) Dorst L. (2003). Het Friese boezemstelsel onder extreme condities. TU Delft en Ingenieursbureau Boorsma.
- 5) Schuurmans J. en M. Bierkens (2007). Belang van betere neerslaginformatie voor hydrologen. H₂O nr. 12, pag. 27-29.

