

Drinkwaterfunctie en verzilting van het Ijsselmeergebied

■ Matthijs Bonte

KWR Watercycle Research Institute
Postbus 1072, 3430BB Nieuwegein; e-mail: matthijs.bonte@kwrwater.nl

■ Gertjan Zwolsman

KWR Watercycle Research Institute

Samenvatting

Klimaatverandering leidt tot stijging van de zeespiegel en een veranderende hydrologie van de Rijn. Hierdoor neemt de kans op periodieke verzilting van het IJsselmeergebied toe. Het Markermeer is voor wat betreft verzilting meer klimaatbestendig dan het IJsselmeer. Dit blijkt uit een modelstudie waarbij de chlorideconcentratie in het IJsselmeergebied dynamisch in de tijd is gesimuleerd. Modelberekeningen laten zien dat de geplande omzetting van het bemalingsregime in Zuidelijk Flevoland een stijging van het chloridegehalte met maximaal 80 mg/l kan veroorzaken in het Markermeer. Het chloridegehalte in Markermeer komt hierdoor rond de 210 mg/l en het water wordt minder geschikt als grondstofbron voor drinkwater. Dit is gezien de kwetsbaarheid van het IJsselmeer voor toekomstige verzilting een ongewenste ontwikkeling.

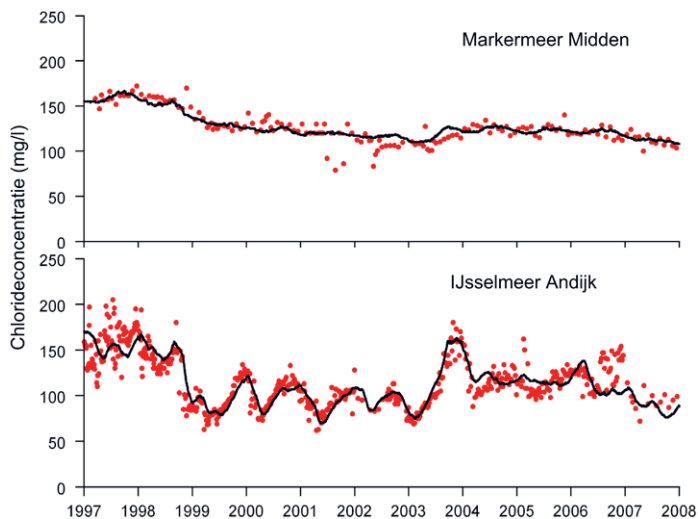
Inleiding

De ecologische kwaliteit van het IJsselmeergebied, in het bijzonder die van het Markermeer, gaat de laatste jaren gestaag achteruit: het water in het Markermeer is van slechte kwaliteit door mobiel en nutriëntrijk slib. Het IJsselmeer is weliswaar helderder, maar kampt met eutrofiëring. Het project "Wetlands in het IJsselmeergebied" van het 'Delft Cluster' verkent geïntegreerde oplossingen voor de slibproblematiek van het Markermeer. De oplossingen worden gezocht in een grootschalige herinrichting van het gebied. Een randvoorwaarde aan de grootschalige herinrichting is dat de drinkwaterfunctie die aan het gebied is toegekend niet in het geding komt. Hoewel het Markermeer momenteel niet als bron voor drinkwater in gebruik is, wordt het in de 5e Nota Ruimte genoemd als strategische voorraad van zoet water. Naast de drinkwaterfunctie vervullen zowel het Markermeer als IJsselmeer een belangrijke rol als zoetwaterbron voor de landbouw.

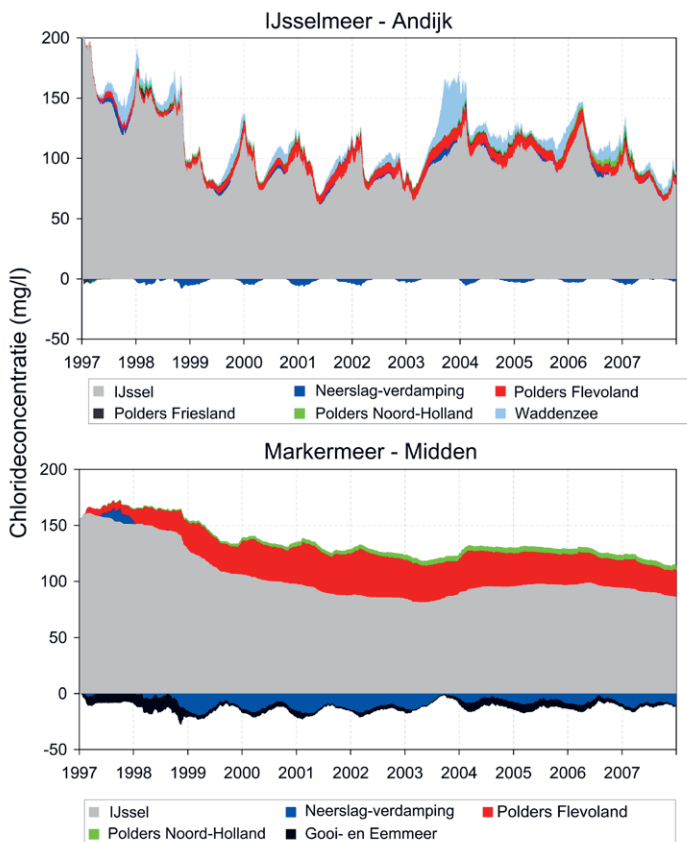
De centrale vraag van dit onderzoek is wat de effecten zijn van grootschalige herinrichting en ontwikkelingen als klimaatverandering en veranderend peilbeheer op het chloridegehalte in het Markermeer en IJsselmeer. Om dit te onderzoeken is een dynamisch model gebouwd waarmee de chlorideconcentratie in het IJsselmeergebied wordt gesimuleerd. Het model is geijkt, toegepast op de klimaatscenario's G en W+ van het KNMI en gebruikt om de effecten van een aantal varianten voor herinrichting en waterbeheer te simuleren. In dit artikel worden de belangrijkste resultaten van dit onderzoek gepresenteerd.



Figuur 1 Schematisch overzicht van het bakjesmodel van het IJsselmeergebied. Opgemerkt wordt dat niet alle inkomende- en uitgaande posten in de figuur zijn opgenomen.



Figuur 2 Berekende (zwarte lijn) en gemeten (rode cirkeltjes) chlorideconcentraties in het Markermeer (meetlocatie Midden) en IJsselmeer (meetlocatie Andijk).



Figuur 3 Bijdrage van verschillende bronnen van water en zout aan de berekende chlorideconcentratie in het IJsselmeer (bij Andijk) en Markermeer (Midden).

Modelbouw

Om de chlorideconcentratie van het Markermeer en IJsselmeer te simuleren, is een bakjesmodel gebouwd met als belangrijkste eigenschappen (zie figuur 1):

- Het Markermeer en Gooi- en Eemmeer worden beide gemodelleerd met één instantaan mengend bakje.
- Het IJsselmeer wordt gemodelleerd met een cascade van bakjes waarbij uitwisseling van zout tussen de bakjes plaatsvindt door advection en diffusie.
- De invoerdata van het model bestaan uit gemeten flux- en concentratiedata van de belangrijkste posten van de water- en chloridebalans zoals neerslag, verdamping, gemalen, de rivieren IJssel en Eem, de spuihoeveelheden door de sluizen in de Houtribdijk. De hoeveelheden water en chloride die in de polders worden ingelaten zijn berekend uit de bovenstaande inposten, verdamping en het gemeten waterpeil. Deze benadering is gekozen omdat voor veel innamepunten geen meetdata beschikbaar zijn.
- Het model is gekijkt door de panfactor voor open-water verdamping, het aantal bakjes in het IJsselmeer en de dispersiecoëfficiënt stapsgewijs te variëren. De beste fit is verkregen met een panfactor van 1,28; 22 bakjes en een dispersiecoëfficiënt van 2,8 km²/dag. Het ijkresultaat is weergegeven in figuur 2. Voor meer detail over het model en de ijking wordt verwezen naar Bonte en Zwolsman (2010).

Herkomst van chloride in de huidige situatie

Om inzicht te krijgen in de relevantie van de verziltingsprocessen in het IJsselmeergebied, is de bijdrage van de verschillende bronnen van zout aan de chlorideconcentratie berekend bij de meetpunten Andijk (IJsselmeer) en Markermeer Midden (figuur 3). Uit deze analyse blijkt dat de bijdrage van de IJssel maatgevend is voor de belasting van zowel het IJsselmeer als het Markermeer. Verrassender is dat in de droge zomer en herfst van 2003, de Waddenzee circa 50 mg/l bijdraagt aan het chloridegehalte bij Andijk, door het indringen van zout water door schutverliezen en dijkse kwel. Door deze bijdrage overschrijdt het chloridegehalte bij Andijk langdurig de norm uit het Waterleidingbesluit van 150 mg/l. Voor zowel het Markermeer als IJsselmeer is de Flevopolder een belangrijke bron van chloride. Voor het Markermeer draagt Flevoland tussen de 20 en 30 mg/l bij, voor het IJsselmeer ligt dit tussen de 5 en 10 mg/l. Voor het IJsselmeer vormt de gecombineerde post neerslag en verdamping de enige verzoetende post. Voor het Markermeer is dit zowel neerslag en verdamping als de instroom vanuit het Gooi- en Eemmeer.

Autonome ontwikkeling

Uitgangspunt voor de berekeningen van de autonome ontwikkeling zijn de klimaatscenario's voor Nederland van het KNMI (Van den Hurk e.a., 2007; Klein Tank en Lenderink, 2009). Deze scenario's zijn samengesteld op basis van de meest recente resultaten van klimaatonderzoek. Omdat er nog veel onzekerheid bestaat over hoe het klimaat precies zal veranderen, heeft KNMI gebruik gemaakt van vier scenario's. De werkelijke klimaatsverandering zal ergens binnen de gepresenteerde bandbreedte vallen. Er zijn twee belangrijke aspecten in de scenario's:

- de wereldwijde temperatuurstijging: 1 of 2°C in 2050 (respectievelijk gematigd, G of warm, W);
- wel of geen veranderend luchtstromingspatroon (wel/geen toevoeging '+').

De berekeningen van de autonome ontwikkelingen worden uitgevoerd met de KNMI scenario's G en W+ als randvoorwaarde. Deze twee scenario's geven de uitersten weer van de klimaatscenario's.

De verschillende invoerreeksen voor de periode 1997-2007 zijn hierbij als volgt getransformeerd naar 2050:

- voor de regendata is een transformatieprogramma van het KNMI gebruikt (Bakker en Bessembinder, 2007);
- voor de verdamping is gebruik gemaakt van geïnterpoleerde maandelijkse correctiefactoren (Lenderink, 2006);
- voor de Rijnafvoer is gebruik gemaakt van correctiefactoren afgeleid met het zogenaamde Rhineflow-model (Van Deursen, 2006);
- voor de chlorideconcentratie in de Rijn is gebruik gemaakt van een verdunningsmodel dat de concentratie geeft als functie van de afvoer (Bonte en Zwolsman, 2009). Aanname is dat de zoutvracht en achtergrondconcentratie in het Rijnstroomgebied gelijk blijven aan de huidige situatie, waarvoor de gemiddelde vracht in de periode 2007-2008 is genomen. Deze periode is gekozen omdat in de jaren daarvoor de zoutvracht veel hoger lag als gevolg van de zoutlozingen door de kalimijnen in Duitsland (Fleig e.a., 2008). De kalimijn bij Mulhouse is in 2003 gesloten en de verwachting van Fleig e.a. (2008) is dat de laatste storthopen met natriumchloride in de jaren tot 2009 in de Rijn zijn afgevoerd. De keuze voor de periode 2007-2008 komt dus neer op een stand still scenario voor wat betreft de zoutlozingen in het Rijnstroomgebied.
- voor dijkse kwel is aangenomen dat deze lineair toeneemt met het verschil in waterstand tussen de Waddenzee en het IJsselmeer, dit geeft een toename van 50% en 70% voor respectievelijk het G en W+ scenario, bij een zeespiegelstijging van 0,20 respectievelijk 0,28 m;
- voor de uitslagen van zout en water uit de afwaterende polders is gebruik gemaakt van de resultaten van een grondwatermodellering uitgevoerd in het kader van het Wetlands project (Delsman e.a., 2009).

Tabel 1 geeft een overzicht van de gehanteerde correctiefactoren. Het effect van bovenstaande aanpassingen wordt vergeleken met een referentiescenario dat voor alle bovenstaande punten gelijk is aan de huidige situatie, het zogenaamde ijkscenario, met uitzondering van de chlorideconcentratie in de Rijn. Deze is berekend met de gemiddelde belasting van zout in het Rijnstroomgebied over 2007-2008 en de gemeten afvoer. Dit is gedaan om het effect van de sanering van zoutlozingen in de periode 1997-2007 en klimaatverandering afzonderlijk weer te geven. Verder sluit het aan op de verwachting dat de sanering van de grootste zoutlozingen in 2009 is voltooid en de zoutbelasting zich naar verwachting stabiliseert (Fleig e.a., 2008). Het resultaat van deze berekeningen is weergegeven in figuur 4.

Maand	Neerslag ¹	Verdamping ²	IJssel afvoer ³	IJssel chloride concentratie ⁴	Dijkse kwel en schutverliezen, flux ⁵	Dijkse kwel en schutverliezen, concentratie ⁶	Afvoer vanuit IJsselmeer ⁷	Zoutvracht polders naar IJsselmeer ⁷	Afvoer vanuit polders naar Markermeer ⁷	Zoutvracht polders naar Markermeer ⁷
Scenario G, 1°C temperatuur stijging, geen veranderingen in luchtcirculatie in W-Europa, 2050										
Januari	+4%	+1%	+8%	-2%						
Februari	+4%	+2%	+7%	-2%						
Maart	+3%	+2%	+5%	-1%						
April	+3%	+2%	+3%	-1%						
Mei	+2%	+3%	+1%	0%						
Juni	+2%	+3%	+1%	0%						
Juli	+3%	+3%	0%	0%	+50%	0%	+1%	+1%	0%	-1%
Augustus	+3%	+3%	-1%	0%						
September	+2%	+3%	0%	0%						
Oktober	+3%	+2%	+2%	-1%						
November	+3%	+2%	+4%	-2%						
December	+4%	+2%	+7%	-2%						
Scenario W+, 2°C temperatuur stijging, veranderingen in luchtcirculatie in W-Europa, 2050										
Januari	+15%	+3%	+14%	-4%						
Februari	+14%	+3%	+18%	-5%						
Maart	+10%	+5%	+16%	-4%						
April	+2%	+7%	+12%	-3%						
Mei	-7%	+10%	+2%	0%						
Juni	-15%	+13%	-12%	+5%	+70%	0%	-1%	+1%	-1%	+2%
Juli	-21%	+16%	-25%	+13%						
Augustus	-22%	+17%	-34%	+21%						
September	-21%	+15%	-37%	+24%						
Oktober	-6%	+11%	-33%	+19%						
November	+6%	+6%	-19%	+7%						
December	+13%	+3%	+4%	-1%						

Noot 1: Gebaseerd op KNMI klimaatscenario's (Van den Hurk e.a., 2007) en geïnterpoleerd naar dagelijkse waarden met een on-line tool door Bakker (Bakker en Bessembinder, 2007);

Noot 2: Als 1, interpolatie naar maandelijkse waarden door Lenderink (Lenderink, 2006);

Noot 3: Gebaseerd op het Rhinflow-model (Van Deursen, 2006);

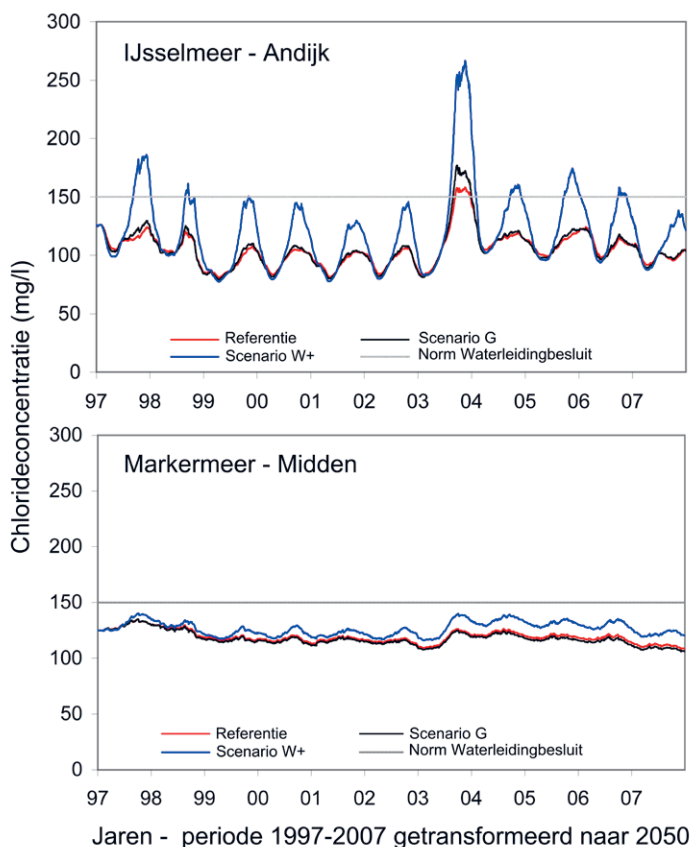
Noot 4: Gebaseerd op een empirisch chloride-afvoer model (Zwolsman en Bokhoven, 2007; Bonte en Zwolsman, 2009);

Noot 5: Aangenomen dat dijkse kwel lineair toeneemt met het potentiaal verschil tussen gemiddelde waterpeilen Waddenzee en IJsselmeer;

Noot 6: Aangenomen is dat de chlorideconcentratie in de Waddenzee niet wordt beïnvloed door veranderingen in spuihoeveelheden en concentratie in IJsselmeerwater.

Noot 7: Gebaseerd op Modflow/MOC3D grondwatermodellering (Delsman e.a., 2009a).

Tabel 1 Aangenomen relatieve veranderingen op de water en chloride balanstermen om de effecten van klimaatverandering te simuleren.



Figuur 4 Berekende chlorideconcentraties voor Markermeer Midden en IJsselmeer Andijk voor de KNMI scenario's G en W+ in 2050.

Uit de berekeningen blijkt dat de chlorideconcentratie bij klimaatscenario G niet veel hoger wordt dan momenteel het geval is. Bij klimaatscenario W+ neemt het chloridegehalte toe met maximaal 108 mg/l tot 267 mg/l in het IJsselmeer, tijdens een droog jaar als in 2003, en met maximaal 15 mg/l tot 140 mg/l in het Markermeer. De berekeningen laten zien dat in zes van de elf gesimuleerde jaren de chlorideconcentratie bij Andijk boven de norm uit het Waterleidingbesluit van 150 mg/l komt, soms incidenteel, soms langdurig, zoals in 1997 en 2003. Uit een analyse van de herkomst van de verzilting in het IJsselmeer blijken een lage afvoer op de Rijn en intrusie van zout water via de Afsluitdijk door schutverliezen en dijkse kwel de belangrijkste oorzaken te zijn (zie figuur 3). Klimaatverandering leidt op verschillende manieren tot toename van de verzilting:

- 1) door lagere afvoer in de Rijn wordt de zoutvracht minder verdund en stijgt de chlorideconcentratie (Bonte en Zwolsman, 2009);
- 2) door zeespiegelstijging nemen de hoeveelheid zoute kwel en schutverliezen bij de Afsluitdijk toe;
- 3) door lagere afvoer in de Rijn nemen de doorstroming en spuidebiet van het IJsselmeer af en dringt zout water dat bij de Afsluitdijk binnenkomt verder het IJsselmeer in (hierbij is overigens aangenomen dat de chlorideconcentratie in de Waddenzee zelf niet verandert als gevolg van veranderingen in zoutvracht vanuit het IJsselmeer).

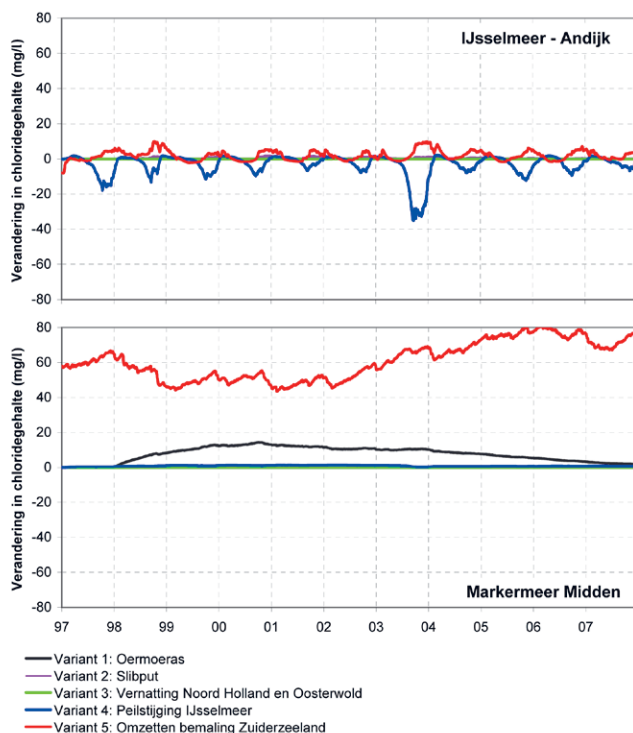
In het Markermeer blijken veranderingen in neerslag en verdamping en uitslagen van de omliggende polders belangrijk. Het is opvallend dat in de klimaatscenario's de stijgende chlorideconcentratie in het IJsselmeer geen doorwerking heeft in het Markermeer. Dit komt door het huidige spuiregime bij de Houtribdijk. Spuien vanuit het IJsselmeer naar het Markermeer vindt vooral plaats in de lente en zomer wanneer de chlorideconcentratie in het IJsselmeer lager zijn dan die in het Markermeer. De hogere chlorideconcentraties worden voorspeld in het najaar wanneer er juist vanuit Markermeer naar IJsselmeer wordt gespuid. Doordat vanuit Markermeer naar IJsselmeer wordt gespuid, werken de verhoogde concentraties in het IJsselmeer niet door naar het Markermeer.

Effecten van herinrichting en veranderend waterbeheer

De slechte waterkwaliteit van het Markermeer en de vraag naar (bouw)ruimte tussen Amsterdam en Almere zijn aanleiding geweest om plannen te maken en projecten op te starten in het Markermeer. Voorbeelden zijn: de Toekomstagenda Markermeer-IJmeer, de Natuurfabriek voor het Marker- en IJmeer, Natuurlijk(er) Markermeer-IJmeer, het advies van de Deltacommissie en het Delft Cluster project Wetlands IJsselmeergebied. Op basis van de genoemde projecten zijn vijf varianten voor inrichting en/of beheer doorgerekend met het model, met klimaatscenario W+ als randvoorwaarde en met als zichtjaar 2050:

- 1) De aanleg van het zogenaamde 'oermoeras' in het Markermeer om de diversiteit in habitats te vergroten.
- 2) De aanleg van een slibput in het Markermeer om de troebelheid te verlagen. Dit is een diepe put waar slib kan neerslaan en naar verwachting niet meer zal opwervelen.
- 3) Vernatting van Noord Holland & Flevoland om de natuurwaarden in de omliggende polders te vergroten.
- 4) Een peilstijging in het IJsselmeer conform de plannen van de commissie Veerman.
- 5) Het omzetten van de bemaling in Zuidelijk Flevoland om de waterkwaliteit in de polder te verbeteren waarbij het gemaal Blocq van Kuffeler, dat uitslaat op het Markermeer, het voornaamste gemaal wordt, ten koste van het gemaal Colijn, dat uitslaat op het Ketelmeer.

Figuur 5 toont de resultaten van de berekeningen.



Figuur 5 Berekende verandering in chloridegehalte in het IJsselmeer (Andijk) en het Markermeer (Midden) onder verschillende varianten voor inrichting en waterbeheer. De effecten zijn weergegeven ten opzichte van de berekende chloridegehalten voor 2050 volgens W+.

De aanleg van de slibput en vernatting van omliggende polders hebben geen significante invloed op de chlorideconcentratie in het IJsselmeer en Markermeer. De aanleg van het zogenaamde oermoeras in het Markermeer, waarbij aangenomen is dat lokaal gewonnen zand met een hoog chloridegehalte wordt gebruikt, leidt tot een maximale toename van het chloridegehalte van circa 15 mg/l, die na 8 jaar is weggeëbd. De peilstijging in het IJsselmeer leidt tot een verlaging van het chloridegehalte, tot maximaal 35 mg/l bij Andijk. In de meeste jaren ligt de verlaging in de orde van grootte van 5 tot 15 mg/l. Deze afname is het gevolg van de afnemende zoutvracht via de spuisluizen in de Afsluitdijk. Deze afname in zoutvracht heeft een groter effect op de concentratie bij Andijk dan de toenemende zoutvracht in de omliggende polders als gevolg van de peilstijging.

Het omzetten van het bemalingsregime van Zuidelijk Flevoland leidt tot een stijging van het chloridegehalte tussen 45 en 80 mg/l tot 210 mg/l in het Markermeer. In het IJsselmeer is in de zomer een lichte daling te zien van kleiner dan 5 mg/l, en in het najaar een iets grotere stijging tot 10 mg/l. Dit is opmerkelijk omdat de directe zoutvracht op het IJsselmeer juist afneemt. Deze schijnbare tegenstelling wordt veroorzaakt door het spuiregime van de sluisen in de Houtribdijk. In de herfst wordt water vanuit het Markermeer naar het IJsselmeer gespuid als de chlorideconcentratie in het IJsselmeer op z'n hoogst is als gevolg van de lage Rijnafvoer. De instroom vanuit het Markermeer zorgt dan voor een verzoeting van het IJsselmeer. Als de chlorideconcentratie in het Markermeer toeneemt, is het verzoetend effect minder groot. In het voorjaar en zomer is de afvoer in de Rijn relatief hoog en de verblijftijd in het IJsselmeer laag. Hierdoor heeft de reductie van de zoutvracht van gemaal Colijn op het IJsselmeer in dit seizoen

een beperkt effect. Uit de berekening volgt dat door de omzetting van de bemaling in Zuidelijk Flevoland, de chlorideconcentratie in het Markermeer stijgt tot boven de drinkwaternorm, waardoor het Markermeer ongeschikt wordt als grondstof voor drinkwaterbereiding, tenzij ontzilting wordt toegepast.

Conclusies

Een stijgende zeespiegel en veranderende afvoerdynamiek van de Rijn hebben onder zowel het G-scenario als onder het W+ scenario slechts een geringe invloed op de verzilting van het Markermeer. Het IJsselmeer is onder het W+ scenario wel onderhevig aan toenemende verzilting. De berekeningen tonen aan dat in 2050 in circa de helft van de jaren de chlorideconcentratie bij Andijk boven de norm uit het Waterleidingbesluit komt. Cruciaal hierbij is, naast het gekozen hydrologische scenario, hoe de zoutbelasting in het Rijnstroomgebied zich de komende decennia zal ontwikkelen. In de berekeningen is uitgegaan van een 'stand still' situatie ten opzichte van de huidige situatie van 2007-2008. Daarnaast zijn we ervan uitgegaan dat de intrusie van zout water lineair toeneemt met het potentiaalverschil tussen binnen- en buitenwater. Technische ingrepen bij de schutsluizen, zoals bijvoorbeeld verbeterde bellenschermen, de geplande renovatie van de Afsluitdijk en het mogelijke herstel van de zoet-zoutwaterovergang in het IJsselmeer kunnen invloed hebben op deze aanname. De beoogde herinrichtingsplannen van het Markermeer, zoals het zogenaamde oermoeras, de slibput, en vernatting van Noord Holland hebben geen blijvend effect op de verzilting van het Markermeer of IJsselmeer. Het mee laten stijgen van het IJsselmeerpeil heeft een positief effect, doordat de zoute kwel over de Afsluitdijk niet toeneemt. Uit de modelstudie volgt dat de meest ingrijpende maatregel het omzetten van de bemaling in Flevoland is: hierdoor kan de chlorideconcentratie in het Markermeer met 80 mg/l toenemen tot een concentratie van 210 mg/l en wordt het Markermeer ongeschikt voor de bereiding van drinkwater, tenzij ontzilting wordt toegepast.

Dankwoord

Dit onderzoek is mogelijk gemaakt door financiering van Delft Cluster en het bedrijfstakonderzoek van de gezamenlijke Nederlandse waterbedrijven. We danken Rijkswaterstaat, RIWA Rijn en de waterschappen Amstel, Gooi en Vecht, Hollands Noorderkwartier, Zuiderzeeland, Fryslân en Vallei en Eem voor het leveren van data.

Referenties

- Bakker, A. en J. Bessembinder (2007) Neerslagreeksen voor de KNMI'06 scenario's. H2O 40(22), p45-47.
- Bonte, M. en J.J.G. Zwolsman (2009) Klimaatverandering en verzoeting van de Rijn. H2O 20, p29-31.
- Bonte, M. en J.J.G. Zwolsman (2010) Climate change induced salinisation of artificial lakes in the Netherlands and consequences for drinking water production. Water Research 44(15), 4411-4424.
- Delsman, J., W. Borren, G. Oude Essink, R. Stuurman en J. Verkaik (2009) Veranderingen in het grondwatersysteem van het Markermeergebied - Rapportage DC project Wetlands in het IJsselmeer, Deltares, Utrecht.
- Deursen, W. van (2006) Rapportage Rhineflow/Meuseflow Nieuwe KNMI scenario's 2050, Carthago Consultancy, Rotterdam, 7 p. URL: http://www.carthago.nl/_miracle/doc/Rhineflow2050_KNMI06.pdf.
- Feig, M., S. Mertineit en H.J. Brauch (2008) Aktuelle und zukünftige Entwicklung der Belastung mit Chlorid in Rheineinzugsgebiet - Studie in Auftrag der RIWA. RIWA Rijn, Nieuwegein, 75p. URL: http://www.riwa-rijn.org/e_publicaties/156_zoutrapport_08.pdf.
- Hurk, B.J.J.M. van den, A.M.G. Klein Tank, G. Lenderink, A. van Ulden, G.J. van Oldenborgh, C. Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger en S. Drijfhout (2007) New climate change scenarios for the Netherlands. Water Science & Technology 56(4), 27-33.
- Klein Tank, A.M.G. en G. Lenderink (eds) (2009) Klimaatverandering in Nederland, Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's, KNMI, de Bilt. URL: www.knmi.nl/klimaatscenario's/documents/brochure09.pdf.
- Lenderink, G. (2006) KNMI '06 scenario's: interpolation to monthly changes, KNMI, De Bilt, 9 p. URL: http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/Lenderink_MonthlyInter_RepV2_20060913.pdf.