



Invloed van klimaatverandering op kwel en wegzijging langs de grote rivieren

CHIEL VAN HEERWAARDEN, FUTUREWATER
 HILDE KETELAAR, WATERSCHAP RIVIERENLAND

Kwel en wegzijging van en naar de grote rivieren zijn een belangrijke waterbalanspost voor gebieden die zich dicht achter de rivierdijken bevinden. De kwelflux is in sommige gebieden zelfs even groot als de neerslag. Behalve neerslag en verdamping kunnen ook rivierafvoeren sterk veranderen onder invloed van klimaatverandering, waardoor ook de hoeveelheden kwel en wegzijging veranderen. Klimaatscenario's geven aan dat het in de winter natter zal gaan worden. De gebieden langs de rivieren krijgen zowel meer neerslag te verwerken als een extra hoeveelheid kwel, omdat de rivieren hoger staan door de toenemende neerslag in bovenstroomse gebieden. Daarbovenop kan het afvoeren van water bemoeilijkt worden door de hoge standen in de rivieren waarop geloosd wordt. Klimaatscenario's laten ook zien dat de zomers droger worden en de rivierafvoeren dan afnemen. De hoeveelheid water die beschikbaar is, neemt af door minder neerslag en meer verdamping. De hoeveelheid water die wegzijgt naar de rivieren neemt dan toe.

De Nederlandse waterbeheerders bereiden zich voor op klimaatverandering. Voor Waterschap Rivierenland betekent dit dat het niet alleen moet anticiperen op andere neerslag- en verdampingshoeveelheden, maar ook op de veranderende afvoeren in de Waal en Maas. Al deze veranderingen hebben invloed op de hoeveelheid kwel van de rivier naar de polder en de wegzijging in tegengestelde richting.

Uit de ervaring van het waterschap blijkt dat voor dicht langs de winterdijk gelegen gebieden de hoeveelheden kwel en wegzijging een zeer grote invloed hebben op de waterbalans. Voor deze gebieden is het dus essentieel om te weten hoe de hoeveelheden kwel en wegzijging veranderen onder klimaatverande-

ring. Op basis van een nieuwe methode waarmee dynamisch de invloed van rivierstanden op kwel en wegzijging is te bepalen, is voor een aantal klimaatscenario's bekeken hoe kwel en wegzijging veranderen. Als testgebied is de polder Quarles van Ufford gebruikt (zie kaart).

Methodiek

De grondwaterstroming tussen de rivieren en de polders vormt een complex proces (zie afbeelding 2). Een veelgebruikte methode om de kwel onder dijken door te bepalen is de analytische oplossing van Mazure*. De totale kwel achter de dijk is de integraal van deze oplossing over de afstand**.

Uit de formule van Mazure blijkt:

- De kwelhoeveelheid is recht evenredig met het stijghoogteverschil tussen polder en rivier. Is het waterpeil in de rivier bijvoorbeeld twee meter hoger dan het grondwaterpeil in de polder, dan zal de hoeveelheid kwel twee keer zo groot zijn als in het geval waarin het verschil tussen rivierpeil en grondwaterpeil maar één meter bedraagt;
- De totale hoeveelheid kwel is afhankelijk van zowel het doorlaatvermogen van de aquifer als de weerstand van de deklaag. Een grotere doorlatendheid geeft een grotere kwelhoeveelheid, een lagere weerstand geeft dit ook;
- De hoeveelheid kwel neemt exponentieel af wanneer men zich vanaf de dijk landinwaarts verplaatst;
- De weerstand van de deklaag is vooral bepalend voor de hoeveelheid kwel dicht achter de dijk. Als de weerstand lager is, dan zal meer kwel plaatsvinden dicht achter de dijk;
- Het doorlaatvermogen van de aquifer is

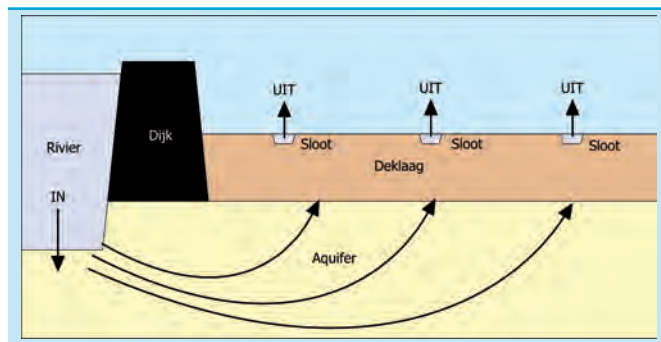
Afb. 1: Ligging van de polder Quarles van Ufford.



$$* \quad q_{\text{kwel}}(x) = \frac{H(x) - H_{\text{polder}}}{c} = \frac{H_0 - H_{\text{polder}}}{c} \cdot e^{-\frac{x}{\sqrt{kDc}}}$$

$$** \quad q_{\text{totaal}} = \frac{H_0 - H_{\text{polder}}}{c} \cdot \int_0^{\infty} e^{-\frac{x}{\sqrt{kDc}}} dx = (H_0 - H_{\text{polder}}) \cdot \sqrt{\frac{kD}{c}}$$

Afb. 2: Schematische weergaven van een kwelflux van de rivier naar de polder. Horizontaal transport gaat door de aquifer, waarna het verticaal via deklaag richting het maaiveld gaat. De sloten voeren het water af.



bepalend hoe groot het gebied is waarin de rivierkwel een merkbare invloed zal hebben. Als het doorlaatvermogen groter wordt, dan is ook het gebied dat invloed ondervindt groter.

De belangrijkste taak van het waterschap is het beheren van het oppervlaktewater. Het moet de peilen zo vaststellen dat afhankelijk van de neerslag, verdamping, kwel en wegzijging het oppervlaktewater niet te hoog staat in tijden van wateroverschotten en dat het oppervlaktewater niet te laag staat in tijden van watertekorten. Een goed beheer voorkomt schade aan landbouw en natuur. Om te onderzoeken hoe de wisselwerking tussen neerslag, verdamping, kwel en wegzijging verandert onder invloed van klimaatverandering is gekozen voor het gebruik van een onverzadigde zone-model met een ruimtelijke component, dat tevens rekening kan houden met rivierstanden.

Het FutureView-model is zo'n model. Het is ontwikkeld door FutureWater en gebaseerd op het ééndimensionale onverzadigde zone-model SWAP¹. Met dit model is het mogelijk om SWAP ruimtelijk te gebruiken. Dit gebeurt door een gebied te verdelen in representatieve hydrologische eenheden, die elk draineren op het oppervlaktewater. De eenheden zijn onafhankelijk van elkaar, omdat zij niet op elkaar draineren via het grondwater. Dit maakt het mogelijk om elke eenheid apart te simuleren en naderhand de resultaten samen te voegen. Hierdoor is de rekentijd erg kort.

Door het inbouwen van de formule van Mazure in FutureView² is een model gecreëerd dat alle waterbalanstermen, waaronder de kwel- en wegzijgingsfluxen, voor een gebied op dagbasis kan berekenen als de meteorologische gegevens, het peil van een nabije rivier, de gemiddelde afstand tot deze rivier en de eigenschappen van het bijbehorende watervoerende pakket en de deklaag bekend zijn.

De polder Quarles van Ufford is verdeeld

Tabel 1. Gebaseerd op scenario's voor droogtestudie Nederland⁴.

	klimaatscenario's	
	2050 hoog	2050 droog
temperatuur	+2°C	+2,3°C
gemiddelde neerslag	+6%	-4%
gemiddelde zomerneerslag	+2%	-20%
gemiddelde winterneerslag	+12%	+13%
neerslagintensiteit	+20%	-
zomerverdamping	+8%	+18%

in eenheden die hetzelfde oppervlaktewaterpeil hanteren. Per eenheid zijn de jaren 1993-2004 doorgerekend voor de huidige situatie en voor twee verschillende klimaatscenario's (zie tabel 1), door de neerslag, de verdamping en de rivierpeilen van de Maas en de Waal te transformeren naar waarden die representatief zijn voor deze scenario's. Dit is gebeurd op basis van het rapport van Van Deursen³, zonder rekening te houden met de resultaten van 'Ruimte voor de rivier'.

Het jaar 2003 is voor dit artikel enkele malen als voorbeeld genomen om de gevolgen van klimaatveranderingen te illustreren. Dat jaar kende behalve een zeer droge zomer ook een piek in de rivierafvoeren in het begin van het jaar en is daarom een goed voorbeeld om zowel de verandering in natte situaties als in droge situaties aan het licht te brengen.

Resultaten

De hoeveelheden netto kwel in de gehele polder, berekend over de jaren 1993-2004, in

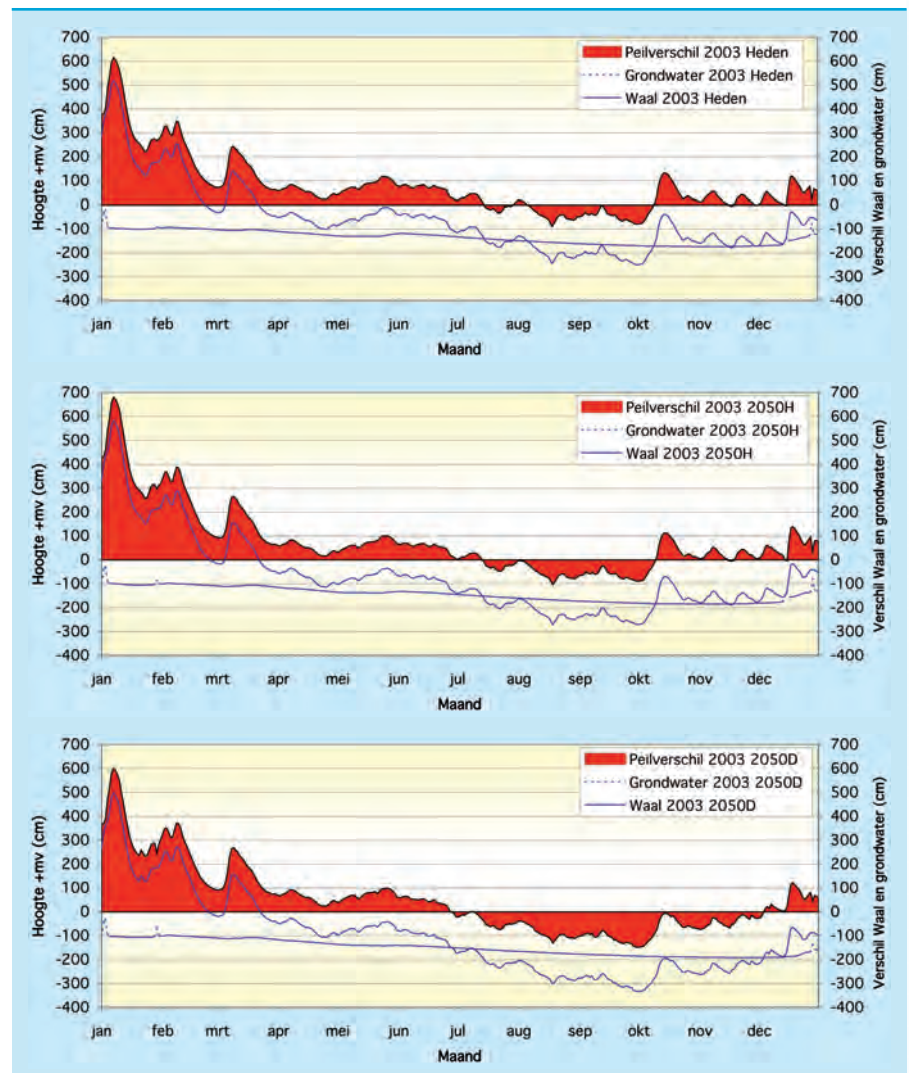
deze drie scenario's zijn respectievelijk 62 mm/j (heden), 71 mm/j (2050 hoog) en 55 mm/j (2050 droog). Deze getallen laten de gemiddelde kwel op jaarbasis zien. De twee onderstaande paragrafen geven een beeld van de dynamiek van de kwel door het jaar heen en de ruimtelijke verdeling van de kwel en tonen aan dat er meer verandert dan de bovenstaande getallen doen vermoeden.

Temporeel beeld

In deze analyse wordt de dynamiek gedurende het jaar 2003 besproken op basis van de totale hoeveelheden kwel en wegzijging voor de gehele polder. Met het beschreven model is het mogelijk om dit voor elk peilgebied afzonderlijk te doen of om een selectie van peilgebieden te maken.

De grafieken laten de gemiddelde grondwaterstand in de gehele polder Quarles van Ufford zien en het bijbehorende peilverschil met de Waal over het jaar 2003, omdat deze rivier de bepalende factor is voor de polder.

Afb. 3: Grondwaterstanden, de hoogte van de Waal en kwel en wegzijging in 2003, voor de werkelijkheid, voor het 2050 hoog-scenario en het 2050 droog-scenario. Het gekleurde vlak is een maat voor de hoeveelheid kwel (positieve waarden) en wegzijging (negatieve waarden) in deze scenario's.



Afbeelding 3 toont de dynamiek van de kwel en wegzijging in de huidige situatie, het 2050 hoog-scenario en het 2050 droog-scenario.

Uit de grafieken blijkt dat kwel met een veel grotere intensiteit plaatsvindt dan wegzijging. Tijdens een afvoerpiek in de rivieren zijn de peilverschillen tussen rivier en grondwater veel groter dan de peilverschillen tijdens zeer lage afvoeren in de rivier. Bovendien is tijdens hoogwater de afstand van een polder tot de rivier kleiner dan tijdens zeer lage afvoeren. Uit de grafieken blijkt dan ook in één oogopslag dat de hoeveelheid kwel de hoeveelheid wegzijging overtreft.

In de simulatie voor het heden is te zien dat de Waal tijdens de afvoerpiek van januari ongeveer vijf meter boven het maaiveld staat. Van januari tot halverwege juli vindt kwel plaats, waarna tot en met begin oktober weg-

zijging plaatsvindt. Daarna vindt tot het einde van het jaar op beperkte schaal kwel plaats.

Het natte 2050 hoog-scenario zorgt vooral voor een kweltoename in de winter. Het peil van de Waal staat tijdens de hoge afvoerpiek 75 cm hoger dan in de oorspronkelijke situatie. Het overige deel van het jaar verandert er relatief weinig.

De effecten van de klimaatsveranderingen onder het 2050 droog-scenario zijn vooral zichtbaar in zomer en het najaar. Terwijl in de huidige situatie de wegzijging slechts duurt van half juli tot en met begin oktober, is de periode onder dit klimaatscenario waarin wegzijging plaatsvindt vergroot van begin juli tot begin december. De intensiteit van de wegzijging neemt toe ten opzichte van 2003.

Ruimtelijk beeld

De veranderingen vinden vooral plaats in de gebieden gelegen langs de rivier en concentreren zich in de polder Quarles van Ufford langs de Waal. Uit afbeelding 4 blijkt dat een groot verschil bestaat tussen de uitkomsten van de simulaties met het 2050 hoog- en het 2050 droog-scenario. Op sommige plaatsen kan dit verschil oplopen tot meer dan 100 mm/j.

Het 2050 hoog-scenario laat een toename van de kwel zien, zowel langs de Waal als de Maas. De effecten zijn alleen merkbaar voor de gebieden dicht langs de rivier.

Het 2050 droog-scenario laat een compleet ander beeld zien. In dit scenario nemen de rivierpieken nauwelijks toe, terwijl de zomer- en herfstafvoeren sterk afnemen. Dit leidt tot een sterke kwelafname langs de Waal, omdat deze rivier een vrij verloop kent. De Maas staat gestuwd en zal dus minder gevolgen ondervinden, omdat de rivierpeilen bij benadering constant zijn. Er bestaat een mogelijkheid dat de stuwpeilen niet gehandhaafd kunnen blijven. In dit geval zal ook de wegzijging langs de Maas toenemen.


Wanneer in ogenstroom wordt genomen dat het grootste gedeelte van de kwel in een zeer korte periode plaatsvindt en slechts in een klein deel van het gebied, dan zijn de verschillen dus relevanter dan enkel uit de jaarreeksen blijkt.

Conclusie

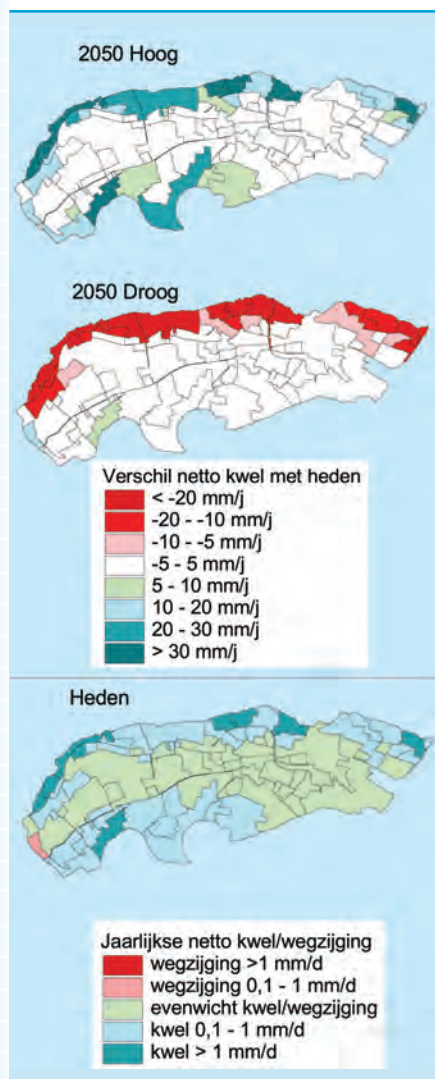
Uit deze studie blijkt dat de ontwikkelde methode een uiterst bruikbaar gereedschap is om de gevolgen van klimaatsveranderingen voor gebieden langs een rivier te onderzoeken. Het model houdt zowel rekening met veranderende neerslag en verdamping als met veranderende rivierafvoeren en geeft resultaten op

dagbasis. De methode die de kwelfluxen berekent, is eenvoudig te gebruiken en niet rekenintensief.

De invloeden van klimaatsverandering voor de polder Quarles van Ufford verschillen sterk per klimaatscenario. Wordt een nat scenario de werkelijkheid, dan zullen met name de kwelfluxen tijdens afvoerpieken veranderen. De hoeveelheid water die op dagbasis onder de dijk door kwelt stijgt en de problemen zijn vooral te verwachten in de afvoer van het water. Mocht het droge scenario werkelijkheid worden, dan zijn de problemen vooral te verwachten in de zomer en het najaar. De wegzijging in deze periode zal fors stijgen en wanneer dit gepaard gaat met een dalende neerslaghoeveelheid en een hogere verdamping, kan dit leiden tot watertekorten.

De huidige studie heeft zich vooral geconcentreerd op het analyseren van jaarreeksen onder verschillende klimaatscenario's. Deze studie wordt voortgezet en zal zich gaan concentreren op de analyse van kortere perioden waarin extremen voorkomen. Gekeken wordt naar de kansen op het samenvallen van extreme neerslag en hoge rivierafvoeren en droogte en lage afvoeren. De nieuwe klimaatscenario's die het KNMI in het voorjaar van 2006 zal presenteren, zullen hiervoor gebruikt worden. 

Afb. 4: Ruimtelijk beeld van de invloed van klimaatverandering op kwel en wegzijging. Boven de verandering in kwel en wegzijging ten opzichte van het heden voor de twee scenario's, beneden de hoeveelheid kwel in het heden.



LITERATUUR

- 1) Van Dam J. (2000). Field-scale water flow and solute transport. SWAP model concepts, parameter estimation, and case studies. PhD-thesis, Wageningen Universiteit.
- 2) Van Heerwaarden C. (2005). Kwel en wegzijging langs de grote rivieren; een nieuwe modelmatige aanpak. Rapport FutureWater i.s.m. Wageningen Universiteit.
- 3) Van Deursen W. (2002). Klimaatveranderingen in de stroomgebieden van Rijn en Maas. Carhago Consultancy.
- 4) ICIS (2003). Scenario's voor de droogtestudie Nederland. International Centre for Integrative Studies.