
Bergen met onzekerheden

Jan Stijnen

Eén van de grote uitdagingen in het Nederlandse waterbeleid is hoe kan worden omgegaan met een teveel aan water in ons land. Dit geldt bijvoorbeeld voor extreem hoge rivierafvoeren vanuit Duitsland of België die in Nederland tot overstromingen leiden. Een mogelijke maatregel om die overstromingen te voorkomen is de inzet van noodoverloopgebieden. Deze optie heeft lange tijd in de politieke belangstelling gestaan en werd beschouwd als een ‘nuttige en noodzakelijke’ aanvulling op het bestaande veiligheidsbeleid tegen overstromingen.

Nadat de gevolgen van onzekerheden voor de effectiviteit en het economisch rendement in beeld waren gebracht, bleken noodoverloopgebieden minder perspectief te bieden dan gedacht. Inmiddels is de ruimtelijke reservering van deze gebieden langs de Rijntakken in beleidsnota’s geschrapt.

Dit artikel geeft een beknopt overzicht van de rol die onzekerheden bij de beoordeling van noodoverloopgebieden hebben gespeeld. Ook wordt kort op de gevolgen voor het veiligheidsbeleid ingegaan.

1 Achtergrond

Ons land heeft al sinds mensenheugenis moeten leren omgaan met water. Door de eeuwen heen werden mensen gedwongen om samen te werken in de strijd tegen het water. Dit begon al in de Middeleeuwen, toen mensen de veengebieden in West-Nederland gingen bevolken, en dit is vandaag de dag nog steeds het geval. Het waterbeleid binnen Nederland is eigenlijk altijd aanwezig op de politieke agenda, ook in de afgelopen jaren toen het riviereengebied tot twee keer toe te maken kreeg met extreme hoogwaters.

In 1993 en vooral 1995 stond het water op de Rijntakken en Maas zo hoog dat voor een dijkdoorbraak werd gevreesd. Uiteindelijk hebben de dijken het gehouden, maar duidelijk werd dat de dijken snel moesten worden versterkt: het Deltaplan Grote Rivieren. Ook werd, na enkele voorbereidende studies, gestart met de Planologische Kernbeslissing Ruimte (PKB) voor de Rivier. Het doel hiervan was om zo veel mogelijk met rivierverruiming, in plaats van dijkversterking, de bescherming van het riviereengebied tegen overstromingen weer op het vereiste (maatgevende) niveau te brengen. Inmiddels is deze PKB afgerond en is begonnen met de uitvoering ervan, die rond 2015 klaar moet zijn.

Door al deze maatregelen en het, in vergelijking met het buitenland, hoge veiligheidsniveau is de kans op overstromingen klein, maar niet helemaal uit te sluiten. Wateroverlast en overstroming is nog altijd het grootste externe risico in ons land. Absolute veiligheid

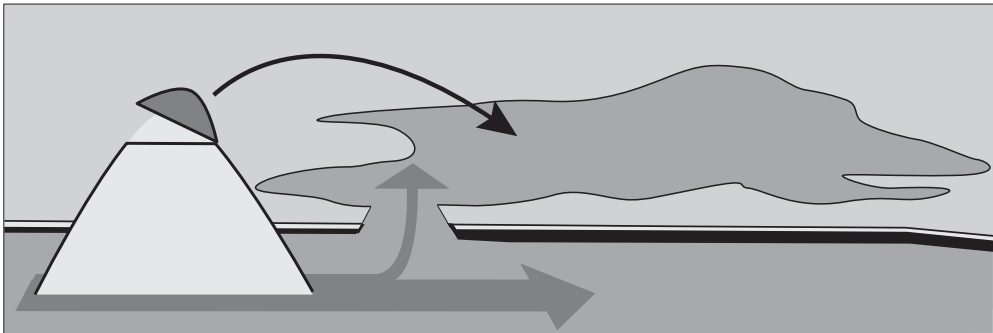
Dr. ir. J.W. Stijnen is werkzaam als marktcoördinator en senior adviseur veiligheid en risico bij HKV LJJN IN WATER, Botter 11–29, Postbus 2120, 8203 AC Lelystad, telefoon (0320) 29 42 39, fax (0320) 25 39 01, e-mail: j.w.stijnen@hkv.nl.

kan niet worden geboden en het is van belang voorbereid te zijn als het toch misgaat: rampenbeheersing dus.

Een mogelijke maatregel is het gecontroleerd laten overstromen van enkele vooraf geselecteerde gebieden: noodoverloopgebieden. Dit zijn gebieden die door dijken en soms hoge gronden worden omsloten en die zijn bedoeld om de piek van een hoogwatergolf af te vangen, waardoor de waterstanden benedenstrooms lager komen te liggen. Veelbesproken potentiële noodoverloopgebieden langs de grote rivieren zijn de Rijnstrangen en Ooijpolder voor de Rijnstrakken en de Beersche Overlaat voor de Maas. Naar de effectiviteit van de inzet hiervan is in het verleden veel onderzoek gedaan. In het volgende hoofdstuk wordt hierop ingegaan. De resultaten hiervan kunnen voor regionale waterbeheerders van belang zijn voor de afweging van maatregelen in de polders, beken en boezems (bijvoorbeeld de maatregel 'bergen').

2 Noodoverloopgebieden

Het idee van een noodoverloopgebied is vrij eenvoudig. Op basis van afvoermetingen, meteorologische gegevens en hoogwatervoorspellingen wordt op een bepaald moment duidelijk dat een grote hoeveelheid water zich richting ons land beweegt. Dit kan zijn over de Rijn richting Lobith of over de Maas richting Borgharen. Op basis hiervan wordt een inschatting gemaakt in hoeverre deze hoeveelheid water méér kan zijn dan ons rivierensysteem momenteel aankan (zie kader). Op het moment dat problemen worden verwacht langs de grote rivieren (de Waal, de Nederrijn/Lek, de IJssel en de Maas) kan worden besloten om het teveel aan water in een hiervoor aangewezen noodoverloopgebied te laten lopen (zie figuur 1). Door het hier tijdelijk te bergen totdat de hoogwatergolf voorbij is, kunnen calamiteiten benedenstrooms worden voorkomen. Het idee is eenvoudig en lijkt feilloos, of toch niet?



Figuur 1: Principe van een noodoverloopgebied.

De huidige maatgevende afvoer voor de Rijn bedraagt 16.000 m³/s, terwijl deze voor de Maas gelijk is aan 3800 m³/s. Voor de hoogwaters van 1993 en 1995 gold een maatgevende afvoer van respectievelijk 15.000 en 3650 m³/s. Inmiddels is voor de Rijntakken en de bedijkte Maas de Planologische Kernbeslissing (PKB) Ruimte voor de Rivier uitgevoerd. Na realisering van de maatregelen, rond 2015, moet de huidige maatgevende afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith en 3800 m³/s bij Borgharen veilig richting zee kunnen stromen. Dan is het riviersysteem weer op orde, conform de veiligheidsnorm van 1/1250 per jaar zoals die in de Wet op de Waterkering 1996 is vastgelegd.

2.1 *De Commissie Noodoverloopgebieden*

In 2001 heeft het kabinet aan de Commissie Noodoverloopgebieden (Commissie Luteijn) gevraagd te onderzoeken in welke mate gecontroleerde overstroming van een aantal gebieden onderdeel zou uit kunnen maken van het bestaande hoogwaterbeschermingsprogramma.

Dit heeft in mei van 2002 geresulteerd in een advies van de Commissie over het aanwijzen en inzetten van noodoverloopgebieden. De Commissie concludeerde dat noodoverloopgebieden een nuttig en noodzakelijk, aanvullend instrumentarium kunnen vormen om de stroomgebieden van Rijn en Maas In Nederland te beschermen tegen de gevolgen van overstromingen (Luteijn e.a., 2002).

2.2 *Verder onderzoek*

Met het onderzoek van de Commissie Noodoverloopgebieden zijn de meeste mensen wel min of meer bekend. Wat misschien minder bekend is, is dat parallel aan het onderzoek van de Commissie een ander onderzoek liep: de Onzekerheidsanalyse Hoogwaterbescherming Rijntakken (Stijnen e.a., 2002). Dit onderzoek was ondersteunend aan het onderzoek van de Commissie en hierin werd de nadruk gelegd op de effecten van verschillende onzekerheden bij de inzet van noodoverloopgebieden. De resultaten van het onderzoek bleken later van groot belang, omdat voor het eerst aanwijzingen werden verkregen dat de effecten van noodoverloopgebieden wel eens minder rooskleurig zouden kunnen zijn dan tot dan toe werd gedacht.

Het advies van de Commissie bracht veel reacties teweeg. Omdat de aanwijzing van noodoverloopgebieden een ingrijpende beslissing was en nog de nodige vragen opriep, was het kabinet van mening dat alvorens een definitieve keuze gemaakt kon worden, ook andere opties onderzocht moesten worden. In lijn hiermee is een Verkennende Beleidsanalyse uitgevoerd (Kok e.a., 2003). Binnen dit onderzoek zijn naast de identificatie en beoordeling van andere opties voor het Bovenrivierengebied, ook de consequenties van onzekerheden voor deze opties onderzocht. Het onderzoek richtte zich vooral op het feit óf (en zo ja hoe) onze perceptie over hoogwaterbeschermingsmaatregelen verandert als we rekening houden met onzekerheden. Resulteert het toevoegen van onzekerheden in de analyse in andere conclusies? Kort gezegd: Heeft het meenemen van onzekerheden consequenties voor het beleid? In het volgende hoofdstuk gaan we hier nader op in, waarbij we ons in het bijzonder richten op de veiligheidsaspecten en niet op andere aspecten, zoals economische.

3 De rol van onzekerheden

3.1 Deterministisch versus probabilistisch

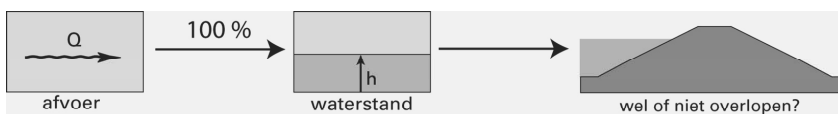
In de praktijk wordt op veel fronten gewerkt met onzekerheden, waarbij vaak rondom de resultaten bandbreedtes worden aangegeven, de zogenaamde onzekerheidsbanden of betrouwbaarheidsbanden. Voor een beleidsmaker of bestuurder is deze manier van presenteren van de resultaten niet altijd prettig, omdat het antwoord niet eenduidig vastligt. De bandbreedtes vormen hooguit een indicatie voor de nauwkeurigheid van het antwoord: hoe groter de marges, hoe meer onzekerheid in het resultaat. Vaak wordt in de praktijk gewoon de verwachtingswaarde aangehouden.

In zijn algemeenheid kunnen we bij het werken met onzekerheden bij het vaststellen van de veiligheid van dijken twee methoden onderscheiden: de deterministische en de probabilistische methode. In de eerstgenoemde methode worden onzekerheden niet direct meegenomen en zijn er reeds keuzen gemaakt voor parameters en veiligheidsmarges. In dit geval wordt gewerkt met een bepaalde marge waarin feitelijk alle onzekerheden zijn samengevoegd. Er worden aannamen gemaakt over de sterkte en de te realiseren veiligheid in combinatie met een enkele maatgevend geachte belasting, die grotendeels gebaseerd is op ervaring. Hiertoe kunnen niet-expliciet onderbouwde veiligheidscoëfficiënten gebruikt worden. Een typisch voorbeeld van een deterministische aanpak, is de methode die gevolgd is door de Commissie Noodoverloopgebieden (paragraaf 3.2).

Probabilistische methode

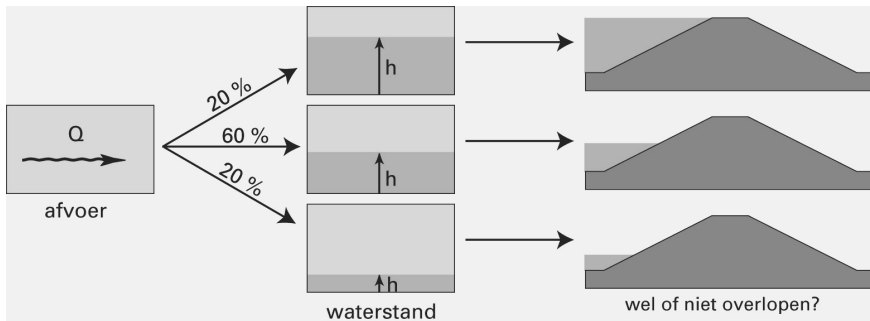
In het kort komt het erop neer dat bij een deterministische aanpak geen rekening wordt gehouden met onzekerheden. Wat wordt hiermee bedoeld? We lichten dit toe aan de hand van een eenvoudig voorbeeld: het overlopen van de kruin van een dijk. Stel dat we willen weten of een dijk van 10.25 m+NAP overloopt. Bij Lobith wordt een afvoer van 16.000 m³/s verwacht. In het ideale geval is met 100% zekerheid te voorspellen, via de relatie tussen afvoer en waterstand, welke waterstand dit ter plaatse oplevert (bijvoorbeeld 10 m+NAP). Ideaal betekent in dit geval dat we perfect kunnen voorspellen, zonder onzekerheden dus, of de dijk zal overstroomen.

Dit is een deterministische aanpak (geen onzekerheden).



In werkelijkheid zijn er echter wél onzekerheden: een perfecte voorspelling is niet mogelijk. Op basis van een afvoer van 16.000 m³/s wordt misschien wel een waterstand van 10 m+NAP verwacht maar zeker is dat niet. We weten dit bijvoorbeeld maar met 60% zekerheid. Er is ook 20% kans dat de waterstand hoger uitvalt: 10.50 m+NAP bijvoorbeeld. En er is ook een kans van 20% dat de waterstand lager uitvalt dan verwacht, bijvoorbeeld 9.50 m+NAP. Nu is niet langer zonder meer te zeggen of de dijk wel of niet overstroomt. Ook andere afvoerniveaus zullen in ogenschouw moeten worden genomen. Een afvoer van 15.500 m³/s kan misschien best een waterstand opleveren van 10,5 m+NAP. Het wel of niet overstroomen van de dijk is

niet langer aan één afvoerniveau te koppelen. Deze aanpak is probabilistisch (wel onzekerheden). Als probabilistisch wordt gerekend, kan door onzekerheden (door het gebruikte model, de verdeling van de afvoeren bij de splitsingspunten, de stromingsweerstand, etc.) een groot aantal situaties optreden. Elk van deze situaties heeft een bepaalde kans van optreden die uiteindelijk gecombineerd moet worden. Dit gebeurt in een probabilistisch model.



Aan de andere kant zijn er de probabilistische methoden, die juist wél rekening houden met de verschillende onzekerheden. De kans op overbelasten van de waterkering en de spreiding van de verschillende parameters die aanwezig zijn, staan aan zowel de belasting- als de sterktekant centraal. Hieronder valt ook het onderkennen van verschillende faalmechanismen van een waterkering en hun onderlinge relaties. Verder is een probabilistische methode de enige manier om een indruk te krijgen van de werkelijke risico's die samenhangen met een overstroming. Voorbeelden waarbij de probabilistische aanpak is gevolgd, zijn de Onzekerheidsanalyse Hoogwaterbescherming Rijntakken en de Verkennende Beleidsanalyse (paragraaf 2.2), maar ook in de projecten Veiligheid Nederland in Kaart (VNK, 2005) en Rampenbeheersingsstrategie Overstromingen Rijn en Maas (RBSO, 2005) is deze aanpak gehanteerd.

3.2 Effectiviteit van noodoverloopgebieden zonder onzekerheden

In het onderzoek van de Commissie Noodoverloopgebieden is aangesloten bij de wijze waarop in de Wet op de Waterkering (WoW, 1996) de veiligheidsnormen zijn vastgelegd, namelijk op basis van de overschrijdingskans van waterstanden. Deze overschrijdingskansen geven de gemiddelde kans per jaar weer, dat het water hoger komt te staan dan de maatgevende waterstand. Zoals gezegd, is de Commissie uitgegaan van een deterministische aanpak, zonder rekening te houden met onzekerheden. De benodigde keuzen zijn gebaseerd op vaste (bekend veronderstelde) waarden, zoals de waterstanden, het volume van het noodoverloopgebied en de inlaatdempel van het noodoverloopgebied. Er is, met andere woorden, geen rekening gehouden met de kans op voorkomen van de betreffende keuzen. De keuzen zijn weliswaar onderbouwd via gevoeligheidsanalyses, maar niet door expliciet rekening te houden met onzekerheden.

Bij het niet inzetten van een noodoverloopgebied bedraagt de overschrijdingskans van de waterstand voor een dijkkring in het Bovenrivierengebied 1/1250 per jaar, conform de Wet

op de Waterkering. Indien wordt besloten een noodoverloopgebied in te zetten, kan het rivierensysteem feitelijk meer water bergen. Met noodoverloopgebieden is het in principe mogelijk bovenmaatgevende afvoergolven volledig af te toppen tot de waterstanden bij de maatgevende afvoer. Een tweetal voorbeelden. Bij een gemiddelde golf met een piek van 17.000 m³/s bij Lobith is een bergend volume van ruim 100 miljoen m³ nodig. Voor de Maas is dat 250 miljoen m³ uitgaande van een golf van 4600 m³/s bij Borgharen (Silva e.a., 2005).

Bij een noodoverloopgebied met een volume van 110 miljoen m³ kan een afvoer met een overschrijdingskans van 1/2500 per jaar nog juist veilig door het systeem. We kunnen dus het veiligheidsniveau voor en na de maatregel met elkaar vergelijken en we zien dat daar een factor 2 tussenzit, een effectiviteit van 50% dus. Effectiviteit is hier gedefinieerd als het verschil tussen de kans zonder inzet van het noodoverloopgebied en de kans met inzet van het noodoverloopgebied, ten opzichte van de kans zonder inzet van het noodoverloopgebied. De commissie Noodoverloopgebieden heeft volumina gebruikt die 2 maal zo groot waren en dus een nog veel grotere effectiviteit opleverden.

Puur gekeken naar de veiligheid voor het rivierensysteem is dit dus een aanzienlijke winst. Natuurlijk hangt de effectiviteit van een noodoverloopgebied nauw samen met het beschikbare volume. Theoretisch zou de effectiviteit oneindig groot kunnen worden als het volume van het noodoverloopgebied groot genoeg is om de afvoergolven volledig af te toppen. Met andere woorden: als het noodoverloopgebied maar groot genoeg is, is een effectiviteit van 100% mogelijk (absolute veiligheid)!

3.3 Effectiviteit van noodoverloopgebieden met onzekerheden

In de Onzekerheidsanalyse Hoogwaterbescherming Rijntakken (Stijnen e.a., 2002) en de Verkennende Beleidsanalyse (Kok e.a., 2003) is afgestapt van de overschrijdingskansbenadering zoals deze door de Commissie Noodoverloopgebieden is gevolgd en is een overstromingskansbenadering gehanteerd. Niet alleen aan afvoer en waterstand, maar ook aan wind en golven is aandacht besteed. Volgens de huidige ontwerppraktijk worden de dijken tenminste een halve meter boven de maatgevende waterstand aangelegd (de waakhoogte): hogere waterstanden dan maatgevend hoeven door deze reststerkte niet meteen tot een dijkdoorbraak te leiden. Tot slot wordt met onzekerheden rekening gehouden. De natuur houdt zich nu eenmaal niet altijd aan rekenmodellen. In werkelijkheid kan de maatgevende afvoer bij Lobith en Borgharen resulteren in hogere maar ook lagere waterstanden dan de maatgevende waterstand bij de dijk. Bij het dijkontwerp wordt een bepaalde windrichting en -sterkte verondersteld. Ook die kan in werkelijkheid anders uitpakken.

De belangrijkste onzekerheidsbronnen waarmee in de Verkennende Beleidsanalyse rekening is gehouden, zijn:

- *De natuurlijke variabiliteit van de afvoeren*
De koppeling tussen de piekafvoer bij Lobith en de hiermee corresponderende overschrijdingsfrequentie wordt weergegeven door de zogenaamde werklijnen. Deze is gebaseerd op extreme-waarden statistiek op basis van ongeveer 100 jaar waarnemingen en is vervolgens geëxtrapoleerd naar maatgevende omstandigheden (zie figuur 2).
- *De natuurlijke variabiliteit van de wind*
De kans op de windrichting en de overschrijdingskansen van de windsnelheid dragen in

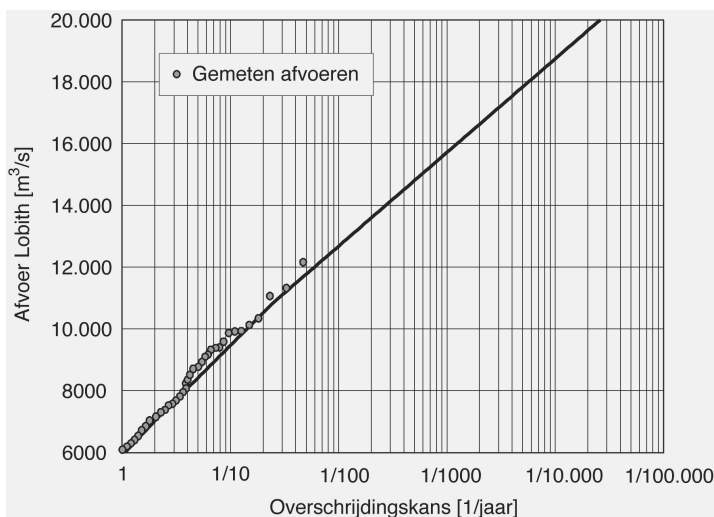
belangrijke mate bij aan de grootte van de golven die de dijk treffen. De kans op wind uit het Westen is in Nederland bijvoorbeeld groter dan de kans op wind uit het Oosten. De grootte van de golven is weer bepalend voor de hoeveelheid golfoverslag die kan optreden. Bij het ontwerp van een kering wordt veelal gebruik gemaakt van de maatgevende windrichting en één vaste (maatgevende) windsnelheid. Binnen een probabilistisch model speelt ook de kans van voorkomen van deze windrichting en windsnelheid een belangrijke rol.

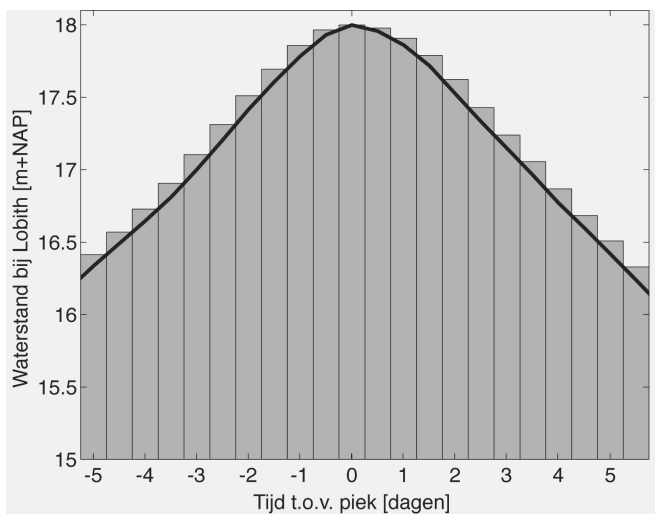
- *(On)afhankelijkheid tussen waterstandsblokken*

De waterstand op een zeker moment is logischerwijs niet volledig onafhankelijk van de waterstand op het tijdstip ervoor of erna. Die afhankelijkheid komt tot uiting via de golfvorm. De werklijn in Lobith en Lith geeft de overschrijdingskansen van piekafvoeren aan. Aan elke piek wordt een standaardgolfvorm gekoppeld (zie figuur 2). De golf wordt opgedeeld in blokken van 12 uur waarmee wordt aangesloten bij de windstatistiek. Voor elk blok wordt de overstromingskans berekend waarna de overstromingskans voor de hele golf wordt bepaald.

- *Waterstand*

De overschrijdingskansen van waterstanden aan de teen het dijkvak zijn direct gekoppeld aan de overschrijdingskansen van de afvoeren bij Lobith en Lith (de werklijnen). Deze koppeling vindt plaats door middel van de QH-relatie. De QH-relatie legt het verband tussen de afvoer bij Lobith/Lith en de waterstand aan de teen van het dijkvak. Gegeven een afvoer bij Lobith of Lith is het niet zeker dat de waterstand bij een dijkvak zoals berekend met de QH-relatie ook echt zal optreden. Er is een kans dat de werkelijke waterstand hoger of lager is. Dit komt door de natuurlijke variabiliteit van het riviersysteem en het feit dat modellen worden gebruikt om de QH-relatie te bepalen. Natuurlijke variabiliteit kan door tal van oorzaken ontstaan: variatie in de stromingsweerstand van het zomerbed en de uiterwaarden, verdeling van de afvoeren over de splitsingspunten, variatie in topvervlakking afhankelijk van de golfvorm en door variatie in de zijdelingse toestroming via rivieren en kanalen.





Figuur 2: Werklijn en waterstandverloop bij Lobith.

Ook andere onzekerheden zijn beschouwd, zoals de onzekerheid in het kritieke golfoverslagdebiet of de golfvorm, maar deze laten we in dit artikel buiten beschouwing. Zoals we hebben gezien, hebben we in de praktijk te maken met een groot aantal onzekerheden. De resultaten van de Onzekerheidsanalyse Hoogwaterbescherming Rijntakken en de Verkennde Beleidsanalyse waren een eerste indicatie dat het beeld dat tot dan toe bestond over de effectiviteit van noodoverloopgebieden wel eens anders kon zijn dan gedacht. Uit deze studies is namelijk gebleken dat de effectiviteit van noodoverloopgebieden langs de Rijntakken niet veel hoger is dan 10 tot 15%, als onzekerheden in acht worden genomen. Het vergroten van het volume van het noodoverloopgebied helpt slechts deels en absolute veiligheid is niet aan de orde. Het beeld is dus heel anders dan geschetst in paragraaf 3.1.

Een interessante vraag is natuurlijk waarom de effectiviteit van noodoverloopgebieden zo laag blijft ten opzichte van de resultaten van de Commissie Noodoverloopgebieden? Hiervoor is een aantal argumenten aan te dragen:

- Het benodigde volume voor het goed aftoppen van de hoogwatergolven langs de Rijntakken moet behoorlijk groot zijn om nog een bepaalde effectiviteit te halen. Een dergelijk volume is voor de Rijntakken in het Bovenrivierengebied nauwelijks haalbaar. Langs de Maas is het beeld iets anders, omdat daar het beschikbare volume groter is en ook minder groot hoeft te zijn.
- In het onderzoek van de Commissie kan het slechts misgaan in het systeem op het moment dat de piek van de hoogwatergolf een bepaald niveau overschrijdt. Nemen we ook onzekerheden in de waterstand mee, dan kan ook falen naast de piek optreden.
- De onzekerheid in de waterstand heeft bijvoorbeeld nogal wat consequenties. Een noodoverloopgebied werkt op zijn best als een afvoergolf zoveel mogelijk wordt afgetopt (zie ook figuur 1). Als de waterstand hoger of lager uitvalt dan gedacht, kan het gebeuren dat het gebied al vol zit voordat de top van de golf is gepasseerd. Dan functioneert het gebied dus niet goed. Het kan ook dat het inzetten te laat gebeurt: dat in is de top al voorbij en is het noodoverloopgebied niet ingezet, wat ook onwenselijk is.
- Als bij een perfect afgetopte hoogwatergolf naast waterstanden ook golfoverslag wordt

meegenomen als faalmechanisme, wordt het beeld nog ongunstiger. Wanneer de wind naast de afvoer een rol speelt (ook al levert die maar een kleine toeslag op de waterstandsberekening), dan kan falen met een aanzienlijke kans plaatsvinden bij afvoeren lager dan het afgetopte niveau van de hoogwatergolf. De bedreigingen van deze lage afvoeren worden door het aftoppen niet weggenomen. Het feit dat deze lage afvoeren, dus de afvoeren onder het aftopniveau, nog zo belangrijk zijn, betekent dat de afvoer gelijk aan het topniveau zelfs in aanwezigheid van wat wind makkelijk tot falen kan leiden. Omdat het horizontale plateau dat de bovenkant van de afgetopte golf vormt vrij lang aanhoudt (meerdere dagen met redelijke kansen), zal na aftoppen dit plateau ook een flinke bedreiging vormen (Geerse, 2003).

Wat is nodig voor een probabilistische analyse?

Hydraulische berekeningen (Sobek/Waqua)

- 1 berekening voor elke combinatie van bijvoorbeeld afvoer, windrichting en windsnelheid (verzameld in een database)
- Opwaaing van het hele watersysteem (scheefstand)

Voor elke onzekerheid is statistiek nodig, bijvoorbeeld

- Overschrijdingskansen neerslag, afvoer, windsnelheid, boezempelig
- Kans op windrichting

Gegevens per locatie

- Geometrie van de kering (kruinhoogte, dijknormaal, berm, voorland, etc.)
- Bekleding op de kering (gras, asfalt, etc.)
- (Effectieve) strijklengten per windsector
- Bodemhoogten per windsector

Probabilistisch model

- Berekent golven
 - Berekent dwarsopwaaing, bijvoorbeeld op brede wateren of meren
 - Combineert van alle onzekerheden met bijbehorende kansen
 - Berekent hydraulische belasting (overlopen, golfoploop, golfoverslag)
 - Berekent faalkans of minimaal benodigde kruinhoogte
-

4 Beslissen onder onzekerheid

Het kabinet heeft officieel gereageerd op het advies van de Commissie Noodoverloopgebieden in het Kabinetstandpunt Rampenbeheersingsstrategie Overstromingen Rijn en Maas (Kabinetstandpunt RBSO, 2003). Het kabinet geeft hierin aan dat ook andere opties voor hoogwaterbescherming beschouwd moeten worden, zoals Internationale afstemming, Organisatorische maatregelen, Compartimenteren en Normen verhogen. Om tot een evenwichtige beoordeling van de opties te komen, dient een kosten- en batenanalyse te worden uitgevoerd.

In een kosten- en batenanalyse worden onder meer de volgende 2 kentallen gebruikt (conform Kind, 2005):

1 Absolute vermindering van het overstromingsrisico

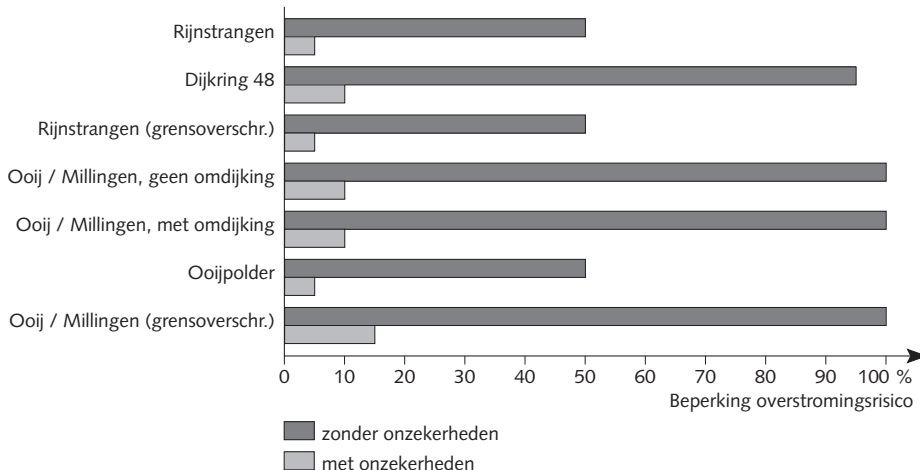
De vermindering van het risico laat zien in hoeverre het probleem (kans op, en omvang van schade door overstroming) wordt opgelost. Meestal wordt dit uitgedrukt als percentage van het risico in de referentiesituatie. Een percentage gelijk aan 0% betekent dat de betreffende optie niets doet voor de veiligheid, terwijl bij 100% absolute veiligheid wordt gegarandeerd.

2 Eerstejaars rendement (baten / kosten ratio)

Vaak wordt gewerkt met het eerstejaars rendement als rendementscriterium voor een optie. Dit houdt in dat er pas geïnvesteerd moet worden wanneer de gemiddelde jaarlijkse kosten van een optie gelijk zijn aan of kleiner zijn dan de baten in een bepaald jaar. De verhouding tussen baten en kosten laat zien of de oplossing, in economische zin, rendabel is. Zolang deze verhouding groter is dan één, is het aantrekkelijk om een optie door te voeren.

Om tot een strategie voor rampenbeheersing bij overstromingen te komen zijn de 5 hiervoor genoemde opties nader onderzocht en vergeleken op de genoemde kentallen. In dit artikel concentreren we ons alleen op de resultaten voor de optie noodoverloopgebieden langs de Rijntakken. Voor de details over de andere opties en de Maas wordt verwezen naar (RBSO, 2005).

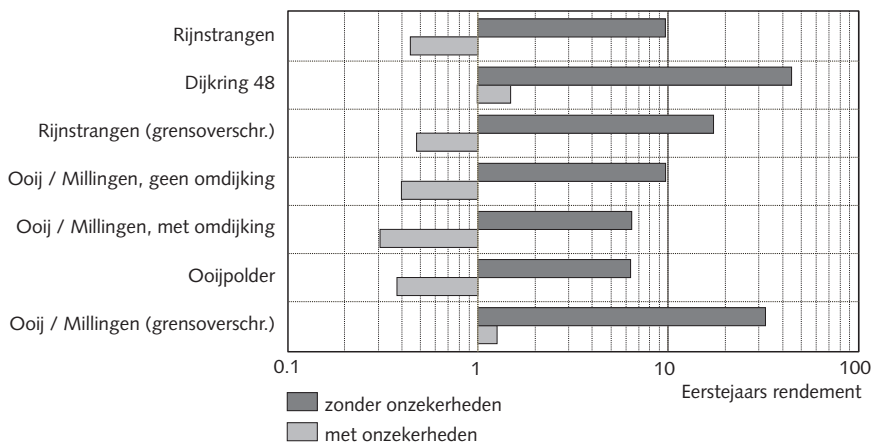
In figuur 3 is de vermindering van het overstromingsrisico weergegeven, waaruit kan worden afgeleid in hoeverre een noodoverloopgebied iets betekent voor de veiligheid. In totaal zijn voor de Rijntakken 7 inrichtingsvarianten van noodoverloopgebieden onderzocht. Volgens de methode van de Commissie Noodoverloopgebieden (deterministisch) zijn de effecten op de veiligheid bijzonder gunstig. Bekijken we de resultaten als onzekerheden en andere faalmechanismen in de beschouwing worden meegenomen (probabilistisch), dan neemt de effectiviteit van de noodoverloopgebieden behoorlijk af.



Figuur 3: Vermindering overstromingsrisico (%).

Betrekken we niet alleen de consequenties voor de veiligheid maar ook het rendement in de beoordeling, dan wordt het beeld alleen maar verder bevestigd. In figuur 4 staat het eerstejaars rendement weergegeven voor de 7 varianten. Het is duidelijk dat de verhouding tussen de kosten en de baten in 5 van de 7 gevallen niet gunstig uitpakt. Alleen de 2 vari-

anten met het grootste volume komen positief naar voren, maar dit zijn wel de varianten die niet alleen in Nederland, maar ook in Duitsland zijn gelegen.



Figuur 4: Eerstejaars rendement.

Op basis van deze resultaten is geconcludeerd dat de noodoverloopgebieden langs de Rijn-takken onvoldoende rendabel zijn. Inmiddels is in beleidsnota's de reservering van deze gebieden dan ook geschrapt. Het besluit om wel of geen onzekerheden en andere faalmech-anismen mee te nemen, kan dus grote gevolgen hebben voor het te voeren beleid.

5 Discussie

Verschillende maatregelen in het bovenrivierengebied zijn mogelijk om de veiligheid tegen overstromen te verbeteren. Eén van die mogelijkheden is de inzet van noodoverloopgebieden. De effectiviteit van een noodoverloopgebied is sterk afhankelijk van de beschouwde onzekerheden, denk aan variabiliteit in afvoeren, waterstanden en wind. In het onderzoek van de Commissie Noodoverloopgebieden is een deterministische aanpak gehanteerd (zonder onzekerheden), wat resulteerde in een positief beeld over de effectiviteit. Andere onderzoeken laten zien hoe dit beeld kan veranderen en zelfs volledig kan omslaan wanneer wél onzekerheden meegenomen worden.

Door de onzekerheden expliciet te verwerken in de resultaten via een probabilistisch model, kan aan een bestuurder of beleidsmaker inzichtelijk gemaakt worden wat de rol van onzekerheden is. Door ook andere maatregelen te beschouwen, zoals dijkversterkings- of rivierverruimingsmaatregelen, kan een weloverwogen afweging worden gemaakt. Door de kosten van een maatregel te vergelijken met de baten ervan (reductie van het risico door de maatregel), kan worden vastgesteld of de betreffende maatregel, vanuit economisch oogpunt, rendabel is.

Op basis van de resultaten van verschillende onderzoeken kunnen we het volgende concluderen over de inzet van noodoverloopgebieden als maatregel in de hoogwaterbescherming:

- De effectiviteit van noodoverloopgebieden in termen van veiligheid neemt enorm af als onzekerheden worden meegenomen in de analyse.
- De effectiviteit van noodoverloopgebieden wordt (nadelig) beïnvloed door andere faalme-

chanismen dan alleen overlopen.

- Vanuit een kosten-baten oogpunt zijn de meeste varianten van een noodoverloopgebied langs de Rijntakken niet rendabel. Alleen bij voldoende grote bergingsvolumes komt een noodoverloopgebied langs de Rijntakken positief naar voren. Het betreft dan echter grensoverschrijdende varianten welke in tegenspraak zijn met internationale afspraken en die naar verwachting grote maatschappelijke en bestuurlijke weerstand kennen.
- Door de consequenties van onzekerheden te kwantificeren met behulp van een probabilistisch model wordt zowel aan onderzoekers als bestuurders en beleidsmakers inzicht gegeven in de rol van onzekerheden. De keuze voor het wel of niet meenemen van onzekerheden kan vergaande gevolgen hebben voor het beleid.

In april van 2005 heeft het kabinet het standpunt ‘Tussenbesluit RBSO’ ingenomen. Hierin ziet het kabinet voor de Rijntakken af van de Ooijpolder en Rijnstrangen als noodoverloopgebied. Dientengevolge heeft het kabinet de reservering van deze twee gebieden geschrapt als noodoverloopgebied in beleidsnota’s.

6 Referenties

Geerse, C.P.M. (2003) Invloed golven op effectiviteit noodoverloopgebied, Interpretatie van resultaten; RWS RIZA werkdocument 2004.161x.

Kabinetsstandpunt Rampenbeheersingsstrategie Overstromingen Rijn en Maas Kamerstuk 2003–2004, 29384, nr. 1, Tweede Kamer.

Kind, J. (2005) Rampenbeheersingsstrategie Overstromingen Rijn en Maas, Achtergrond-rapportage Kosten- en batenanalyse; RWS RIZA rapportage 2005.025.

Kok, M., J.W. Stijnen, A. Barendregt, K. Heynert, A. Hooijer en J. Dijkman (2003) Beperking van overstromingsrisico’s langs de Bovenrivieren; een verkennende beleidsanalyse van rampenbeheersing en structurele maatregelen langs de Rijntakken; HKV LIJN IN WATER en WL | Delft Hydraulics rapport PR640.

Luteijn, D., E. M. d’Hondt, J.P Bahlmann, G. Blom, J. van Dijk, J.C.M. Hovers en C. Veerman (2002) Advies van de Commissie Noodoverloopgebieden, Gecontroleerd overstrooming; Den Haag.

Silva, W., R.M. Slomp, J.W. Stijnen en E. van Velzen (2005) Rampenbeheersingsstrategie Overstromingen Rijn en Maas, Achtergrondrapportage Veiligheid en Rivierkunde; RWS RIZA rapportage 2005.024.

Stijnen, J.W., M. Kok en M.T. Duits (2002) Onzekerheidsanalyse Hoogwaterbescherming Rijntakken. Onzekerheidsbronnen en gevolgen van maatregelen; HKV LIJN IN WATER rapport PR464.

VNK (2005) Veiligheid Nederland in Kaart, Hoofdrapport onderzoek overstromingsrisico’s; HKV LIJN IN WATER, F. Havinga en M. Kok, Delft.

WoW (1996) Wet op de Waterkering.

Maatregelen om over te piekeren

Effecten van vernatten op afvoerverloop in beken

Bertus de Graaff
Matthijs van den Brink

HKV LIJN IN WATER en Waterschap Vallei & Eem onderzochten de effecten van een tweetal verdrogingsbestrijdingsmaatregelen op de afvoer uit een stroomgebied en kwamen tot het inzicht dat de maatregelen de afvoeren van hoog (bij wateroverlast) naar laag (bij extreme droogte) eerst laten toenemen, vervolgens weer laten afnemen en daarna weer laten toenemen. De effecten van de maatregelen zijn doorgerekend in een gedetailleerd Simgromodel en vervolgens verklaard met een eenvoudige analogie waarin het grond- en oppervlaktewaterstelsel is opgedeeld in een drietal afvoersystemen met een variërende reactiesnelheid.

Inleiding

Vanaf 1950 is de drainage en afwatering van veel beeksystemen in het beheersgebied van Waterschap Vallei & Eem geïntensiveerd. De beoogde effecten waren veelal een verhoging van de landbouwkundige opbrengst en een vermindering van de jaarlijks terugkerende wateroverlast. Om deze effecten te bereiken zijn sloten gegraven, meanderende beken rechtgetrokken, doorstroomprofielen van waterlopen verruimd en zijn stuwen aangelegd om de waterstanden te kunnen beheersen. De aanpassingen zorgden ervoor dat gebieden die voorheen drassig en moerassig waren geschikt werden voor bewoning en landbouw.

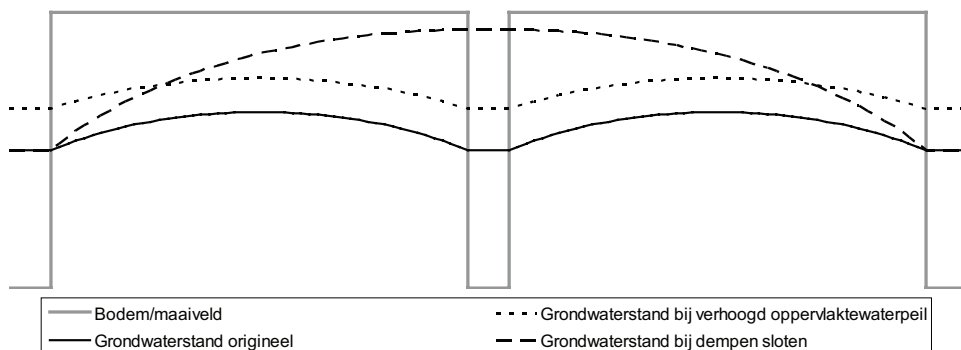
Naast de positieve effecten kwamen sinds het eind van de jaren tachtig ook de minder positieve gevolgen van de verbeteringswerken naar voren. Door het meer en sneller afvoeren van (grond)water treden verdrogingsverschijnselen op die met name de natte terrestrische natuur treffen. Sinds de jaren negentig staat het onderwerp verdroging in de belangstelling. Met de ondertekening van het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) in 2003 is het onderwerp onder de 'integrale paraplu' van GGOR gebracht.

Ongeveer gelijktijdig met het NBW manifesteerde zich de Kaderrichtlijn Water nadrukkelijk als thema op de agenda. Deze Europese richtlijn richt zich primair op de aquatische ecologie. De twee thema's hebben op meerdere manieren raakvlakken en kunnen daarbij zelfs tegenstrijdig zijn of lijken. Ten eerste zijn eenvoudige verdrogingsbestrijdingsmaatregelen als het plaatsen van stuwen of dammen in het licht van de KRW vaak ongewenst, omdat ze de migratiemogelijkheden van macrofauna en vissen negatief beïnvloeden. Ten

Bertus de Graaff is werkzaam bij HKV LIJN IN WATER. **Matthijs van den Brink** is werkzaam bij Waterschap Vallei & Eem.

tweede hebben verdrogingsbestrijdingsmaatregelen een effect op het afvoerregime en daarmee op de stroomsnelheid van een beek. Bij het ecologisch herstel van stromende wateren is voor zowel macrofauna als vissen de stroomsnelheid en de verdeling daarvan over het seizoen van cruciaal belang. In het algemeen is de ecologie van een natuurlijke beek gebaat bij een gelijkmatige verdeling van de afvoer over het jaar: geen extreme piekafvoeren en stroomsnelheden en geen langdurige periodes van heel weinig of geen afvoer.

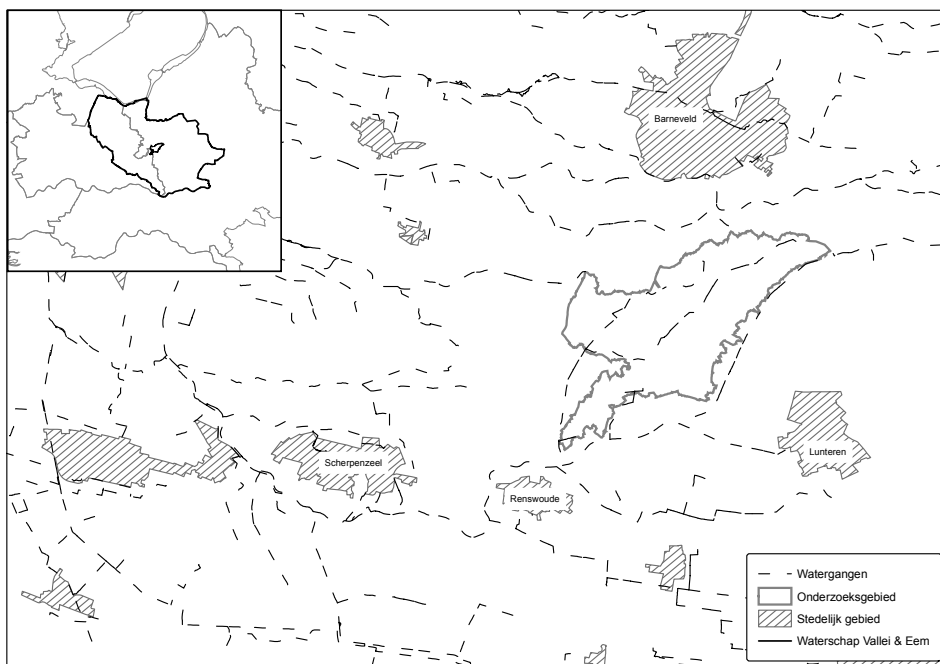
In dit artikel evalueren we de effecten van twee verdrogingsbestrijdingsmaatregelen op de afvoer, te weten: i) het verhogen van oppervlaktewaterpeilen en ii) het dempen van sloten. Figuur 1 geeft het concept van beide maatregelen weer voor natte situaties. Beide maatregelen zijn gericht op het verhogen van de grondwaterstanden en GxG's.



Figuur 1: Schematische weergave verdrogingsbestrijdingsmaatregelen.

Onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied (figuur 2) waarvoor we de verdrogingsbestrijdingsmaatregelen onderzoeken ligt centraal in de Gelderse Vallei, op de flank van het stuwwalcomplex van de Veluwe en maakt onderdeel uit van het stroomgebied van de Lunterse Beek. Het maaiveld in het gebied varieert van circa 12 m + NAP in het noordoosten tot zo'n 7 m + NAP in het zuidwesten. De bodem bestaat voornamelijk uit zandige eerdgronden en podzolen en het grondgebruik is overwegend grasland of maïsteelt. Het grondwatersysteem bestaat uit een dik freatisch pakket van pleistocene afzettingen. De kwel in het gebied is beperkt. De regionale kwel van het Veluwemassief manifesteert zich oostelijker in de Gelderse Vallei.



Figuur 2: Onderzoeksgebied.

Modellering Sobek-Simgro

De modellering van de verdrogingsbestrijdingsmaatregelen is uitgevoerd in het Simgro-model van het onderzoek ‘Watersysteemanalyse Centrale Vallei’ (De Graaff e.a., 2006). Het model bevat een gedetailleerde modellering van het onderzoeksgebied en is opgezet met behulp van de ArcView extensie AlterraAqua. Voor achtergronden hierover verwijzen wij naar de AlterraAqua-handleiding (Van der Bolt e.a., 2004). Hieronder behandelen wij een aantal specifiek voor dit onderzoek relevante aspecten van de modellering.

De belangrijkste waterlopen (hoofdwaterlopen of primaire waterlopen) worden in een Simgroschematisatie vaak in de afwateringsstructuur opgenomen. Deze waterlopen zijn dan onderling verbonden, kunnen water bergen in het dwarsprofiel en hebben een eenduidige relatie tussen waterstand en afvoer ($Q(h)$ -relatie). Omdat $Q(h)$ -relaties door terugstuwning als gevolg van hoog opgelopen benedenstroomse waterstanden veelal niet eenduidig zijn, corrigeert Simgro hiervoor. De $Q(h)$ -relatie kan met AlterraAqua worden bepaald uit dwarsprofielgegevens, wandruwheidsgegevens en gegevens van kunstwerken. In dit onderzoek maken we voor het afleiden van $Q(h)$ -relaties geen gebruik van AlterraAqua en sluiten we aan bij de bestaande en voor dit doel aangepaste Sobek-ChannelFlow modellering van het waterschap. We bepalen de $Q(h)$ -relaties met een set van stationaire Sobek-ChannelFlow berekeningen van alle primaire watergangen in het onderzoeksgebied.

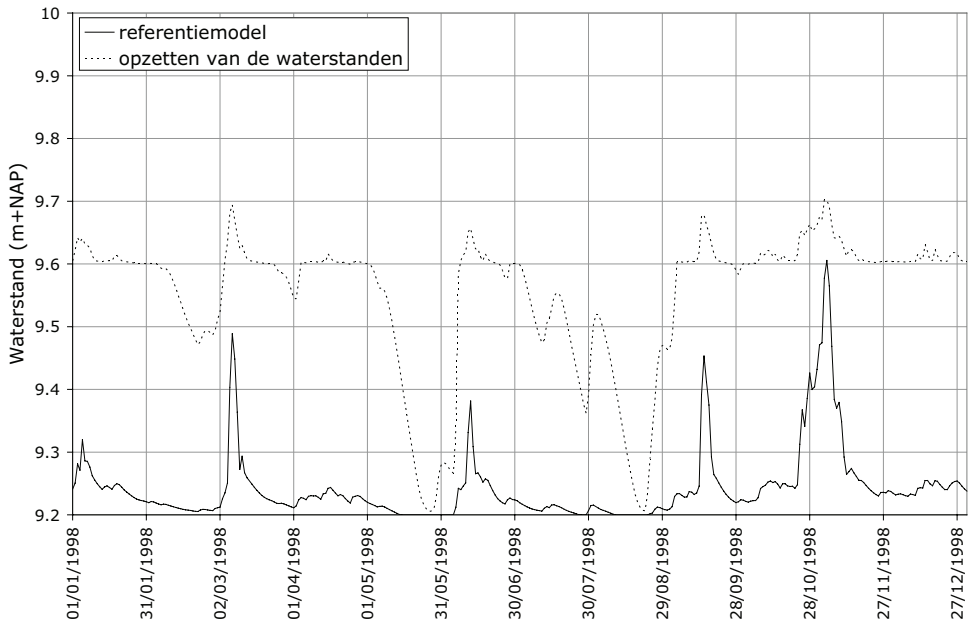
De resterende waterlopen (detailafwatering zoals greppels, sloten e.d.) worden normaliter in de Simgroschematisatie opgenomen als bergende elementen die zonder tussenkomst van andere waterlopen direct afwateren naar de hiervoor genoemde primaire watergangen.

De detailafwatering kent dus geen complexe afwateringsstructuur en de berekening van de berging in deze waterlopen heeft een beperking. De detailafwatering heeft geen $Q(h)$ -relatie, waardoor berging alleen plaatsvindt als de waterstand in de benedenstroomse primaire waterlopen boven de bodem van het detailafwateringsstelsel stijgt. In werkelijkheid zullen de sloten en greppels in natte situaties ook zonder dit effect tijdelijk water bergen. Wij corrigeren het bestaande model hiervoor, omdat een juiste berekening van de berging in deze waterlopen belangrijk is voor de effecten van de maatregelen in dit onderzoek. Wij passen het bestaande model daarom aan tot referentiemodel waarin niet alleen $Q(h)$ -relaties zijn opgenomen voor de primaire waterlopen, maar ook voor het detailafwateringssysteem. We beschrijven de effecten van de verdrogingsbestrijdingsmaatregelen in dit artikel ten opzichte van dit referentiemodel.

Modellering verdrogingsbestrijding

Doorgaans is de toepassing van verdrogingsbestrijdingsmaatregelen kleinschalig en hebben de maatregelen een verwaarloosbaar effect buiten het projectgebied. In dit artikel beschouwen we de effecten op grotere schaal en passen we de maatregelen toe op het detailafwateringsstelsel van het gehele onderzoeksgebied (900 ha). Voor het beschouwde gebied dienen voor het uitvoeren van de peilverhoging grofweg 300 stuwtees aangelegd te worden. Voor het dempen van sloten moet ongeveer 50 km sloot worden gedempt. Voor het beoordelen van de effecten van de maatregelen zijn deze in het referentiemodel geschematiseerd.

Voor het 'opzetten van de waterstanden' zijn in de detailafwatering $Q(h)$ -relaties opgenomen die representatief zijn voor stuwen met een kruinhoogte van 0,40 m onder het maaiveld en een afvoercapaciteit van 2 l/s/ha bij een overstorthoogte van 0,10 m. Figuur 3 geeft het effect weer van het op deze wijze opzetten van de waterstanden voor het relatief natte jaar 1998. De bodem van de betreffende sloot ligt op 9,20 m + NAP en het maaiveld ter plaatse ligt op 10,00 m + NAP. De sloot valt in de referentiesituatie af en toe droog. Door het opzetten van de waterstanden kunnen de waterstanden in de sloot grotendeels op stuwpeil worden gehouden. In droge situaties valt de sloot ook na het aanbrengen van stuwen vrijwel droog.



Figuur 3: Illustratie van opzetten van waterstanden in het detailafwateringsstelsel.

Voor het ‘dempen van sloten’ zijn de sloten en greppels uit de Simgroschematisatie verwijderd. Hierdoor vervalt de drainerende werking van deze waterlopen. In de gebieden waarin sloten zijn gedempt en waarin geen primaire waterlopen in de directe nabijheid zijn, resteert dan alleen nog afvoer via diepe grondwaterstroming, afvoer via de in het model opgenomen maaiveld drainage of oppervlakkige afvoer. Deze laatste twee afvoercomponenten verdienen in dit onderzoek een toelichting. Als grondwaterstanden in natte perioden tot vlak onder het geschematiseerde maaiveldniveau stijgen zal water reeds via lokale laaggelegen delen afstromen naar waterlopen, of naar depressies in het maaiveld en daar weer infiltreren in de bodem. Het oppervlakkige afvoerproces is in grote lijnen vergelijkbaar, maar kan pas optreden als water tot op het maaiveld stijgt of als de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit van de bodem overschrijdt.

De afvoer via de maaiveld drainage en het maaiveld (oppervlakkige afvoer) verloopt snel en maakt veelal een significant deel uit van piekafvoeren. Of deze afvoercomponenten zullen toenemen bij het dempen van sloten is afhankelijk van de mate waarin water kan afstromen naar de primaire waterlopen en de mate waarin het water in depressies achterblijft. In dit onderzoek is alle afvoer via de maaiveld drainage en via het maaiveld oppervlak direct toegekend aan de primaire waterlopen. Dit betekent dat het water naar de primaire waterlopen kan afstromen en dat geen rekening is gehouden met het achterblijven van water in depressies. De afvoer via de maaiveld drainage en over het maaiveld wordt hierdoor wellicht te hoog ingeschat. Na de beschrijving van de effecten van de geschematiseerde maatregelen komen we hierop terug onder het kopje ‘Discussie’.

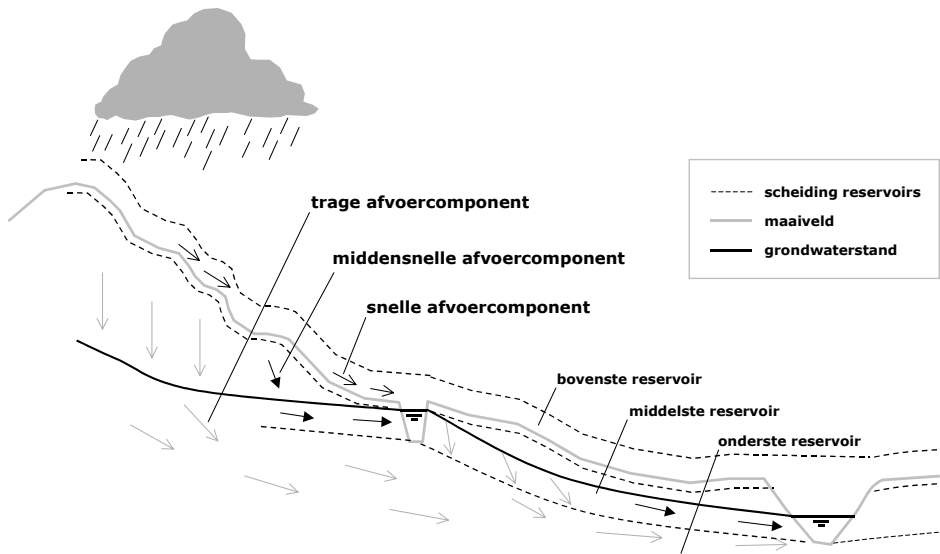
Analogie uit neerslag-afvoermodellering

Voor de beschrijving en analyse van de modeluitkomsten maken we gebruik van een vereenvoudigde analogie voor de grondwaterstroming die vaak wordt toegepast in de neerslag-afvoermodellering van hellende stroomgebieden. Wij delen het grondwatersysteem op in een drietal grondwaterreservoirs die onderling grondwater uitwisselen en die daarnaast een interactie hebben met de atmosfeer en het oppervlaktewatersysteem. Een dergelijke indeling in reservoirs is toegepast in bekende systeembeschrijvingen of pakketten als Sacramento (Burnash e.a., 1973), MIKE11-NAM (Nielsen e.a., 1973) en het HBV-model (Bergström, 1976 en 1992).

De genoemde beschrijvingen van het neerslag-afvoerproces geven het afvoerproces uit een stroomgebied weer als een sommatie van de afvoeren uit de drie grondwaterreservoirs. Het bovenste reservoir reageert het snelst op een neerslagbelasting (vergelijkbaar met oppervlakkige afvoer, 'surface runoff' of 'overland flow'), gevolgd door achtereenvolgens het middelste reservoir ('interflow') en het onderste reservoir (basisafvoer, 'base flow'). Voor de omschrijving van de afvoer uit de verschillende reservoirs (figuur 4) gebruiken wij in dit artikel de termen snelle afvoercomponent voor het bovenste reservoir, middensnelle afvoercomponent voor het middelste reservoir en trage afvoercomponent voor het onderste reservoir.

Voordat neerslag tot afvoer komt in het oppervlaktewatersysteem spelen zich een aantal fysische processen in de reservoirs af. Neerslag voedt het bovenste reservoir waar het infiltreert en deels door interceptie achterblijft op het aardoppervlak. Bij een voldoende hoge vochtigheidsgraad van de onverzadigde zone kan de neerslag percoleren naar het grondwater. Naast deze neerwaartse stroming is er ook een opwaartse stroming via capillaire opstijging en verdamping waardoor water naar de atmosfeer verdwijnt en later, ergens anders, door condensatie of bevroering weer kan neerslaan. Tussen de reservoirs vindt ook wateruitwisseling plaats. Afhankelijk van de vullingsgraad van de reservoirs zal dit kwel, wegzijging, capillaire opstijging of percolatie betreffen.

Voor de Nederlandse situatie kan het bovenste reservoir worden gezien als de bodem en de daarop en daarin geplaatste elementen tot aan het niveau van de maaiveld drainage (ordegrootte 10 tot 20 cm onder maaiveld). Doordat de afvoer naar het oppervlaktewatersysteem plaatsvindt over het maaiveld of via de maaiveld drainage is de reactie van de afvoer op neerslag relatief snel. Het middelste reservoir ligt hier in verticale zin onder en loopt door tot aan het drainageniveau (ordegrootte 50 cm tot 150 cm diepte). Doordat de afvoer naar de drainagemiddelen via de bodem plaatsvindt is de snelheid van het neerslag-afvoerproces minder groot dan voor de bovenste laag. Voor de onderste laag geldt dat de afstand naar de drainerende middelen groot is en de snelheid van het neerslag-afvoerproces relatief traag is.



Figuur 4: Componenten in het neerslag-afvoerproces.

Toepassing analogie met Simgro

Simgro kent de hiervoor genoemde opdeling in drie reservoirs niet. In verticale zin is de bodem opgedeeld in lagen en in het horizontale vlak is de bodem opgedeeld in rekencellen. In de waterbalans wordt wel bijgehouden hoeveel grondwater de verschillende drainagesystemen ontvangen. Deze informatie gebruiken wij in dit artikel om de afvoercomponenten van de analogie in te schatten. De schematisatie van het onderzoeksgebied maakt onderscheid in drainagesystemen met:

- index 2 (primaire waterlopen)
- index 3 (sloten en greppels)
- index 5 (maaiveld drainage).

Wij schatten de trage afvoercomponent in als de gesommeerde drainafvoer van de primaire waterlopen (index 2). In droge perioden zullen de grondwaterstanden veelal beneden de bodem van de sloten en greppels zakken. De primaire waterlopen zijn, ten opzichte van de sloten en greppels, relatief diep in het landschap gesneden en voeren hierdoor ook in droge perioden nog grondwater af. Doordat de sloten en greppels nauwelijks meer drainerend functioneren is de gemiddelde afstand tot de drainerende middelen (de primaire waterlopen) relatief groot. De reactiesnelheid van het neerslag-afvoerproces is hierdoor relatief traag.

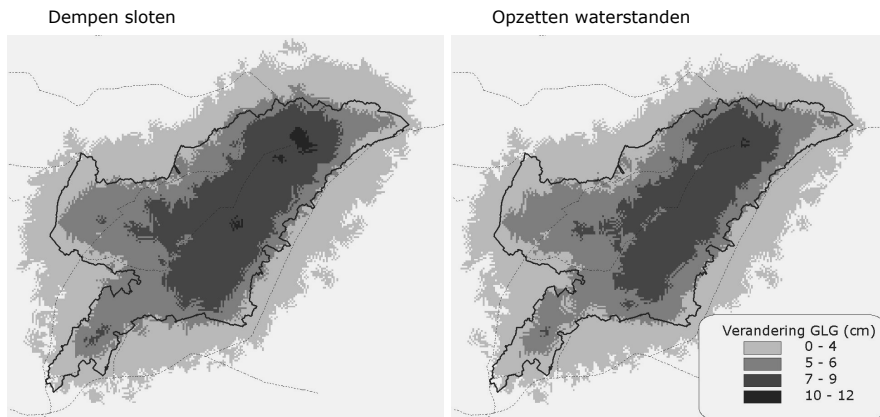
Wij schatten de middensnelle afvoercomponent in als de gesommeerde drainafvoer van

de sloten en greppels (index 3). In natte periodes zullen de grondwaterstanden boven de bodem van de greppels en sloten stijgen en beginnen deze waterlopen te draineren. Omdat de afstand naar de greppels en sloten relatief klein is, is de reactiesnelheid groter dan voor de trage afvoercomponent.

De snelle afvoercomponent bepalen wij direct uit de waterbalanstermen van Simgro en berekenen wij als de gesommeerde drainafvoer naar de maaiveld drainage (index 5). Wellicht ten overvloed merken we hier nog op dat de afvoer (dus niet de drainafvoer) van de primaire waterlopen bestaat uit de gesommeerde drainafvoer van de greppels, sloten en andere primaire waterlopen die bovenstrooms zijn gelegen.

Effecten van verdrogingsbestrijding

De onderzochte verdrogingsbestrijdingsmaatregelen hebben als doel grondwater vast te houden door het verminderen van de drainage. Figuur 5 laat zien dat de maatregelen het gewenste effect hebben. De figuur geeft de verandering van de GLG weer. In het gebied waarin de maatregelen zijn getroffen stijgen de grondwaterstanden. Naast dit directe effect zijn er een aantal afgeleide effecten op het stroomgebied doordat i) de grondwaterstroming vanuit hoger gelegen gebieden wijzigt, ii) de grondwaterstroming naar lager gelegen gebieden wijzigt en doordat iii) de verdeling van de afvoer over de eerder genoemde afvoercomponenten wijzigt. Deze aspecten behandelen wij hier achtereenvolgens aan de hand van een waterbalans van het stroomgebied.



Figuur 5: Effecten verdrogingsbestrijding op grondwaterstanden.

Tabel 1 geeft de waterbalans van het grondwatersysteem van het stroomgebied voor het (natte) jaar 1998. De waterbalans maakt onderscheid in een drietal reguliere termen (in, uit en berging) die in de balans verder zijn onderverdeeld naar bron. Zo verlaat water het grondwatersysteem via maaiveld drainage, via drainage door waterlopen en drainbuizen, via wegzijging naar lager gelegen gebieden en via laterale uitstroming naar omliggende gebieden. De in- en uit-termen gesommeerd met de bergingsverandering leveren een sluitende waterbalans.

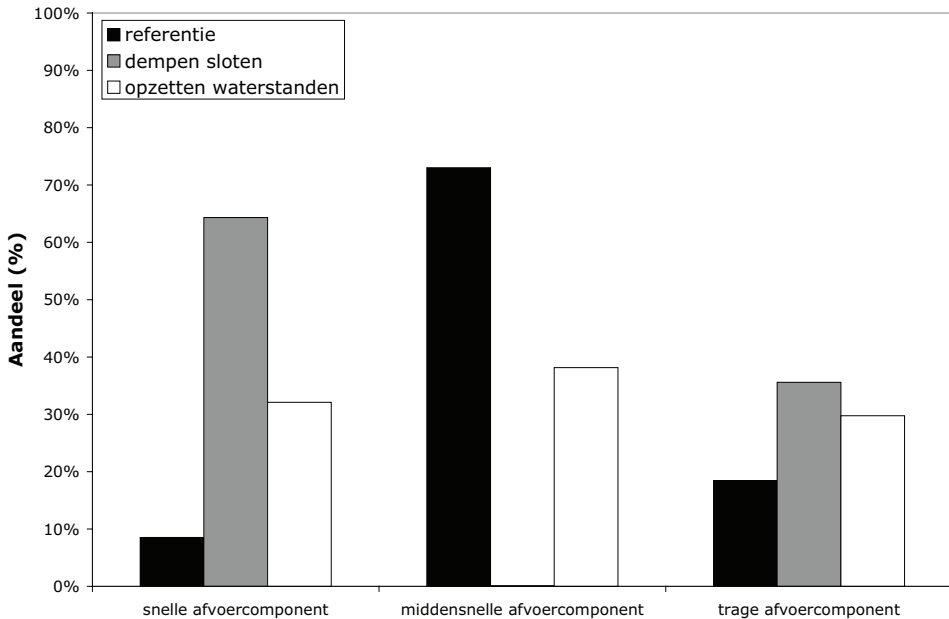
Door de verdrogingsbestrijding stijgen de grondwaterstanden in het stroomgebied. Als gevolg hiervan verandert ook de netto toestroming van grondwater naar het gebied. In de

referentiesituatie heeft het grondwatersysteem een lichte kwelbelasting van 0,23 mm/dag. Dit wijzigt als gevolg van de maatregelen in een situatie met een lichte wegzijging van 0,13 tot 0,22 mm/dag. De omslag van kwel naar wegzijging heeft tot gevolg dat minder water via de drainerende middelen het grondwatersysteem verlaat. In de referentiesituatie voert het oppervlaktewaterstelsel nog gemiddeld 1,71 mm/dag af. Dat daalt door de maatregelen naar 1,37 mm/dag voor het 'opzetten waterstanden' en tot 1,21 mm/dag voor het 'dempen van sloten'. Deze significante verschillen worden vrijwel geheel veroorzaakt door de omslag van kwel naar wegzijging. Andere aspecten, zoals de afname van de percolatie, de toename van de laterale uitstroming en de toename van de berging, spelen hierin slechts een marginale rol.

Tabel 1: Waterbalans van het stroomgebied (berekend met Simgro).

Waterbalanssterm (mm/dag)		referentie	dempen sloten	opzetten waterstanden
in	percolatie	1,59	1,57	1,58
	subinfiltratie vanuit waterlopen en drainbuizen	0,00	0,00	0,05
	kwel	0,23	0,00	0,00
	laterale instroming	0,03	0,03	0,03
uit	maaielddrainage, <i>snel</i>	-0,15	-0,78	-0,44
	drainage door waterlopen en drainbuizen, <i>mid-densnel</i>	-1,25	0,00	-0,52
	drainage door waterlopen en drainbuizen, <i>traag</i>	-0,32	-0,43	-0,41
	wegzijging	0,00	-0,22	-0,13
	laterale uitstroming	-0,03	-0,04	-0,04
berging	bergingsverandering	-0,10	-0,13	-0,12
	Totaal	0,00	0,00	0,00

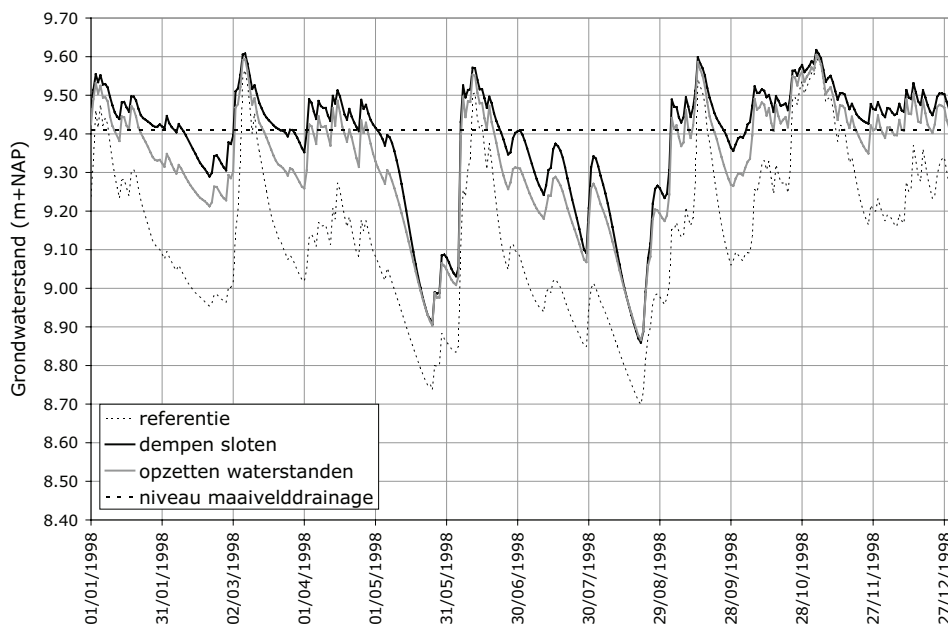
Naast de wijziging van de totale jaarlijkse afvoer via de drainerende middelen wijzigt als gevolg van de verdrogingsbestrijding ook de verdeling van de afvoer over de eerder genoemde snelle-, middensnelle- en trage afvoercomponent. Figuur 6 geeft de verdeling over de afvoercomponenten weer. In de referentiesituatie verlaat het meeste grondwater het stroomgebied via de relatief dichtbij gelegen waterlopen. De middensnelle component maakt hierdoor 73% uit van de totale afvoer via het oppervlaktewaterstelsel. De trage afvoercomponent levert daarna de grootste bijdrage met een aandeel van 18%, gevolgd door de snelle afvoercomponent met een bijdrage van 9%.



Figuur 6: Verdeling van afvoer over verschillende afvoercomponenten.

Door het dempen van sloten neemt het aandeel van de snelle afvoercomponent toe van 9% tot 64%. Figuur 7 laat de achtergrond van de toename zien. De grondwaterstand komt door de verdrogingsbestrijding vaker boven het niveau van de maaiveld drainage uit. Het aandeel van de middensnelle afvoercomponent reduceert door het dempen van sloten van 73% tot 0%, omdat de relatief dichtbij gelegen drainagemiddelen (de sloten) zijn gedempt. De resterende 34% van de afvoer vindt plaats via de relatief ver weg gelegen primaire waterlopen die representatief zijn voor de trage afvoercomponent.

Voor het opzetten van de waterstanden door het aanbrengen van stuwen neemt het aandeel van de snelle afvoercomponent toe van 9% tot 32%. Ook hier treedt de grondwaterstand vaker tot in het niveau van de maaiveld drainage (figuur 7). Het aandeel van de middensnelle afvoercomponent daalt van 73% tot 38%. De oorzaak hiervan is dat de oppervlaktewaterstanden in de drainerende middelen door de maatregel toenemen, met een daling van het beschikbare verval tussen grondwaterstand en oppervlaktewaterstand als gevolg. De trage afvoercomponent neemt door de maatregel toe van 18% tot 30%.

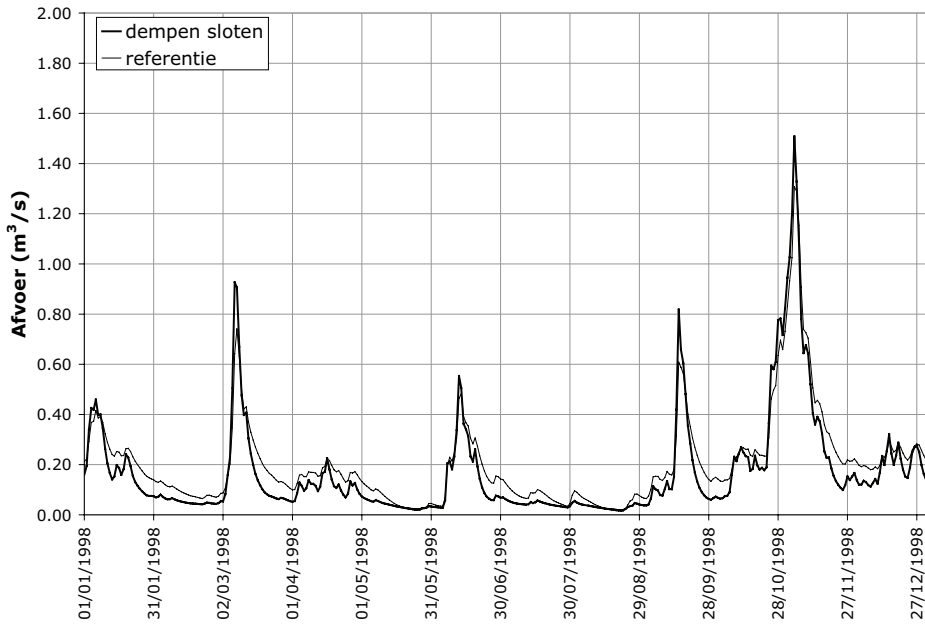


Figuur 7: Effecten verdrogingsbestrijding op grondwaterstanden.

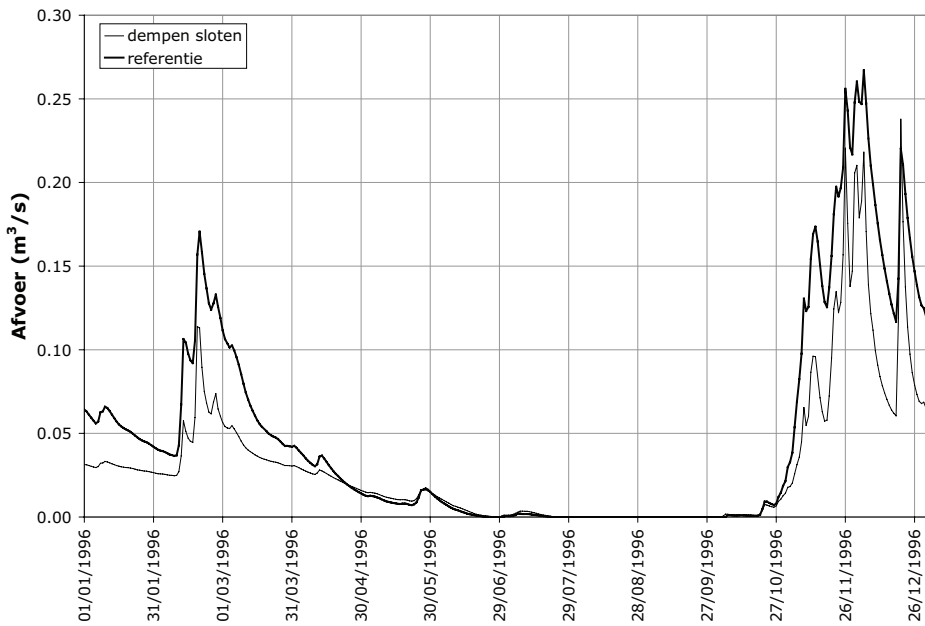
De hiervoor beschreven wijzigingen in de afvoer uit het stroomgebied als gevolg van de verdrogingsbestrijding zijn zichtbaar in het afvoerloop uit het stroomgebied. Figuur 8 en 9 zijn bijgevoegd om de effecten te illustreren voor een relatief nat en een relatief droog jaar. Omdat de effecten voor het opzetten van de waterstanden met stuwen vergelijkbaar zijn met de effecten van het dempen met sloten, is de eerstgenoemde maatregel voor de leesbaarheid niet in de figuren opgenomen.

Figuur 8 laat zien dat de piekafvoeren, zoals verwacht, door de verdrogingsbestrijding toenemen. De belangrijkste oorzaak hiervan is dat de grondwaterstanden vaker tot in de maaiveld drainage stijgen en de snelle afvoercomponent toeneemt. Doordat de middensnelle afvoercomponent afneemt zakt de afvoerpiek na het hoogwater sneller uit. In het natte jaar treden bijna geen afvoeren op in het lage afvoerbereik. Daarom beoordelen we voor dit jaar de effecten op het lage afvoerbereik niet.

Figuur 9 laat het afvoerloop voor een relatief droog jaar zien. Het jaar kent geen echte hoogwaterafvoeren, waardoor de snelle afvoercomponent in het jaar ontbreekt. Wel is zichtbaar dat de middensnelle afvoercomponent afneemt en dat de afvoeren in het lage bereik in mei en juni licht toenemen als gevolg van de verdrogingsbestrijding.



Figuur 8: Afvoerloop voor een relatief nat jaar.



Figuur 9: Afvoerloop voor een relatief droog jaar.

Discussie

Bij de schematisatie van beide onderzochte verdrogingsbestrijdingsmaatregelen stroomt het water in extreem natte omstandigheden via de maaiveld drainage en via het maaiveld direct af naar de waterlopen die het betreffende gebied ontwateren. Water wordt alleen op het maaiveld geborgen als de waterstanden in de waterlopen hoog oplopen en inundaties vanuit het oppervlaktewater optreden. Voor de maatregel 'opzetten van waterstanden' betekent dit dat het water direct terecht komt in de sloten of in de primaire watergangen. De afstand tot deze waterlopen is beperkt en het afstroomproces is in het basismodel afge-regeld (De Graaff e.a., 2006). Daarom wordt voor deze maatregel verwacht dat de bere-kende effecten een goed inzicht geven van wat er in de werkelijkheid zal gebeuren.

Na het nemen van de maatregel 'dempnen van sloten' geldt dat voor de afwatering alleen nog de primaire waterlopen in het onderzoeksgebied beschikbaar zijn. De afstand tot de afwateringsmiddelen neemt hierdoor voor een groot deel van het onderzoeksgebied toe. Het is daarbij de vraag of het water dat eerst via de maaiveld drainage of over het maaiveld tot afvoer kwam naar de sloten nu direct (of vrij snel) terechtkomt in de primaire waterlopen, of dat het water in lokale depressies achterblijft en daar weer infiltreert en via het grond-water tot afvoer komt.

Een belangrijk aspect daarbij is dat na het dempen van de sloten na verloop van tijd een natuurlijk afwateringssysteem kan ontstaan. Verwacht mag worden dat greppels en beek-jes in het landschap zullen ontstaan als het grondwater frequenter tot aan of op het maaiveld stijgt. Deze waterlopen kunnen de afvoer naar de primaire waterlopen regelen. Aan de andere kant zijn dit natuurlijke systemen die er niet op gericht zijn om plassen of meertjes die in natte tijden lokaal ontstaan te ontwateren. Doordat de afstand tot de primaire water-lopen toeneemt, neemt ook de kans toe dat het water lokaal op het maaiveld achterblijft. Dit overziende mag worden verwacht dat de berekende toename van de piekafvoeren voor het dempen van sloten een bovengrens geeft van wat voor het onderzoeksgebied aan piek-versterking zou kunnen optreden. Indien berging in lokale depressies significant is en er nauwelijks natuurlijke waterlopen ontstaan die het gebied afwateren, is de toename van de pieken beperkter en kunnen de afvoerpieken bij het dempen van sloten afnemen.

Conclusies

De uitgevoerde berekeningen laten zien dat de verdrogingsbestrijdingsmaatregelen effect hebben op de afvoer van het onderzoeksgebied. Door de maatregelen slaat de kwel om in wegzijging en daalt de jaarlijkse afvoer die via de waterlopen het stroomgebied verlaat met 20 tot 30 procent. Ondanks deze afname nemen de afvoerpieken met 20 tot 30 procent toe voor het opzetten van de waterstanden in de sloten. Een dergelijke verhoging treedt ook op bij het dempen van alle sloten in het onderzoeksgebied als het water dat in natte periodes via de maaiveld drainage en over het maaiveldoppervlak stroomt de primaire waterlopen bereikt. De toename van de pieken is minder sterk (de pieken kunnen zelfs dalen) als een significant deel van dit water in locale depressies achterblijft, daar infiltreert en vertraagd tot afvoer komt. Verder blijkt dat de afvoer in zeer droge periodes toeneemt. Maar deze toename is nauwelijks significant te noemen.

Voor de aquatische natuur in de primaire watergangen betekent dit dat het verhogen van de waterpeilen in de sloten tegen de KRW-doelstellingen ingaat. De maatregel vergroot

het verschil tussen minimale en maximale afvoeren (en stroomsnelheden). Voor het dempen van sloten is dit mogelijk ook het geval zoals hiervoor is beschreven. Voor de (natte) terrestrische natuur zijn de maatregelen positief omdat ze de grondwaterstanden in droge perioden verhogen en hiermee de verdroging van deze natuur tegengaan.

Literatuurverwijzingen

- Bergström, S. (1976)** Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments; SMHI Reports RHO, No. 7, Norrköping.
- Bergström, S. (1976)** Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments; proefschrift, SMHI Reports RHO No. 7, Norrköping.
- Bergström, S. (1992)** The HBV model - its structure and applications; SMHI Reports RH, No. 4, Norrköping.
- Bolt, F.J.E. van der, P.E. Dik en G. Hendriksen (2004)** Help AlterraAqua; Simgro 5.01, Wageningen.
- Burnash, R.J.C., R.L. Ferral en R.A. McGuire (1973)** A generalized Streamflow Simulation System – Conceptual modelling for Digital Computers; Technical report, Joint Federal and State River Forecast Center, U.S. National Weather Service and California Department of Water Resources, Sacramento, CA, 204 pag.
- Graaff, B.J.A. de, A.A. Veldhuizen en T. Botterhuis (2006)** Watersysteemanalyse Centrale Vallei; HKV-rapportage voor Waterschap Vallei & Eem, PR0887.20, Lelystad.
- Nielsen, S.A. en E. Hansen (1973)** Numerical simulation of the rainfall runoff proces on a daily basis; in: *Nordic Hydrology*, vol 4, pag 171–190.
- Walsum, P.E.V. van, A.A. Veldhuizen, P.J.T. van Bakel, F.J.E. van der Bolt, P.E. Dik, P. Groenendijk, E.P. Querner en M.F.R. Smit (2004)** Simgro 5.01, Theory and model implementation; Alterra-Report 913, ISSN 1566-7197, Wageningen.