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 oppervlaktewatersysteem 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.

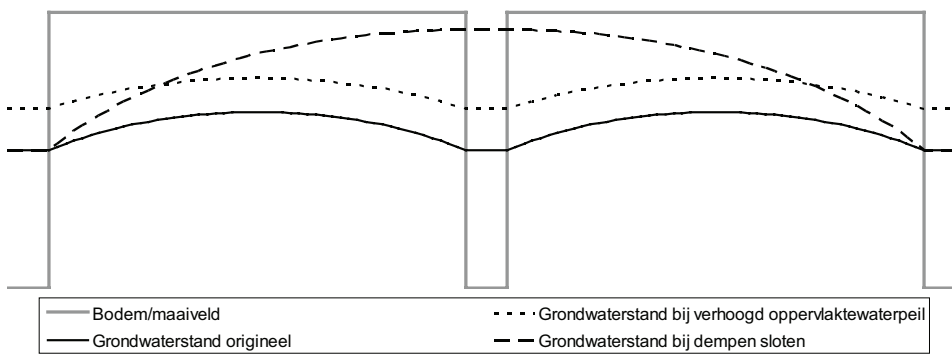
Naast de positieve effecten kwamen sinds het eind van de jaren tachtig ook de minder positieve gevolgen van de verbeteringswerken naar voren. Door het meer en sneller afvoeren van (grond)water treden verdrogingsverschijnselen op die met name de natte terrestrische natuur treffen. Sinds de jaren negentig 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.

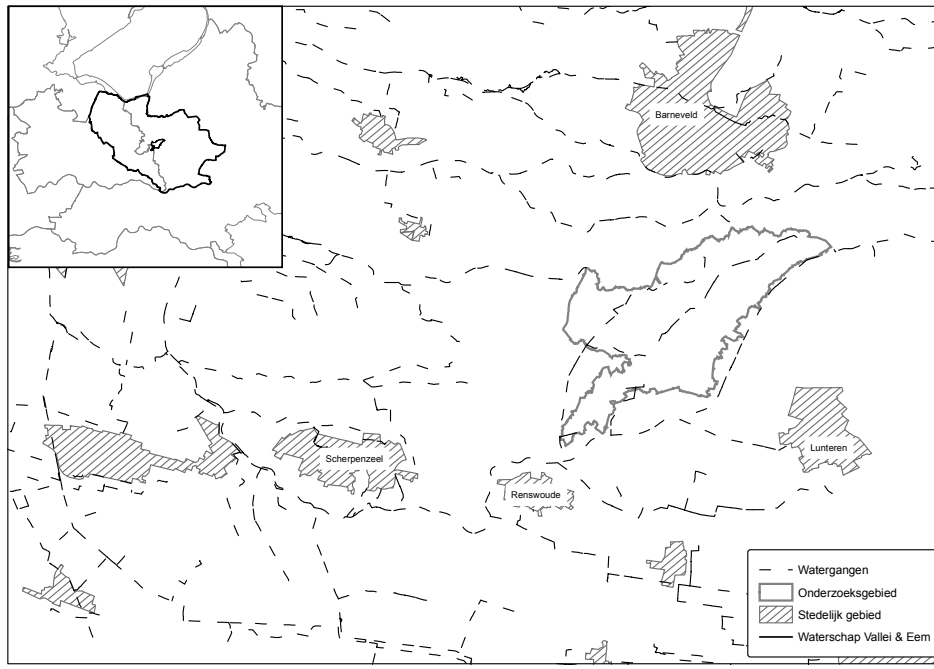
In dit artikel evalueren we de effecten van twee verdrogingsbestrijdingsmaatregelen op de afvoer, te weten: i) het verhogen van oppervlaktewaterpeilen en ii) het dempen van sloten. Figuur 1 geeft het concept van beide maatregelen weer voor natte situaties. Beide maatregelen zijn gericht op het verhogen 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 AlterrAqua. Voor achtergronden hierover verwijzen wij naar de AlterrAqua-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 terugstuwing als gevolg van hoog opgelopen benedenstroomse waterstanden veelal niet eenduidig zijn, corrigeert Simgro hiervoor. De Q(h)-relatie kan met AlterrAqua worden bepaald uit dwarsprofielgegevens, wandruwheidsgegevens en gegevens van kunstwerken. In dit onderzoek maken we voor het afleiden van Q(h)-relaties geen gebruik van AlterrAqua 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.

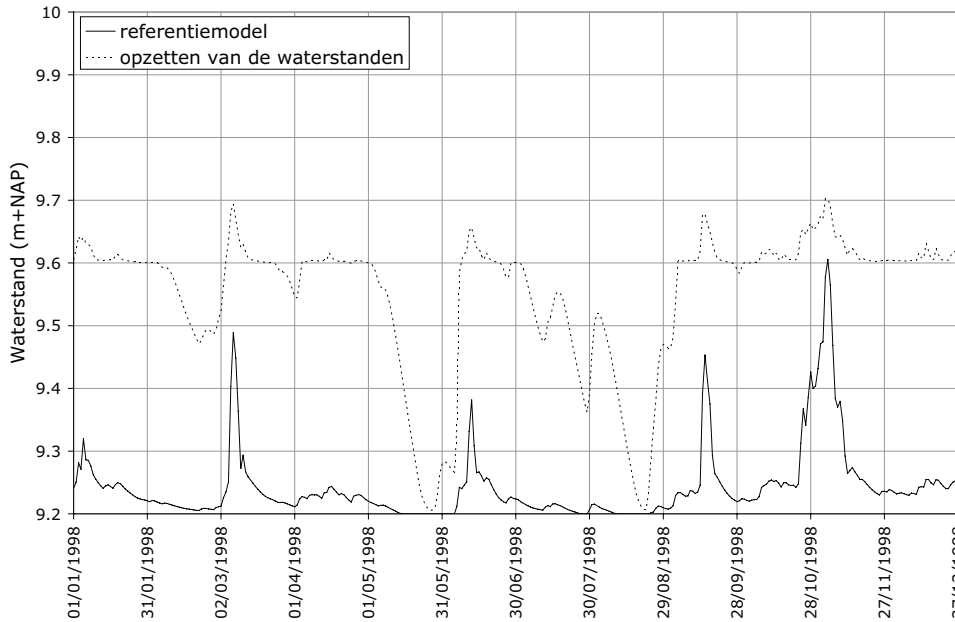
De resterende waterlopen (detailafwatering zoals greppels, sloten e.d.) worden normaliter in de Simgroschematisatie opgenomen als bergende elementen die zonder tussenkomst van andere waterlopen direct afwateren naar de hiervoor genoemde primaire watergangen.

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 stuwtjes 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 maaivelddrainage 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 maaivelddrainage 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 maaivelddrainage en via het maaiveldoppervlak 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 maaivelddrainage 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'.

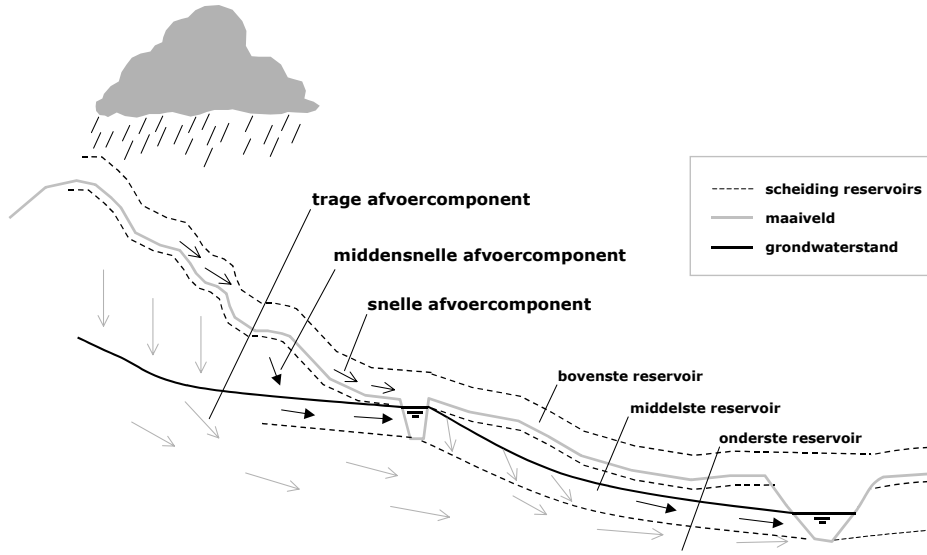
Analogie uit neerslag–afvoermodellering

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 afvoerverloop 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 bevriezing 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 maaivelddrainage (ordegrootte 10 tot 20 cm onder maaiveld). Doordat de afvoer naar het oppervlaktewaterstelsel plaatsvindt over het maaiveld of via de maaivelddrainage 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 (maaivelddrainage).

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.

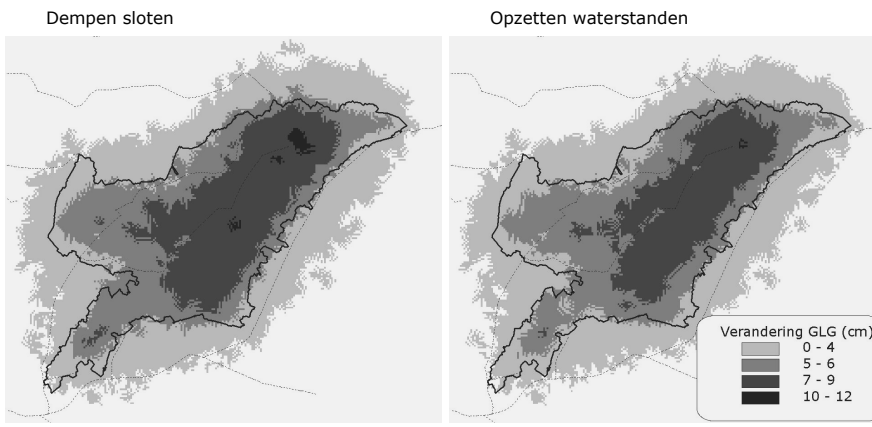
Wij schatten de middensnelle afvoercomponent in als de gesommeerde drainafvoer van

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 maaivelddrainage (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 maaivelddrainage, 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.

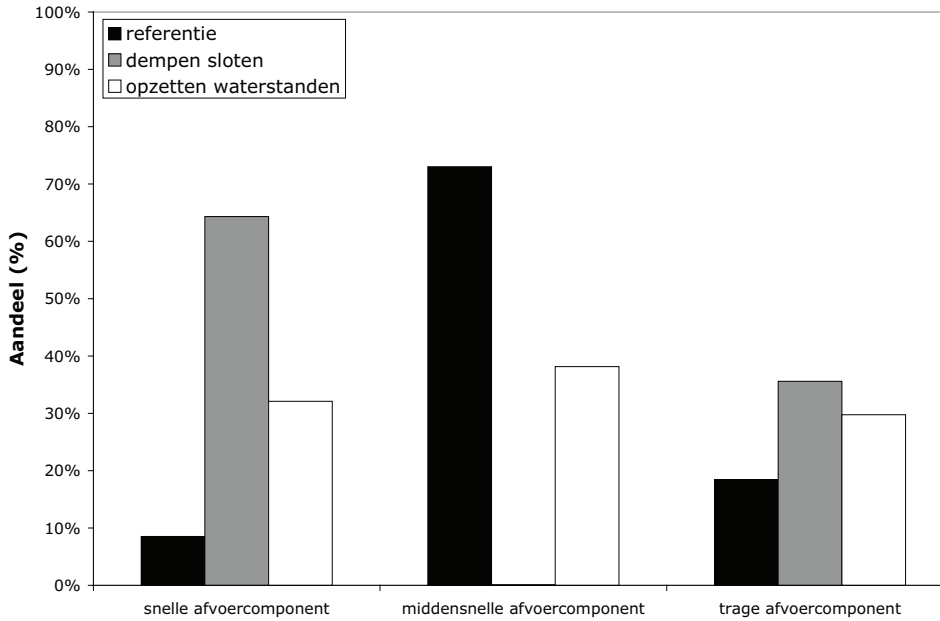
Door de verdrogingsbestrijding stijgen de grondwaterstanden in het stroomgebied. Als gevolg hiervan verandert ook de netto toestroming van grondwater naar het gebied. In de

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 oppervlaktewatersysteem 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).

Waterbalansterm (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	maaiveldrainage, *snel*	–0,15	–0,78	–0,44
	drainage door waterlopen en drainbuizen, *middensnel*	–1,25	0,00	–0,52
	drainage door waterlopen en drainbuizen, *traag*	–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

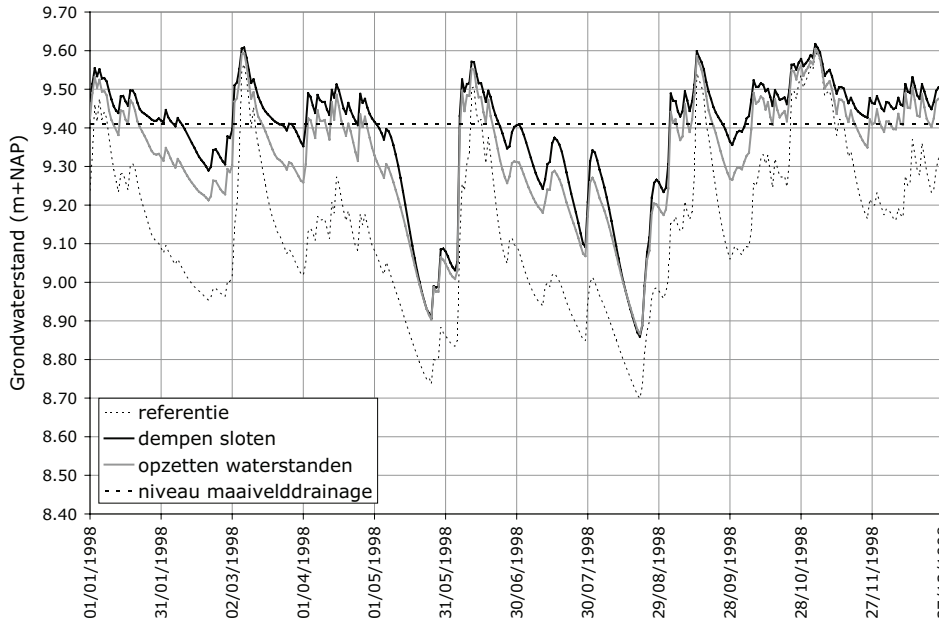
Naast de wijziging van de totale jaarlijkse afvoer via de drainerende middelen wijzigt als gevolg van de verdrogingsbestrijding ook de verdeling van de afvoer over de eerder genoemde snelle-, middensnelle- en trage afvoercomponent. Figuur 6 geeft de verdeling over de afvoercomponenten weer. In de referentiesituatie 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 maaivelddrainage 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 maaivelddrainage (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%.

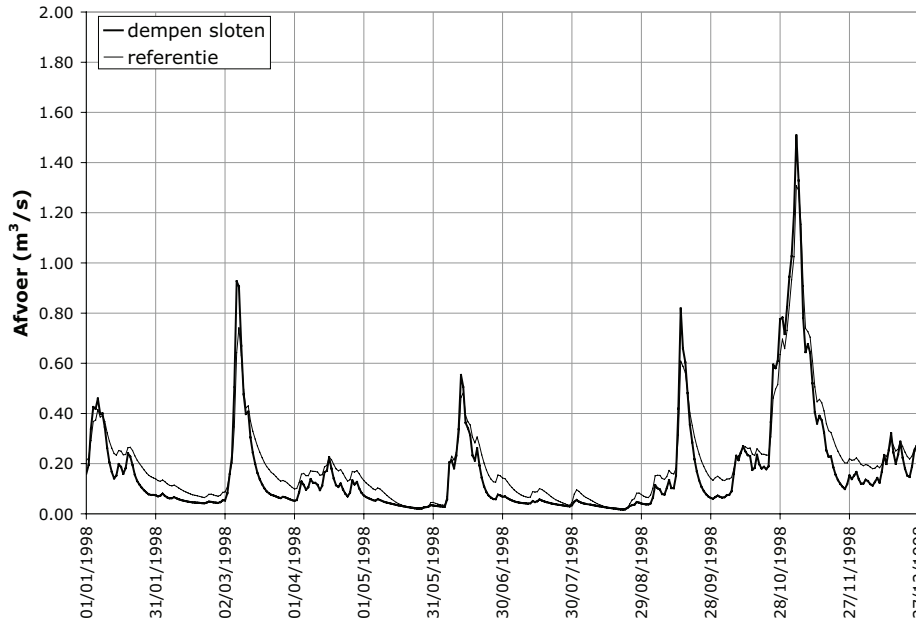


Figuur 7: Effecten verdrogingsbestrijding op grondwaterstanden.

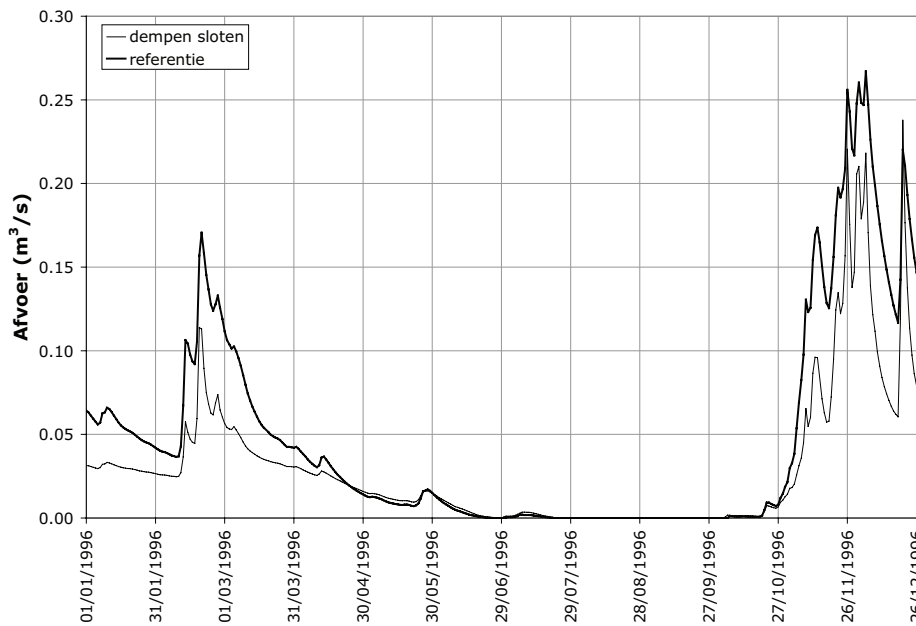
De hiervoor beschreven wijzigingen in de afvoer uit het stroomgebied als gevolg van de verdrogingsbestrijding zijn zichtbaar in het afvoerverloop uit het stroomgebied. Figuur 8 en 9 zijn bijgevoegd om de effecten te illustreren voor een relatief nat en een relatief droog jaar. Omdat de effecten voor 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 maaivelddrainage 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 afvoerverloop 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: Afvoerverloop voor een relatief nat jaar.



Figuur 9: Afvoerverloop voor een relatief droog jaar.

Discussie

Bij de schematisatie van beide onderzochte verdrogingsbestrijdingsmaatregelen stroomt het water in extreem natte omstandigheden via de maaivelddrainage 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 afgeregeld (De Graaff e.a., 2006). Daarom wordt voor deze maatregel verwacht dat de berekende effecten een goed inzicht geven van wat er in de werkelijkheid zal gebeuren.

Na het nemen van de maatregel 'dempen 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 maaivelddrainage 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 grondwater 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 beekjes 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 waterlopen 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 piekversterking 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 maaivelddrainage 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 AlterrAqua; 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.