
Gebiedsgerichte bestrijding van de verdroging in het Lage Raamgebied

Hydrologische en methodische aspecten

ir. P.B. Worm
dr.ir. P.J.T. van Bakel

In noordoost Brabant, op de overgang van Peelhorst naar Venloslenk, zijn de mogelijkheden voor verdrogingsbestrijding onderzocht. Het onderzoek is gebaseerd op integrale modellering van het gebied door een koppeling van een hydraulische modelcode aan een geohydrologische modelcode, in dit geval respectievelijk DUFLOW en MODFLOW. Deze koppeling is voor hellende gebieden, in combinatie met een uitgebreide hydrologische schematisatie, minder eenvoudig gebleken dan tot nu toe in diverse artikelen geschetst is. De problemen bij de koppeling zijn met name het gevolg van beperkingen van de gebruikte hydraulische modelcode. Doordat de waterlopen in het studiegebied voornamelijk drainerend zijn en daardoor een redelijk beheerst peilverloop gedurende het jaar kennen, kon met een eenzijdige koppeling toch voldoende resultaat behaald worden. Het artikel probeert collega-hydrologen te wijzen op de mogelijke problemen bij modelkoppeling en tevens te beargumenteren waarom de uiteindelijke gehanteerde eenzijdige koppeling te verdedigen is door beschrijving van het hydrologische systeem in het onderzoeksgebied.

1 Inleiding

Uit diverse studies blijkt dat in Nederland op grote schaal verdroging is opgetreden. De bestrijding ervan heeft beleidsmatig hoge prioriteit, hetgeen onder meer blijkt uit diverse beleidsnota's (Natuurbeleidsplan, Structuurschema Groene Ruimte, Derde Nota Waterhuishouding), rijksregelingen (OBN, GEBEVE, REGIWA¹) en gericht onderzoek (NOV²). Ook bij ruilverkavelingen in voorbereiding en uitvoering worden zoveel mogelijk maatregelen gepland die aan de bestrijding van de verdroging een bijdrage kunnen leveren. In dat kader werden in 1992 de Landinrichtingscommissies in Noord-Brabant door de directie LNO³ op de hoogte gebracht van het voornemen te zoeken naar haalbare inpassingen van het nieuwe beleid ten aanzien van verdroging. Door de Landinrichtingsdienst werd onder andere het rapport 'Advies over maatregelen om verdrogingseffecten te verminderen in de ruilverka-

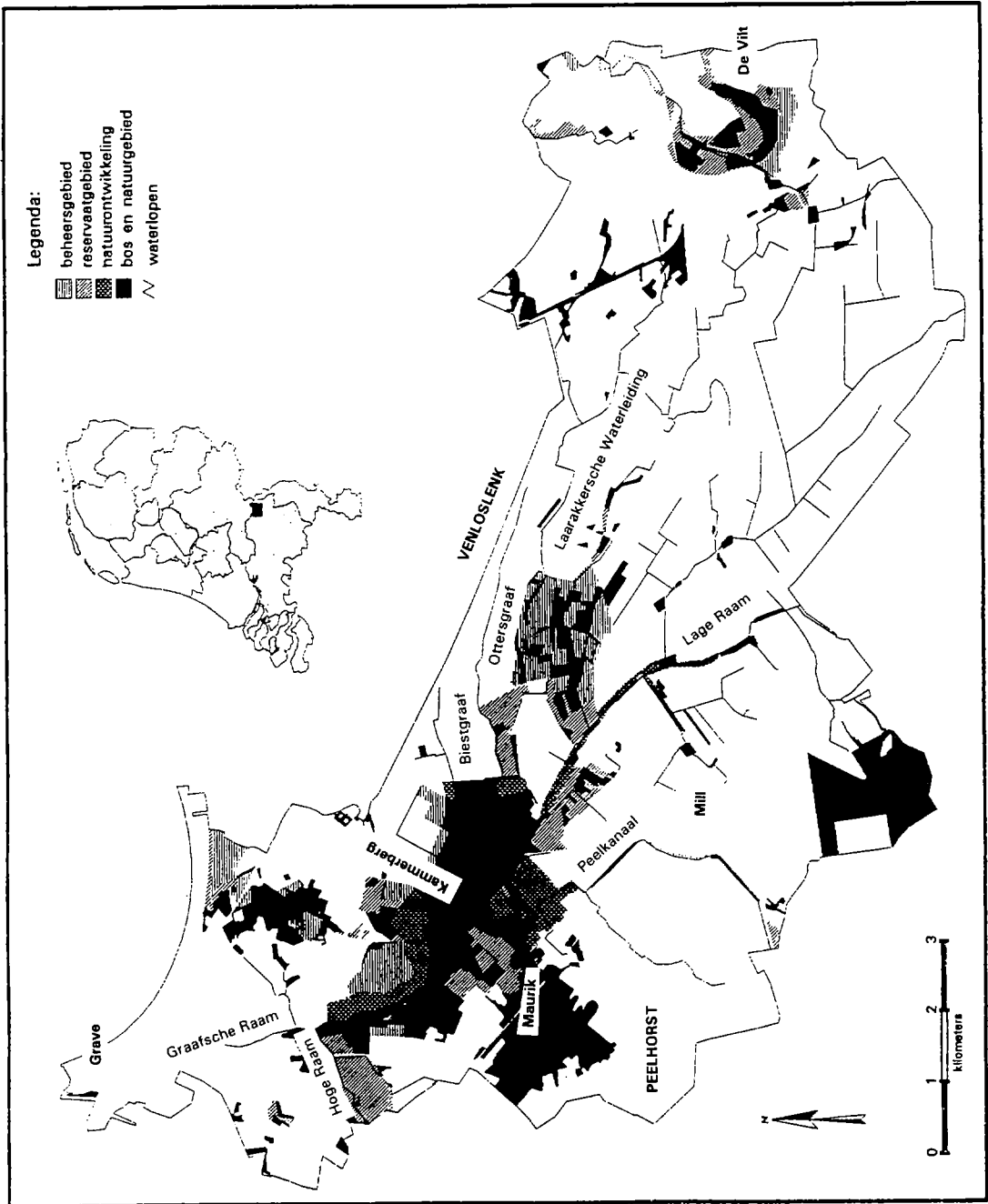
Bas Worm en Jan van Bakel zijn werkzaam bij:

Tauw Civiel en Bouw, Diepenveenseweg 159, 7413 AP Deventer, Tel (0570) 699300, Fax (0570) 699333

¹ OBN: Overlevingsplan Bos en Natuur; GEBEVE: Gebiedsgerichte Bestrijding van de Verdroging; REGIWA: Regionaal Integraal Waterbeheer

² NOV: Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging

³ LNO: Landbouw, Natuur en Openlucht recreatie



Figuur 1: Ligging van het studiegebied met daarin aangegeven de belangrijkste waterlopen

veling 'Land van Cuijk' opgesteld (Landinrichtingsdienst, 1994). In aansluiting hierop uitte het waterschap De Maaskant de wens tot nader onderzoek voor het Lage Raamgebied. Dit onderzoek is door Tauw Civiel en Bouw in de loop van 1995 uitgevoerd. De doelstelling van het onderzoek was het opstellen en zodanig uitwerken van varianten voor de gebiedsgerichte bestrijding van de verdroging in het Lage Raamgebied dat daarmee een verantwoorde beslissing genomen kan worden betreffende de uit te voeren waterbeheermaatregelen. Als randvoorwaarde bij genoemde doelstelling werd gesteld dat de (extra) landbouwschade buiten het EHS⁴-gebied als gevolg van hydrologische veranderingen nihil moest zijn.

Dit artikel gaat nader in op de methodische aspecten van de hydrologische modellering die is gehanteerd om de effecten van ingrepen te kunnen vaststellen, met als doel te wijzen op de problemen die zich kunnen voordoen bij integrale modelleringsmethodieken. Hier aan voorafgaand zal een korte beschrijving worden gegeven van het gebied en de verkregen inzichten in de werking van het hydrologische systeem.

2 Beschrijving van het studiegebied

Het GEBEVE-gebied Lage Raam is gelegen in Oost-Brabant, ruwweg in de rechthoek Grave–Cuijk–Oeffelt–Wanroij–Grave. Het gebied maakt deel uit van de ruilverkaveling 'Land van Cuijk'. De belangrijkste waterlopen in het gebied zijn het Peel- of Defensiekanaal, de Lage Raam, de Otters- en de Biestgraaf (zie figuur 1). Deze waterlopen liggen op de overgang van de Peelhorst naar de Venloslenk en in de slenk, op een hoogte van 10 à 12 m +NAP. De Lage Raam stroomt uit in de Graafsche Raam, die op haar beurt uitmondt in de Maas bij Grave. Daarnaast wateren enkele beken, ontspringend op de Peelhorst, ook af op de Graafsche Raam. De waterlopen vormen samen het stroomgebied van 'De Raam' met een oppervlakte van circa 12.000 ha. Het studiegebied zoals dat in figuur 1 weergegeven is, omvat niet het gehele stroomgebied maar een aanzienlijk deel ervan (circa 60%). De Lage Raam werd in de jaren '30 in het centrale deel verbeterd, verlegd en gestuwd. In 1971 vonden in het kader van de zogenoemde A2-werken wederom aanpassingen plaats ten behoeve van de ontwatering van bovenstroomse en aanliggende landbouwgronden (Landinrichtingsdienst, 1994).

Het gebied bestaat uit twee geohydrologisch verschillende gebieden: de Peelhorst en de Slenk van Venlo. De hydrologische basis is ondiep gelegen (15 m –mv op de Peelhorst en 25 m –mv in de Venloslenk). Mede daardoor is het hydrologisch systeem gevoelig voor beïnvloeding van waterkwaliteit en -kwantiteit in het gebied zelf. Het systeem wordt maar in beperkte mate beïnvloed door activiteiten die op enige afstand van het studiegebied plaatsvinden (Landinrichtingsdienst, 1994). De stroming van het freatische en diepere grondwater loopt globaal vanaf de Peelhorst naar de Maas toe (van ZW naar NO). Ten oosten van de Grave-breuk is de stroming noordwaarts. Deze breukzone werkt niet als een scheiding van het grondwatersysteem. De overgang van de Peelhorst naar de Venloslenk valt samen met de begrenzing van het stroomgebied van de Lage Raam. In het centrum van het stroomgebied is een kerngebied uit de Ecologische Hoofdstructuur gelegen (Landgoed Tongelaar en omgeving; zie figuur 1).

De grondwaterkwaliteit is in meer of mindere mate beïnvloed door menselijke activiteiten, waaronder bemesting. Dit uit zich in verhoogde chloride- en sulfaatgehalten. In de bos-

⁴ EHS: Ecologische hoofdstructuur

gebieden is verzuurd grondwater aangetroffen. Uit presentatie van de waterkwaliteit met behulp van Stiff-diagrammen en plaatsing in de MAION-typologie (Van Wirdum, 1986) is gebleken dat gedurende het jaar de antropogene beïnvloeding van het diepe en ondiepe grondwater in het gebied toeneemt.

3 Methodische aspecten van de modellering

3.1 Relatie tussen ingrepen en maatregelen

Vanuit de doelstelling van het onderzoek is gezocht naar manieren om de standplaatskwaliteit voor grondwaterafhankelijke natuurwaarden binnen de Ecologische Hoofdstructuur te verbeteren, zonder extra natschade voor landbouw buiten de EHS. Allereerst is daartoe een lijst opgesteld van (in hydrologische zin) effectief geachte, afzonderlijke hydrologische ingrepen (tabel 1). De hydrologische werking van elke ingreep is onderzocht middels simulatie van de hydrologie in de uitgangssituatie en de situatie waarbij een ingreep is gefingeerd. Elke ingreep kan worden gerealiseerd door het nemen van een of meerdere maatregelen (zie tabel 1). Door ingrepen te relateren aan maatregelen kunnen de hydrologische effecten van ingrepen worden bepaald.

Door presentatie van de gesimuleerde hydrologische toestand (in de vorm van ruimtelijke beelden van stijghoogten, kwel en drainage naar de onderscheiden ontwateringsmiddelen) in de uitgangssituatie, en van de veranderingen die het gevolg zijn van de ingreep, is een goed inzicht verkregen in de relevante hydrologische werking van het systeem. De aldus vastgestelde dosis-effectrelaties vormen enkele van de bouwstenen voor de synthese tot een pakket aan maatregelen.

Nadat de afzonderlijke maatregelen op hun kansrijkheid beoordeeld zijn (waarbij onder andere ook het aspect 'realiseerbaarheid' is meegenomen), is op basis daarvan een ruimtelijk gedifferentieerd pakket van maatregelen opgesteld, aangeduid als de (mogelijke) plansituatie. Het maatregelenpakket bestaat uit de verhoging van de winter- en zomerstreefpeilen (voornamelijk binnen de EHS) bij een aantal stuwen in de hoofdwatgangen en de plaatsing van een viertal nieuwe stuwen. Daarnaast wordt binnen de EHS een extensiever onderhoud van de waterlopen dan voorheen nagestreefd (gesimuleerd door verkleining van het natte profiel) en wordt binnen de EHS de detailontwatering (kavelsloten en greppels) gedempt, waarbij greppels in potentiële kwelgebiedjes uitgezonderd worden. Dit maatregelenpakket is vertaald in een ruimtelijk beeld van hydrologische ingrepen die zijn omgezet naar invoer voor het hydrologisch model. Vervolgens zijn de effecten gesimuleerd, analoog aan de reeds eerder beschreven werkwijze.

Tabel 1: Hydrologische ingrepen en bijbehorende maatregelen, zoals die kansrijk geacht worden in het Lage Raamgebied.

Maatregel ↓	Hydrologische ingreep			
	Hydrologische basis verhogen	Gebiedseigen water conserveren	Verhogen stormingsweerstand	Verminderen af-/ontwatering
Peilverhoging	x	x		
Extra kunstwerken	x	x	x	
Profiel verkleinen	x		x	
Waterlopen dempen	x	x	x	x

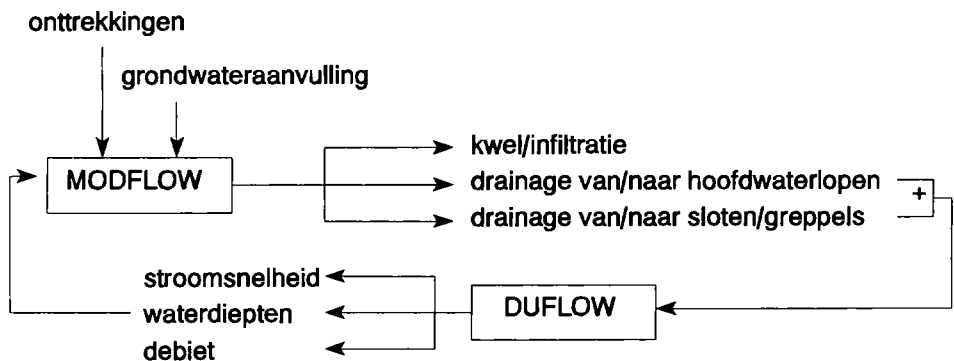
3.2 Koppeling tussen grondwater- en oppervlaktewatersysteem

Om de hiervoor beschreven resultaten te bereiken werd een methodiek ontwikkeld, gebaseerd op een koppeling tussen een hydraulische en een geohydrologisch modelcode, te weten DUFLOW en MODFLOW (voor een uitgebreide beschrijving van beide modelcodes wordt verwezen naar McDonald & Harbaugh (1988) en ICIM (1992)). De motiveringen hiervoor waren de volgende:

- in hellende delen van Nederland hangt de open-waterstand af van het drainagegebied, terwijl op haar beurt de grondwaterstroming in sterke mate wordt beïnvloed door de open-waterstand. Beide deelsystemen hangen dus onderling samen en dienen ook als zodanig te worden gemodelleerd;
- de effecten van hydraulische veranderingen moesten worden bepaald;
- de hydraulische effecten van ingrepen moesten ook worden vertaald naar effecten op aquatische ecosystemen.

Bij de koppeling van beide deelsystemen is een keuze mogelijk tussen een koppeling op afstand of een modelinterne koppeling (zie figuur 2 en Van Bakel, 1986). Bij een koppeling op afstand vindt geen directe uitwisseling van data plaats tussen de verschillende modelcodes. De gemaakte keuze voor een koppeling op afstand was vooral ingegeven door de beschikbaarheid van geschikte modelcodes.

De modellering van het oppervlaktewatersysteem werd aangepast op de modellering van het grondwatersysteem: in beide modelcodes werd dezelfde waterlopenstructuur ingevoerd. Elk MODFLOW-deelgebied (een min of meer geohydrologisch homogeen deelgebied) is gerelateerd aan een DUFLOW-knooppunt. Hierdoor ontstaat de koppeling tussen het oppervlakte- en het grondwatersysteem waardoor op niet-stationaire wijze de stroming van water in het open-watersysteem wordt gestuurd door de met MODFLOW berekende drainagefluxen. Omgekeerd dienen de met DUFLOW berekende open-waterstanden als randvoorwaarden voor het MODFLOW-model.



Figuur 2: Illustratie van het concept van een koppeling op afstand van een hydraulische en geohydrologische modelcode, in dit geval respectievelijk DUFLOW en MODFLOW

3.3 *Methodische en praktische problemen*

Aanvankelijk was het de opzet om de lek van eerste watervoerend pakket naar de deklaag als invoerflux voor de DUFLOW-knooppunten in te voeren. Dit bleek niet mogelijk doordat in het hydraulische model per tijdstap maar 1 invoerwaarde opgelegd kan worden. Deze beperking van de modelinvoer werd ondervangen door de in het grondwatermodel berekende drainage van/naar de hoofdwatgangen op te tellen bij de drainage door de sloten/greppels en dit te gebruiken als invoer voor het hydraulische model.

De koppeling op afstand verliep minder vlekkeloos dan verwacht als gevolg van een aantal (onvoorziene) problemen, voornamelijk bij de gebruikte hydraulische modelcode. Deze problemen staan niet allemaal op zichzelf maar zijn vaak weer onderling gerelateerd. Allereerst was de inleestijd van de in MODFLOW berekende drainagewaarden (36 decade-waarden per knooppunt voor 88 knooppunten) erg lang. Vervolgens gebeurde het meerdere keren dat reeds bij de eerste berekeningstijdstappen het model vastliep en de procedure opnieuw ingezet moest worden. De werkbaarheid was daarmee niet erg groot. Het vastlopen was het gevolg van het grote verhang in de waterlopen, waardoor de hydraulische schematisatie erg instabiel was: met name de bovenlopen bleken erg gevoelig voor droogvallen. De gebruikte hydraulische modelcode blijkt het proces van droogval niet te kunnen ondervangen. Dit noodzaakte tot het rekenen met een erg kleine tijdstap en het toepassen van kunstgrepen in de schematisatie (drempels en 'sleufjes'). Enkele delen van waterlopen die droog bleven vallen moesten uiteindelijk uit de hydraulische schematisatie verwijderd worden teneinde een 'lopend' model te krijgen. Hierdoor ontstond echter weer een koppelingsprobleem doordat een aantal homogene geohydrologische deelgebieden niet meer gerelateerd waren aan een hydraulisch knooppunt. Als gevolg van de kleine tijdstap kon slechts een periode van 2 maanden ineens doorgerekend worden, doordat het hydraulische model slechts een beperkt aantal tijdstappen door kan rekenen.

Gedurende deze studie bleek dat de koppeling tussen grondwater en oppervlaktewater bij meer instanties punt van aandacht was (Ngo & Booij, 1995; Ngo, 1996). In deze artikelen zijn resultaten van een modelinterne koppeling tussen DUFLOW en MODFLOW beschreven, aan de hand van cases waar de koppeling toegepast is voor relatief eenvoudige modelschematisaties (beperkt aantal knooppunten) en een beperkte door te rekenen periode. De koppeling tussen MODFLOW en DUFLOW, zoals die uitgevoerd werd voor het GEBEVE-project Lage Raam, kende een veel uitgebreidere modelschematisatie. Deze schematisatie bestond namelijk uit 132 knooppunten (101 secties en 30 kunstwerken), waarbij op 88 van deze knooppunten data vanuit het grondwatermodel werden ingevoerd. De vraag is nu hoe de door Ngo beschreven koppeling werkt bij een uitgebreide modelschematisatie, zoals bijvoorbeeld in deze situatie gebruikt is.

Bovenstaande geeft in het kort een indruk van het soort en het aantal problemen dat men bij een koppeling tussen twee modelcodes kan ondervinden die niet met het oogmerk van een eventuele koppeling ontworpen zijn. De mogelijke problemen liggen voornamelijk op het gebied van rekentijd, capaciteit en schematisatie(aanpassingen). Ondanks de problemen is het toch gelukt om een betrouwbare hydrologische systeembeschrijving en effectvoorspelling te verkrijgen ("zonder problemen geen intelligentie": uit het wetenschapskatern van de Volkskrant). Door middel van een eenzijdige koppeling (eenzijdige invoer van de geohydrologische uitkomsten in het hydraulische model) kon voldoende informatie verkregen worden over grondwaterstroming, kwel, infiltratie en drainage. Voor het hydrologische systeem in het Lage Raamgebied is de eenzijdige koppeling niet bezwaarlijk gebleken

doordat de waterlopen gedurende het gehele jaar voornamelijk drainerend zijn in plaats van infiltrerend (met uitzondering van enkele bovenloopjes). Hierdoor wijken de werkelijke open-waterstanden weinig af van de streefpeilen (die als randvoorwaarde in het MOD-FLOW-model fungeren). Met andere woorden: de gemodelleerde waterlopen hebben een redelijk beheerst peil(verloop), ook gedurende de zomer. Dit leidt er toe dat de in het geohydrologische model opgelegde streefpeilen een goede benadering van de werkelijke peilen zijn en zodoende de berekende grondwaterstanden en fluxen een goede benadering van de werkelijkheid zijn.

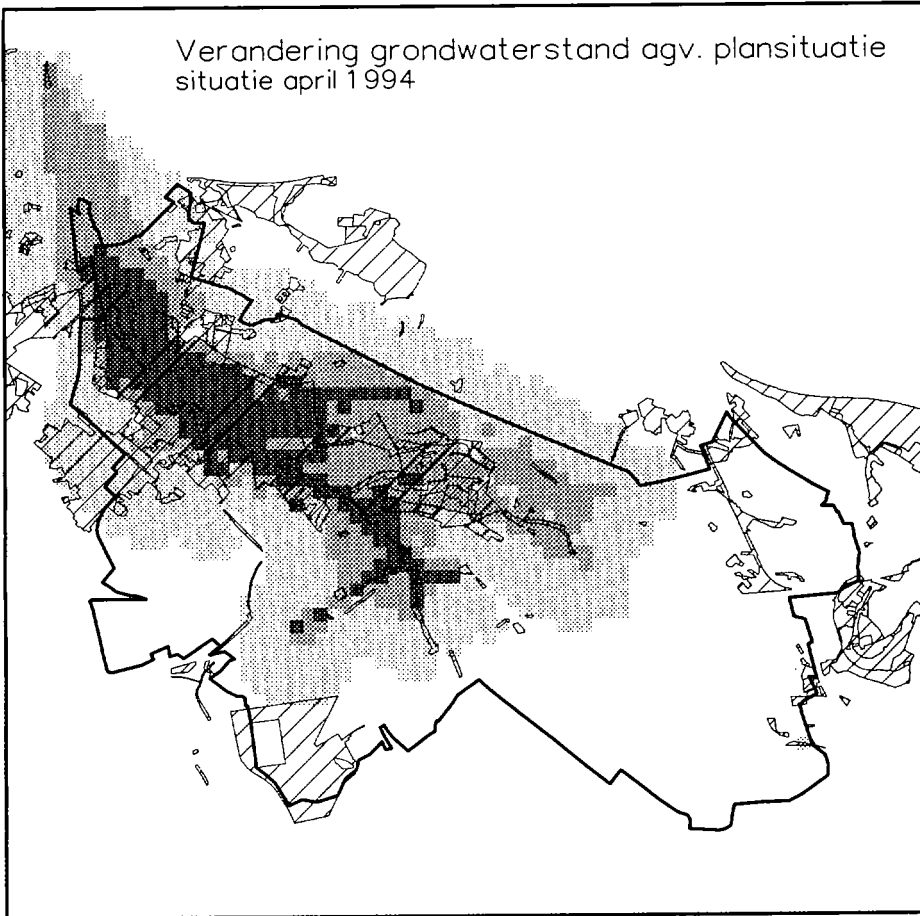
4 Resultaten

De effecten van het uiteindelijk samengestelde maatregelenpakket op grondwaterstanden en kwelfluxen blijken fors te zijn: in april zijn de grondwaterstanden enkele decimeters hoger tot een maximum van 1,0 m (zie figuur 3). In oktober zijn de grondwaterstandsverhogingen in de landbouwgebieden op de meeste plaatsen kleiner dan 0,25 m. In de directe nabijheid van de grote waterlopen (Graafsche Raam, Lage Raam en Peelkanaal) neemt de kwel door de deklaag af als gevolg van de peilverhogingen, de kwelsituatie blijft echter zowel in het winterhalfjaar als in het zomerhalfjaar gehandhaafd. Ook nabij de Otters- en Biestgraaf treedt een minder grote kweldruk op als gevolg van de peilverhogingen.

Door de verhoging van de open-waterstanden neemt de drainage naar de hoofdwaterlopen af. Deze afname is op de meeste plaatsen groter dan de afname van de kwel, zodat de drainage naar sloten en greppels toeneemt. Dit mechanisme wordt verduidelijkt in figuur 4.

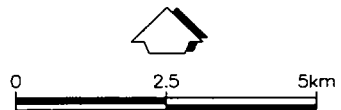
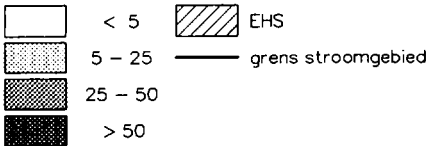
Als gevolg hiervan wordt het neerslagoverschot oppervlakkiger afgevoerd waardoor de scheiding tussen neerslagwater en kwelwater dichterbij het maaiveld komt te liggen. Door de aanwezige ondiepe begreppeling wordt vorming van neerslaglenzen in meer of mindere mate voorkomen en wordt de kans groter dat het kwelwater tot in de standplaats van terrestrische vegetatie kan komen. De hydraulische werking van de maatregelen (met name de peilverhogingen) resulteert in de plansituatie in hogere waterstanden, lagere stroomsnelheden en nauwelijks in veranderingen in de afvoer.

Uit voorgaande kan geconcludeerd worden dat het (mogelijke) maatregelenpakket aanzienlijke vernattingseffecten tot gevolg heeft. Grotendeels doen deze effecten zich voor op locaties die een natuur(ontwikkelings)bestemming hebben en hier mee gebaat zijn: de vernatting en kwelverschuiving van waterloop naar maaiveld verbeteren de standplaatsomstandigheden in de plansituatie voor (grond)waterafhankelijke vegetatietypen zoals moerasvegetaties, gras-/hooilanden, vochtige heidetypen en beekbegeleidende bossen.



Legenda

Verandering grondwaterstand [cm]



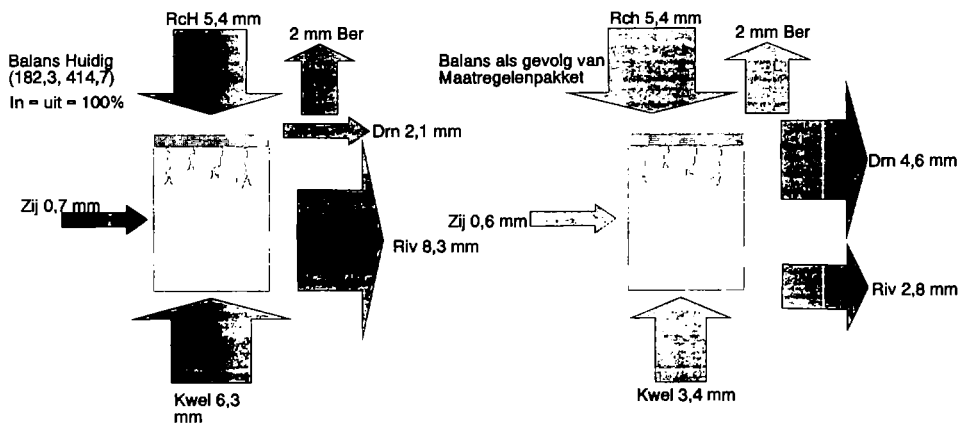
Figuur 3: Berekende verandering van de grondwaterstanden in het Lage Raamgebied als gevolg van het maatregelenpakket, dit is voornamelijk het opzetten van de peilen in de hoofdwaterlopen binnen de EHS.

5 Conclusies

De belangrijkste inhoudelijke conclusie die uit deze studie getrokken kan worden, is dat met behulp van ingrepen in de oppervlaktewaterhuishouding aanzienlijke effecten in het totale watersysteem van de Lage Raam bereikt kunnen worden. Met name het verhogen van de streefpeilen lijkt in dit opzicht een erg effectieve maatregel te zijn, dankzij de aanwezige kwel in het gebied. Het verhogen van de streefpeilen is van invloed gebleken op de ligging en sterkte van deze kwellocaties. In het studiegebied treedt in de huidige situatie zowel kwel in de Biest- als de Ottersgraaf op. Door een peilverhoging in de Biestgraaf zal de kwel hier afnemen en verschuift deze naar de Ottersgraaf ('doorschieten'). Hieruit kan geconcludeerd worden dat voor een verplaatsing van kwel van waterloop naar (de standplaats in) aanliggende percelen een min of meer integrale peilverhoging nodig is.

Een belangrijke technische conclusie is dat het in beeld brengen van effecten door koppeling van een grond- en oppervlaktewaterssysteem mogelijk is, maar bij de in dit verhaal geschetste combinatie van DUFLOW en MODFLOW in de praktijk op de nodige problemen stuit. Eén van de belangrijkste aandachtspunten hierbij is wel de hydraulische modelcode: deze moet bij modellering in pleistocene gebieden om kunnen gaan met droogval (een verschijnsel dat met name in (bovenlopen van) beeksystemen 'natuurlijk' genoemd mag worden), en voldoende invoer- en verwerkingscapaciteit hebben.

De uiteindelijk gevolgde werkwijze van een eenzijdige koppeling op afstand is zeker niet geschikt voor de meeste gebieden in het hoge deel van Nederland. Zodra de open-waterstand in droge perioden daadwerkelijk afhangt van het drainagegebied is een tweezijdige koppeling van de modellen voor resp. de grondwaterstroming en het oppervlaktewaterssysteem noodzakelijk. Indien daarbij wordt gekozen voor een koppeling op afstand is het zeer de vraag of het oppervlaktewaterssysteem moet worden gemodelleerd met DUFLOW. Dit model is toch vooral ontwikkeld voor poldersituaties en is bovendien in de tijd veel te gedetailleerd om lange reeksen werkbaar door te rekenen.



Figuur 4: De berekende grootte van de verschillende balansposten in de huidige situatie en als gevolg van de voorgestelde maatregelen in mm/d voor een MODFLOW-cel in de directe omgeving van de Ottersgraaf in het zomerhalfjaar. RcH = nuttige neerslag, Ber = beregening, Zij = laterale toestroming, Drn = drainage via sloten en greppels, Riv = afvoer via grote waterlopen.

Referenties

- Bakel, P.J.T. van (1986)** Planning, design and operation of surface water management systems. A case study; Proefschrift Landbouwhogeschool Wageningen.
- Bakel, P.J.T. van, & P.B. Worm (1996)** GEBEVE Lage Raam: eindrapport; Tauw Civiel en Bouw, Deventer, in opdracht van Waterschap De Maaskant, Oss.
- ICIM (1992)** DUFLOW, a micro-computer package for the simulation of one-dimensional unsteady flow and water quality in open channel systems.
- Landinrichtingsdienst (1994)** Advies over maatregelen om verdrogingseffecten te verminderen in de ruilverkaveling 'Land van Cuijk'.
- McDonald, M.G. & A.W. Harbaugh (1988)** A Modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model; US-Geological Survey.
- Ngo, X.T. & N. Booij (1995)** Koppeling tussen een grondwatermodel en een oppervlaktewatermodel; in: *H₂O*, jrg 28, nr 27, pag 513-518.
- Ngo, X.T. (1996)** Een praktische toepassing van het gekoppelde model MODUFLOW; in: *Stromingen*, jrg 1, nr 2, pag 19-30.
- Tauw Civiel en Bouw (1995)** Technisch Deelrapport Lage Raam; Tauw Civiel en Bouw & Tauw Milieu, Deventer, in opdracht van Waterschap De Maaskant, Oss.
- Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum (1988)** Cultuurtechnisch Vademecum; Cultuurtechnische Vereniging, Utrecht.
- Wirdum, G. van (1986)** MAION: Evaluation of the major ionic composition of natural waters; Rijksinstituut voor Natuurbeheer.