

Verhogen van de basisafvoer van de Drentse Aa

Verkennen van mogelijke maatregelen

F.J.E. van der Bolt

A.A. Veldhuizen

P.J.T. van Bakel



Alterra-rapport 173, ISSN 1566-7197

Verhogen van de basisafvoer van de Drentse Aa

Verhogen van de basisafvoer van de Drentse Aa

Verkennen van mogelijke maatregelen

F.J.E. van der Bolt

A.A. Veldhuizen

P.J.T. van Bakel

Alterra-rapport 173

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2000

REFERAAT

F.J.E. van der Bolt, A.A. Veldhuizen en P.J.T. van Bakel, 2000. Vergroten van de basisafvoer van de Drentse Aa; *Verkennen van mogelijke maatregelen*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 173. 74 blz. 4 fig.; 1 tab.; 4 ref.

De effecten van maatregelen om de basisafvoer van de Drentse Aa te verhogen op de basisafvoer, de grondwaterstanden en de kwelfluxen in de beekdalen zijn gesimuleerd met het pseudo-driedimensionale, niet-stationaire (grond)waterstromingsmodel SIMGRO. Sluiten van de drinkwaterwinningen binnen het gebied heeft het grootste effect op de basisafvoer. De maximaal te realiseren toename van de basisafvoer met de gedefinieerde maatregelen wordt geschat op 10 tot 15%.

Trefwoorden: Afvoeren, waterhuishouding, ROM/WCL, Drentse Aa, Drente, SIMGRO.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 78,75 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 173. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2000 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC). De fusie is ingegaan op 1 januari 2000.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Methode	13
3 De uitgangssituatie	15
3.1 Het model	15
3.2 Resultaten	15
4 De maatregelen	19
4.1 Selectie van de maatregelen	19
4.1.1 Indeling van maatregelen	19
4.1.2 Mogelijke maatregelen en hun waarschijnlijke effectiviteit	20
4.1.3 De maatregelen	22
4.2 Resultaten	23
5 Discussie	31
6 Conclusies	35
Literatuur	37
 <i>Aanhangsels</i>	
1 Maatregel 1	39
2 Maatregel 2	43
3 Maatregel 3	47
4 Maatregel 4	51
5 Maatregel 5	55
6 Maatregel 6	59
7 Maatregel 7	63
8 Stoppen drinkwaterwinning Zuidlaren	67
9 Een afvoerhydrologische systeemanalyse	71

Woord vooraf

In opdracht van het waterschap Hunze en Aa en de provincie Drenthe is recent door TauwMabeg civiel en bouw bv, in samenwerking met SC-DLO, een verkennende studie uitgevoerd naar de hydrologische effecten van maatregelen die in het stroomgebied van de Drentse Aa zijn genomen (Marsman et al., 1998). Twee doelstellingen van het ROM/WCL-project Drentse Aa; namelijk het verhogen van grondwaterstanden in en langs de beekdalen en het realiseren van een toename van de kwelfluxen, worden in grote delen van het gebied gerealiseerd. Plaatselijk kunnen de maatregelen ook tot een afname van de kwelfluxen leiden. De derde doelstelling, verhogen van de lage afvoeren wordt met de uitgevoerde en geplande maatregelen niet gerealiseerd. Verhogen van de basisafvoer is gewenst zowel voor de aquatische ecologie (zo geleidelijk mogelijk afvoerverloop) als voor de drinkwaterwinning (minimaal niveau nastreven). Alterra is door het waterschap Hunze en Aa gevraagd de mogelijkheden om de basisafvoeren te vergroten te onderzoeken om daarmee ook de derde doelstelling te realiseren. Verhogen van de basisafvoer mag echter niet ten koste gaan van de ondiepe grondwaterstanden en kwelfluxen in de natte natuurgebieden.

Dit onderzoek is begeleid door een werkgroep bestaande uit:

- J. van Roon (voorzitter) waterschap Hunze en Aa's
- R. van Veen provincie Drenthe, productgroep Ruimte en Water
- H. Brink Staatsbosbeheer, regio Groningen-Drenthe
- U. Vegter waterschap Hunze en Aa's

'Op afstand' heeft ook dhr. J. Geraedts (DLG-Assen) met de werkgroep meegedacht.

Samenvatting

Recent is een verkennende studie uitgevoerd naar de hydrologische effecten van de ROM/WCL-maatregelen die in het stroomgebied van de Drentse Aa zijn genomen (Marsman et al., 1998). Twee doelstellingen van het ROM/WCL-project Drentse Aa; namelijk het verhogen van grondwaterstanden in en langs de beekdalen en het realiseren van een toename van de kwelfluxen, worden in grote delen van het gebied gerealiseerd. De derde doelstelling, verhogen van de lage afvoeren wordt met de uitgevoerde en geplande maatregelen niet gerealiseerd. Verhogen van de basisafvoer is gewenst zowel voor de aquatische ecologie (zo geleidelijk mogelijk afvoerloop) als voor de drinkwaterwinning (minimaal niveau nastreven).

Doel van deze studie is te verkennen of het mogelijk is de basisafvoer in het Drentse Aa gebied te verhogen zonder dat dit ten kost gaat van de ondiepe grondwaterstanden of de kwelfluxen.

De effecten van de mogelijke maatregelen om de basisafvoer te vergroten zijn berekend met het modelinstrument waarmee eerder de effecten van de ROM/WCL-maatregelen zijn bepaald (Marsman et al., 1998). De schematisering is aangepast om de effecten van hoogteverschillen binnen het gebied beter weer te geven. Het aangepaste, niet gecalibreerde model beschrijft het afvoergedrag van de Drentse Aa voor het doel van deze studie voldoende adequaat. De resultaten van deze studie geven een goede indicatie van de te verwachten effecten, omdat de basisafvoer wordt overschat kan het effect van de maatregelen in de praktijk groter zijn.

De uitgangssituatie is gedefinieerd als het combinatie-scenario van Marsman et. al. (1998) plus stopzetten van drinkwaterwinning Zuidlaren. Het effect van stopzetten van Zuidlaren is gekwantificeerd (maatregel 0).

De effecten van de volgende 7 maatregelen zijn berekend ten opzichte van de uitgangssituatie:

1. Infiltratie in 50% van alle stedelijk gebied.
2. Omzetten van naaldbos in natuurbos (eiken-berkenbos, geringere verdamping).
3. Vervangen alle akkerbouw en maïs door granen (kleinere verdamping).
4. Waterwinning Assen stoppen.
5. Hermeanderen van de beken ten zuiden van Loon.
6. Verondiepen drainagebasis en verkleinen afvoercapaciteit bij diepe oppervlakte-waterstanden in landbouwgebieden.
7. Waterconservering in de bovenstroomse bosgebieden.

De maatregelen die voeding van gebied vergroten leiden tot een toename in de gemiddelde afvoer en in mindere mate tot een toename van de basisafvoer. De verdeling van de afvoeren over de seizoenen wordt weinig beïnvloed.

Stoppen van de drinkwaterwinningen blijkt de grootste toename van de basisfvoeren te leveren. Ten opzichte van de situatie met ROM/WCL-maatregelen neemt de basisafvoer door stoppen van de winningen Zuidlaren en Assen met ongeveer 9% toe. Ook de accoladeprofielen bieden perspectief. Door optimaliseren van de accoladeprofielen en combinatie met andere maatregelen kan mogelijk een additionele toename van 5% van de basisafvoer worden bereikt. De effecten zijn beperkt als gevolg van de ondiepe grondwaterstanden die binnen het gebied zijn gerealiseerd. De gewenste verhoging van de basisafvoer (toename van meer dan 100%) wordt bij lange na niet bereikt.

De vraag rijst of in de (half)natuurlijke situatie van het beekdalsysteem de basisafvoer groter is geweest dan nu en of de doelstelling vergroten van de basisafvoer wel past binnen de overkoepelende doelstelling realiseren van een natuurlijk beekdalsysteem. Inzicht in de historische waterhuishouding ontbreekt.

Alle maatregelen leiden tot een toename van de voorjaargrondwaterstanden. Ook de kwel neemt in de meeste maatregelen toe. Alleen hermeanderen en verondiepen van de waterlopen ten zuiden van Loon leiden tot een afname van de kwelfluxen in de beekdalen, de kwel verschuift bij deze maatregel naar de naastgelegen gronden. De doorgerekende maatregelen hebben de potentie om de doelstellingen m.b.t. de grondwaterstanden en kwelfluxen aanvullend op de ROM/WCL-maatregelen verder te realiseren.

1 **Inleiding**

Het stroomgebied van de Drentse Aa behoort tot de meest gave voorbeelden van een goed functionerend beekdalsysteem in het hellende deel van Nederland. De bescherming en ontwikkeling van het stroomgebied in de gewenste richting zijn in diverse beleidsdocumenten vastgelegd. De realisatie van de in deze documenten beschreven plannen is in volle gang. Een van de instrumenten daarbij is de aanwijzing tot ROM-gebied. In dat kader is door het waterschap Hunze en Aa uitvoering gegeven aan de plannen voor een (gedeeltelijk) herstel van de gewenste hydrologische situatie.

De gewenste hydrologische situatie voor het gebied van de Drentse Aa is een situatie, die gericht is op een zo optimaal mogelijke waterhuishoudkundige situatie voor de natuurwaarden in het beekdal en op ondersteuning van de oppervlaktewaterwinning. Het beheer wordt afgestemd op kwelafhankelijke beekdalvegetaties en een natuurlijk ecosysteem in de beek. Dit betekent dat de grondwaterstand in het beekdal in de winter en in het voorjaar tot in het maaiveld komt en in de zomer niet ver beneden het maaiveld daalt. In de direct aan het beekdal grenzende gronden wordt tevens een zo hoog mogelijke grondwaterstand nagestreefd. Verder dient er gedurende het gehele jaar een kwelsituatie in het beekdal te zijn. Ten opzichte van de huidige situatie moet de kwelintensiteit hiervoor toenemen. Ten aanzien van de oppervlaktewaterwinning voor drinkwater is naast ondersteuning het beheer gericht op een eventuele uitbreiding van de winning.

Recent is een verkennende studie uitgevoerd naar de hydrologische effecten van de ROM/WCL-maatregelen die in het stroomgebied van de Drentse Aa zijn genomen (Marsman et al., 1998). Twee doelstellingen van het ROM/WCL-project Drentse Aa; namelijk het verhogen van grondwaterstanden in en langs de beekdalen en het realiseren van een toename van de kwelfluxen, worden in grote delen van het gebied gerealiseerd. Plaatselijk kunnen de maatregelen ook tot een afname van de kwelfluxen leiden. De derde doelstelling, verhogen van de lage afvoeren wordt met de uitgevoerde en geplande maatregelen niet gerealiseerd. Verhogen van de basisafvoer is gewenst zowel voor de aquatische ecologie (zo geleidelijk mogelijk afvoerverloop) als voor de drinkwaterwinning (minimaal niveau nastreven). Verhogen van de basisafvoer mag echter niet ten koste gaan van de ondiepe grondwaterstanden en kwelfluxen in de natte natuurgebieden.

Doel van deze studie is te verkennen of het mogelijk is de basisafvoer in het Drentse Aa gebied te verhogen zonder dat dit ten koste gaat van de ondiepe grondwaterstanden of de kwelfluxen.

Dit rapport beschrijft de selectie van mogelijke maatregelen en de effecten die het gevolg zijn van deze maatregelen. Hoofdstuk 2 beschrijft de gevolgde werkwijze. In hoofdstuk 3 wordt de Ausgangssituatie gedefinieerd en beschreven. Hoofdstuk 4 beschrijft de selectie van maatregelen en de effecten van de gekozen maatregelen. In hoofdstuk 5 volgt de discussie. Hoofdstuk 6 bevat de conclusies.

2 Methode

Om te beginnen zijn de mogelijke maatregelen om de basisafvoer te vergroten geïnventariseerd. In een workshop met de begeleidingscommissie zijn de mogelijke maatregelen om de basisafvoer te vergroten besproken en zijn de door te rekenen maatregelen gedefinieerd.

De effecten van de mogelijke maatregelen om de basisafvoer te vergroten zijn berekend met het modelinstrument waarmee eerder de effecten van de ROM/WCL-maatregelen zijn bepaald (Marsman et al., 1998). Dat modelinstrument bestond uit een koppeling op afstand van het hydraulisch model DUFLOW en het integraal watersysteemmodel SIMGRO (Veldhuizen et al., 1998). De zeer concrete ROM/WCL-maatregelen zijn in zowel DUFLOW als in SIMGRO gedefinieerd. Omdat voor deze studie geen concrete maatregelen in het oppervlaktewatersysteem zijn voorzien zijn voor deze studie de maatregelen alleen in SIMGRO gedefinieerd. De met DUFLOW berekende effecten van de ROM/WCL-maatregelen in de hoofdwaterlopen zijn onveranderd overgenomen.

Anders dan in de studie door Marsman et. al. (1998) zijn de effecten in deze studie bepaald voor een reeks van acht opeenvolgende jaren (neerslagreeks Eelde 1982 t/m 1989). Om de effecten goed te schatten is voorafgaand aan deze berekeningen een initiële berekening uitgevoerd voor een periode van vier jaren (neerslagreeks Eelde 1978 t/m 1981) .

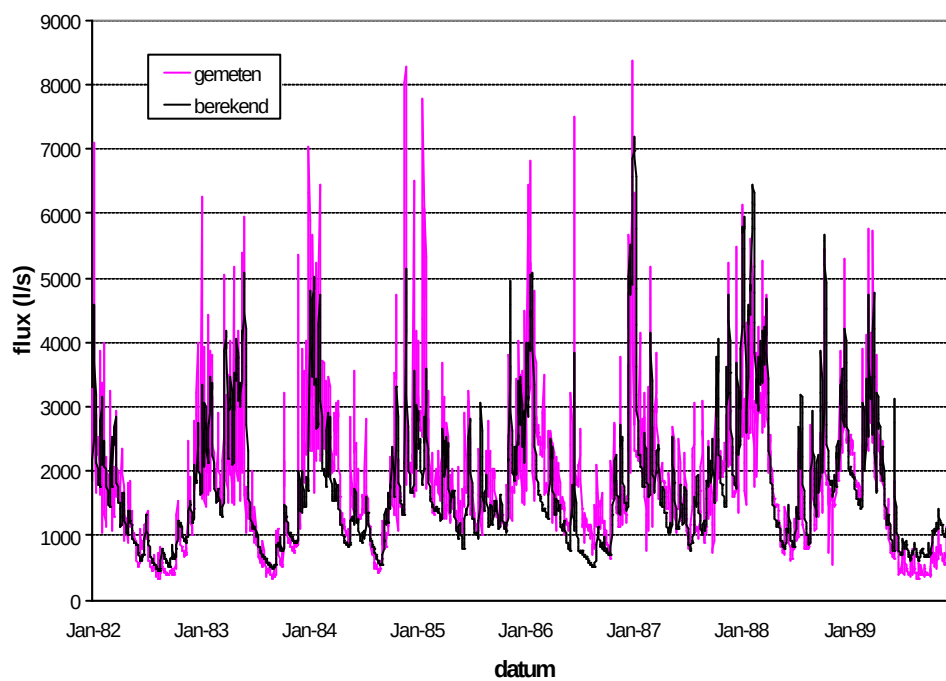
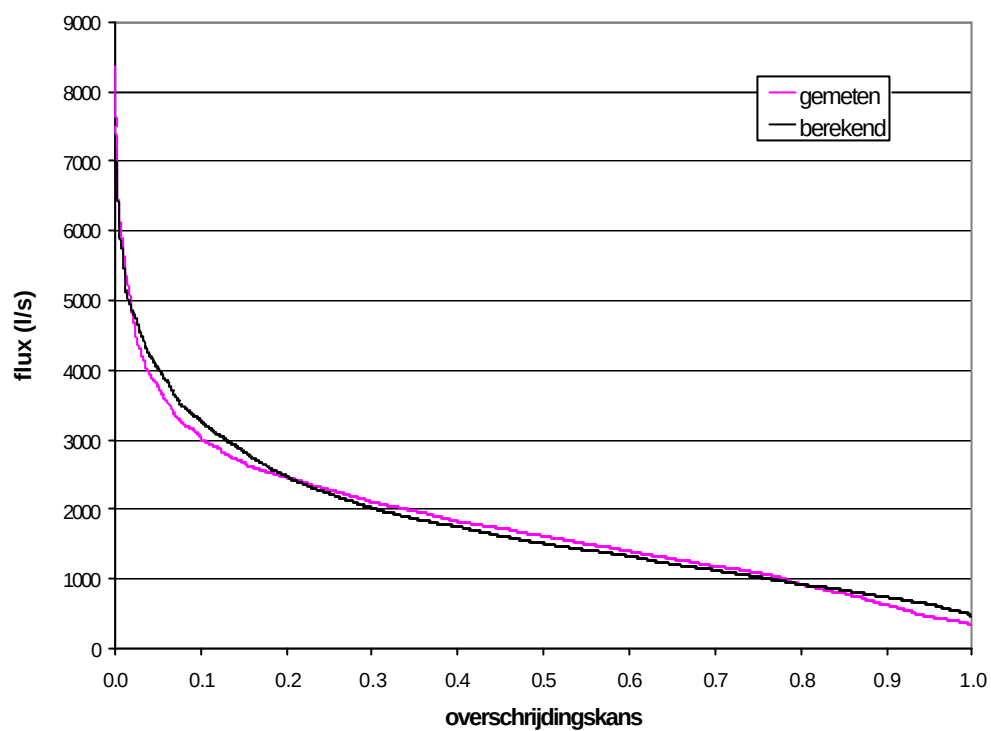
3 De uitgangssituatie

3.1 Het model

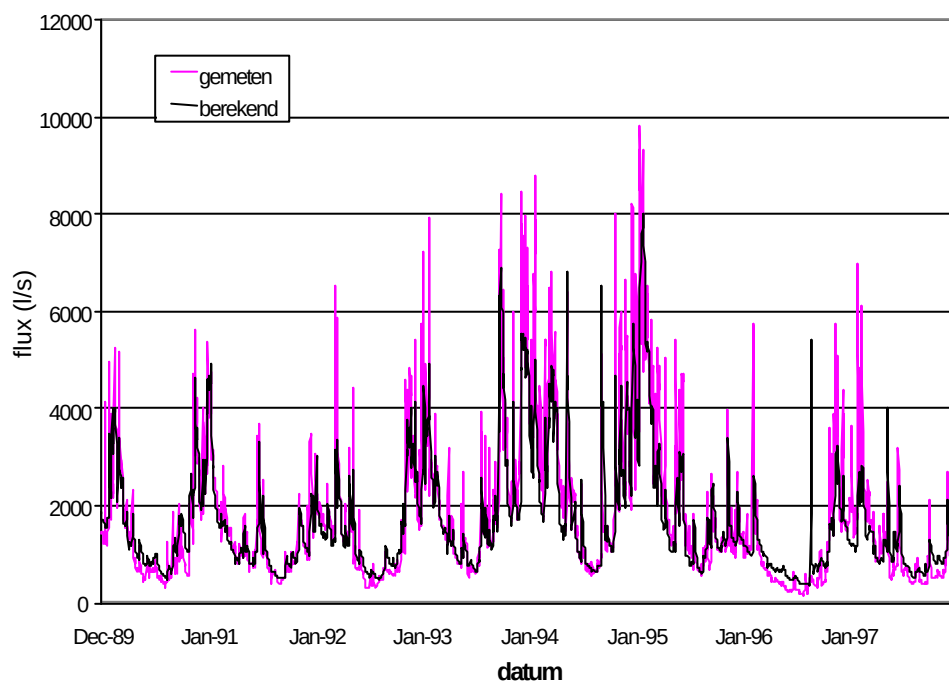
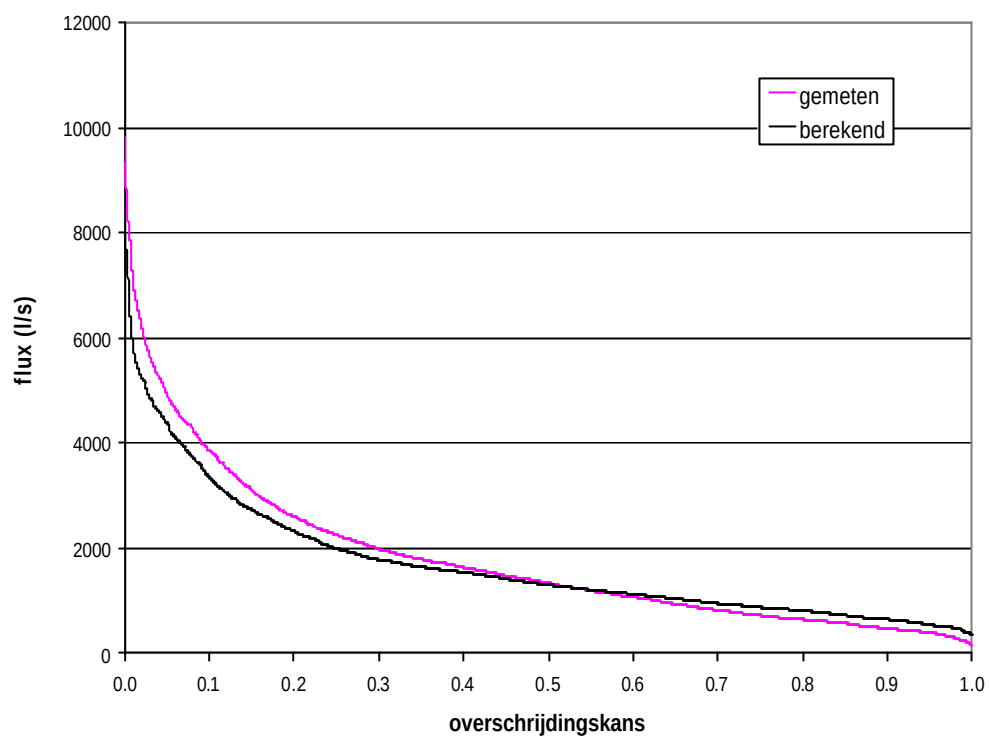
Uitgegaan is van het model dat voor de studie van TAUW en SC-DLO (Marsman et al., 1998) is gebruikt. Om de afvoeren beter te voorspellen is de schematisering aangepast. De 432 afwateringseenheden en waterlopen zijn verder opgesplitst zodat iedere knoop van het model een afwateringseenheid vormt (het model heeft 999 knopen). Voor iedere knoop (afwateringseenheid) is aangegeven op welke knoop (afwateringseenheid) deze afwatert. Daarbij is gebruik gemaakt van het voorkomen van waterlopen en van de gemiddelde maaiveldhoogten. De eigenschappen van de waterlopen zoals berekend met DUFLOW zijn niet aangepast. Door de meer gedetailleerde schematisering wordt het effect van de hoogteverschillen binnen het gebied beter beschreven. Voor de knopen (afwateringseenheden) waar geen beken voorkomen zijn standaard $Q(h)$ -relaties gebruikt. Het voorkomen van (drainage onder) stedelijk gebied en het voorkomen van natuurgebied (en het ontbreken van drainage hierbinnen) zijn aangepast met de nieuwste bestanden van de provincie Drente. Stedelijk gebied is in het model gedraineerd op 1.00 m-mv, aangenomen is dat de drainageweerstand 200 d bedraagt. De bos- en natuurgebieden zijn in het combinatiescenario ondiep ontwaterd (0.25-0.50 m). De drainagekaart van het landbouwgebied is ook door de provincie ter beschikking gesteld. Intensief gedraineerde gebieden hebben in het model een drainageweerstand van 100 d, de minder intensief gedraineerde gebieden hebben een weerstand van 400 d. Alle landbouwdrainage is gelegd op 0.80 m-mv. In het landbouwgebied wordt een winterpeil van 1.10 m-mv aangenomen en een zomerpeil van 0.90 m-mv.

3.2 Resultaten

Het combinatiescenario uit de vorige studie aangevuld met stoppen van de winning Zuidlaren is gedefinieerd als uitgangssituatie. Deze situatie beschrijft de inrichting van het Drentse Aa gebied zoals die na 2000 wordt bereikt. Het aangepaste model is voor deze situatie vergeleken met de bij Schipborg gemeten afvoeren voor de perioden 1982 tot en met 1989 en 1990 tot en met 1997. In 1989 is het beheer van verdeelwerk Loon aangepast, na 1989 verdwijnt minder water naar het Noordwillemskanaal en is de afgevoerde hoeveelheid in de Drentse Aa toegenomen. Het betreft geen toets omdat de beginsituatie niet de situatie van de waterhuishouding beschrijft tijdens de meetperiode en omdat het modelgebied niet het hele vanggebied van de Drentse Aa tot aan Schipborg omvat. Het meest benedenstroomse deel van het stroomgebied voor Schipborg is niet gemodelleerd. De vergelijking geeft wel een indruk van de orde van grootte van de overeenkomst tussen de gemeten en berekende afvoeren en van de mate waarin de dynamiek van de afvoeren wordt gesimuleerd.



Figuur 1 Gemeten afvoeren bij Schipborg en de voor het modelgebied met de inrichting van 2000 berekende afvoeren voor dezelfde periode (1982-1989, voor aanpassing Loon)



Figuur 2 Gemeten afvoeren bij Schipborg en de voor het modelgebied met de inrichting van 2000 berekende afvoeren voor dezelfde periode (1990-1997, na aanpassing Loon)

De in de periode 1982 tot en met 1989 gemiddelde gemeten afvoer bedraagt 1787 l.s^{-1} . De voor dezelfde periode met de inrichting in 2000 berekende afvoeren bedragen 1792 l.s^{-1} . De onwaarschijnlijk goede overeenkomst moet worden gerelativeerd met de eerder gemaakte opmerkingen, de inrichting en de grootte van het stroomgebied verschillen voor de beide reeksen. Dat wordt bevestigd door de reeks 1990 tot en met 1997. De gemiddelde gemeten afvoer 1780 l.s^{-1} wordt in het model (gemiddelde afvoer over deze periode van 1682 l.s^{-1}) met 5% onderschat. Omdat in het verleden bij Loon meer water naar het Noordwillemskanaal werd afgeleid zouden de afvoeren in de nieuwe situatie met ongeveer 9% (mededeling Jaap van Roon, waterschap Hunze en Aa's) moeten zijn toegenomen. De gerealiseerde toename wordt bevestigd door de reken- en meetreeksen: de berekende afvoeren zijn in de tweede periode lager dan in de eerste periode, blijkbaar betreft het een gemiddeld drogere reeks jaren. De gemiddelde gemeten afvoer is echter nauwelijks veranderd, het veranderd beheer bij Loon heeft bij Schipborg tot een toename van de afvoeren geleid. Het model beschrijft de gemiddelde afvoeren voor de eerste periode goed en onderschat de afvoeren voor de tweede periode: dit kan betekenen dat het in het model gedefinieerde peilbeheer het oude beheer betreft of dat de afvoeren door het model systematisch worden onderschat. Bij dit laatste moet worden bedacht dat in de berekeningen de winning Zuidlaren is stopgezet, waardoor de werkelijke onderschatting nog zo'n 2% groter zal zijn. Het onderschatten kan worden veroorzaakt doordat het modelgebied kleiner is dan het stroomgebied van de Drentse Aa tot aan Schipborg (geschat areaal 600 tot 800 ha of 2.5 tot 3% van het stroomgebied, betreft polders en drainagebehoeftige gronden met een maatgevende afvoer die tot een factor twee hoger kan zijn dan de gemiddelde maatgevende afvoer van het stroomgebied, hiermee kan het verschil grotendeels worden verklaard). De seizoensdynamiek wordt goed gesimuleerd. De gesimuleerde dynamiek is op dagbasis (zoals altijd) kleiner dan de gemeten dynamiek (Figuur 1, Figuur 2). Deze dynamiek kan worden vergroot door oppervlakkige afstroming te simuleren en door de drainageweerstanden via calibratie te verkleinen. De mate waarin deze dynamiek (zonder calibratie) wordt gesimuleerd is voor het doel van de studie adequaat. Ook de overschrijdingskansen van de afvoeren worden zowel qua orde van grootte als gedrag voor de eerste periode goed benaderd. De lagere afvoeren worden voor beide reeksen door het model overschat: er komt teveel water vanuit het grondwatersysteem naar de beken. Dit wordt voor een deel verklaard doordat in de berekening het effect van stoppen van de winning Zuidlaren is meegenomen. De basisafvoer wordt met name in 1989, 1996 en 1999 overschat en wordt in 1986 onderschat. Dat kan worden veroorzaakt doordat de in het model gebruikte onttrekkingen van de pompstations gemiddelde onttrekkingen zijn en doordat veranderingen in het peilbeheer niet zijn gedefinieerd. De berekende afvoeren zullen de gemeten afvoeren beter benaderen wanneer de dynamiek in de waterwinningen in het model wordt ingevoerd. Ook definiëren van grote gerealiseerde ingrepen in het waterbeheer (bijv. het benedenstrooms verwijderen van stuwen, veranderen peilbeheer Loon) kan de rekenresultaten verder verbeteren. Berekening wordt in het model niet gesimuleerd omdat de gegevens daarvoor ontbreken. Binnen het gebied wordt echter weinig berekend zodat de resultaten hier nauwelijks door worden beïnvloed. Af en toe worden pieken gemeten waar geen piek wordt gesimuleerd en omgekeerd. Het model rekent met de neerslagreeksen van Eelde. Buien komen echter vaak lokaal voor. De dynamiek in de gebiedsafvoeren wordt beter gesimuleerd door de reeksen van meer neerslagstations te gebruiken.

4 De maatregelen

4.1 Selectie van de maatregelen

Vergroten van de basisafvoer wordt bereikt door het veranderen van de afvoerverdeling in de tijd. De totale hoeveelheid water die het gebied via het oppervlaktewater verlaat verandert niet (anders dan door klimaatverandering of rigoureuze veranderingen in het bodemgebruik), derhalve moet om de basisafvoer te verhogen voorkomen worden dat het water het gebied snel (via het afwateringssysteem) verlaat. Vergroten van de basisafvoer raakt daardoor aan het voorkomen van grote afvoeren bij extreem hoogwater. De resultaten van deze studie zijn daarmee ook relevant voor de (zeer actuele) hoogwaterproblematiek.

De neerslag die in een stroomgebied valt verdampt voor een deel. Het neerslagoverschot kan hetzij via het grondwatersysteem hetzij via het oppervlaktewatersysteem het gebied verlaten. Het grondwatersysteem is traag, het oppervlaktewater vormt een sneller reagerend systeem. Met name bij perioden met veel neerslag wordt een groot deel van de neerslag snel (oppervlakkige en ondiepe afstroming) via het oppervlaktewater afgevoerd. Het oppervlaktewater wordt ook via het grondwater gevoed. Deze laatste term levert in drogere perioden een belangrijke bijdrage aan de oppervlaktewaterafvoer. De basisafvoer is in deze studie gedefinieerd als de afvoer met een 5%-onderschrijdingskans, deze afvoer wordt gemiddeld 18 dagen per jaar onderschreden. Om de oppervlaktewaterdynamiek in de Drentse Aa te verbeteren en omdat Waterbedrijf Groningen benedenstrooms drinkwater wint uit de Drentse Aa is het gewenst dat de basisafvoer toeneemt ten opzichte van de bestaande situatie.

4.1.1 Indeling van maatregelen

Hydrologische en waterstaatkundige maatregelen in een stroomgebied kunnen op verschillende manieren worden gecategoriseerd:

1. Een systeemanalytische indeling deelt de maatregelen in naar de beïnvloeding van het neerslag-afvoerproces, bijvoorbeeld vergroting van de retentie in het oppervlaktewater en kan rechtstreeks worden afgeleid van de afvoerhydrologische systeemanalyse.
2. Een opsplitsing in brongericht en effectgericht is een moeilijk te hanteren indeling omdat deze indeling sterk afhankelijk is van het standpunt van waaruit het systeem wordt beschouwd. Als voorbeeld: het verhogen van de waterretentie bovenstrooms van een probleemgebied is een brongerichte maatregel terwijl vergroten van de waterretentie in het gebied zelf een effectgerichte maatregel is. Om die reden is dit onderscheid niet gehanteerd
3. Een opsplitsing naar uitvoerbaarheid is moeilijk te hanteren omdat dit voor de verschillende maatregelen als beoordelingsaspect wordt meegenomen (en dus op voorhand niet is aan te geven).

4. Een opsplitsing in inrichting- en beheersmaatregelen
5. Van belang lijkt in het stroomgebied van de Drentse Aa ook het onderscheid tussen maatregelen in het beekdal (met als bodemgebruik met name natte natuur) en de maatregelen in de (bovenstroomse) infiltratiegebieden (met als bodemgebruik landbouw, bebouwing of bos). Daartoe zal als een eerste actie de verdeling van de ontwateringflux in de tijd tussen het beekdal en de overige gebieden worden bepaald.

4.1.2 Mogelijke maatregelen en hun waarschijnlijke effectiviteit

Om de effectiviteit van maatregelen te kunnen beoordelen is het essentieel om de belangrijkste processen in het traject van neerslag naar afvoer te kennen (aanhangel 9) en de bepalende procesparameters te identificeren. In het geval van transformatie van neerslag in afvoer gaat het in essentie om de combinatie van berging en stromingsweerstand. De processen hangen samen en vertonen een grote variatie in ruimte en tijd. Dit geldt daarom ook voor de effecten van maatregelen. Beoordeling van de effecten van specifieke maatregelen op vergroten van de basisafvoer is dan ook altijd maatwerk. Toch zal in het hieronder in algemene zin iets worden gezegd over de effectiviteit van categorieën van maatregelen waarbij vooral zal worden geleund op de afvoerhydrologische systeemanalyse. Zoals eerder opgemerkt moet daarbij altijd de samenhang in beschouwing worden genomen en verschilt de effectiviteit in ruimte en tijd.

Voor het overige hangt de effectiviteit van de omvang van de beoogde verandering in het neerslag-afvoersysteem in verhouding tot het eigenschappen van het niet-veranderde systeem. Bij de beoordeling van de voorgestelde maatregelen levert dat een probleem. Immers, zowel de verandering als de oorspronkelijke eigenschappen zijn alleen na (uitgebreide) studie bekend en bovendien moet rekening worden gehouden met terugkoppeling. Daarom kan de effectiviteit alleen worden uitgedrukt in termen van potentieel effect.

In essentie moet voor het vergroten van de basisafvoer een ander afvoerverloop binnen het stroomgebied worden gerealiseerd. Dat kan worden bereikt door reduceren van de afvoeren via het oppervlaktewatersysteem in de winterperiode in combinatie met vergroten van de voeding van het grondwatersysteem. Reductie van de afvoeren wordt bereikt door de afvoer te stremmen en de berging te laten toenemen, de grondwateraanvulling kan worden vergroot door het waterverbruik (met name de verdamping) te reduceren, en door vergroten van infiltratie. Een andere mogelijkheid om de basisafvoeren te vergroten is de aanvoer van water in de zomerperiode.

Vergroten van de grondwateraanvulling kan door:

- Omzetten van (donker) naaldbos in loofbos (i.e. reduceren van de verdamping).
- Telen minder verdampende landbouwgewassen zoals b.v. granen.
- Vergroten van de infiltratie in het stedelijk gebied. Door afkoppelen van verharde oppervlakken en het laten infiltreren van deze afgekoppelde oppervlakken in de

bodem, of het gebruik van (half)doorlatende bestratingen wordt de grondwateraanvulling vergroot en worden de piekafvoeren, in de vorm van riooloverstorten, sterk gereduceerd. Volgens schaarse literatuurgegevens (Van de Ven, 1985) gaan de piekafvoeren met een factor 10 a 100 omlaag, en gaat het afvoergedrag lijken op een diep gedraineerd landelijk gebied. De potentie om water te bergen is groot.

Vergroten van de berging. De berging van water in de bodem is qua volume veruit de grootste bergingsmogelijkheid. Maatregelen om de berging te vergroten zijn buiten de beekdalen zeer effectief. De mogelijkheden om de effecten van deze maatregelen te vergroten zijn beperkt. Alleen via het ontwateringstelsel is de berging op de volgende manieren te vergroten:

- Verlaging van de grondwaterstand in de zomer door verlaging van de ontwateringbasis.
- Bergen aan maaiveld (en infiltratie in de bodem) of in reservoirs. Dit is een zeer effectieve maatregel buiten de beekdalen.

Stremmen van de afvoer is door veel maatregelen relatief eenvoudig te realiseren. De effectiviteit is groter naarmate ze dichter bij de bron en over een groot oppervlak worden uitgevoerd. Stremming van de afvoer resulteert in hogere peilen waardoor de bergingsmogelijkheden in het oppervlaktewater afnemen.

- De berging in het oppervlaktewater kan worden vergroot door vergroting van het oppervlak open water bij hoge waterstanden door het (weer) toestaan van inundatie langs de waterlopen, meestal in combinatie met natuurontwikkeling langs de waterlopen. Voor de effectiviteit maakt het groot verschil bij welke waterstand deze berging wordt benut. Door middel van het aanleggen van drempels kan hierop invloed worden uitgeoefend.
- Vergroten van de drainageweerstand door verondiepen of dempen van waterlopen.
- Vergroten van de peilvariatie in de ontwateringmiddelen door verlagen van de afvoercapaciteit bij lage afvoeren.
- Bergen aan maaiveld (en infiltratie in de bodem) of in reservoirs.

Aanvoer van water, is niet relevant voor de Drentse Aa.

Beheer. Een aantal inrichtingsmaatregelen is pas effectief in combinatie met sturing zoals gecontroleerde inzet van retentiebekkens en peilbeheer. In de regel kan door sturing zeer effectief invloed worden uitgeoefend op het afvoergedrag.

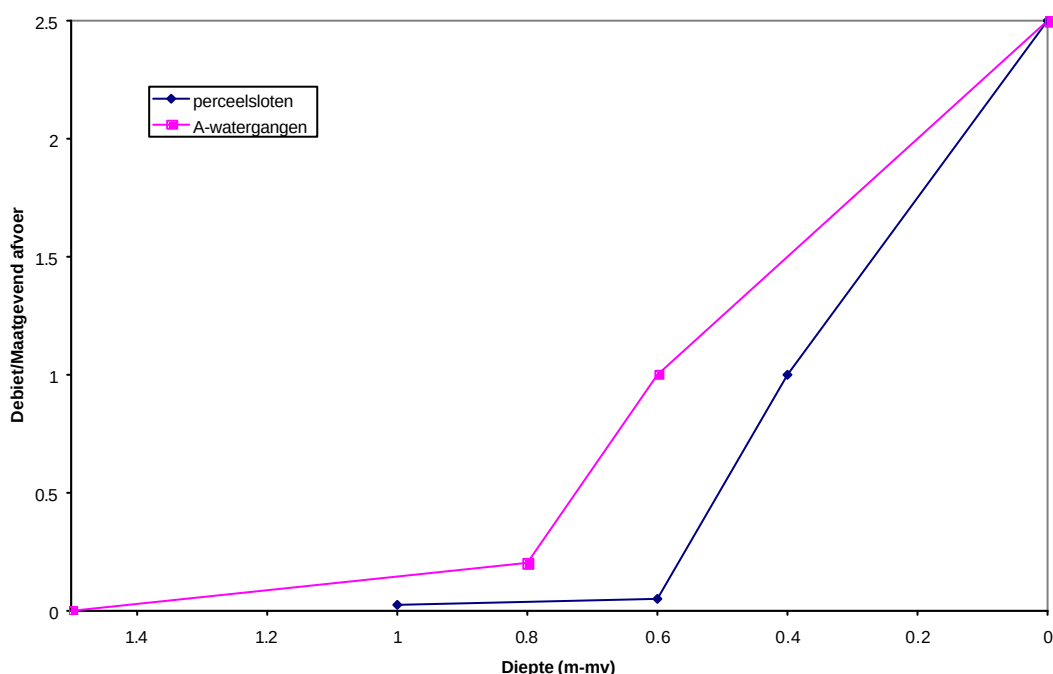
In bovenstaande is betoogd dat verandering van de afvoer karakteristiek van een waterloop een zeer effectieve maatregel is. Door een ander onderhoud van de waterlopen of door een ander baggerregiem kan de stromingsweerstand en soms ook de hoogte van de drainagebasis worden beïnvloed. De kosten van deze maatregelen zijn over het algemeen gering.

De maatregelen gericht op ‘waterwinning’ in de zomerperiode (berekenen vanuit diepe pakketten onder de potklei of keileem, diepe drainage met regelbare afvoer in hoger gelegen delen van het landbouwgebied en verdiepen van de slootbodems) en op bergen aan maaiveld zijn door de begeleidingsgroep als niet relevant beoordeeld omdat in het Drentse Aa gebied het realiseren van een natuurlijk beekdalsysteem voorop staat.

4.1.3 De maatregelen

Op basis van deze overweging zijn in deze studie zijn de effecten van de volgende 8 maatregelen verkend:

1. Infiltratie in 50% van alle stedelijk gebied door afkoppelen van riolering in combinatie met diepe drainagesystemen. Het voorkomen van stedelijk gebied is aangepast conform de meest recente bestanden van de provincie Drente.
2. Omzetten van naaldbos in natuurbos (eiken-berkenbos, kleinere verdamping).
3. Vervangen alle akkerbouw en maïs door granen (kleinere verdamping).
4. Waterwinning Assen stoppen
5. Stremmen afvoeren door hermeanderen van de beken ten zuiden van Loon; daarbij alle stuwen verwijderen, de beek versmallen (accoladeprofiel) en de bodem omhoog brengen. Voor de knopen waarin zich een beek bevindt zijn de Q(h)-relaties aangepast, zodanig dat op 1.50 m-mv tot 0.75 m-mv de afvoer uiterst gering is, oplopend van 0 tot 0,2 maal de maatgevende afvoer, tussen 0,80 en 0.60 m-mv neemt de afvoercapaciteit toe tot de maatgevende afvoer. Aan maaiveld is de capaciteit 2,5 maal de maatgevende afvoer.



Figuur 3 Q(h)-relaties gedefinieerd voor de maatregelen 5 (A-watergangen) en 6 (perceelsloten)

6. In landbouwgebieden drainage verwijderen, sloten verondiepen naar 80 cm-mv en afvoercharacteristieken accoladeprofielen of duikers opleggen. In het landbouwgebied zijn de stuwpeilen op 1.00 m-mv gezet, zomer en winter. De Q(h)-relaties zijn zodanig aangepast dat de afvoer beperkt blijft tot 0,02 maal de maatgevende afvoer tot een diepte van 0.6 m-mv. De maatgevende afvoer wordt afgevoerd bij een waterstand van 0,4 m-mv. Aan maaiveld is de capaciteit 2,5 maal de maatgevende afvoer.
7. Waterconservering in de bovenstroomse bosgebieden door dempen waterlopen en bergen in depressies aan maaiveld (vennen verbonden door slenken, evt. ook de aanleg van kleine dammetjes). De stuwpeilen voor de bovenstroomse bosgebieden voor zowel de zomer als de winter zijn op maaiveld gezet. De q(h)-relaties zijn zodanig aangepast dat de afvoer tot 5 cm boven maaiveld langzaam oploopt tot 0,02 maal de maatgevende afvoer en op 10 cm boven maaiveld maatgevend is.
8. In trajecten van de beek waar het natuurlijke profiel door erosie is verdiept het natuurlijk profiel herstellen door ophogen van de bodem en aanpassen van het profiel. Hoewel ook bekend is dat de Drentse Aa veel is vergraven bleek informatie over het wel of niet voorkomen van natuurlijke beekprofielen niet beschikbaar te zijn. Daarom is deze maatregel niet doorgerekend.

De maatregelen 1 tot en met 4 beïnvloeden de voeding, maatregel 7 vergroot de berging, maatregel 5 en 6 stremmen de afvoer. Maatregel 5 en 8 vinden plaats in de beek, 1 en 4 in stedelijk gebied, 2 en 7 in natuurgebied en 3 en 6 in landbouwgebied.

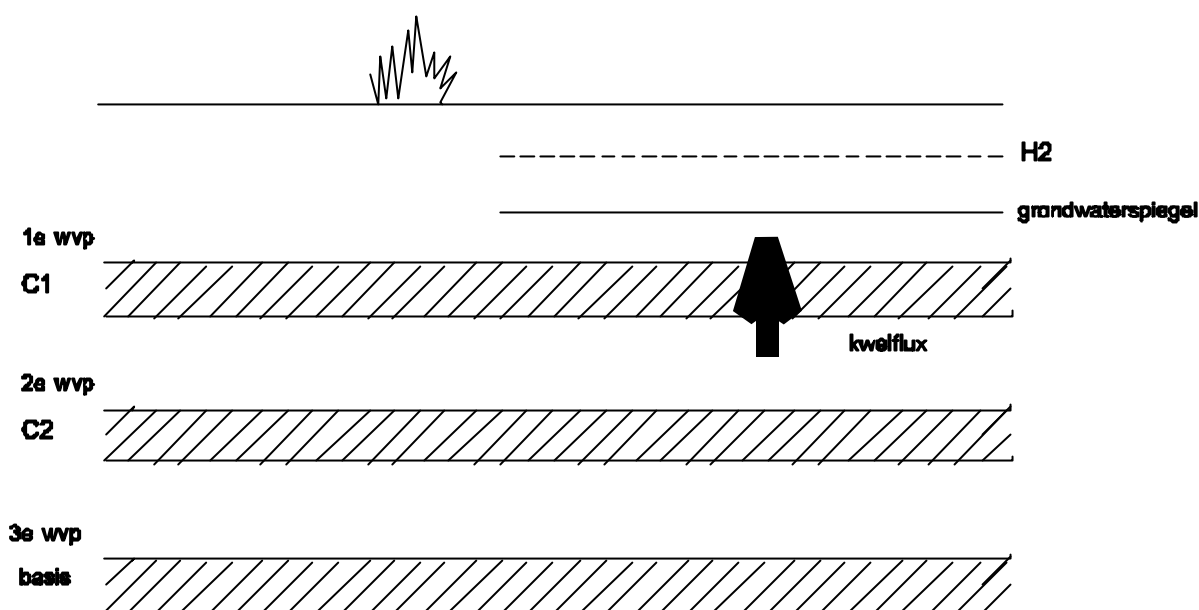
De maatregelen zijn niet gecombineerd tot varianten omdat daardoor het effect van de afzonderlijke maatregelen niet zichtbaar is. Besloten is om alle maatregelen afzonderlijk door te rekenen om zo de mogelijkheden om de basisafvoeren te vergroten af te tasten. De extra tijd nodig om de extra berekeningen uit te voeren wordt gecompenseerd doordat de analyse eenvoudiger wordt.

Omdat gebleken is dat stoppen met de waterwinning Zuidlaren (gedefinieerd in de uitgangssituatie) grote effecten heeft is het effect van deze maatregel apart zichtbaar gemaakt als maatregel 0.

4.2 Resultaten

De effecten van de maatregelen zijn, gegeven de waterbeleiddoelstellingen in het gebied, getoetst aan drie doelvariabelen:

1. Het afvoerverloop en de duurlijn. In het bijzonder worden de basisafvoer en de gemiddelde afvoer gepresenteerd.
2. De langjarig gemiddelde grondwaterstand rond 1 april (GVG)
3. De langjarig gemiddelde kwel rond 1 april. De kwelfluxen in deze studie hebben conform de ROM/WCL-studie betrekking op de fluxen door de eerste scheidende laag naar het freatisch pakket (Figuur 4).



Figuur 4 Definitie van de kwelflux en de geohydrologische schematisering.

De veranderingen zijn berekend voor de reeks 1982 tot en met 1989. De voor deze periode berekende basisafvoer is groter dan de gemeten basisafvoer, de berekende afvoer karakteristiek simuleert de gemeten afvoer karakteristiek echter goed (fig. 1). Dat betekent dat de resultaten van deze studie een goede indicatie geven van de te verwachten effecten maar dat het effect van de maatregelen in de praktijk groter kan zijn. Figuren met de rekenresultaten zijn in de aanhangsels opgenomen.

Maatregel 0; stoppen waterwinning Zuidlaren (aanhangel 0).

Anders dan de andere maatregelen is het effect van stoppen van de winning Zuidlaren vergeleken met de situatie na uitvoeren van de ROM/WCL-maatregelen (de gemiddelde afvoer voor deze periode bedroeg 1752 l.s^{-1} , de 5% -laagste afvoer (basisafvoer) bedroeg voor deze periode 610 l.s^{-1}).

In het model is voor de winning Zuidlaren gerekend met een gemiddelde onttrekking van $1.9 \text{ miljoen m}^3.\text{jaar}^{-1}$. Dat is iets minder dan de gemiddelde onttrekking van $2.1 \text{ miljoen m}^3.\text{jaar}^{-1}$ van de laatste jaren. De effecten van het sluiten van deze winning worden door het model onderschat. De onttrekking gebeurt in het model grotendeels ($> 90\%$) vanuit het diepste pakket. Wanneer de niet langer gewonnen hoeveelheid water volledig tot afvoer zou komen nemen de afvoeren met 67 l.s^{-1} toe. Dat is 3% van de gemiddelde afvoer in de periode 1982 tot en met 1998.

Zowel de hoge als lage afvoeren nemen door stoppen van deze winning toe. De relatieve toename van de laagste afvoeren is groot ten opzichte van de relatieve toename van de gemiddelde afvoeren. De absolute toename is echter kleiner. De toename in de gemiddelde afvoer bedraagt ongeveer tweederde van de in de winning

Zuidlaren gewonnen hoeveelheid water, de toename van de basisafvoer bedraagt ongeveer de helft van de in Zuidlaren gewonnen hoeveelheid. De efficiëntie van de maatregel kan worden gedefinieerd als de berekende toename in de gemiddelde afvoer of de basisafvoer gedeeld door de potentiële toename van de afvoer. Voor sluiten van de winning Zuidlaren zijn de aldus gedefinieerde efficiënties 60 en 43% voor respectievelijk de gemiddelde afvoer en de basisafvoer.

Gemiddelde afvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)	(%)	Efficiëntie (%)	Basisafvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)	(%)	Efficiëntie (%)
1792	40	2	60	639	29	5	43

De GVG neemt door stoppen van Zuidlaren in de omgeving van deze winning fors (meer dan 40 cm) toe. Ook de kwel neemt in de benedenstroomse beekdalen flink toe.

Maatregel 1 t/m 7

De effecten van de volgende maatregelen zijn vergeleken met de uitgangssituatie, d.w.z. de in het combinatiescenario gedefinieerde maatregelen (Marsman et al., 1998) in combinatie met stopzetten van de winning Zuidlaren. De gemiddelde afvoer voor deze periode bedroeg 1792 l.s⁻¹, de 5% -laagste afvoer (basisafvoer) bedroeg voor deze periode 639 l.s⁻¹.

Maatregel 1; Infiltratie in 50% van alle stedelijk gebied (aanhangel 1).

Infiltratie in 50% van alle stedelijk gebied door afkoppelen van riolering in combinatie met diepe drainagesystemen. Het voorkomen van stedelijk gebied is aangepast conform de meest recente bestanden van de provincie Drenthe. In het model zijn 3842 ha stedelijk gebied gedefinieerd (13.9% van het modelgebied zonder randknopen). Van de neerslag die op het stedelijk gebied valt wordt verondersteld dat in de uitgangssituatie 60% via de riolering wordt afgevoerd en dat 40% infiltreert. De maatregel afkoppelen van 50% van het gebied resulteert derhalve in 30% afvoer via de riolering en 70% infiltratie. Wanneer 30% van de neerslag die meer infiltreert in het stedelijk gebied volledig tot afvoer komt zal de gemiddelde afvoer bij een jaarlijkse neerslag van 800 mm met 292 l/s toenemen.

Gemiddelde afvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)	(%)	Efficiëntie (%)	Basisafvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)	(%)	Efficiëntie (%)
1876	86	5	29	650	11	2	4

De gemiddelde afvoer neemt door de grotere voeding van het grondwatersysteem met bijna 5% toe. Het effect op de basisafvoer is echter vrij beperkt. Met name de hogere afvoeren nemen toe. Dit wordt veroorzaakt doordat de toename van de voeding met name in de winterperiode gebeurt. Op dat moment zijn de mogelijkheden voor berging gering zodat het water snel wordt afgevoerd (dit is in de tijdverlopen ook zichtbaar). In de zomerperiode is de berging groter en wordt een deel van het geïnfiltreerde water verdampt. De efficiëntie is dan ook laag voor de

gemiddelde afvoer en is zeer laag voor de basisafvoer. Hierbij moet worden opgemerkt dat in het model Assen wel maar Zuid Laren niet op Drentse Aa afwatern, wanneer ook Zuid Laren op de Drentse Aa afwatert zullen de afvoeren meer toenemen en zal de efficiëntie groter zijn.

De GVG neemt door deze maatregel in de directe omgeving van het stedelijk gebied toe. Het effect is in Assen vrij gering doordat de extra voeding hier snel wordt afgevoerd via het intensieve ont- en afwateringsysteem dat daar boven de potklei aanwezig is. De potklei belemmert de infiltratie naar diepere pakketten. De kwelfluxen nemen in met name het noordoostelijk deel van het studiegebied toe.

Het in het model gedefinieerde areaal bebouwd lijkt groot. Daardoor is het de vraag of de gehanteerde factor 0.6 niet aan de hoge kant is (dat betekent dat de berekening de effecten van de maatregel overschat). Potenties voor deze maatregel zijn met name aanwezig bij de bebouwing op de Hondsrug. De grootte van het effect te realiseren effect is te schatten door na te gaan hoeveel water binnen deze kernen daadwerkelijk via de riolering wordt afgevoerd.

Maatregel 2; Omzetten van naaldbos in natuurbos (aanhangel 2).

Omzetten van naaldbos in natuurbos (eiken-berkenbos, kleinere verdamping). In het model is 30.7% van het areaal natuur of bos. Deze is onderverdeeld in 7.8% loofbos, 10.2% naaldbos en 12.7% overige natuur (heide, hooiland, moeras). De gemiddelde berekende potentiële verdamping bedraagt voor naaldbos bedraagt 1.53 mm/dag en voor loofbos 1.23 mm/dag. Omzetten van 2805 ha naaldbos in loofbos leidt wanneer deze volledig via het oppervlaktewatersysteem wordt afgevoerd tot een toename van de gemiddelde afvoer van 97 l/s. (Op basis van de actuele verdamping berekend zal de toename van de gemiddelde afvoer kleiner zijn waardoor de efficiëntie groter wordt.)

Gemiddelde afvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)	(%)	Efficiëntie (%)	Basisafvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)	(%)	Efficiëntie (%)
1834	44	2	45	646	7	1	7

Ook deze maatregel resulteert in een grotere grondwateraanvulling en derhalve in een grotere gemiddelde afvoer. De invloed op de gemiddelde afvoer is groot, het effect op de basisafvoer is echter klein. Het effect is relatief klein in de zomerperiode omdat de verdamping van loof- en naaldbos elkaar dan niet veel ontlopen. De potentiële evapotranspiratie voor naaldbos is met name in de winterperiode groter. De toename van de basisafvoer wordt dan ook gerealiseerd via een toename van de kwel in de beekdalen als gevolg van de hogere potentialen in de bosgebieden.

De GVG neemt weer toe in de directe omgeving waar de maatregelen worden gedefinieerd, i.e. de bossen in de intrekgebieden. De effecten op de GVG zijn kleiner dan voor maatregel 1. Ook de kwel neemt in de beekdalen bij deze intrekgebieden met bos toe.

Maatregel 3; Vervangen alle akkerbouw en maïs door granen (aanhangel 3).

In het model is 30.7% van het areaal bouwland. De berekende potentiële evapotranspiratie bedraagt voor gemiddeld bouwland (maïs, bieten, aardappelen, granen) 1.29 mm/dag en bedraagt voor granen 1.22 mm/dag. Gebruiken van alle 7172 ha bouwland voor de teelt van granen levert een potentiële toename van de gemiddelde afvoer van 58 l/s. De actuele evapotranspiratie is kleiner waardoor ook de potentiële toename feitelijk kleiner zal zijn.

Gemiddelde afvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)		Efficiëntie (%)	Basisafvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)		Efficiëntie (%)
		(%)	(%)			(%)	(%)
1825	36	2	62	648	9	1	16

De extra voeding door deze maatregel is beperkt: de afvoer neemt nauwelijks toe. Dit wordt veroorzaakt door de geringe verschillen in de potentiële evapotranspiratie. Deze is berekend als de transpiratie tijdens het groeiseizoen en als verdamping van kale grond buiten het groeiseizoen. Het effect op de basisafvoeren is klein omdat het groeiseizoen voor zowel granen als bouwland kort is en de berging in de bodem in de zomerperiode groot is. Buiten het groeiseizoen is de potentiële verdamping gelijk is aan de verdamping van kale grond. De efficiëntie van deze maatregel is hoog voor de gemiddelde afvoer. Ook voor de basisafvoer wordt een relatief hoge efficiëntie bereikt. Deze efficiëntie is hoger dan voor de maatregelen 1 en 2 omdat de reductie van de verdamping door maatregel 4 in de zomer (groeiseizoen) optreedt.

De effecten op de GVG en kwelflux zijn klein en hebben ook ruimtelijk een beperkt effect. De kwelflux rond 1 april neemt zowel plaatselijk toe als af, de effecten van maatregel 3 op deze kwelfluxen zijn gering.

Maatregel 4; Waterwinning Assen stoppen (aanhangel 4).

In het model is gerekend met een gemiddelde onttrekking van dit pompstation van 3.8 miljoen m³.jaar⁻¹. Onttrekking vindt plaats onder de potklei. Het effect van de winning wordt daardoor in sterke mate bepaald door het voorkomen van potklei. Wanneer de niet langer gewonnen hoeveelheid water volledig tot afvoer zou komen nemen de afvoeren met 120 l.s⁻¹ toe. Dat is 6.5% van de gemiddelde afvoer in de periode 1982 tot en met 1990.

Gemiddelde afvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)		Efficiëntie (%)	Basisafvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)		Efficiëntie (%)
		(%)	(%)			(%)	(%)
1849	57	3	48	663	24	4	20

De gemiddelde afvoer neemt door deze maatregel aanzienlijk toe. Ook de basisafvoeren nemen door deze maatregel toe. De efficiënties zijn kleiner voor stoppen van de winning Zuidlaren, dit wordt veroorzaakt doordat deze winning meer bovenstrooms is gelegen. De efficiëntie voor sluiten van een waterwinning is groter wanneer deze zich in een omgeving bevindt met ondiepe grondwaterstanden.

De GVG neemt buiten het gebied met potklei toe. Het effect is het grootst ten oosten van Assen. Het uitstralend effect is groot. Voor de kwel is het uitstralend effect nog veel groter: in vrijwel het hele gebied wordt in de beekdalen een grote toename van kwelfluxen berekend.

Maatregel 5; Hermeanderen van de beken ten zuiden van Loon (aanhangel 5).

Voor de knopen waarin zich een beek bevindt zijn de $Q(h)$ -relaties aangepast, zodanig dat op 1.50 m-mv tot 0.75 m-mv de afvoer uiterst gering is, oplopend van 0 tot 0,2 maal de maatgevende afvoer, tussen 0,80 en 0.60 m-mv neemt de afvoercapaciteit toe tot de maatgevende afvoer. Aan maaiveld is de capaciteit 2,5 maal de maatgevende afvoer.

Gemiddelde afvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)	(%)	Efficiëntie (%)	Basisafvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)	(%)	Efficiëntie (%)
1798	6	0.0	-	641	2	0.0	-

De afvoer wordt door deze maatregel niet of nauwelijks beïnvloed. De efficiëntie is niet te geven omdat de voeding van het grondwatersysteem niet veranderd.

De GVG wordt in deze omgeving, soms zeer fors, hoger. In de omgeving van het Geelbroek waar de omstandigheden al nat zijn wordt geen effect op de grondwaterstanden berekend. De kwel neemt in het Geelbroek en op de flanken van de beekdalen langs het Amerdiep toe. In de beekdalen van het Amerdiep neemt de kwelflux af. De kwel wordt als gevolg van deze maatregel niet meer afgevangen door de beek maar wordt meer diffuus over de flanken van de beek verspreid.

Het effect van deze maatregel blijkt sterk afhankelijk van de manier waarop deze ingreep wordt gedefinieerd. De effecten van deze ingreep zijn niet met het hydraulisch model DUFLOW bepaald.

Maatregel 6; Verondiepen van de drainagesystemen in landbouwgebieden (aanhangel 6).

In landbouwgebieden is de drainage verwijderd, zijn de sloten voor zover mogelijk verondiept naar 80 cm-mv en afvoercharacteristieken accoladeprofielen of duikers opleggen. In het landbouwgebied zijn de stuwpeilen op 1.00 m-mv gezet, zomer en winter. De $q(h)$ -relaties zijn zodanig aangepast dat de afvoer beperkt blijft tot 0,02 maal de maatgevende afvoer tot een diepte van 0.6 m-mv. De maatgevende afvoer wordt afgevoerd bij een waterstand van 0,4 m-mv. Aan maaiveld is de capaciteit 2,5 maal de maatgevende afvoer. Deze maatregel betreft een combinatie van 2 maatregelen: verstoren van drainagesystemen en veranderen van de $Q(h)$ -relaties. De effecten van deze twee maatregelen zijn niet separaat zichtbaar gemaakt.

Gemiddelde afvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)	(%)	Efficiëntie (%)	basisafvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)	(%)	Efficiëntie (%)
1790	-2	0.0	-	651	12	1.9	-

De gemiddelde afvoer neemt iets af. Dat betekent dat door deze maatregel de grondwaterstanden worden verhoogd waardoor meer water het gebied via het grondwatersysteem zal verlaten. Dit effect wordt waarschijnlijk in belangrijke mate veroorzaakt door het verwijderen van de buisdrainage. Tegelijkertijd nemen de basisafvoeren door de accoladeprofielen toe. Omdat hier toch meer maatregelen tegelijkertijd zijn doorgerekend is de bijdrage van de afzonderlijke maatregelen onzeker. Misschien kan een toename van de basisafvoer van maximaal 5% worden gehaald. Daartoe moeten de profielen worden geoptimaliseerd.

De GVG neemt in vrijwel het hele gebied uitgezonderd de (midden- en benedenstroomse) beekdalen en Assen toe. De kwel wordt vrijwel overal groter. Op de flanken van de beekdalen nemen de kwelfluxen af. Dit is een zeer effectieve maatregel voor het verhogen van de grondwatertanden en het vergroten van de kwelflux in de beekdalen.

Maatregel 7; Waterconservering in de bovenstroomse bosgebieden (aanhangel 7).

Waterconservering in de bovenstroomse bosgebieden door dempen waterlopen en bergen in depressies aan maaiveld (vennen verbonden door slenken, evt. ook de aanleg van kleine dammetjes). De stuwpeilen voor de bovenstroomse bosgebieden voor zowel de zomer als de winter zijn op maaiveld gezet. De q(h)-relaties zijn zodanig aangepast dat de afvoer tot 5 cm boven maaiveld langzaam oploopt tot 0,02 maal de maatgevende afvoer en op 10 cm boven maaiveld maatgevend is.

Gemiddelde afvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)	(%)	Efficiëntie (%)	basisafvoer (l.s ⁻¹)	Toename (l.s ⁻¹)	(%)	Efficiëntie (%)
1785	-7	0.0	-	648	9	1.5	-

De gemiddelde afvoer neemt iets af, de basisafvoer neemt daarentegen toe. De bijdrage is gering omdat de waterlopen in deze gebieden in het kader van de ROM/WCL-maatregelen zijn verondiept zodat het effect van de extra berging relatief beperkt is.

De GVG en de kwel nemen in de betreffende gebieden toe als gevolg van deze maatregel. Lokaal neemt de kwel ook af.

5 Discussie

Doel van het beleid is om in het stroomgebied van de Drentse Aa een natuurlijk beekdalsysteem te creëren. Dit is vertaald in drie concrete doelen: verondiepen van de grondwaterstanden, behouden of vergroten van de kwelfluxen in de beekdalen en vergroten van de basisafvoer. Uit deze studie en de studie naar de effecten van de ROM/WCL-maatregelen (Marsman et al., 1998) blijkt dat de eerste twee doelen door de maatregelen worden bereikt maar dat de derde doelstelling niet of nauwelijks kan worden gerealiseerd. Het hydrologisch systeem binnen het studiegebied reageert zeer snel zodat alleen het nemen van afvoervertragende maatregelen de basisafvoer met aanzienlijke hoeveelheden kan vergroten. De vraag rijst of de derde doelstelling binnen het natuurlijk systeem past dat binnen het stroomgebied van de Drentse Aa wordt gerealiseerd. Daartoe zijn voor een aantal situaties de gedragingen van de afvoeren geschat:

1. In de natuurlijke toestand was het gebied grotendeels bedekt met atmotrofe veenvormende vegetaties waarin op zeer beperkte schaal bosvorming is opgetreden (Everts en De Vries, 1991). De ontwatering van het hoogveen verloopt via ondiep horizontaal transport. De afwatering verliep via oppervlakkige afstroming via depressies tussen de veenbulten. De afvoeren vanuit het hoogveen zijn exponentieel gerelateerd aan de grondwaterstand in het veen. In natte situaties is de berging van hoogveen zeer klein (alleen oppervlakkig), de afvoeren volgen min of meer het neerslagoverschot. In drogere perioden neemt de berging toe (sponswerking) en voert hoogveen het regenwater sterk vertraagd af. Na langere droge perioden neemt de afvoer vanuit de veensystemen sterk af. Waarschijnlijk zijn daardoor in die situatie ook de basisafvoeren klein geweest. Het grondwater bevindt zich nagenoeg aan maaiveld, omdat de onderste, samengeperste veenlagen slecht doorlatend zijn is de voeding van de grondwatersystemen klein en nagenoeg constant, het grondwater- en het regenwatersysteem (hoogveen) zijn sterk gescheiden, kwel vanuit het grondwatersysteem komt door de grote tegendruk van de regenwaterlens niet voor.
2. Geleidelijk zijn deze venen ontgonnen. In de plaats van de venen kwamen landbouwgronden (akkers, weiden, en natte hooilanden) en zowel natte als droge heidevelden. Op de droge heidevelden ontstonden door overbegrazing en plaggen stuifzanden. Er ontstond een halfnatuurlijk beekdallandschap met droge en natte zones. De ont- en afwatering werd in belangrijke mate verzorgd door de beken die hun ontstaan deels te danken hebben aan de toegenomen afvoer. Het regenwater werd niet meer overal door de venen afgevangen maar infiltreerde direct in de bodem of werd in de natte zones oppervlakkig afgevoerd. De berging in grond- en oppervlaktewater was gering omdat de ontwatering nog primitief was. De afvoeren volgden daardoor in belangrijke mate de fluctuaties in de neerslag. De dynamiek in de afvoeren wordt enigszins gedempt en de beken voeren ook in droge perioden water. De grondwaterstanden kunnen diep zijn (droge, infiltrerende gebieden) en ondiep tot overstromend toe (beekdalen). Er is

dynamiek in het grondwatersysteem, er zijn permanente kwelsituaties ontstaan evenals door overstroming beïnvloedde beekdalen.

3. Begin deze eeuw werden de heidevelden grootschalig ontgonnen voor de landbouw (dit werd mogelijk door de introductie van kunstmest) en bosbouw (hout t.b.v. de mijnbouw). De ontwatering van deze gebieden werd ter hand genomen waardoor enerzijds het water in natte perioden sneller werd afgevoerd maar waardoor anderzijds de berging in de bodem in droge perioden werd vergroot. De laatste grote veensystemen (veenkoloniën en de Peel) werden ontgonnen. Door het omzetten van heidevelden in (naald)bossen is de voeding van het grondwatersysteem in deze periode gereduceerd. Ook is in deze periode een begin gemaakt met de winning van drinkwater. Verdroging van de grondwatersystemen deed zijn intrede.
4. In de ruilverkavelingen (jaren '60 en '70) is de ontwatering systematisch verbeterd waardoor het hele gebied droger werd. Tegelijkertijd is de voeding van het grondwatersysteem verder afgenomen door de oprukkende bebouwing en zijn de waterwinningen fors uitgebreid. De effecten op de basisafvoeren zijn niet bekend (voor 1978 zijn de afvoeren niet gemeten). Verdroging werd als probleem onderkend.
5. Recent zijn maatregelen genomen om het gebied natter te maken en een meer natuurlijke situatie te realiseren. Daarbij wordt bovenstrooms water geconserveerd en stroomt het water in de natuurgebieden weer via maaiveld naar de waterlopen. De resultaten van de ROM/WCL-studie geven aan dat als gevolg van deze maatregelen de basisafvoer echter niet of nauwelijks verandert.

Uit de analyse blijken geen aanwijzingen voor het hebben bestaan van hogere basisafvoeren. Een analyse van het historisch waterbeheer en de ontginningen in combinatie met modelberekeningen kan de gepresenteerde hypothesen onderbouwen (of verwerpen). Onderzoek naar historisch waterbeheer gebeurt echter (nog) niet systematisch. Een dergelijke analyse voor het Drentse Aa gebied leidt tot meer inzicht in het gebied en tot een betere onderbouwing van de streefbeelden voor het Drentse Aa gebied. Waarschijnlijk zijn verschillende streefbeelden te ondersteunen.

Er is ook een ingreep buiten het studiegebied geweest die bijzonder verstrekkende gevolgen heeft gehad op de waterhuishouding binnen het gebied van de Drentse Aa: de ontginning van de Veenkoloniën. Hierdoor zijn de grondwaterstanden ten oosten van de Hondsrug meters gedaald. Welke effecten dit in het stroomgebied van de Drentse Aa heeft gehad is niet bekend, de potentialen van de watervoerende pakketten en de regionale stromingssystemen zijn hierdoor veranderd. Niet bekend is wat het effect hiervan is geweest op de afvoeren van de Drentse Aa. Mogelijk kunnen door het creëren van natte (kwel)zones (peilverhoging tot plas/dras) op de overgang van de Hondsrug naar de veenkoloniën ook de kwel in de beekdalen van de Drentse Aa en daardoor ook de basisafvoeren toenemen.

De maaiveldddaling als gevolg van de gaswinning kan bovengenoemde effect hebben versterkt. De daling in maaiveld en grondwaterstanden door de gaswinning is echter kleiner dan de verlaging gerealiseerd door de ontginning van de veenkoloniën zodat ook het effect van deze ingreep op het grondwatersysteem kleiner is.

De basisafvoeren kunnen worden vergroot door de dynamiek in het grondwatersysteem te vergroten. Door de grondwaterstanden verder uit te laten zakken kan langer en meer water via het oppervlaktewatersysteem worden afgevoerd. Verdiepen van de slootbodems (in combinatie met accoladeprofielen) kan er voor zorgen dat langer meer water wordt afgevoerd. De zomergrondwaterstanden zullen hierdoor zakken waardoor de actieve berging in de bodem toeneemt. Om deze 'grondwaterwinning' in de hogere delen van het gebied mogelijk te maken moeten de doelstellingen voor deze delen van het stroomgebied mogelijk worden aangepast. Grondwaterwinning in de zomer kan namelijk uitsluitend worden gerealiseerd met 'technische' oplossingen in de intrekgebieden zoals beregenen uit diepe pakketten, diepe drainage en verdiepen (en aanpassen van het profiel) van de waterlopen. Ook kan oppervlaktewater in reservoirs aan maaiveld worden geborgen en op vergelijkbare manier worden beheerd. Zowel de aanleg van bovengrondse reservoirs als de winning van ondiep grondwater zijn in het gebied van de Drentse Aa niet gewenst omdat deze 'technische' maatregelen niet in overeenstemming zijn met de overkoepelende doelstelling voor dit gebied: "het realiseren van een natuurlijk systeem".

6 Conclusies

De effecten van de maatregelen op de gemiddelde en op de 5% -laagste afvoer zijn in Tabel 1 samengevat.

Tabel 1 Toename in de afvoer ten opzichte van de uitgangssituatie en, indien relevant, de efficiëntie van de toename van de voeding

maatregel		Gem. afvoer	Toename	Efficiëntie		Basis afvoer	Toename	Efficiëntie	
Nr	Omschrijving	(l.s ⁻¹)	(l.s ⁻¹)	(%)	(%)	(l.s ⁻¹)	(l.s ⁻¹)	(%)	(%)
hs	Marsman 1998	1752				610			
0	Zuidlaren uit	1792	40	2	60	639	29	5	43
1	Infiltratie stad	1876	86	5	29	650	11	2	4
2	Natuurbos	1834	44	2	45	646	7	1	7
3	Granen	1825	36	2	62	648	9	1	16
4	Assen stop	1849	57	3	48	663	24	4	20
5	Hermeanderen	1798	6	0		641	2	0	
6	Verondiepen	1790	-2	0		651	12	2	
7	Conservering	1785	-7	0		648	9	1	

De maatregelen die voeding van gebied vergroten (0, 1, 2, 3 en 4) leiden tot een toename in de gemiddelde afvoer. Dat is logisch, er moet meer water het gebied het oppervlaktewatersysteem verlaten. In mindere mate neemt ook de basisafvoer toe. De verdeling van de afvoeren over de seizoenen wordt weinig beïnvloed. Andere maatregelen zijn nodig om deze verdeling te veranderen. De maatregelen in het stedelijk gebied hebben de grootste effecten. Stoppen van de waterwinningen Zuidlaren (0) en Assen (4), hebben de grootste effecten op de basisafvoer. Ook de efficiëntie, i.e. de mate waarin de gemiddelde toegenomen voeding bijdraagt aan de afvoer, is voor deze maatregelen groot. Ten opzichte van de situatie met ROM/WCL-maatregelen neemt de basisafvoer door stoppen van de winningen Zuidlaren en Assen met bijna 53 l.s⁻¹ (9%) toe.

De maatregelen 5, 6, en 7 leiden eveneens tot een toename van de basisafvoer. Het effect is echter klein. De accoladeprofielen in de landbouwgebieden bieden het meeste perspectief. Misschien kan door optimalisatie van deze maatregel en combinatie met andere maatregelen de verhoging van de basisafvoer verder toenemen; meer dan 5% lijkt op basis van de rekenresultaten echter moeilijk haalbaar.

Door combinatie van maatregelen lijkt een verhoging van de basisafvoer met zo'n 10 tot 15% te realiseren. De gewenste verhoging van de basisafvoer (toename van meer dan 100%) wordt met de bestudeerde maatregelen bij lange na niet bereikt.

De berekende basisafvoer is groter dan de gemeten basisafvoer, de berekende afvoer karakteristiek simuleert de gemeten afvoer karakteristiek echter goed. Dat betekent dat de resultaten van deze studie een goede indicatie geven van de te

verwachten effecten en dat het effect van de maatregelen in de praktijk groter kan zijn.

Alle maatregelen leiden tot een toename van de voorjaargrondwaterstanden. Ook de kwel neemt in de meeste maatregelen toe. Alleen hermeanderen en verondiepen van de waterlopen ten zuiden van Loon leiden tot een afname van de kwelfluxen in de beekdalen, de kwel verschuift bij deze maatregel naar de naastgelegen gronden. De doorgerekende maatregelen hebben de potentie om de doelstellingen m.b.t. de grondwaterstanden en kwelfluxen aanvullend op de ROM/WCL-maatregelen verder te realiseren.

Literatuur

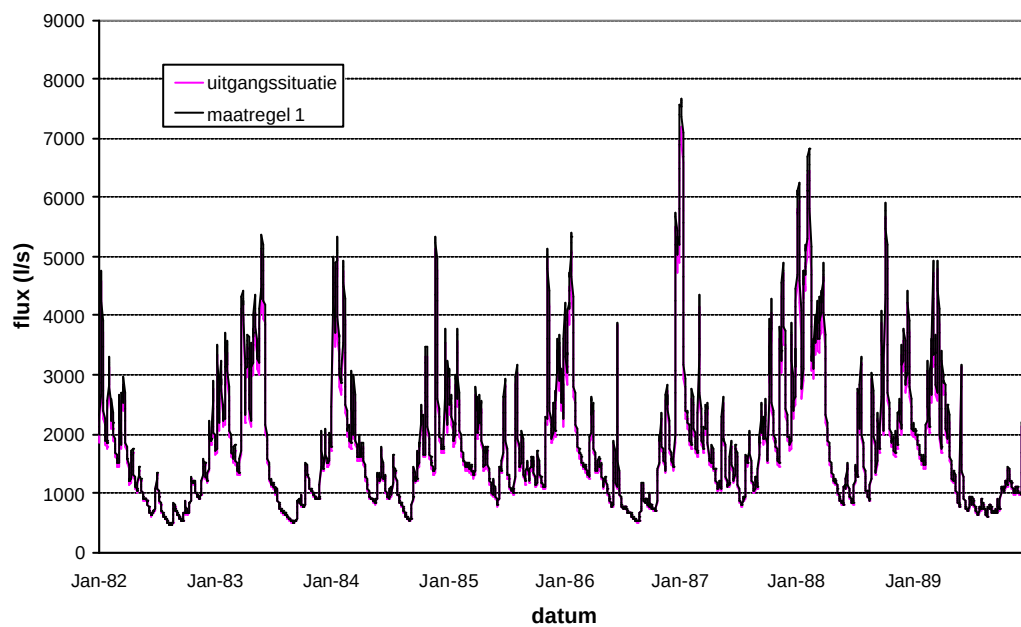
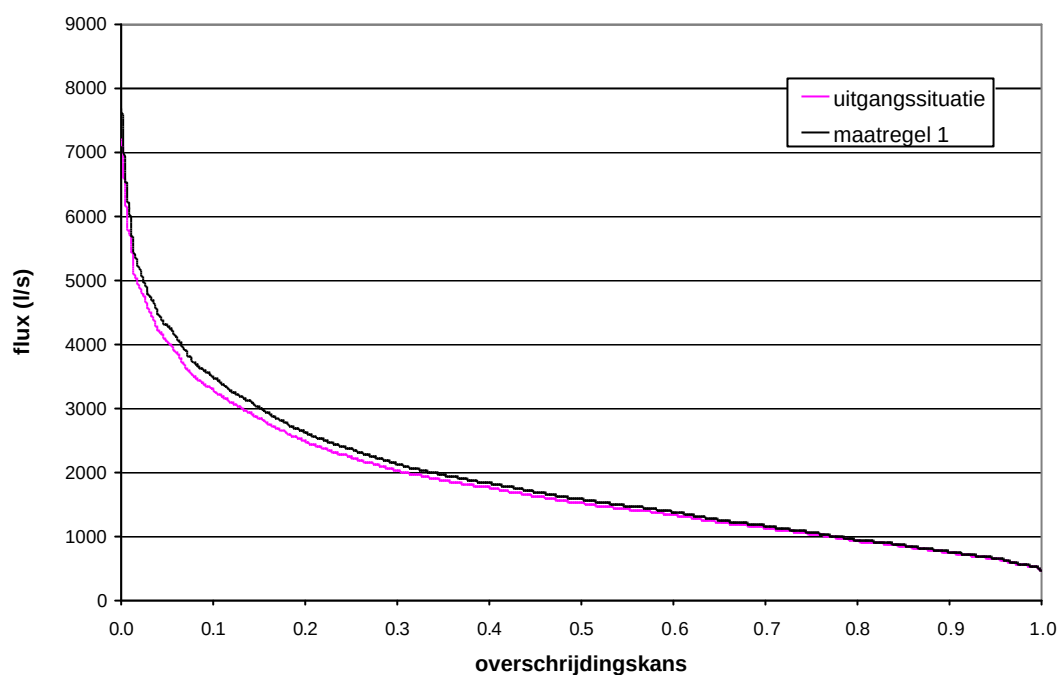
Everts, F.H. en N.P.J. de Vries, 1991. De vegetatieontwikkeling van beekdal-systemen. Een landschapsoecologische studie van enkele Drentse beekdalen. Historische Uitgeverij Groningen.

Marsman, D.J., F.J.E. van der Bolt, A.A. Veldhuizen en P.J.T. van Bakel, 1998. Evaluatie van waterhuishoudkundige maatregelen en opzet meetnet ROM/WCL-gebied Drentse Aa. TauwMabeg civiel en bouw, RAP981250.doc/b. Deventer.

Ven, F.H.M. van de en B.R. Voortman, 1985. De waterbalans van een stedelijk gebied; ervaringen in twee meetgebieden in Lelystad. In H2O 18(1985)8 p. 170-176.

Veldhuizen

Aanhangsel 1 Maatregel 1



Figuur Verandering van de oppervlaktewaterafvoeren door maatregel 1

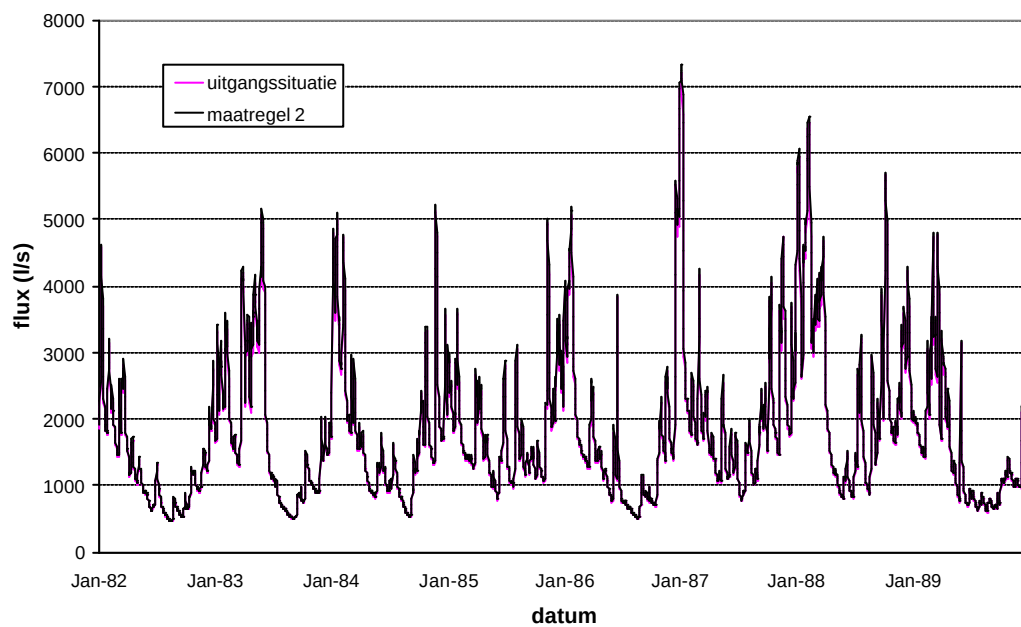
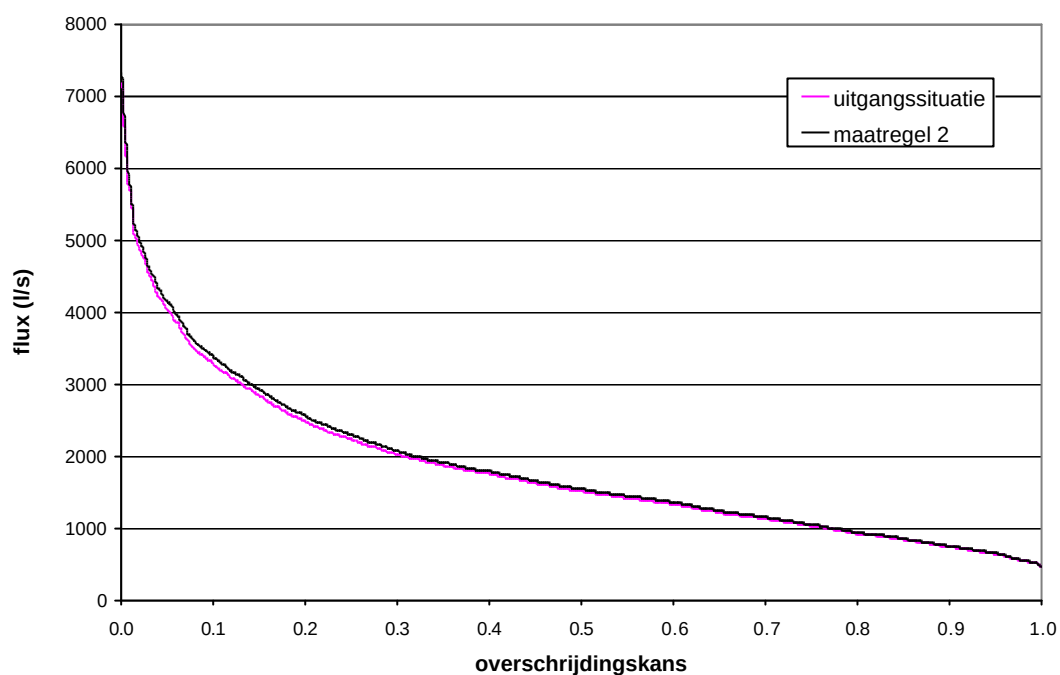


Figuur Verondiepen (m) van de GVG door maatregel 1



Figuur Toename van de kwelfluxen door maatregel 1

Aanhangsel 2 Maatregel 2



Figuur Verandering van de oppervlaktewaterafvoeren door maatregel 2

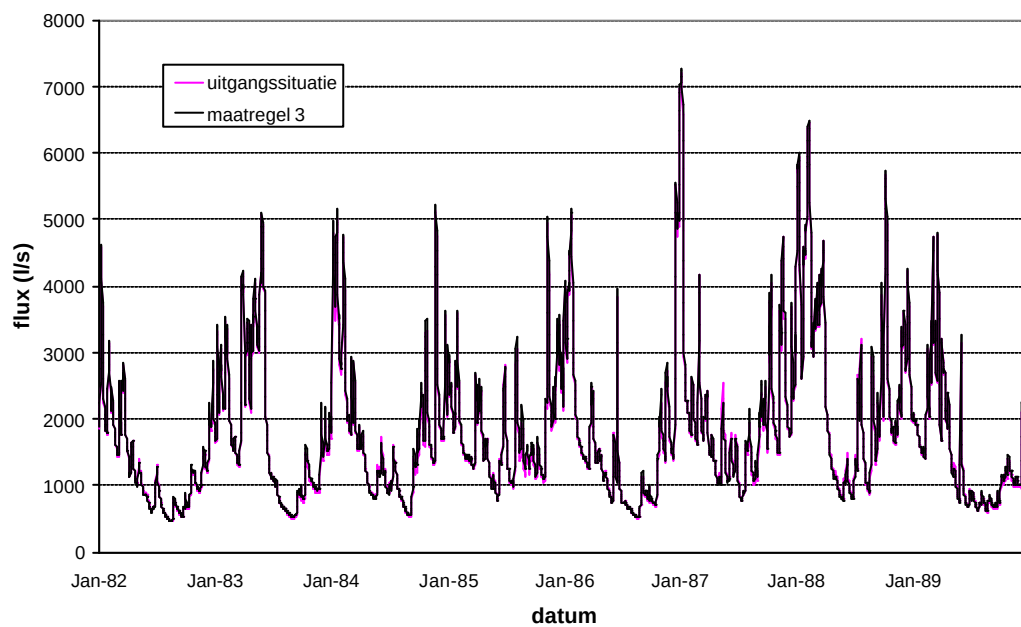
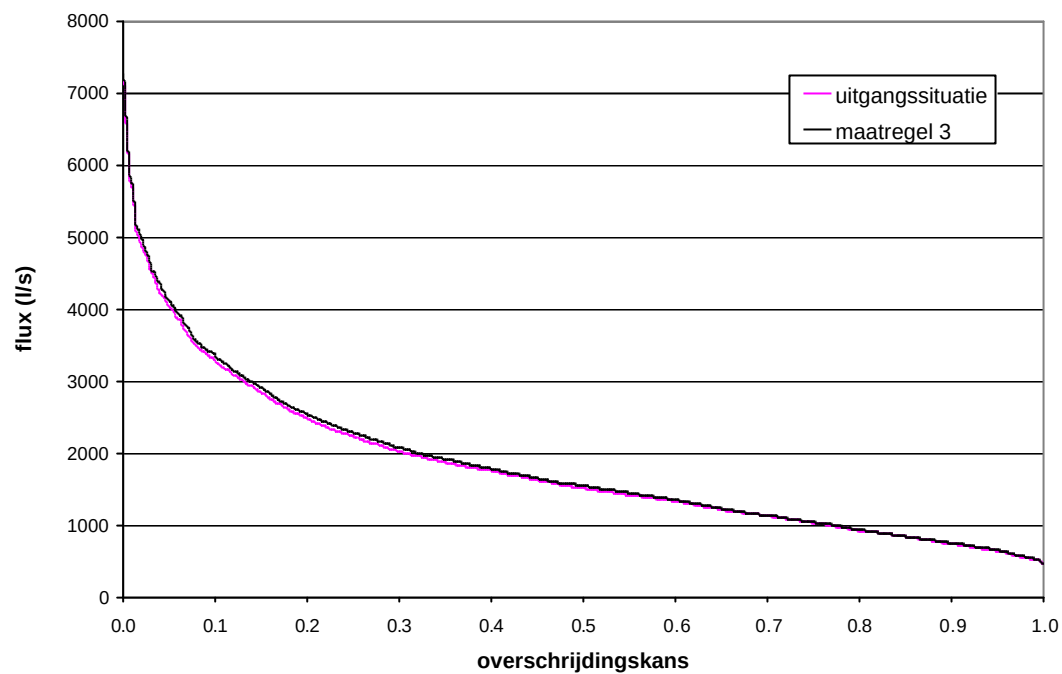
Title:
XY
Creator:
Kees van Heerden
Preview:
This EPS picture was not saved
with a preview included in it.
Comment:
This EPS picture will print to a
PostScript printer, but not to
other types of printers.

Figuur Verondiepen (m) van de GVG door maatregel 2



Figuur Toename van de kwelfluxen door maatregel 2

Aanhangsel 3 Maatregel 3



Figuur Verandering van de oppervlaktewaterafvoeren door maatregel 3



Figuur Verondiepen (m) van de GVG door maatregel 3

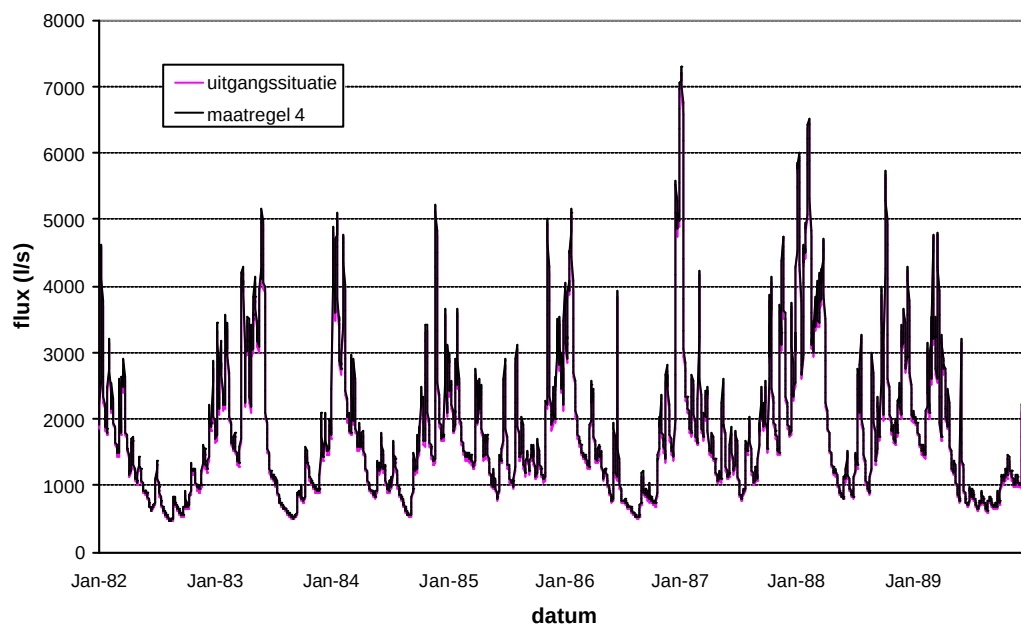
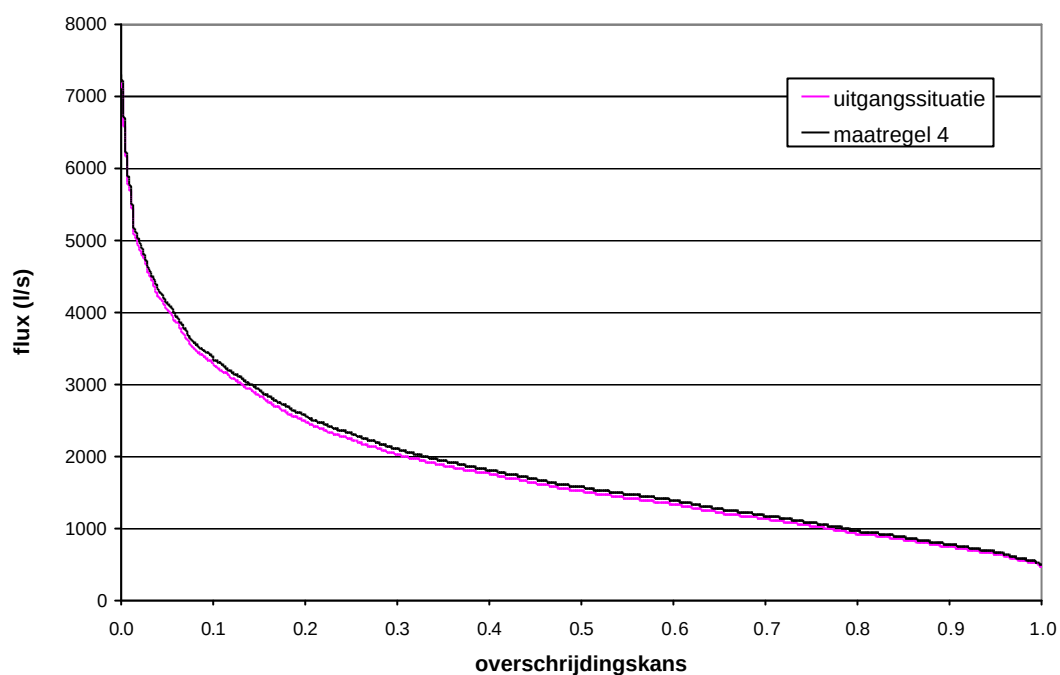


Figuur Toename van de kwelfluxen door maatregel 3

Title:
XY
Creator:
Kees van Heerden
Preview:
This EPS picture was not saved
with a preview included in it.
Comment:
This EPS picture will print to a
PostScript printer, but not to
other types of printers.

Figuur Afname van de kwelfluxen door maatregel 3

Aanhangsel 4 Maatregel 4



Figuur Verandering van de oppervlaktewaterafvoeren door maatregel 4

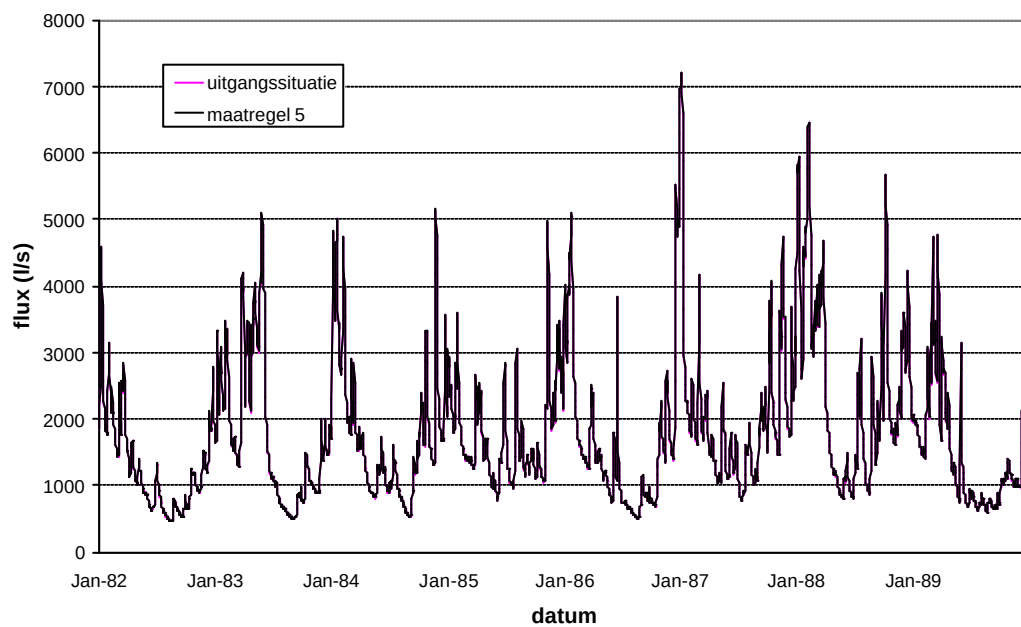
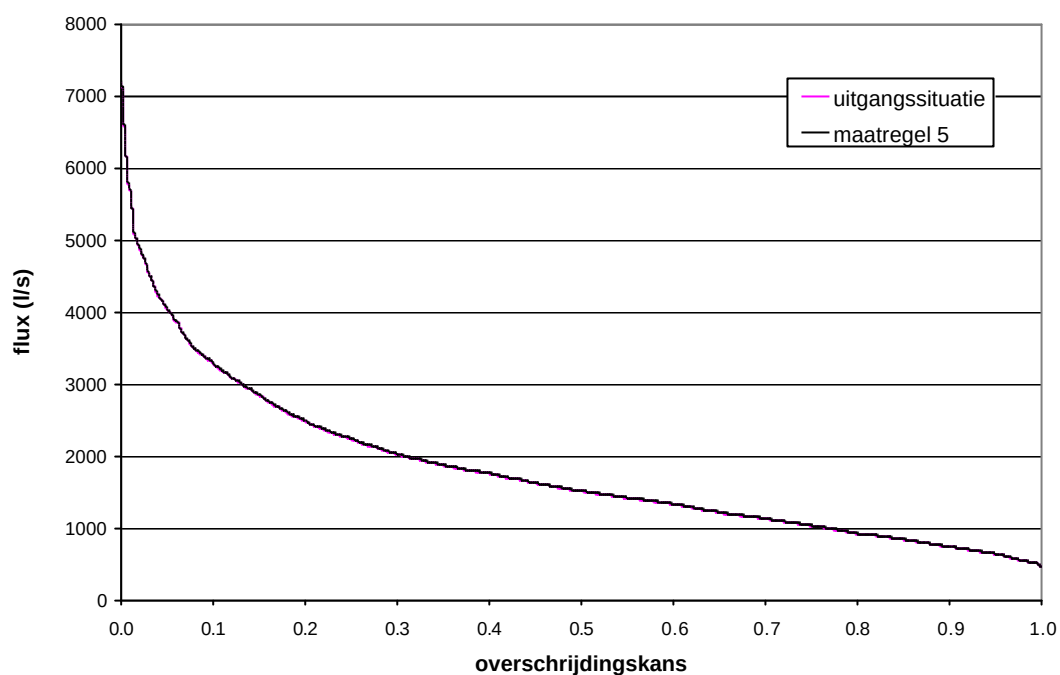
Title:
XY
Creator:
Kees van Heerden
Preview:
This EPS picture was not saved
with a preview included in it.
Comment:
This EPS picture will print to a
PostScript printer, but not to
other types of printers.

Figuur Verondiepen (m) van de GVG door maatregel 4



Figuur Toename van de kwelfluxen door maatregel 4

Aanhangsel 5 Maatregel 5



Figuur Verandering van de oppervlaktewaterafvoeren door maatregel 5



Figuur Verondiepen (m) van de GVG door maatregel 5

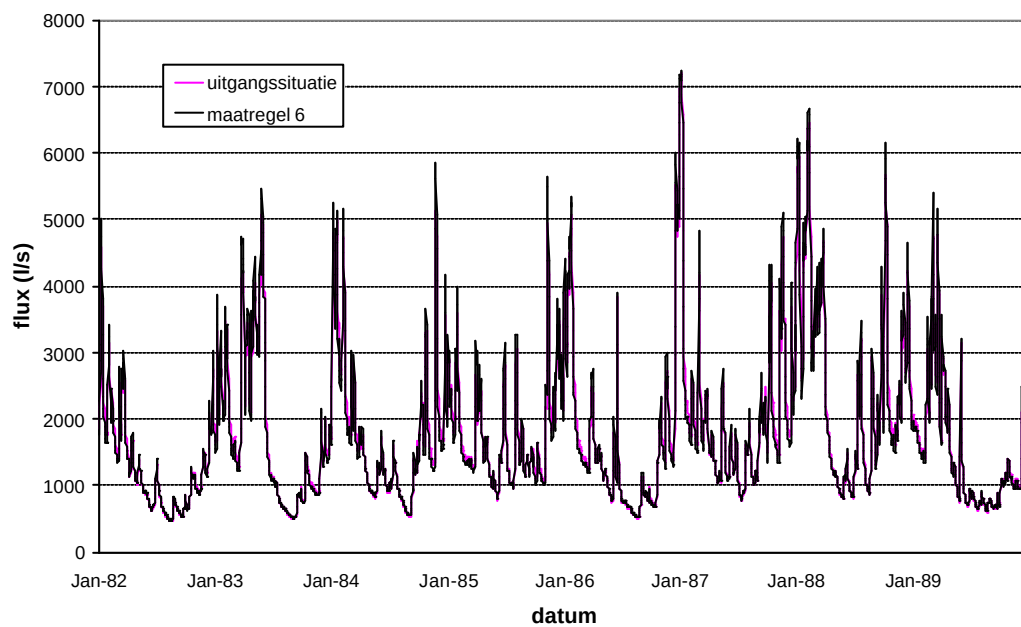
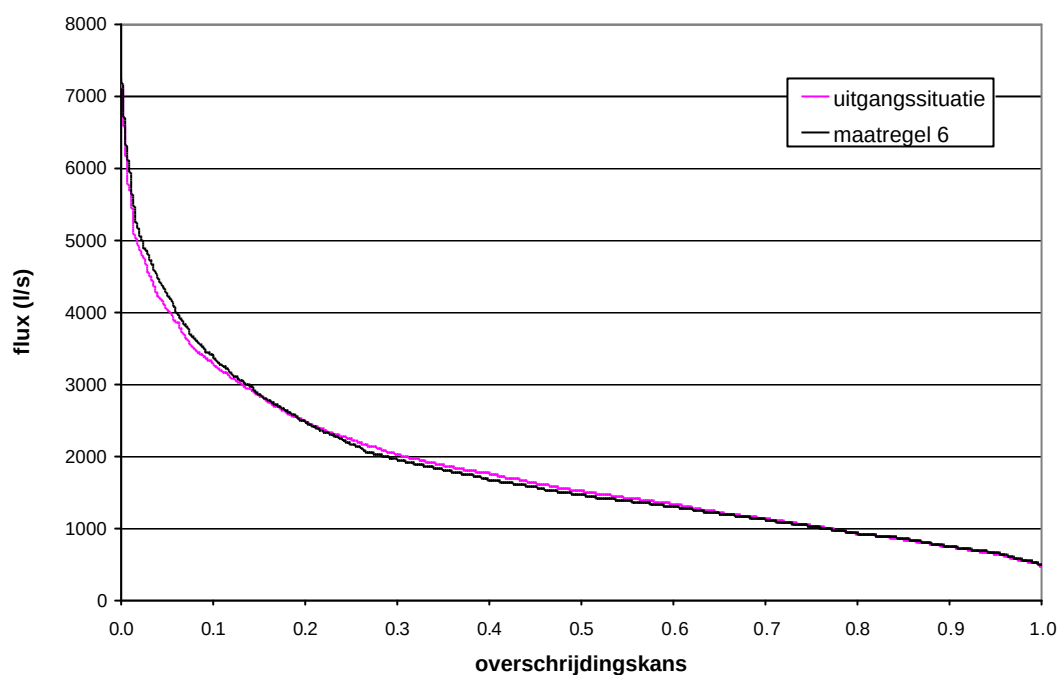


Figuur Toename van de kwelfluxen door maatregel 5

Title:
XY
Creator:
Kees van Heerden
Preview:
This EPS picture was not saved
with a preview included in it.
Comment:
This EPS picture will print to a
PostScript printer, but not to
other types of printers.

Figuur Afname van de kwelfluxen door maatregel 5

Aanhangsel 6 Maatregel 6



Figuur Verandering van de oppervlaktewaterafvoeren door maatregel 6

Title:
XY
Creator:
Kees van Heerden
Preview:
This EPS picture was not saved
with a preview included in it.
Comment:
This EPS picture will print to a
PostScript printer, but not to
other types of printers.

Figuur Verondiepen (m) van de GVG door maatregel 6

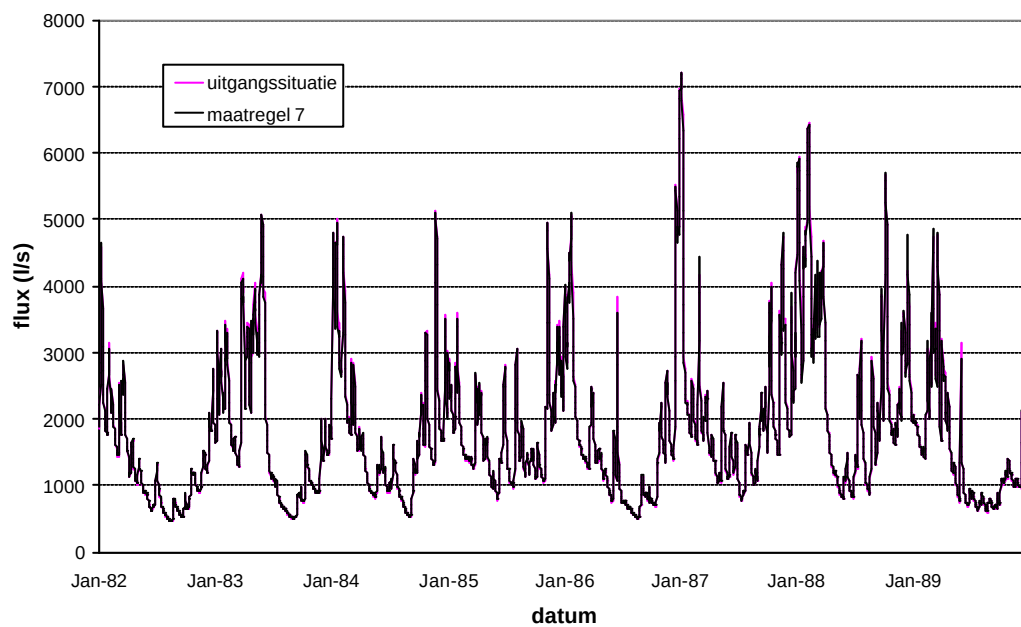
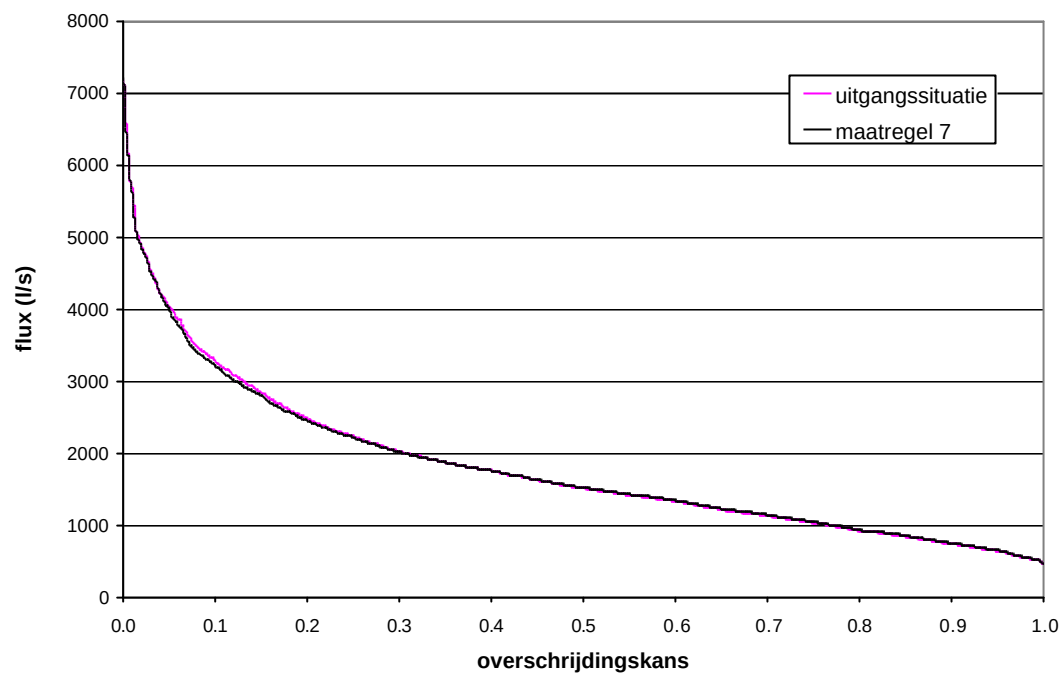


Figuur Toename van de kwelfluxen door maatregel 6



Figuur A *Afname van de kwelfluxen door maatregel 3*

Aanhangsel 7 Maatregel 7



Figuur Verandering van de oppervlaktewaterafvoeren door maatregel 7

Title:
XY
Creator:
Kees van Heerden
Preview:
This EPS picture was not saved
with a preview included in it.
Comment:
This EPS picture will print to a
PostScript printer, but not to
other types of printers.

Figuur Verondiepen (m) van de GVG door maatregel 7

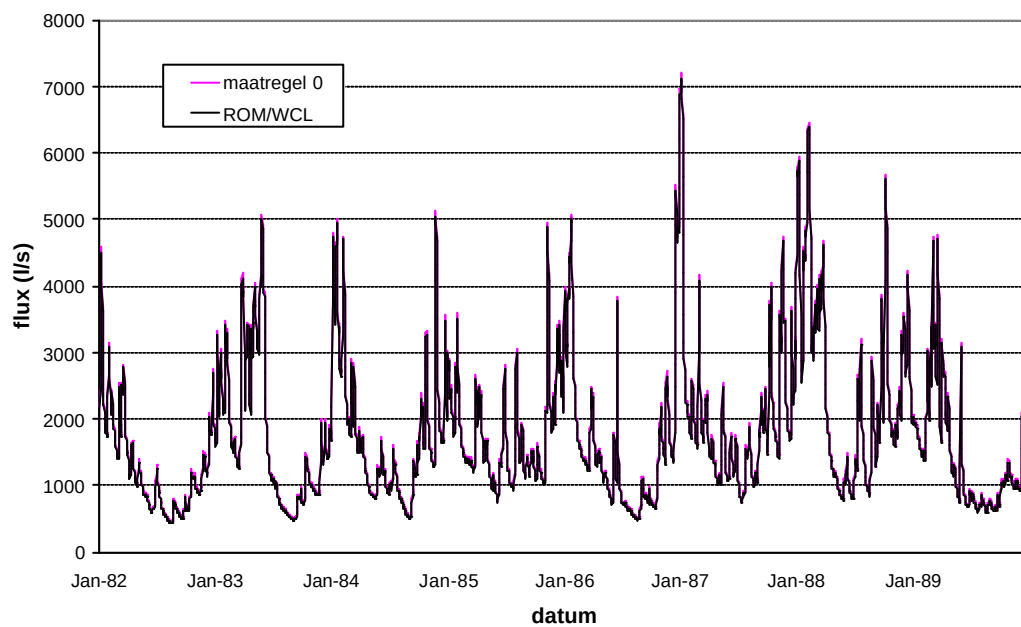
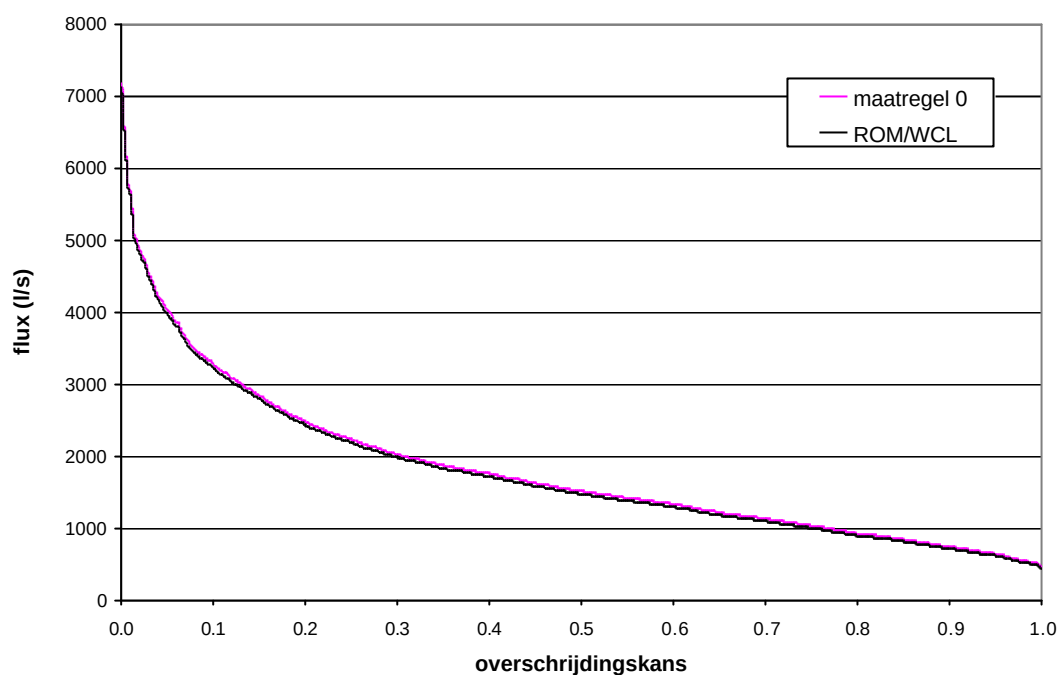
Title:
XY
Creator:
Kees van Heerden
Preview:
This EPS picture was not saved
with a preview included in it.
Comment:
This EPS picture will print to a
PostScript printer, but not to
other types of printers.

Figuur Toename van de kwelfluxen door maatregel 7



Figuur Afname van de kwelfluxen door maatregel 3

Aanhangsel 8 Stoppen drinkwaterwinning Zuidlaren



Figuur Verandering van de oppervlaktewaterafvoeren door stoppen drinkwaterwinning Zuidlaren

Title:
XY
Creator:
Kees van Heerden
Preview:
This EPS picture was not saved
with a preview included in it.
Comment:
This EPS picture will print to a
PostScript printer, but not to
other types of printers.

Figuur Verondiepen (m) van de GVG door stoppen drinkwaterwinning Zuidlaren

Title:
XY
Creator:
Kees van Heerden
Preview:
This EPS picture was not saved
with a preview included in it.
Comment:
This EPS picture will print to a
PostScript printer, but not to
other types of printers.

Figuur Toename van de kwelfluxen door stoppen drinkwaterwinning Zuidlaren

Aanhangsel 9 Een afvoerhydrologische systeemanalyse

Neerslag

De hoeveelheid en verdeling van de neerslag wordt verondersteld geen invloed uit te oefenen. Ook worden de mogelijke veranderingen als gevolg van klimaatverandering als exogeen beschouwd, d.w.z. er worden geen maatregelen beschouwd die hierop van invloed zijn

Verdamping

De verdampingsvraag wordt eveneens als exogeen beschouwd. De werkelijke verdamping is sterk afhankelijk van het bodemgebruik en het vochtleverend vermogen. De verdamping bepaalt de grondwateraanvulling.

Stroming over en berging van water op het maaiveld

De neerslag die op het aardoppervlak valt kan hetzij infiltreren hetzij (tijdelijk) op het maaiveld worden geborgen en oppervlakkig afstromen naar het riolerings- of oppervlaktewaterstelsel (afgezien van de neerslag die rechtstreeks op het oppervlaktewaterstelsel valt). De verdeling is afhankelijk van de neerslagintensiteit en de infiltratiecapaciteit van de bodem. De berging op het maaiveld en de weerstand van oppervlakte-afvoer zijn in de regel gering waardoor het gedeelte van de neerslag dat niet in de bodem infiltreert snel en met weinig afvlakking in het rioolsysteem of het oppervlaktewaterstelsel komt. De karakteristieke tijd van dit proces is door maatregelen te beïnvloeden. Denk hierbij een vergroting van berging op het maaiveld door aanpassing van microreliëf en/of helling of aan verhoging van de stromingsweerstand door vergroting van de ruwheid van het bodemoppervlak.

Infiltratie van water in de bodem

De infiltratiecapaciteit is sterk afhankelijk van de grondsoort en het bodemgebruik (en in het geval van vorst in de grond, van de weersomstandigheden. In de situatie dat de grondwaterstand tot in het maaiveld stijgt is de infiltratiecapaciteit nooit hoger dan de 'doordegrondse' afvoer die in de regel relatief gering is.

De infiltratiecapaciteit is door inrichtings- en beheersmaatregelen te beïnvloeden. Denk hierbij aan de wijze van grondbewerking maar ook het omzetten van niet-verhard in verhard gebied.

Stroming en berging van water in de bodem

Het in de bodem geïnfiltreerde water wordt afgevoerd naar het ontwateringsstelsel zoals greppels, sloten en drains. De karakteristieke tijd van de ontwateringsmiddelen is sterk verschillend: hoe groter de onderlinge afstand, hoe groter de weerstand en hoe dieper de ontwateringsbasis, hoe groter de berging. Maatregelen die een verandering van ontwateringsbasis en/of weerstand te weeg brengen (zoals dempen of verondiepen van waterlopen) hebben derhalve invloed op de translatie van neerslag in afvoer. Welke richting deze verandering uitgaat is moeilijk te voorspellen: dempen van waterlopen resulteert in een hogere weerstand maar meestal ook in

minder berging in de bodem (indien deze waterlopen een drainerende functie hadden).

Stroming en berging van water in gesloten stelsels

In bebouwd gebied zijn de meeste verharde oppervlakken aangesloten op de riolering. Het rioolstelsel is een gesloten systeem met in de regel beperkte bergingsmogelijkheden, lage stromingsweerstand en een beperkte afvoer via het rioolgemaal. Dit leidt er toe dat bij hoge neerslagintensiteiten het systeem 'overloopt' via riooloverstorten. Dit gaat gepaard met korte, hoge afvoerpieken met een geringe vertraging.

Maatregelen die genomen kunnen worden om de berging in het rioolstelsel te vergroten zijn de aanleg van bergbezinkbassins en een uitgekiend operationeel beheer waarbij op basis van weersvoorspellingen wordt voorgemalen.

Stroming en berging van water in het oppervlaktewatersysteem

De hydraulische eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem zijn van grote invloed op de translatie van de neerslag naar afvoer op nader te kiezen punten.

- Verhoging van de stromingsweerstand leidt tot stremming van de afvoer en daardoor tot grotere verhangen en dus tot meer berging. Echter deze hogere waterstanden kunnen juist het probleem vormen. Een mogelijke oplossing is vergroting van de berging in de vorm van ruimte voor de beek/rivier, in de vorm van overstromingsvlakten, uiterwaarden. Het is duidelijk dat het ontvangende gebied hiervoor wel geschikt moet zijn. Indien dit niet het geval is kan verhoging van kades of het afleiden van water een oplossing zijn.
- Vergroting van de stremming kan op vele manieren worden gerealiseerd:
- Verkleinen doorstroombaar profiel door bijvoorbeeld herprofilering of vermindering onderhoud
- Verlengen van het oppervlaktewatersysteem, bijvoorbeeld door hermeandering
- Aanleg van al dan niet bedienbare debietbegrenzende constructies, bijvoorbeeld knijpstuwen maar ook gemalen

Inundatie

Het inunderen van uiterwaarden en delen van het beekdal kunnen worden beschouwd als berging van water op het maaiveld maar nu gevoed vanuit het oppervlaktewaterstelsel (in tegenstelling van berging van water op het maaiveld bij overschrijden van de infiltratiecapaciteit). Een bijzondere vorm hiervan is berging van water in inundatiepolders of retentiebekkens waarbij op gecontroleerde wijze tijdelijk water in een gebied wordt geborgen.

Lozing

Bij het uitstroompunt van een stroomgebied kan zich een belemmering van de afvoergolf voordoen, bijvoorbeeld in de vorm van een gemaal met een beperkte afvoercapaciteit.

Samenhang tussen de processen

In het voorgaande is de transformatie van neerslag in afvoer beschreven als een keten van processen. Deze processen kunnen meestal niet afzonderlijk worden beschouwd.

Een duidelijk voorbeeld is de samenhang tussen ontwatering en afwatering: voor de ontwatering vormt de waterstand in de ontwateringsmiddelen de ontwateringsbasis. Deze waterstand wordt zeker in perioden met hoge afvoer bepaald door het dynamisch evenwicht tussen drainage op het oppervlaktewaterstelsel en de afwatering. Bij beperkte afwateringsmogelijkheden stijgt de openwaterstand waardoor de ontwateringsbasis kan oplopen en de drainage wordt gereduceerd. De mate van samenhang vertoont een grote variatie in ruimte en tijd. Beoordeling van de effecten van specifieke maatregelen is dan ook altijd maatwerk.

