

Formulering en toepassing van een model voor de bepaling van de optimale toedeling van oppervlaktewater in het kader van het project "Waterbeheer midden en oostelijk Noord-Brabant"

32/wub(wd) 2002

Formulering en toepassing van een model voor de bepaling van de optimale toedeling van oppervlaktewater in het kader van het project "Waterbeheer midden en oostelijk Noord-Brabant"

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

J. Vreke

Rapport 119

STARING CENTRUM, Wageningen, 1991



ISBN = 538007*

REFERAAT

Vreke J., 1991, *Formulering en toepassing van een model voor de bepaling van de optimale toedeling van oppervlaktewater in het kader van het project "Waterbeheer midden en oostelijk Noord-Brabant"*. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 119
39 blz.; 1 afb.; 29 tab.; 1 kaart; 3 aanhangsels.

In opdracht van de Provinciale Staten van Noord-Brabant is een studie uitgevoerd om voor midden en oostelijk Noord-Brabant de effecten van waterconservering en van aanvoer van Maaswater voor de landbouw vast te stellen. Een onderdeel van deze studie betreft de selectie van de bestemmingen (deelgebieden) waarvoor wateraanvoer plaats zal vinden. Ter ondersteuning van dit onderdeel van het regionale waterbeheer is een optimaliseringsmodel geformuleerd dat aangeeft naar welke deelgebieden (en ten behoeve van welke bestemmingen) aanvoer van oppervlaktewater plaatsvindt. Tevens wordt hierbij aangegeven welke aanpassingen van het stelsel van waterlopen en kunstwerken hierbij vereist zijn. Voor de toepassing voor het studiegebied is dit model getransformeerd tot een model met 0-1 variabelen.

Trefwoorden: regionaal waterbeheer, oppervlaktewater, optimalisering

ISSN 0924-3070

©1991

STARING CENTRUM Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

Het Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

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

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

Project 100.32

[JV.jan.91]

INHOUD

	blz.
WOORD VOORAF	7
SAMENVATTING	9
1 INLEIDING	11
2 PROBLEEMSTELLING	13
2.1 Het regionale verdelingsprobleem	13
2.2 Modelleren van het verdelingsprobleem	14
2.3 Multi-criteria analyse	16
3 WISKUNDIGE FORMULERING VAN HET VERDELINGSMODEL	19
3.1 Weersomstandigheden	19
3.2 Doelstellingsfunctie(s)	19
3.3 De verzameling toelaatbare oplossingen	20
3.4 Het primal all-integer algoritme	22
4 TOEPASSING VAN HET VERDELINGSMODEL	25
4.1 Probleembeschrijving	25
4.2 Beschrijving studiegebied	27
4.3 Modelbeschrijving	29
4.4 Resultaten	32
5 AFSLUITENDE OPMERKINGEN	37
LITERATUUR	39
AANHANGSELS	
1 Het "primal all-integer algorithm"	43
2 Het stelsel van waterlopen en kunstwerken	49
3 Resultaten voor het studiegebied	57
KAART	
Het stelsel van waterlopen en kunstwerken in midden en oost Noord-Brabant en Noord-Limburg, weergegeven als een netwerk van knooppunten en takken	
TABELLEN	
1 Vaste en variabele kosten van wateraanvoer op deelgebiedsniveau, opbrengst op bedrijfsniveau en aanvoerbehoefte in een 2-%droog jaar en een 10-%droog jaar	26
2 Capaciteit, wegzijging en schutverliezen in het primaire stelsel in de referentiesituatie (ongewijzigd beleid tot 2000)	28
3 Mogelijke aanpassingen voor het primaire stelsel ten opzichte van de situatie context 2000 en de kosten hiervan op jaarbasis	29
4 Onttrekkingen en lozingen op het primaire stelsel in midden en oost Noord-Brabant	29
5 De hoeveelheid water die wordt opgepompt bij Oosterhout en bij Panheel, de opbrengst in de landbouw, de oppompkosten binnen het primaire stelsel en de kosten van aanpassing van het primaire stelsel, voor enkele varianten voor de capaciteit van de Peelkanalen en van de Zuid-Willemsvaart als alleen subinfiltratie is toegestaan	33

- 6 De hoeveelheid water die wordt opgepompt bij Oosterhout en bij Panheel, de opbrengst in de landbouw, de oppompkosten binnen het primaire stelsel en de kosten van aanpassing van het primaire stelsel, voor enkele varianten voor de capaciteit bij Katsberg en van de Zuid-Willemsvaart en bij uitbreiding van de Peelkanalen, als berekening uit oppervlaktewater is toegestaan

WOORD VOORAF

De Provinciale Staten van Noord-Brabant hebben eind 1986 aan het ICW (sinds 1-1-1989 opgegaan in het Staring Centrum) de opdracht verstrekt te onderzoeken of (uitbreiding van) wateraanvoer ten behoeve van de landbouw rendabel is. In dat kader is een methode geformuleerd voor het genereren van de optimale toedeling van oppervlaktewater aan bestemmingen die in prioriteit (kunnen) verschillen. In dit rapport wordt deze methode beschreven en worden de resultaten gepresenteerd van de toepassing van de methode voor het studiegebied. Dit betreft een onderdeel van het onderzoeksproject "Waterbeheer midden en oostelijk Noord-Brabant". De resultaten van het volledige onderzoek zijn elders beschreven (Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990).

SAMENVATTING

Er is een optimaliseringsmodel geformuleerd om de optimale toedeling van oppervlaktewater te genereren. Dit betreft de toedeling aan in prioriteit verschillende bestemmingen met onderling vaak tegenstrijdig belangen. Naast de optimale toedeling wordt aangegeven waar het stelsel van waterlopen en kunstwerken moet worden aangepast om het toegedeelde water op de plaats van bestemming te kunnen krijgen. Bij het gebruik van oppervlakte water kan onderscheid worden gemaakt tussen:

- onttrekking van water uit de leidingen voor bijvoorbeeld beregening of koelwater;
- infiltratie om de grondwaterstand te verhogen, bijvoorbeeld om grondwateronttrekking te compenseren of om een specifieke natuurlijke vegetatie te handhaven;
- beheer van het waterpeil in de waterlopen bijvoorbeeld voor de scheepvaart of voor recreatieve doeleinden.

Het geformuleerde model is een wiskundig optimaliseringsmodel. De selectie-criteria worden beschreven door doelstellingsfuncties, die kunnen verschillen in prioriteit en in de eenheid waarin ze zijn gewaardeerd. De verzameling toelaatbare oplossingen wordt beschreven door beperkingen. Dit betreft onder andere de beschikbaarheid van water bij de inlaatpunten van het gebied, de capaciteit van het primaire stelsel van waterlopen en kunstwerken en de stroomrichting van het water. Ook kunnen specifieke wensen van de beslisser, bijvoorbeeld het instandhouden van bepaalde natuurgebieden, als beperkingen worden toegevoegd.

Het systeem van waterlopen en kunstwerken is beschreven als een netwerk van knooppunten en takken. De knooppunten zijn hierbij de inlaatpunten van het gebied, de punten waar waterlopen van het primaire stelsel samenkomen of splitsen en de punten waar een vraag naar water is gelokaliseerd. De takken zijn (delen van) waterlopen die de knooppunten verbinden. Er is verondersteld dat de vraag gelokaliseerd is in het punt waar het water wordt onttrokken aan het primaire stelsel van waterwegen en kunstwerken. Als het model voor een gebied wordt toegepast dan wordt dit gebied opgesplitst in deelgebieden die onafhankelijk zijn (verondersteld) met betrekking tot de aanvoer van oppervlaktewater. Het gebruik van oppervlaktewater binnen een deelgebied (voor verschillende toepassingen) is gelokaliseerd in het punt waar het water het deelgebied binnenkomt.

Het gebruik van oppervlaktewater wordt beschreven via bestemmingen. Een bestemming is een specifiek gebruik van oppervlaktewater door een specifieke gebruiker in een specifiek knooppunt. Dit betekent dat er (veel) knooppunten zijn met meer dan één bestemming. De bestemmingen kunnen verschillende gebruikers betreffen maar ook verschillende gebruiksniveaus van één gebruiker. Voor landbouw bijvoorbeeld zijn twee niveaus onderscheiden: subinfiltratie (het aangevoerde oppervlaktewater infiltreert en de gewassen profiteren, via de wortels, van de verhoogde grondwaterstand) en beregening uit oppervlaktewater.

Het geformuleerde model is toegepast voor het studiegebied in Noord-Brabant en Noord-Limburg, een gebied van ca. 70 000 ha dat is gesplitst in meer dan vijftig deelgebieden. Hierbij is de optimalisering beperkt tot het genereren van de toedeling die de verwachte opbrengst van wateraanvoer in de landbouw (gemeten als toegevoegde waarde) maximaliseert. De verzameling beperkingen is aangevuld met beperkingen die ervoor zorgen dat voor enkele specifieke bestemmingen (o.a. scheepvaart) wordt voorzien in de vraag aan water. De resultaten van deze toepassing zijn samengevat in dit rapport.

1 INLEIDING

Volgens de Wet op de Waterhuishouding moet iedere provincie een provinciaal waterhuishoudingsplan opstellen. In dit kader is door de Provinciale Staten van Noord-Brabant aan het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (nu onderdeel van het Staring Centrum) de opdracht verstrekt onderzoek te verrichten naar het effect van uitbreiding van aanvoer van oppervlaktewater in midden en oost Noord-Brabant en Noord-Limburg (Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990). De doelstelling van het onderzoek is (citaat onderzoeksvoorstel):

"Het aandragen van bouwstenen en beleidsadviezen voor de evaluatie van oppervlaktewateraanvoer en optimalisering van de waterhuishouding op zodanige wijze dat de resultaten van de studie kunnen worden geïntegreerd in het op te stellen waterhuishoudingsplan."

Enkele relevante beleidsvragen in dit verband zijn:

- Is uitbreiding van de aanvoer van oppervlaktewater in landbouwkundig opzicht rendabel en, indien ja, met welke capaciteit en met welke verdeling over het gebied?
- Is aanvoer van oppervlaktewater als compensatie voor de dreigende overschrijding van de winbaar geachte hoeveelheid grondwater vereist en, indien ja, met welke aanvoercapaciteit?
- Wat is de verwachte ontwikkeling met betrekking tot beregening?
- Wat zijn de te verwachten milieu-effecten van wateraanvoer?

Het onderzoek bestaat uit drie fases. De eerste twee fases zijn gericht op de landbouw. Ze betreffen het effect van wateraanvoer en waterconserving op de opbrengst in de landbouw. In de derde fase worden ook andere aspecten expliciet in de analyse betrokken, bijvoorbeeld het effect van aanvoer van gebiedsvreemd water en/of verandering van de grondwaterstand op het voortbestaan en de kwaliteit van natuurgebieden.

In dit rapport wordt een model geformuleerd voor de bepaling van de optimale verdeling van een beperkte hoeveelheid oppervlaktewater over activiteiten op verschillende locaties. Meestal is hierbij sprake van in prioriteit verschillende doelstellingen. Bij de bepaling van de optimale verdeling is het bestaande stelsel van waterlopen en kunstwerken één van de beperkende factoren.

Het geformuleerde model (verder aangeduid als verdelingsmodel) is toegepast in de eerste fase van het onderzoek naar het effect van uitbreiding van aanvoer van oppervlaktewater in midden en oost Noord-Brabant en noord Limburg. De toepassing betreft aanvoer van oppervlaktewater voor de landbouw, onder de voorwaarde dat voor enkele specifieke niet-landbouw bestemmingen (scheepvaart, wegzijging en industrie) de aanvoer van water is gegarandeerd.

In hoofdstuk 2 wordt de algemene probleemstelling uitgewerkt. Dit betreft de optimale verdeling van een beperkte hoeveelheid oppervlaktewater over een aantal bestemmingen in het geval dat er meer dan één doelstelling is. Dit resulteert in een geheeltallig optimaliseringsmodel. De wiskundige formulering van dit model (het verdelingsmodel) is beschreven in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 beschrijft de toepassing van het verdelingsmodel in de eerste fase van het onderzoek dat is uitgevoerd in opdracht van de provincie Noord-Brabant. Hoofdstuk 5 biedt enkele afsluitende opmerkingen.

2 PROBLEEMSTELLING

2.1 Het regionale verdelingsprobleem

Oppervlaktewater wordt onder andere gebruikt voor scheepvaart (schutten, handhaven minimum debiet), landbouw (subinfiltratie, beregening), industrie (koelwater), drinkwaterwinning (aanvulling grondwater) en "natuur en milieu" (beïnvloeding kwaliteit grond- en oppervlaktewater en grondwaterstand). Enkele van deze doeleinden, zoals scheepvaart, bevinden zich binnen het primaire stelsel van waterlopen en kunstwerken (in het vervolg aangeduid als het primaire stelsel). Andere doeleinden bevinden zich buiten het primaire stelsel, bijvoorbeeld landbouw. Het primaire stelsel wordt dan gebruikt voor het transport van water. Vaak is er onvoldoende (oppervlakte)water om voor alle doeleinden volledig aan de behoefte te kunnen voldoen. Ook de capaciteit van het primaire stelsel is hierop meestal niet berekend. Hierbij is de capaciteit van het primaire stelsel gedefinieerd als de maximale hoeveelheid oppervlaktewater die (per tijdseenheid) door het primaire stelsel kan worden getransporteerd. Een toepassing is een specifiek doel(eind) op een specifieke locatie binnen het gebied.

De bepaling van een beperkte hoeveelheid oppervlaktewater over een aantal toepassingen is een verdelingsprobleem op regionaal niveau (verder aangeduid als verdelingsprobleem). Hierbij moet worden aangegeven welke toepassingen oppervlaktewater krijgen toegedeeld en waar aanpassing van het primaire stelsel is vereist. Een complicerende factor bij de bepaling van de optimale verdeling is dat er meestal meer selectie-criteria zijn. Deze criteria, die meestal in verschillende dimensies zijn gewaardeerd en/of in prioriteit verschillen, zijn onderling vaak strijdig.

Het verdelingsprobleem betreft de bepaling van de optimale verdeling van oppervlaktewater over toepassingen, waarbij de beschikbaarheid van water en de capaciteit van het primaire stelsel beperkende factoren zijn. Bij de bepaling spelen de opbrengst en de kosten van wateraanvoer een rol. Voor de opbrengst geldt dat deze niet altijd in één dimensie (bijv. geld) wordt gewaardeerd. Zo wordt bijvoorbeeld een vermindering in de kwaliteit van een specifiek natuurgebied (ten gevolge van aanvoer van oppervlaktewater) beschouwd als een (negatieve) opbrengst. De kosten betreffen zowel de kosten om het water op de plaats van bestemming te krijgen, als de kosten die bij het gebruik van het water worden gemaakt. De kosten worden gesplitst in kosten voor het primaire stelsel en kosten voor een specifieke toepassing.

De kosten voor het primaire stelsel zijn de kosten voor uitbreiding, beheer en onderhoud van het primaire stelsel, en de oppompkosten binnen het primaire stelsel. Deze kosten kunnen geheel of gedeeltelijk aan specifieke toepassingen worden toegedeeld.

De kosten voor een specifieke toepassing zijn de kosten die buiten het primaire stelsel worden gemaakt om het water op de plaats van bestemming te krijgen en op de gewenste wijze te gebruiken. Deze kosten worden verrekend bij de bepaling van de opbrengst (voor de betreffende toepassing) van het aangevoerde water.

De kosten en opbrengsten van wateraanvoer worden beïnvloed door de weersomstandigheden. In droge periodes bijvoorbeeld is vaak weinig water beschikbaar terwijl de meeste toepassingen juist een grote behoefte aan wateraanvoer hebben en de opbrengst van wateraanvoer relatief hoog is. De situatie

in droge jaren is dan ook van grote invloed op de rentabiliteit van aanpassingen van het primaire stelsel. De (vaste) kosten van deze aanpassingen treden in alle jaren op.

Samenvattend kan worden gesteld dat het regionale verdelingsprobleem een stochastisch multi-criteriaprobleem is dat zowel de verdeling van het beschikbare water als de eventuele aanpassing van het primaire stelsel betreft. Het stochastische karakter van het model wordt mede veroorzaakt door de weersafhankelijkheid van de vraag en het aanbod van oppervlaktewater.

2.2 Modelleren van het verdelingsprobleem

Het verdelingsprobleem betreft beslissingen over de verdeling van het beschikbare water over de onderscheiden toepassingen en over aanpassing van het primaire stelsel. Sommige toepassingen betreffen een punt in het gebied (bijvoorbeeld gebruik als koelwater), andere hebben een groter ruimtebeslag (bijvoorbeeld beregening). Deze toepassingen worden gekoppeld aan het deelgebied of het deel van het primaire stelsel waarbinnen ze zich bevinden. Hiertoe is het gebied gesplitst in deelgebieden die met betrekking tot de aanvoer van oppervlaktewater als afzonderlijke beheerseenheden (kunnen) worden beschouwd. De deelgebieden en de delen van het primaire stelsel zijn de kleinste ruimtelijke eenheden die worden onderscheiden. Ieder deelgebied of deel van het primaire stelsel kan dus één of meer toepassingen bevatten met een vraag naar (aanvoer van) oppervlaktewater.

De deelgebieden zijn door het primaire stelsel met elkaar verbonden. Dit is schematisch weergegeven als een netwerk van knooppunten en takken. De knooppunten zijn de inlaatpunten van het gebied, de punten waar waterlopen van het primaire stelsel samenkomen of splitsen en de deelgebieden. De waterlopen binnen het primaire stelsel en de verbindingen van de deelgebieden met het primaire stelsel zijn de takken. Iedere tak is gekenmerkt door de maximale hoeveelheid water die er per tijdseenheid door kan stromen (de capaciteit).

In veel gevallen is de tak die een deelgebied verbindt met het primaire stelsel een denkbeeldige tak bestaande uit één inlaatwerk. Deze takken spelen een rol bij de toedeling van de vaste kosten van wateraanvoer. Een denkbeeldige tak wordt ook geïntroduceerd als er binnen een deelgebied één of meer aanpassingen vereist zijn waarvan niet alle toepassingen, binnen het deelgebied, kunnen profiteren. Ook dan speelt de tak een rol bij de toedeling van vaste kosten.

De koppeling van toepassingen aan knooppunten en takken wordt beschreven via het begrip bestemming. Een bestemming is de combinatie van een toepassing en het deelgebied (knooppunt) of het deel van het primaire stelsel (knooppunt of tak), waarbinnen zij zich bevindt. Iedere toepassing correspondeert dus met één bestemming, terwijl er per knooppunt of tak meer bestemmingen mogelijk zijn. Er is verondersteld dat realisering van wateraanvoer naar één bestemming geen invloed heeft op de omvang van de wateraanvoerbehoefte en van de opbrengst van wateraanvoer van andere bestemmingen. Wel kan er de volgorde vastliggen waarin water aan bestemmingen kan worden toegedeeld. Voor de landbouw bijvoorbeeld is, in een deelgebied, pas beregening mogelijk als er al subinfiltratie plaatsvindt.

Een uitgangspunt bij de bepaling van de omvang van de aanvoerbehoefte is dat als er aan de bestemming water is toegedeeld, deze moet kunnen beschikken over een constante (nader gespecificeerde) hoeveelheid water. De aanvoerbehoefte is het verschil tussen de hoeveelheid water waarover de bestemming moet kunnen

beschikbaar en de hoeveelheid water die, zonder aanvoer van oppervlaktewater, voor de betreffende bestemming beschikbaar is.

De rechtvaardiging van dit uitgangspunt is de volgende. Sommige bestemmingen, bijvoorbeeld onttrekking voor koelwater, hebben daadwerkelijk een constante behoefte. Voor de overige bestemmingen geldt, bij benadering, dat geboden mogelijkheden maximaal worden benut, waardoor de wateraanvoerbehoefte min of meer constant mag worden verondersteld. Dit wordt geïllustreerd door de wijze waarop in de praktijk, veranderingen plaatsvinden. Als bijvoorbeeld de inlaatcapaciteit van een gebied wordt vergroot ten behoeve van de landbouw, dan wordt de extra capaciteit (bijna) onmiddellijk voor het grootste deel gebruikt, zodat bijna onmiddellijk maximale aanvoer van oppervlaktewater vereist is.

De veronderstelling dat een bestemming over een constante hoeveelheid water kan beschikken betekent niet noodzakelijk dat de aanvoerbehoefte constant is. Dit komt door de weersafhankelijkheid van het "gebruik" van water en van de hoeveelheid water die zonder extra aanvoer beschikbaar is (in een deelgebied) beschikbaar is. Hierdoor kunnen de omvang de behoefte aan en de opbrengst van wateraanvoer pas worden bepaald als de weersomstandigheden bekend zijn. Omdat deze grootheden variëren met de weersomstandigheden (en bij gegeven weersomstandigheden constant zijn) wordt de toedeling van water door weersafhankelijke nul-één variabelen beschreven.

Omdat ook het al dan niet uitvoeren van aanpassingen van het primaire stelsel door discrete variabelen (stapsgewijze aanpassingen per tak) wordt beschreven, kan het verdelingsprobleem als een geheeltallig optimaliseringsmodel worden geschreven. Dit is een wiskundig model met alleen geheeltallige variabelen, dat bestaat uit één of meer doelstellingsfuncties en een aantal beperkingen. De doelstellingsfuncties beschrijven de selectie-criteria en de beperkingen begrenzen de verzameling van toelaatbare oplossingen. De beperkingen betreffen:

- de beschikbaarheid van water bij de inlaatpunten van het gebied. De hoeveelheid water die bij een inlaatpunt beschikbaar is, is de maximale hoeveelheid die vanuit het betreffende inlaatpunt kan worden toegedeeld. Wegzittingsverliezen in het primaire stelsel zijn verwerkt in de aanvoerbehoefte of zijn opgenomen als een aparte bestemming (met een hoge prioriteit);
- de capaciteit van het primaire stelsel (inclusief de verbinding met de deelgebieden). De capaciteit van een tak is beperkend voor de hoeveelheid water die per tijdseenheid door de betreffende tak kan worden getransporteerd. Voor sommige takken is uitbreiding van capaciteit mogelijk;
- de capaciteit van het stelsel van waterlopen en kunstwerken binnen een deelgebied. Deze capaciteit is beperkend voor de hoeveelheid water die naar het deelgebied kan worden aangevoerd. Voor de meeste deelgebieden kan dit stelsel worden aangepast, waarbij de kosten door de profiterende bestemming(en) worden gedragen;
- de stroomrichting in het primaire stelsel. Voor de meeste takken is maar één richting mogelijk. Voor de overige takken is er binnen één periode slechts één richting toegestaan;
- de volgorde waarin water mag worden toegedeeld aan bestemmingen. Aan sommige bestemmingen kan/mag pas water worden toegedeeld als één of meer andere (specifieke) bestemmingen van water zijn voorzien. Een mogelijke reden hiervoor is dat er infiltratie optreedt, waardoor het onmogelijk is om niet te profiteren. Een andere mogelijke reden is dat de waterbeheerder vindt dat ieder deelgebied (bestemming) moet kunnen profiteren van water dat er door of er langs stroomt. Hierbij kan het gebruik worden beperkt tot een bepaalde bestemming (niveau);
- technische restricties. Een technische restrictie is dat er, binnen een periode, aan

- één bestemming slechts vanuit één inlaatpunt water mag worden toegedeeld;
- exogeen bepaalde voorwaarden. De procedure bij het oplossen van het probleem kan één of meer (extra) beperkingen genereren.

Omdat het verdelingsprobleem op deze wijze is geformuleerd kunnen bestaande algoritmes worden gebruikt om de optimale toedeling van water te genereren. Complicerende factoren hierbij zijn het stochastische karakter van een aantal grootheden en het feit dat het een multi-criteria probleem is.

2.3 Multi-criteria analyse

In deze paragraaf worden enkele aspecten van de multi-criteria analyse kort toegelicht. De multi-criteria analyse houdt zich bezig met keuze-problemen waarbij sprake is van meer dan één selectie-criterium. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen het genereren van alternatieven en het vergelijken van alternatieven. De toelichting blijft beperkt tot het genereren van alternatieven, omdat dit het aspect is waarop het verdelingsmodel is gericht.

Bij het genereren van alternatieven kan een wiskundig model worden gebruikt dat is opgebouwd uit doelstellingsfuncties en beperkingen. De doelstellingsfuncties zullen vaak in prioriteit verschillen en in verschillende dimensies zijn gewaardeerd. Herleiding op één noemer is mogelijk als de relatieve waardering van de dimensies en de prioriteit van de selectie-criteria bekend zijn. Meestal is dit niet het geval, zodat er geen globaal optimum kan worden gegenereerd (gebrek aan informatie). Er wordt dan gezocht naar een lokaal optimum of naar een goede (bevredigende) oplossing. De hierbij te volgen benadering wordt mede bepaald door de wensen van de beslisser en de specifieke vorm van het probleem.

Een mogelijke benadering is het op één noemer (dimensie) brengen van de doelstellingsfuncties door deze met een wegingsfactor te vermenigvuldigen en vervolgens te sommeren. Dit resulteert in een 1-dimensionaal probleem. De wegingsfactoren zijn een weergave van de relatieve waardering van de verschillende dimensies, ten opzichte van een gekozen dimensie, gecombineerd met de prioriteit die wordt gehecht aan de onderscheiden doelstellingsfuncties (selectie-criteria). Of de benadering kan worden toegepast hangt af van de bereidheid van de beslisser om relatieve waarderingen en prioriteiten expliciet aan te geven. Bij voldoende informatie geeft dit een globaal optimum.

Een andere benadering is de satisficing benadering. Hierbij wordt geoptimaliseerd voor één selectie-criterium, terwijl voor de andere criteria een interval van waarden wordt gespecificeerd waarbinnen de optimale oplossing zich moet bevinden. De intervallen worden als beperkingen toegevoegd aan het model. De benadering is iteratief. In iedere iteratie kunnen beperkingen worden bijgesteld en/of kan voor een ander selectie-criterium worden geoptimaliseerd. De procedure wordt voortgezet totdat de beslisser tevreden (satisfied) is. De benadering resulteert in een toelaatbare oplossing waarmee de beslisser tevreden is (niet noodzakelijk een globaal optimum). Of de benadering kan worden toegepast hangt af van de bereidheid van de beslisser om zijn wensen kenbaar te maken.

Een benadering waarbij veel belang wordt toegekend aan de prioriteit van de selectie-criteria is doelprogrammering. Bij toepassing van doelprogrammering worden de selectie-criteria naar prioriteit gerangschikt, waarna optimalisering, in een aantal rondes, plaatsvindt. In de eerste ronde wordt gemaximaliseerd (geminimaliseerd) naar het selectie-criterium met de hoogste prioriteit. De verkregen

maximale (minimale) waarde voor dit criterium, wordt in alle volgende rondes als ondergrens (bovengrens) voor het betreffende criterium gehanteerd. In de tweede ronde wordt geoptimaliseerd naar het selectie-criterium met de op één na hoogste prioriteit. In de hierop volgende rondes wordt de verkregen optimale waarde voor dit criterium gehanteerd als ondergrens (bovengrens). Deze procedure wordt, voor in prioriteit afnemende selectie-criteria, herhaald totdat de optimale oplossing niet meer verandert. Toepassing van deze benadering is mogelijk als de selectie-criteria kunnen worden gerangschikt naar prioriteit. Bij toepassing van de methode geldt dat een reductie in de score voor een criterium niet kan worden gecompenseerd door een toename in de score voor een criterium met een lagere prioriteit. Op dit punt zijn alternatieve benaderingen denkbaar.

Tot slot wordt een verzameling benaderingen genoemd die de afstand tot een ideaal punt minimaliseren. Deze benaderingen hebben gemeen dat eerst een ideale toestand wordt gedefinieerd. Daarna wordt de toelaatbare oplossing gezocht met de kleinste afstand tot dit ideale punt. De verschillen tussen de benaderingen betreffen het afstandcriterium (zowel afstandmaat als weging verschillende dimensies) en de bepaling van het ideale punt. Een mogelijkheid hiertoe is om voor elk selectie-criterium afzonderlijk de maximale (minimale) waarde te bepalen en daarna het ideale punt te definiëren als het, meestal niet toelaatbare, punt waarin voor ieder selectie-criterium de maximale (minimale) waarde is gerealiseerd.

Naast de genoemde mogelijkheden om een multi-criteria op te lossen bestaan andere mogelijkheden (Zeleny, 1982). De verschillen tussen de benaderingen betreffen de transformatie van de doelstellingsfuncties (tot één noemer herleiden, omzetten in beperkingen, enz.) en het algoritme om het getransformeerde probleem op te lossen.

In het voorgaande is impliciet uitgegaan van een deterministisch probleem. Introductie van stochastische grootheden (variabelen of coëfficiënten) is mogelijk maar dit geeft vaak complicaties bij het genereren van de optimale oplossing. Soms kan dit worden opgelost door de stochastische grootheden te vervangen door hun verwachte waarde, waardoor weer een deterministisch probleem ontstaat. Een andere mogelijkheid is de introductie van beperkingen die voor de betreffende grootheden de aanvaardbare overschrijdings- en/of overschrijdingskansen weergeven. Iedere toelaatbare oplossing (voor de oorspronkelijke beperkingen) die tevens aan deze extra beperkingen voldoet, is toelaatbaar voor het stochastische probleem. Ook een combinatie van beide benaderingen is mogelijk. Bij beide benaderingen moet er informatie beschikbaar zijn over de kansverdelingsfunctie van de betreffende grootheden.

3 WISKUNDIGE FORMULERING VAN HET VERDELINGSMODEL

3.1 Weersomstandigheden

In hoofdstuk 2 is het regionale waterverdelingsprobleem in algemene termen beschreven. Hierbij is aangegeven dat sommige factoren worden beïnvloed door de weersomstandigheden. Voor de beschrijving van de invloed van de weersomstandigheden op de relevante grootheden is het begrip weerjaar geïntroduceerd. Een weerjaar is een denkbeeldig jaar, met een eigen kans van voorkomen, waarin de weersomstandigheden representatief zijn voor de omstandigheden in een groep van jaren. Er wordt hierbij uitgegaan van de situatie in een maatgevende decade binnen het jaar, omdat voor sommige bestemmingen de situatie in een korte (droge of natte) periode binnen het jaar (of groeiseizoen) bepalend is voor de omvang van de opbrengst in dat jaar. De kans van optreden van een weerjaar hangt samen met de omvang van de groep van jaren die wordt gerepresenteerd.

De introductie van weerjaren in de doelstellingsfuncties van het verdelingsmodel leidt ertoe dat voor elk van de selectie-criteria de verwachte waarde wordt verkregen. Introductie van weerjaren in de beperkingen leidt er voor een aantal beperkingen toe dat deze voor ieder weerjaar afzonderlijk worden gespecificeerd. De optimale oplossing van het model is de optimale verdeling van oppervlaktewater voor elk van de onderscheiden weerjaren.

3.2 Doelstellingsfunctie(s)

De doelstellingsfuncties, die in dimensie en prioriteit kunnen verschillen, beschrijven de verwachte waarde van de onderscheiden selectie-criteria. De verwachte waarde van selectie-criterium k ($k=1, \dots, K$) wordt beschreven door doelstellingsfunctie $F(k)$, vergelijking (1). De verwachte waarde is gelijk aan de gewogen som van de waarden in de afzonderlijke weerjaren, waarbij de wegingsfactoren $w(t)$ de kansen van voorkomen van de onderscheiden weerjaren zijn. De toedeling van water aan bestemmingen wordt voor bestemmingen binnen een deelgebied beschreven door de 0-1 variabelen $x(r,i,h,t)$ en voor bestemmingen binnen het primaire stelsel door 0-1 variabelen $z(n,i,h,t)$. De 0-1 variabelen $y(n,j)$ zijn gekoppeld aan het openen van capaciteitsniveau j van tak n .

$$(1) \quad F(k) = \sum_{r,i,h,t} w(t).bx(r,i,h,t,k).x(r,i,h,t) + \sum_{n,i,h,t} w(t).bz(n,i,h,t,k).z(n,i,h,t) + \sum_{n,j} by(n,j,k).y(n,j) \quad \text{voor alle } k$$

met:

$bx(r,i,h,t,k)$ - toename score criterium k als er vanuit inlaat h water wordt toegedeeld aan bestemming i in deelgebied r , in weerjaar t

$by(n,j,k)$ - toename score criterium k als van tak n capaciteitsniveau j wordt geopend

$bz(n,i,h,t,k)$ - toename score criterium k als er vanuit inlaat h water wordt toegedeeld aan bestemming i in tak n , in weerjaar t

$F(k)$ - de score voor criterium (dimensie) k

$w(t)$ - kans van voorkomen van weerjaar t

- $x(r,i,h,t)$ - 0-1 variabele met waarde 1 als er vanuit inlaat h water wordt toegeedeeld aan bestemming i in deelgebied r, in weerjaar t
 $y(n,j)$ - 0-1 variabele met waarde 1 als van tak n capaciteitsniveau j is geopend
 $z(r,h,t)$ - 0-1 variabele met waarde 1 als er vanuit inlaat h water wordt toegeedeeld aan bestemming i in tak n, in weerjaar t

3.3 De verzameling toelaatbare oplossingen

De verzameling toelaatbare oplossingen van een optimaliseringsprobleem, bestaat uit alle (mogelijke) oplossingen die voldoen aan alle beperkingen. Voor het verdelingsprobleem zijn de beperkingen de wiskundige weergave van de in hoofdstuk 2 beschreven voorwaarden.

De beperking met betrekking tot de beschikbaarheid van water bij de inlaatpunten van het gebied, is weergegeven door vergelijking (2). Deze beperking zorgt ervoor dat het totaal aan toewijzingen vanuit een inlaatpunt de beschikbare hoeveelheid water bij dat inlaatpunt niet overschrijdt. De coëfficiënten $dwr(r,i,h,t)$ beschrijven de vraag naar water voor bestemming i in deelgebied r (in weerjaar t), als uit inlaatpunt h wordt voorzien in de behoefte. Voor bestemmingen binnen het primaire stelsel wordt dit beschreven door de coëfficiënten $dwt(n,i,h,t)$. De hoeveelheid water die (in weerjaar t) bij inlaatpunt h beschikbaar is, is weergegeven door de coëfficiënt $wmax(h,t)$. De coëfficiënten hebben betrekking op de maatgevende decade.

$$(2) \sum_{r,i} dwr(r,i,h,t) \cdot x(r,i,h,t) + \sum_{n,i} dwt(n,i,h,t) \cdot z(n,i,h,t) \leq wmax(h,t) \quad \text{voor alle } h,t$$

met:

- $dwr(r,i,h,t)$ - de vraag naar water door bestemming i in deelgebied r in weerjaar t, als vanuit inlaatpunt h aan de behoefte wordt voldaan
 $dwt(n,i,h,t)$ - de vraag naar water door bestemming i in tak n als, in weerjaar t, vanuit inlaatpunt h aan de behoefte wordt voldaan
 $wmax(h,t)$ - de hoeveelheid water die in weerjaar t beschikbaar is bij inlaatpunt h

Het water dat aan een bestemming is toegewezen, wordt via één of meer takken van het inlaatpunt naar de betreffende bestemming getransporteerd. Dit vereist:

- een primair leidingstelsel bestaande uit takken van voldoende capaciteit;
- deelgebieden met een voldoende inlaatcapaciteit. Dit betreft de tak die het deelgebied verbindt met het primaire stelsel en eventueel de tak die wordt geïntroduceerd als er binnen het deelgebied een aanpassing is vereist, waarvan niet alle bestemmingen kunnen profiteren;
- deelgebieden met een (intern) stelsel van waterlopen en kunstwerken van voldoende capaciteit.

De beperkingen met betrekking tot de capaciteit van de takken zijn weergegeven in vergelijking (3). De coëfficiënt $cap(n,j)$ betreft de uitbreiding van de capaciteit van tak n van niveau j-1 naar niveau j. De capaciteit van tak n als niveau j is geopend, is gelijk aan de som over jh (voor jh=1,j) van de coëfficiënten $cap(n,jh)$. Voor bestaande takken is $cap(n,1)$ gelijk aan de huidige capaciteit. Voor nog aan te leggen takken is $cap(n,1)$ de capaciteit die in eerste instantie wordt aangelegd. De vaste kosten van de takken (uitbreiding, beheer en onderhoud) zijn verwerkt in een doelstellingsfunctie. Uitbreiding van de capaciteit van tak n tot niveau j vindt plaats als in tenminste één weerjaar de hoeveelheid water die door tak n stroomt niveau

j-1 overschrijdt. Als het maximale niveau van een tak is bereikt (soms voor j=1) geeft de beperking de maximale hoeveelheid water die door de tak kan stromen.

$$(3) \quad \sum_{r,i,h} c1(n,r,h).dwr(r,i,h,t).x(r,i,h,t) + \sum_{n1,i,h} c2(n,n1,h).dwt(n1,i,h,t).z(n1,i,h,t) \leq \sum_j \{cap(n,j).y(n,j)\} \quad \text{voor alle } n,t$$

met:

- cap(n,j) - de uitbreiding van de capaciteit van tak n (t.o.v. niveau j-1) als niveau j wordt gerealiseerd (met cap(n,0)=0)
- c1(n,r,h) - coëfficiënt met waarde 1 als tak n wordt gebruikt bij transport van inlaat h naar deelgebied r en met waarde 0 als dit niet het geval is
- c2(n,n1,h) - coëfficiënt met waarde 1 als tak n wordt gebruikt bij transport van inlaat h naar tak n1 en met waarde 0 als dit niet het geval is

Niet alleen de capaciteit van een tak is van belang maar ook de stroomrichting in de tak. Voor iedere tak geldt (per weerjaar) dat het water slechts in één richting mag stromen. Deze richting hoeft niet in alle weerjaren gelijk te zijn. De stroomrichting in tak n in weerjaar t, is weergegeven door de variabele s(n,t). Deze variabele heeft de waarde nul als het water van oost naar west of van zuid naar noord stroomt en de waarde één als het water in een tegengestelde richting stroomt. Dit resulteert in de volgende beperkingen:

$$(4) \quad \sum_{r,i,h} c3(n,r,h).x(r,i,h,t) + \sum_{n1,i,h} c4(n,n1,h).z(n1,i,h,t) \leq c0.\{1-s(n,t)\} \quad \text{voor alle } n,t$$

$$(5) \quad \sum_{r,i,h} c5(n,r,h).x(r,i,h,t) + \sum_{n1,i,h} c6(n,n1,h).z(n1,i,h,t) \leq c0.s(n,t) \quad \text{voor alle } n,t$$

met:

- c0 - een groot positief getal
- c3(n,r,h) - coëfficiënt die positief is als het water dat van inlaat h naar deelgebied r wordt getransporteerd, in tak n van oost naar west stroomt en die de waarde 0 heeft als dit niet het geval is
- c4(n,n1,h) - coëfficiënt die positief is als het water dat van inlaat h naar tak n1 wordt getransporteerd, in tak n van oost naar west stroomt en die de waarde 0 heeft als dit niet het geval is
- c5(n,r,h) - coëfficiënt die positief is als het water dat van inlaat h naar deelgebied r wordt getransporteerd, in tak n van west naar oost stroomt en die de waarde 0 heeft als dit niet het geval is
- c6(n,n1,h) - coëfficiënt die positief is als het water dat van inlaat h naar tak n1 wordt getransporteerd, in tak n van west naar oost stroomt en die de waarde 0 heeft als dit niet het geval is
- s(n,t) - variabele die de waarde 0 heeft als het water in tak n van oost naar west (of van zuid naar noord) stroomt en de waarde 1 heeft als het water in de tegengestelde richting stroomt

De vergelijkingen (6) en (7) betreffen de volgorde waarin binnen een tak of deelgebied water aan bestemmingen mag worden toegedeeld.

$$(6) \quad c0.\sum_r x(r,i,h,t) \geq \sum_{i1,h} c7(r,i,i1).x(r,i1,h,t) \quad \text{voor alle } r,i,t$$

$$(7) \quad c0.\sum_h z(n,i,h,t) \geq \sum_{i1,h} c8(n,i,i1).z(n,i1,h,t) \quad \text{voor alle } n,i,t$$

met:

- $c7(r,i,i1)$ - coëfficiënt met waarde 1 als aan bestemming i , in deelgebied r , water moet zijn toegedeeld, voordat aan bestemming $i1$ water mag worden toegedeeld en met waarde 0 dit niet is vereist
- $c8(n,i,i1)$ - coëfficiënt met waarde 1 als aan bestemming i , in tak n , water moet zijn toegedeeld, voordat aan bestemming $i1$ water mag worden toegedeeld en met waarde 0 als dit niet het geval is

Naast de mogelijkheid een volgorde voor te schrijven voor de toedeling aan bestemmingen binnen een tak of deelgebied, bestaat de mogelijkheid een volgorde voor te schrijven voor de toedeling aan takken en/of deelgebieden. Dit kan bijvoorbeeld de billijkheid van de toedeling betreffen. Bij de bepaling van de optimale toedeling van water kan er een situatie ontstaan waarin er één of meer deelgebieden zijn waar water door of langs stroomt zonder dat hiervan mag worden geprofiteerd. De waterbeheerder dit ongewenst vinden en bepalen dat bepaalde bestemmingen binnen deze deelgebieden wel van het water moeten kunnen profiteren. Dit is voor bestemmingen binnen een deelgebied weergegeven in vergelijking (8).

$$(8) \quad \sum_h x(r,i,h,t) \geq \sum_{rh,i1,h} c9(r,i,rh,h).x(rh,i1,h,t) + \sum_{n,i1,h} c10(r,i,n,h).z(n,i1,h,t) \quad \text{voor alle } r,i,t$$

met:

- $c9(r,i,rh,h)$ - coëfficiënt met waarde 1 als bestemming i in deelgebied r profiteert van water dat van inlaat h naar deelgebied rh stroomt en met waarde 0 als dit niet het geval is
- $c10(r,i,n,h)$ - coëfficiënt met waarde 1 als bestemming i in deelgebied r profiteert van water dat van inlaat h naar tak n stroomt en met waarde 0 als dit niet het geval is

De technische beperkingen betreffen de voorwaarde dat, in een weerjaar, een bestemming slechts uit één inlaatpunt van water kan worden voorzien (vergelijkingen (9) en (10)). Een andere voorwaarde is dat niveau j van tak n pas kan worden gerealiseerd nadat niveau $(j-1)$ is gerealiseerd (vergelijking (11)).

$$(9) \quad \sum_h x(r,i,h,t) \leq 1 \quad \text{voor alle } r,i,t$$

$$(10) \quad \sum_h z(n,i,h,t) \leq 1 \quad \text{voor alle } r,i,t$$

$$(11) \quad y(n,j) \geq y(n,j-1) \quad \text{voor alle } n \text{ en } j \geq 2$$

De verzameling beperkingen kan (eventueel) worden aangevuld met beperkingen voortkomend uit het algoritme en met de voorwaarde dat alle variabelen positief en geheeltallig moeten zijn.

3.4 Het primal all-integer algoritme

De formele beschrijving van het waterverdelingsprobleem (met lineaire doelstellingsfuncties) is weergegeven door de vergelijkingen (1) tot en met (11). Dit model wordt in het vervolg aangeduid als het verdelingsmodel. Voor het genereren van de optimale oplossing van het verdelingsmodel kan worden gekozen uit een aantal benaderingen. Als wordt gekozen voor een benadering waarbij de onderscheiden selectie-criteria worden herleid tot één lineaire doelstellingsfunctie,

eventueel in combinatie met extra beperkingen, dan ontstaat een geheeltallig lineair programmeringsprobleem. Dit probleem kan worden opgelost met het primal all-integer algorithm (Hu, 1969). Dit is een iteratieve procedure die in iedere iteratie een toelaatbare oplossing genereert die "even goed" of "beter" is dan de in de voorgaande iteraties gegenereerde oplossing. Een voordeel van deze werkwijze is dat er steeds toelaatbare oplossingen worden gegenereerd. Als de procedure vroegtijdig wordt gestopt is er dus altijd een toelaatbare oplossing beschikbaar.

In deze paragraaf wordt kort ingegaan op de werking van het primal all-integer algorithm. Voor een uitgebreide bespreking van het algoritme wordt verwezen naar aanhangsel 1 of naar Hu (1969). Bij de bespreking wordt uitgegaan van de algemene gedaante van een geheeltallig lineair programmeringsprobleem, zoals die is weergegeven in (12).

$$(12) \quad x(0) = \max \{a(0,0) + \sum_{j=1,n} a(0,j).x(j)\}$$

$$\text{zodanig dat: } \sum_{j=1,n} a(i,j).x(j) \leq a(i,0) \quad i=1,\dots,m$$

$$x(j) \geq 0, \quad \text{geheeltallig} \quad j=1,\dots,n$$

Een voorwaarde voor toepassing van het algoritme is dat alle coëfficiënten geheeltallig zijn. Voordat het algoritme wordt toegepast wordt het probleem getransformeerd tot de in (13) gegeven formulering, waarna het probleem wordt weergegeven via een tableau.

$$(13) \quad x(0) = \max \{a(0,0) + \sum_{j=1,n} (-a(0,j).(-x(j)))\}$$

$$\text{zodanig dat: } x(j) = 0 + (-1).(-x(j)) \quad j=1,\dots,n$$

$$x(n+i) = a(i,0) + \sum_{j=1,n} a(i,j).(-x(j)) \quad i=1,\dots,m$$

$$x(j) \geq 0, \quad \text{geheeltallig} \quad j=1,\dots,n+m$$

De $x(n+i)$ zijn slack-variabelen. Om de eindigheid van het algoritme te garanderen wordt beperking (14) aan het probleem toegevoegd, waarbij M groter is dan de maximaal te verwachten som over de $x(j)$, voor $j=1,\dots,m$.

$$(14) \quad x(m+n+1) = M + \sum_j -x(j)$$

Het primal all-integer algorithm bestaat uit de volgende stappen:

STAP 0: Voorbereidende activiteiten:

- verificatie geheeltalligheid coëfficiënten. Als er in een vergelijking niet-geheeltallige coëfficiënten voorkomen, dan wordt deze vergelijking vermenigvuldigd met een constante.
- bepalen startoplossing. De slack-variabelen $x(n+i)$ zijn de basisvariabelen $x(n+i)=a(i,0)$ ($i=1,\dots,m$) en de variabelen $x(j)$ zijn de niet-basisvariabelen, $x(j)=0$ ($j=1,\dots,n$).
- verificatie toelaatbaarheid startoplossing. Een oplossing is toelaatbaar als alle basisvariabelen groter dan of gelijk aan nul zijn (dus: $a(i,0) \geq 0$). Als de startoplossing niet toelaatbaar is wordt een andere (toelaatbare) oplossing gegenereerd.
- nul stellen nummer iteratie ($nit=0$)

STAP 1: Bepaal of alle $a(0,j) \leq 0$ voor $j=1,\dots,n+m+1+nit$. Als dit het geval is, is de optimale oplossing gevonden en stopt de procedure.

STAP 2: Stel $nit=nit+1$ en bepaal de nieuwe basisvariabele, dit is de niet-basisvariabele $x(s)$ met $a(0,s) = \max_j \{a(0,j)\}$

STAP 3: Bepaal de verzameling variabelen $V=\{x(v)\}$ waarvoor geldt dat $x(v)$ basisvariabele is en waarbij geldt dat

$$(15) \quad [a(v,0)/a(v,s)] = \min_{i=1,m+n+1; a(i,s)>0} \{[a(i,0)/a(i,s)]\}$$

Met $[a]$ het grootste gehele getal kleiner dan of gelijk aan a .

STAP 4: Bepaal de Gomory-snede zoals die is weergegeven in (16) en voeg deze toe aan het tableau (nieuwe basisvariabele) om te fungeren als spilrij (verlatende basis-variabele). De basis voor de Gomory-snede is die variabele $x(v)$ die tot V behoort en die gedurende het grootste aantal direct aan de huidige iteratie voorafgaande iteraties, zonder onderbreking tot V heeft behoort.

$$(16) \quad x(n+m+1+nit) = [a(v,0)/a(v,s)] + \sum_j \{[a(v,j)/a(v,s)].(-x(j))\}$$

STAP 5: Pas de coëfficiënten aan de nieuwe situatie met $x(s)$ als nieuwe basisvariabele en $x(n+m+1+nit)$ als niet-basisvariabele. Dit gebeurt via substitutie van vergelijking (17) voor $x(s)$.

$$(17) \quad x(s) = -[a(v,0)/a(v,s)] - \sum_{j=1,s-1}^{s+1,n+m+1+nit-1} \{[a(v,j)/a(v,s)].(-x(j))\} - 1. \{-x(n+m+1+nit)\}$$

Vervolgens wordt de met de Gomory-snede corresponderende rij verwijderd en vervolgt de procedure met STAP 1.

In aanhangsel 1 wordt een meer uitgebreide beschrijving van het "primal all-integer algorithm" gegeven en wordt de werking van het algoritme geïllustreerd aan de hand van een eenvoudig voorbeeld.

4 TOEPASSING VAN HET VERDELINGSMODEL

4.1 Probleembeschrijving

Het verdelingsmodel is toegepast in de eerste fase van het onderzoek naar het effect van uitbreiding van aanvoer van oppervlaktewater in midden en oost Noord-Brabant en noord Limburg. Dit betreft de analyse van het effect van aanvoer van oppervlaktewater voor subinfiltratie en/of beregening in de landbouw, waarbij voor een aantal niet-landbouw bestemmingen (scheepvaart, wegzijging en industriële onttrekkingen) volledig aan de aanvoerbehoefte moet worden voldaan. Er wordt gerekend met het beslag op produktiefactoren, waarbij subsidies en belastingen buiten beschouwing worden gelaten (maatschappelijk-economische benadering). De resultaten van het onderzoek worden onder andere gebruikt om de beslissing over een eventuele uitbreiding van het primaire stelsel te ondersteunen. In dat kader is men vooral geïnteresseerd in de situatie in een 10-% droog jaar.

Bij de interpretatie en het gebruik van de resultaten van het onderzoek moet worden bedacht dat het onderzoek een partiële analyse (voor de landbouw) betreft. Een bezwaar hiervan is dat de beslissing over de toedeling van kosten van aanpassingen (van het primaire stelsel) ten behoeve van meer dan één gebruiker, geen deel uitmaakt van de analyse. Toch spelen deze kosten in de praktijk een belangrijke rol. Getracht is dit bezwaar voor een deel te ondervangen door de kosten van de aanpassingen en de hieruit resulterende opbrengststijging zoveel mogelijk te expliciteren. Hiertoe zijn alternatieven voor het primaire stelsel geformuleerd. Vervolgens is voor ieder alternatief de optimale waterverdeling bepaald voor de situatie dat er geen kosten (van het primaire stelsel) aan de landbouw worden toegedeeld. Door, per variant, de gegenereerde toename in de opbrengst (in de landbouw) te vergelijken met de kosten van het primaire stelsel, wordt inzicht verkregen in de mogelijkheid bepaalde aanpassingen door de landbouw te laten financieren.

Het onderzoek richt zich op de situatie in het jaar 2000. Voor het primaire stelsel wordt uitgegaan van de situatie die, bij het (thans) voorgenomen beleid, in het jaar 2000 zal zijn ontstaan. De prijzen van landbouwprodukten, grond- en hulpstoffen en arbeid zijn gebaseerd op door het LEI opgestelde prognoses voor de situatie dat beregening is toegestaan en voor de situatie dat dit niet het geval is (Kortekaas e.a., 1988). Het (verwachte) grondgebruik in de landbouw, in het studiegebied, is bepaald door de LEI-prognoses voor het jaar 2000 te combineren met gegevens over de huidige situatie in het gebied (Slothouwer, 1990).

De kosten worden, op basis van het niveau waarop over de toedeling wordt beslist, onderscheiden in:

- de prijs van water bij de inlaatpunten van het gebied. Op nationaal niveau wordt beslist hoeveel water wordt toegedeeld aan het studiegebied en welke kosten hieraan zijn verbonden. Dit resulteert in een prijs van het water bij de inlaatpunten van het gebied. In het onderzoek is deze prijs op nul gesteld;
- de kosten van het primaire stelsel. Dit zijn de kosten voor onderhoud en beheer (incl. oppompen) van het primaire stelsel, en de kosten van aanpassingen ten behoeve van meer dan één deelgebied en/of bestemming binnen het primaire stelsel. De beslissing over de kostentoedeling ligt op provinciaal niveau;
- de vaste en variabele kosten op deelgebiedsniveau.
De vaste kosten zijn de kosten van de ontsluiting van het deelgebied en van onderhoud en aanpassing van het stelsel binnen het deelgebied. De beslissing over de toedeling van de kosten ligt op deelgebiedsniveau (of waterschapsniveau).

Tabel 1 Vaste en variabele kosten van wateraanvoer op deelgebiedsniveau (gld.1000), opbrengst op bedrijfsniveau (gld.1000) en aanvoerbehoefte (l/s) in een 2%-droog jaar (1976) en een 10%-droog jaar (1983) (naar Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990)

Deelgebied	Subinfiltratie		Opbrengst		Aanvoer		Berekening		Opbrengst		Aanvoer	
	Kosten						Kosten					
	Vast	Variabel	1976	1983	1976	1983	Vast	Variabel	1976	1983	1976	1983
AA1	0	10	29	110	118	0	9	34	142	142		
AA2	0	40	107	545	455	5	27	163	675	675		
AA3	0	15	30	162	107	5	13	64	265	265		
AA4	3	53	133	312	312	0	35	189	586	309		
AA5	0	0	0	0	0	0	12	82	179	104		
AA6	0	14	34	185	166	5	12	54	224	224		
AA7	0	11	39	218	177	0	9	53	220	220		
AA8	0	18	50	150	103	0	16	68	283	283		
AA9	0	8	56	196	201	0	8	69	285	285		
AA10	24	15	19	170	143	4	8	55	229	229		
AA11	30	20	28	235	210	6	13	73	301	301		
AA12	6	4	4	36	30	1	3	10	41	41		
AA13	13	6	9	34	29	0	1	7	31	31		
AA14	5	6	10	43	25	0	3	21	87	87		
AA15	17	9	14	78	43	2	4	18	74	74		
AA16	19	11	1	11	3	0	6	15	62	62		
AA18	26	14	19	74	32	7	11	37	152	152		
AA19	4	1	3	17	19	1	1	3	11	11		
AA20	14	4	12	40	30	1	2	14	56	56		
MK1	0	1	3	7	5	0	0	6	19	19		
MK2	0	3	6	34	29	0	2	20	82	82		
MK3	0	8	33	76	70	0	2	47	196	196		
MK4	0	7	42	147	75	0	6	56	230	230		
MK5	0	4	10	16	12	0	2	28	117	117		
MK7	0	11	20	78	33	0	3	76	316	316		
MK11	1	1	4	9	7	0	1	4	18	18		
MK12	50	21	13	46	37	0	2	23	95	95		
MK13	19	8	8	29	15	0	2	14	59	59		
MK14	15	8	18	52	38	0	3	22	94	94		
MK15	6	2	3	11	9	0	1	7	31	31		
MK16	28	15	11	38	27	2	7	32	133	133		
MK17	9	8	6	36	27	0	3	27	115	115		
DM1	36	24	32	141	113	6	11	60	249	249		
DM2	18	7	33	146	105	1	4	36	150	150		
DM3	3	7	11	41	14	0	7	26	110	110		
DM4	0	3	28	88	77	0	3	31	130	130		
DM5	0	13	75	284	251	0	13	107	443	443		
DO1	21	11	28	87	74	1	4	55	228	228		
DO2	44	14	11	114	88	0	2	38	158	158		
DO3	38	3	3	16	10	0	1	15	60	60		
DO4	5	22	3	54	33	13	9	39	159	159		
ZL1	19	10	28	100	74	3	3	28	116	116		
ZL3	5	3	8	27	19	1	1	9	38	38		
LB1	32	13	37	82	17	0	0	21	105	71		
LB2	0	13	190	473	391	0	0	117	674	604		
LB3	0	7	58	197	138	0	0	45	235	198		
LB4	31	11	18	34	31	0	0	12	65	48		
LB5	0	1	14	47	40	0	0	7	37	30		
LB6	0	22	153	436	323	0	0	202	1026	898		
LB7	0	3	55	94	86	0	0	31	155	126		
LB8	16	6	17	51	41	1	1	7	41	34		
LB9	21	8	27	67	42	3	2	10	54	51		
LB10	0	2	22	55	45	0	0	21	112	80		
LB11	2	1	5	8	8	0	0	4	20	18		

code waterschap: AA is de AA, MK is de Maaskant, DM is de Dommel, DO is de Dongestroom, ZL is de Zandley en LB is Noord-Limburg

- De variabele kosten betreffen het gebruik van het stelsel binnen het deelgebied. Ze zijn rechtstreeks gekoppeld aan de omvang van de aanvoer (geen aanvoer, geen kosten) en worden toegerekend aan de betreffende bestemming;
- de kosten op bestemmingsniveau. Dit zijn de kosten die binnen een bestemming worden gemaakt om het water op de gewenste wijze te kunnen gebruiken. Deze kosten zijn verrekend bij de bepaling van de nominale opbrengst.

De kosten op deelgebiedsniveau en bestemmingsniveau hebben alleen betrekking op landbouw bestemmingen en zijn, in tegenstelling tot de kosten van het primaire stelsel, opgenomen in het optimaliseringsmodel.

Bij de opbrengst van wateraanvoer is onderscheid gemaakt tussen fysieke opbrengst en nominale opbrengst. Bij de bepaling van de nominale opbrengst op deelgebiedsniveau worden de kosten op bedrijfsniveau en de (vaste en variabele) kosten van wateraanvoer op deelgebiedsniveau verrekend. Bij de bepaling van de opbrengst op bedrijfsniveau worden de kosten op deelgebiedsniveau buiten beschouwing gelaten. Wel kan de opbrengst op bedrijfsniveau per deelgebied (of voor een deelgebied) worden bepaald. De omvang van de opbrengst (zowel fysiek als nominaal) wordt beïnvloed door de weersomstandigheden. Voor de nominale opbrengst van beregening (op bedrijfsniveau) is een rekenprijs van 100 gulden per beregende hectare gehanteerd. Dit is gebaseerd op de veronderstelling dat aanvoer van oppervlaktewater niet resulteert in een toename van het beregend areaal, maar dat op een deel van het beregend areaal wordt overgegaan van beregening uit grondwater naar beregening uit oppervlaktewater. Dit geeft een vermindering van de schade ten gevolge van beregening uit grondwater en van de kosten van beregening op bedrijfsniveau.

De weersomstandigheden beïnvloeden zowel de opbrengst van als de behoefte aan wateraanvoer. Daarom wordt voor subinfiltratie uitgegaan van de verwachte waarde van de opbrengst. Deze is bepaald door voor ieder jaar in de periode 1971-1986 de nominale opbrengst te berekenen, bij de weersomstandigheden in dat jaar, en vervolgens de gemiddelde waarde over de gehele periode te bepalen. Hierbij is verondersteld dat er voldoende water beschikbaar is (Slothouwer, 1990). De verwachte toename in de nominale opbrengst op bedrijfsniveau is voor de onderscheiden deelgebieden weergegeven in tabel 1. Voor deelgebied LB11 bijvoorbeeld bedraagt de toename in de opbrengst van aanvoer voor subinfiltratie tweeduizend gulden (2=5-2-1). De vaste kosten van de ontsluiting van dit deelgebied zijn toegedeeld aan subinfiltratie omdat er geen aanvoer voor beregening plaatsvindt. Als er wel aanvoer voor beregening plaatsvindt, worden de kosten verdeeld tussen subinfiltratie en beregening. De toename in de opbrengst van aanvoer voor beregening bedraagt vierduizend gulden. Dit is ten opzichte van de situatie met alleen subinfiltratie. De totale toename in de opbrengst (subinfiltratie en beregening) bedraagt zesduizend gulden.

4.2 Beschrijving studiegebied

Het studiegebied beslaat het stroomgebied van de waterschappen in midden en oost Noord-Brabant en van het waterschap Noord-Limburg. De waterschappen in Brabant zijn de AA, de Dommel, de Dongestroom, de Maaskant, de Maas- en Diezepolders en de Zandley. In het onderzoek is ieder waterschap gesplitst in deelgebieden die met betrekking tot aanvoer van oppervlaktewater (kunnen) worden beschouwd als afzonderlijke beheerseenheden. Voor elk deelgebied is een globale schatting gemaakt van de kosten (per ha) die moeten worden gemaakt om aanvoer van oppervlaktewater mogelijk te maken. Deelgebieden waarvoor deze kosten hoger

zijn dan 1000 gulden (per ha) zijn uitgesloten van wateraanvoer omdat de te maken kosten beduidend hoger zijn dan de te verwachten toename in de opbrengst. Na de selectie resteren er 57 deelgebieden (Slothouwer, 1990).

Het studiegebied is weergegeven door een netwerk van knooppunten en takken (zie kaart). Het netwerk is beschreven in aanhangsel 2. Het primaire stelsel bestaat uit de Zuid-Willemsvaart van Loozen (België) tot Den Bosch, de Noordervaart, het Wilhelminakanaal, de Peelkanalen en het kanaal Wessem-Nederweert. De inlaatpunten zijn de Zuid-Willemsvaart bij Loozen en de gemalen bij Oosterhout en Panheel. Tabel 2 geeft de (doorvoer- of inlaat-)capaciteit, de schutverliezen en de wegzijging in het primaire stelsel, voor de referentiesituatie. Dit is de situatie die in het jaar 2000 zal ontstaan bij realisering van het thans voorgenoemen beleid.

Tabel 2 Capaciteit, wegzijging en schutverliezen (l/s) in het primaire stelsel in de referentiesituatie (ongewijzigd beleid tot 2000) (naar Silva, 1989).

Primair stelsel	Capaciteit	Wegzijging	Schutverliezen
Kanaal Wessem-Nederweert	6 000	300	3 700
Noordervaart	4 000	300	0
Peelkanalen			
Katsberg	3 000	0	0
Kanaal van Deurne	2 000	0	0
Helenavaart	1 500	0	0
Defensiekanaal	900	0	0
Wilhelminakanaal	25 000	1 400	1 400
Zuid-Willemsvaart			
Nederweert-Helmond	5 000	300	1 100
Helmond-Den Bosch	18 000	900	1 100

De stroomrichting in de takken van het primaire stelsel is van zuid naar noord en/of van oost naar west. Als er bij Oosterhout water wordt opgepompt, dan kan in enkele takken het water in de tegengestelde richting stromen (tot aan de ontsluiting van de deelgebieden in het waterschap de Dongestroom, zie aanhangsel 2).

Het verdelingsprobleem betreft Maaswater dat via één van de drie inlaatpunten het gebied binnenkomt. Voor de deelgebieden binnen het waterschap Maas- en Diezepolders kan in de behoefte worden voorzien via lozingen en restdebieten, zodat deze bij de verdeling van Maaswater buiten beschouwing worden gelaten. In de referentiesituatie is de capaciteit op de Zuid-Willemsvaart, tussen Nederweert en Helmond, onvoldoende om transport van water voor de landbouw mogelijk te maken (naast transport voor wegzijging, schutverliezen en industriële onttrekkingen). De capaciteit op de Noordervaart is hiertoe wel voldoende. Als er bij Panheel geen water wordt opgepompt, is er op de Noordervaart 400 l/s beschikbaar voor de landbouw. Als er wel water wordt opgepompt dan zijn, naast de capaciteit van de Zuid-Willemsvaart, ook de capaciteit op de Noordervaart, de capaciteit bij Katsberg en de capaciteit van de Peelkanalen beperkende factoren bij de verdeling van het water.

In aanhangsel 2 zijn de mogelijke aanpassingen voor het primaire stelsel aangegeven. Deze mogelijkheden en de daaraan verbonden kosten (op jaarbasis) zijn samengevat in tabel 3.

Tabel 3 *Mogelijke aanpassingen voor het primaire stelsel ten opzichte van de situatie context 2000 en de kosten hiervan (gld.1000) op jaarbasis. (naar Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990)*

Maatregel	Kosten op jaarbasis
uitbreiding capaciteit Zuid-Willemsvaart tussen Nederweert en Helmond	47 (per m ³ /s)
installatie gemaal bij Oosterhout	123 (per m ³ /s)
oppompkosten bij Oosterhout	21 (per m ³ /s)
uitbreiding gemaal bij Panheel	95 (per m ³ /s)
oppompkosten bij Panheel	34 (per m ³ /s)
uitbreiding capaciteit Peelkanalen	41
vergroten inlaatcapaciteit Katsberg plus	
uitbreiding capaciteit Noordervaart	86

De omvang van de industriële onttrekkingen en van de lozingen binnen het studiegebied is weergegeven in tabel 4. Voorafgaand aan de optimalisering wordt water toegeedeeld aan de industriële onttrekkingen. Ook wordt het water dat via lozingen beschikbaar komt, toegeedeeld aan bestemmingen of afgevoerd uit het gebied.

Tabel 4 *Onttrekkingen en lozingen (l/s) op het primaire stelsel in midden en oost Noord-Brabant (Van Bakel, pers. med.)*

Industrie	Onttrekking	Lozing
Bavaria (tak 72)		32
Campina (tak 89)		12
Euroglas (tak 62)		10
Fuji (tak 165)	100	
Goossens/Campina (tak 91)		17
Mars (tak 56)		15
Nedschroef (tak 84)		5
Omniplast (tak 53)		6
Phillips (tak 82)		50
RIZ Helmond (tak 138)		607
RIZ Maarheze (tak 154)		50
RIZ Schijndel (tak 130)		52
RIZ Someren (tak 140)		87
RIZ Uden (tak 150)		312
Volvo (tak 88)	100	
WOB Helmond (tak 84)		23

4.3 Modelbeschrijving

De algemene vorm van het verdelingsmodel is weergegeven via de vergelijkingen (1),..., (11). Voor het studiegebied is het probleem gereduceerd tot een model met één doelstellingsfunctie: maximalisering van de verwachte toename in de nominale opbrengst (op deelgebiedsniveau) in de landbouw ten gevolge van aanvoer van oppervlaktewater. Bij de optimalisering, die wordt uitgevoerd voor een beperkt aantal varianten voor het primaire stelsel, worden de kosten van het primaire stelsel en de toedeling van water aan niet-landbouw bestemmingen buiten beschouwing gelaten. Voorafgaand aan de optimalisering wordt water toegeedeeld aan een aantal niet-landbouw bestemmingen (schutverliezen, wegzijging en industriële

onttrekkingen) en wordt het via lozingen beschikbaar komende water, waar mogelijk, toegedeeld aan de landbouw. Met betrekking tot de weersomstandigheden worden een 2%-droog jaar (1976) en een 10%-droog jaar (1983) onderscheiden.

De doelstellingsfunctie is gegeven in vergelijking (18). De coëfficiënt $b_x(r,i,h)$ beschrijft de verwachte (toename in de) opbrengst op bedrijfsniveau, verminderd met de variabele kosten op deelgebiedsniveau. De coëfficiënt $b_y(n,j)$ beschrijft de vaste kosten op deelgebiedsniveau (n is het nummer van de tak die het deelgebied ontsluit). De variabelen in de optimalisering zijn $x(r,i,h,t)$, $s(n,t)$ en $y(n,j)$. De waarde van de variabelen $z(n,i,h,t)$, de toedeling aan niet-landbouw bestemmingen, wordt exogeen bepaald. Voor de betekenis van de variabelen (en van de meeste coëfficiënten) wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

$$(18) \quad z = \max \left[\sum_{r,i,h,t} w(t).b_x(r,i,h).x(r,i,h,t) - \sum_{n,j} b_y(n,j).y(n,j) \right]$$

De beperkingen zijn verkregen door substitutie van de waarde van de exogeen bepaalde variabelen in de vergelijkingen (2),..., (11), waarna de resterende variabelen links van het ongelijkteken zijn geplaatst. Voor vergelijking (2), de beperking met betrekking tot de beschikbaarheid van water bij de inlaatpunten van het gebied, resulteert dit in vergelijking (19).

$$(19) \quad \sum_{r,i} dwr(r,i,h,t).x(r,i,h,t) \leq w_{max}(h,t) - w_{ex}(h,t) \quad \text{voor alle } h,t$$

met

$$(19') \quad w_{ex}(h,t) = \sum_{n,i} dwt(n,i,h,t).z(n,i,h,t)$$

De waterbehoefte voor de landbouwbestemmingen, $dwr(r,i,h,t)$, is weergegeven in tabel 1, de waterbehoefte voor de niet-landbouw bestemmingen, $dwt(n,i,h,t)$, in de tabellen 2 en 4. De hoeveelheid oppervlaktewater die in weerjaar t bij inlaatpunt h beschikbaar is, $w_{max}(h,t)$, hangt af van de betreffende variant.

De capaciteit van de takken van het primaire stelsel in de referentiesituatie, $cap(0,j)$, is weergegeven in tabel 2. De kosten voor beheer en onderhoud die aan deze situatie zijn verbonden, zijn in de optimalisering buiten beschouwing gelaten omdat ze in alle varianten gelijk zijn. Voor de bestaande takken ($cap(n,0) > 0$) correspondeert de variabele $y(n,1)$ met een uitbreiding van de capaciteit. Voor nieuwe takken (met $cap(n,0)=0$) correspondeert $y(n,1)$ met het openen van de tak. De beperking met betrekking tot de doorvoercapaciteit van de takken, vergelijking (3), is herleid tot vergelijking (20).

$$(20) \quad \sum_{r,i,h} c1(n,r,h).dwr(r,i,h,t).x(r,i,h,t) - \sum_j cap(n,j).y(n,j) \leq cap1(n,t) \quad \text{voor alle } n,t$$

met

$$(20') \quad cap1(n,t) = cap(n,0) - \sum_{n1,i,h} c2(n,n1,h).dwt(n1,i,h,t).z(n1,i,h,t)$$

In de meeste takken van het primaire stelsel en in de takken die een deelgebied ontsluiten, is slechts één stroomrichting mogelijk. Voor deze takken is de waarde van de variabele $s(n,t)$ vooraf bekend. Voor de overige takken zijn de beperkingen (4) en (5) herleid tot de vergelijkingen (21) en (22).

$$(21) \sum_{r,i,h} c3(n,r,h).x(r,i,h,t) - c0.\{1-s(n,t)\} \leq -1. \sum_{n1,i,h} c4(n,n1,h).z(n1,i,h,t) \quad \text{voor alle } n,t$$

$$(22) \sum_{r,i,h} c5(n,r,h).x(r,i,h,t) - c0.s(n,t) \leq -1. \sum_{n1,i,h} c6(n,n1,h).z(n1,i,h,t) \quad \text{voor alle } n,t$$

Binnen een deelgebied wordt eerst aan subinfiltratie (i=1) en daarna aan beregening (i=2) water toegeedeeld. De beperking met betrekking tot de volgorde van toedeling, vergelijking (6), kan daardoor worden geschreven als in (23).

$$(23) \sum_h x(r,1,h,t) - \sum_h x(r,2,h,t) \geq 0 \quad \text{voor alle } r,t$$

Vergelijking (8) betreft het gebruik van langsstromend water. Beperking van dit gebruik tot subinfiltratie (i=1) resulteert in vergelijking (24).

$$(24) \sum_h x(r,1,h,t) - \sum_{rh,i1,h} c9(r,1,rh,h).x(rh,i1,h,t) \geq \sum_{n,i1,h} c10(r,1,n,h).z(n,i1,h,t) \quad \text{voor alle } r,t$$

De technische beperkingen tenslotte zijn:

$$(25) \sum_h x(r,i,h,t) \leq 1 \quad \text{voor alle } r,i,t$$

$$(26) y(n,j) \geq y(n,j-1) \quad \text{voor alle } n, j \geq 2$$

Voor de oplossing van het verdelingsmodel is een heuristische procedure geformuleerd omdat toepassing van bestaande algoritmes op technische problemen stuit (onder andere vereiste rekentijd). Bij toepassing van de procedure wordt het model voor ieder weerjaar afzonderlijk opgelost waarna, in één of meer iteraties, integratie tot de optimale oplossing plaatsvindt. De, volgens deze procedure verkregen, optimale oplossing is gelijk aan de oplossing die wordt verkregen als voor alle weerjaren tegelijk wordt geoptimaliseerd. De procedure kan als volgt worden samengevat:

- voorafgaand aan de optimalisering worden, op basis van de beschikbare informatie, zoveel mogelijk variabelen gewaardeerd. De beschikbare informatie betreft onder andere de toedeling van water aan niet-landbouwbestemmingen, de stroomrichting in de takken en de toedeling in andere weerjaren (opening takken);
- de waarde van de gewaardeerde variabelen wordt ingevoerd in het verdelingsmodel. Dit geeft een aanzienlijke reductie van zowel het aantal variabelen als het aantal beperkingen;
- voor ieder weerjaar afzonderlijk wordt de optimale oplossing gegenereerd voor het gereduceerde verdelingsmodel (met het primal all-integer algorithm);
- de optimale oplossingen voor de afzonderlijke weerjaren worden getoetst op onderlinge consistentie. Dit kan ertoe leiden dat, voor bepaalde weerjaren, enkele opbrengstcoëfficiënten worden gecorrigeerd (de verwachte opbrengst van een bestemming neemt af als niet in alle weerjaren water wordt toegeedeeld) en/of bepaalde takken (vooraf) worden geopend. Voor de betreffende weerjaren wordt opnieuw de optimale oplossing bepaald.

Bij toepassing van de procedure wordt in de doelstellingsfunctie niet meer gesommeerd over weerjaren zodat de coëfficiënt $w(t)$ verdwijnt. Dit heeft tot gevolg dat de opbrengstcoëfficiënt (verwachte opbrengst over alle weerjaren) van bestemmingen die niet in alle weerjaren water krijgen toegeedeeld, moet worden gecorrigeerd.

4.4 Resultaten

Voor een aantal varianten van het primaire stelsel is de optimale waterverdeling gegeneerd. De varianten zijn combinaties van de volgende potentiële aanpassingen: uitbreiding van de capaciteit van de Peelkanalen, uitbreiding van de inlaatcapaciteit bij Katsberg (op de Peelkanalen) in combinatie met uitbreiding van de capaciteit op de Noordervaart, uitbreiding van de capaciteit op de Zuid-Willemsvaart tussen Nederweert en Helmond, uitbreiding van de inlaatcapaciteit bij Panheel en het al dan niet oppompen van Maaswater bij Oosterhout. In tabel 3 is een overzicht van de kosten (op jaarbasis) van deze aanpassingen gegeven.

Het verdelingsmodel is toegepast voor de situatie dat berekening uit oppervlaktewater niet is toegestaan en voor de situatie waarin dit wel is toegestaan. In het navolgende wordt een samenvatting gegeven van de resultaten, voor beide situaties, voor een 10%-droog jaar (in aanhangsel 3 worden de resultaten nader gespecificeerd). Om de uitkomsten te kunnen interpreteren wordt onderscheid gemaakt tussen:

- de opbrengst in de landbouw zonder toerekening van kosten voor het primaire stelsel (uitkomst optimalisering). Als in deze paragraaf wordt gesproken over opbrengst, dan wordt bedoeld de (verwachte) toename van de nominale opbrengst in de landbouw op deelgebiedsniveau;
- de opbrengst in de landbouw als de oppompkosten ten laste komen van de landbouw;
- de opbrengst in de landbouw als zowel de oppompkosten als de kosten van de aanpassingen (van het primaire stelsel) ten laste komen van de landbouw.

De uitkomst van de optimalisering is de opbrengst in de landbouw zonder toerekening van kosten voor het primaire stelsel. Door verrekening van achtereenvolgens de oppompkosten en de kosten van aanpassing van het primaire stelsel, kunnen de andere grootheden worden bepaald. Door deze grootheden te vergelijken kan worden afgeleid of voor bepaalde aanpassingen financiering uit de opbrengst in de landbouw mogelijk is.

In de situatie waarin berekening uit oppervlaktewater niet is toegestaan, zijn de capaciteit van de Peelkanalen en van de Zuid-Willemsvaart (tussen Nederweert en Helmond) beperkende factoren bij de verdeling van het water. De varianten voor het primaire stelsel waarvoor de optimalisering is uitgevoerd, zijn daarom combinaties van de volgende aanpassingen:

- uitbreiding van de Peelkanalen (ontsluiting waterschap de Maaskant);
- oppompen van Maaswater bij Oosterhout (vermindering transport via de Zuid-Willemsvaart);
- uitbreiding van de capaciteit van de Zuid-Willemsvaart (tussen Nederweert en Helmond).

De resultaten van de optimalisering zijn samengevat in tabel 5. Uit de resultaten kan worden afgeleid dat uitbreiding van de Peelkanalen rendabel is. De door de capaciteit van de Zuid-Willemsvaart veroorzaakte beperking kan op twee manieren worden opgeheven. Zowel oppompen van Maaswater bij Oosterhout als uitbreiding van de capaciteit van de Zuid-Willemsvaart (tot 6000 l/s) zijn rendabele mogelijkheden. De keuze voor één van beide oplossingen hangt onder andere af van de mate waarin de kosten worden doorberekend aan de landbouw. Daarnaast kan van belang zijn dat er in periodes van droogte bij Oosterhout altijd Maaswater beschikbaar is en bij Panheel niet (altijd).

Tabel 5 De hoeveelheid water (l/s) die wordt opgepompt bij Oosterhout en bij Panheel, de opbrengst (gld.1000) in de landbouw (zonder toerekening van kosten voor het primaire stelsel), de oppompkosten (gld.1000) binnen het primaire stelsel en de kosten (gld.1000) van aanpassing van het primaire stelsel, voor enkele varianten voor de capaciteit (l/s) van de Peelkanalen en van de Zuid-Willemsvaart als alleen subinfiltratie is toegestaan.

Variant	Capaciteit		Opgepompt		Opbrengst	Kosten	
	Peelk.	ZWV	Oosterh	Panheel		Pompen	Aanpassing
A1	bep.	5000		1631	570	55	
A2	bep.	5000	1500 *	881	756	61	184
A3	uitg. *	5000		1850	648	63	41
A4	uitg. *	5000	1500 *	1100	834	69	225
A5	uitg. *	6000 *		2600	834	88	88

* aanpassing ten opzichte van de referentiesituatie

Als berekening uit oppervlaktewater is toegestaan, zijn de capaciteit van de Peelkanalen, de inlaatcapaciteit bij Katsberg (op de Peelkanalen), de capaciteit van de Noordervaart, de capaciteit van de Zuid-Willemsvaart tussen Nederweert en Helmond en de inlaatcapaciteit bij Panheel beperkende factoren bij de verdeling van het water. Het verdelingsmodel is toegepast voor varianten voor het primaire stelsel, waarin één of meer van deze beperkende factoren (geheel of gedeeltelijk) zijn weggelaten. In alle varianten is uitgegaan van uitbreiding van de Peelkanalen, daarnaast bevat iedere variant één of meer van de volgende aanpassingen:

- uitbreiding van de inlaatcapaciteit bij Katsberg (in combinatie met vergroting van de capaciteit op de Noordervaart);
- oppompen van Maaswater bij Oosterhout (vermindering transport via de Zuid-Willemsvaart);
- uitbreiding van de capaciteit van de Zuid-Willemsvaart tussen Helmond en Nederweert;
- uitbreiding van de inlaatcapaciteit bij Panheel.

De resultaten van de optimalisering als berekening uit oppervlaktewater wel is toegestaan, zijn samengevat in tabel 6 (voor een meer uitgebreide weergave wordt verwezen naar aanhangsel 3). Hierbij is steeds uitgegaan van uitbreiding van de Peelkanalen. Voor enkele deelgebieden geldt dat de opbrengst van subinfiltratie plus berekening positief is, terwijl de opbrengst van alleen subinfiltratie negatief is. Voor deze deelgebieden is, in de optimalisering, subinfiltratie plus berekening als één bestemming beschouwd.

De varianten B1,...,B6 geven, stapsgewijs, het effect weer van uitbreiding van de capaciteit van de Zuid-Willemsvaart als er bij Oosterhout water wordt opgepompt en de inlaatcapaciteit bij Panheel en Katsberg niet wordt aangepast. Variant B5 bijvoorbeeld geeft aan dat, als de capaciteit tot 7000 l/s wordt uitgebreid, er bij Oosterhout 1802 l/s en bij Panheel 5773 l/s wordt opgepompt. De opbrengst in de landbouw, zonder toerekenen van kosten voor het primaire stelsel, bedraagt ruim 1,85 miljoen gulden. De oppompkosten zijn 0,23 miljoen gulden en de kosten van de aanpassingen van het primaire stelsel 0,36 miljoen gulden (per jaar). Bij volledige toedeling van deze kosten aan de landbouw is de (toename van de) opbrengst dus 1.26 miljoen gulden. De reeksen C1,...,C11, D1,...,D11 en E1,...,E7 zijn op analoge wijze samengesteld.

Tabel 6 De hoeveelheid water (l/s) die wordt opgepompt bij Oosterhout en bij Panheel, de opbrengst (gld.1000) in de landbouw (zonder toerekening van kosten voor het primaire stelsel), de oppompkosten (gld.1000) binnen het primaire stelsel en de kosten (gld.1000) van aanpassing van het primaire stelsel, voor enkele varianten voor de capaciteit (l/s) bij Katsberg en van de Zuid-Willemsvaart (ZWV) en bij uitbreiding van de Peelkanalen, als berekening uit oppervlaktewater is toegestaan.

Variant	Capaciteit		Opgepompt		Opbrengst	Kosten	
	Katsberg	ZWV	Oosterh.	Panheel		Pompen	Aanpassing
B1	3000	5000	1802 *	3688	1514	163	263
B2	3000	5500 *	1802 *	4261	1636	183	286
B3	3000	6000 *	1802 *	4776	1733	200	310
B4	3000	6500 *	1802 *	5269	1811	217	333
B5	3000	7000 *	1802 *	5773	1853	234	357
B6	3000	7500 *	1802 *	6038	1869	243	380
C1	3000	5000		3831	1045	130	41
C2	3000	5500 *		4220	1150	143	64
C3	3000	6000 *		4718	1342	160	88
C4	3000	6500 *		5188	1468	176	111
C5	3000	7000 *		5761	1590	196	135
C6	3000	7500 *		5914	1672	201	158
C7	3000	8000 *		6020	1701	205	182
C8	3000	8000 *		6749 *	1769	231	277
C9	3000	8500 *		6899 *	1817	235	300
C10	3000	9000 *		7478 *	1854	254	371
C11	3000	9000 *		7840 *	1869	267	418
D1	4100 *	5000		5226	1331	178	127
D2	4100 *	5500 *		5615	1436	191	150
D3	4100 *	6000 *		6020	1625	205	174
D4	4100 *	6500 *		6003	1717	204	197
D5	4100 *	7000 *		5984	1741	203	221
D6	4100 *	7000 *		6794 *	1861	231	316
D7	4100 *	7500 *		6986 *	1919	238	339
D8	4100 *	8000 *		7045 *	1934	240	363
D9	4100 *	8500 *		8033 *	2072	273	481
D10	4100 *	8500 *		8565 *	2118	291	528
D11	4100 *	9000 *		9025 *	2151	307	600
E1	4100 *	5000	1802 *	5109	1806	212	349
E2	4100 *	5500 *	1802 *	5656	1922	230	372
E3	4100 *	6000 *	1802 *	5809	2004	235	396
E4	4100 *	6500 *	1802 *	6011	2056	242	419
E5	4100 *	6500 *	1802 *	6664 *	2097	264	514
E6	4100 *	7000 *	1802 *	6996 *	2134	276	538
E7	4100 *	7500 *	1802 *	7433 *	2155	291	609

* aanpassing ten opzichte van de referentiesituatie

Bij de bepaling (door de provincie) van de "gewenste" variant kan de toedeling van kosten van het primaire stelsel aan de landbouw, een rol spelen. Als er geen toedeling van kosten plaatsvindt, dan geven de varianten D11 en E7 de grootste opbrengst in de landbouw (ongeveer 2,15 miljoen gulden). Dit betreft uitbreiding van de inlaatcapaciteit bij Katsberg in combinatie met één van de volgende varianten:

- uitbreiding van de inlaatcapaciteit bij Panheel tot 9000 l/s plus uitbreiding van de capaciteit van de Zuid-Willemsvaart tot 9000 l/s (variant D11)
- uitbreiding van de inlaatcapaciteit bij Panheel tot 7500 l/s plus uitbreiding van de capaciteit van de Zuid-Willemsvaart tot 7500 l/s plus oppompen bij Oosterhout (variant E7).

Als de oppompkosten binnen het primaire stelsel aan de landbouw worden toegedeeld dan geeft variant E7 de hoogste opbrengst (ongeveer 1,85 miljoen gulden). Als alle kosten van het primaire stelsel aan de landbouw worden toegedeeld dan geeft variant E4 de hoogste opbrengst (ongeveer 1,4 miljoen gulden). Dit betreft uitbreiding van de inlaatcapaciteit bij Katsberg plus uitbreiding van de capaciteit van de Zuid-Willemsvaart, tussen Nederweert en Helmond, tot 6500 l/s plus oppompen bij Oosterhout.

Bij de interpretatie van de uitkomsten moet worden bedacht dat deze een partiële analyse betreffen, te weten optimalisering voor een gebruiker, in een 10%-droog jaar. Bovendien is verondersteld dat er bij de inlaatpunten van het gebied voldoende water beschikbaar is. Optimalisering voor een 2%-droog jaar leidt tot enkele (geringe) aanpassingen. De voornaamste betekenis van de uitkomsten is, dat er inzicht wordt verkregen in zowel de omvang en de locatie van de beperkingen van het primaire systeem (in de referentiesituatie) als in het verwachte effect van bepaalde aanpassingen van het primaire stelsel op de opbrengst in de landbouw. Uit de resultaten kan worden afgeleid of specifieke uitbreidingen kunnen worden gefinancierd uit de toename in de opbrengst in de landbouw.

5. AFSLUITENDE OPMERKINGEN

In dit rapport is een model besproken waarmee de optimale verdeling van een beperkte hoeveelheid oppervlaktewater over een aantal bestemmingen kan worden bepaald. Hierbij wordt rekening gehouden met eventueel vereiste aanpassingen van het stelsel van waterlopen en kunstwerken. De formulering betreft de algemene situatie met selectie-criteria (doelstellingsfuncties) die verschillen in dimensie en in prioriteit. Voor het algemene model worden mogelijke benaderingen beschreven om het model op te lossen.

De werking van het model wordt geïllustreerd aan de hand van de toepassing van het model in de eerste fase van het onderzoek naar het effect van wateraanvoer in midden en oost Noord-Brabant en noord Limburg. Hierbij wordt geoptimaliseerd voor een gebruiker, landbouw. Bij de toepassing is gebleken dat gebruik van het "primal-all integer" algoritme op rekenkundige problemen kan stuiten. Het algoritme kan namelijk sterk reageren op een kleine verandering in één of meer coëfficiënten. Hierdoor kan het aantal iteraties dat nodig is om de optimale oplossing te bereiken, explosief toenemen. Het verdient dan ook aanbeveling om te streven naar verbetering van het algoritme.

Bij de interpretatie van de uitkomsten moet worden bedacht dat de toepassing een partiële analyse betreft. De uitkomsten moeten in dit licht worden beschouwd. De betekenis van de uitkomsten is verder afhankelijk van de betrouwbaarheid en de nauwkeurigheid van de ingevoerde gegevens. Bij de toepassing van het model zijn de gegevens geaggregeerd tot op deelgebiedsniveau en is gewerkt met prognoses voor zowel de ontwikkeling van de prijzen als van het grondgebruik in de landbouw. Op grond hiervan mag aan de uitkomsten geen absolute betekenis worden gehecht. De uitkomsten zijn richtinggevend voor de verwachte ontwikkeling.

Tot slot wordt opgemerkt dat de toepassing heeft aangetoond dat het geformuleerde model operationeel is. Door toepassing van het model is inzicht verkregen in de aard en de omvang van de problemen binnen het studiegebied. Echter voordat het model wordt toegepast voor een ruimere probleemstelling of voor andere gebieden, verdient het aanbeveling om het algoritme te verbeteren.

LITERATUUR

Hu, T.C., 1969. *Integer Programming and Network Flows*. Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company.

Kortekaas, B., G. Tamminga en G. Trip, 1988. *Prijsscenario's en grondgebruik ten behoeve van het ICW-project Midden en Oost-Brabant*. Den Haag, LEI.

Silva, W., 1989. *Schematisering Limburgse en Brabantse kanalen t.b.v. PAWN (3e nota)*. DBW/RIZA, Werkdocument 89.017.

Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990. *Planning van de oppervlaktewaterhuishouding in midden en oostelijk Noord-Brabant. Fase 1: Bepaling van de rentabiliteit van waterconservering en wateraanvoer en de waterverdeling t.b.v. de landbouw*. Wageningen, Staring Centrum, Rapport 99.

Zeleny, M., 1982. *Multiple Criteria Decision Making*. New York, McGraw-Hill Book Company.

NIET-GEPUBLICEEERDE BRON

Slothouwer, D., 1990. *De bepaling van kosten en baten van wateraanvoer ten behoeve van het project: Optimalisering waterbeheer in midden en oostelijk Noord-Brabant*. Wageningen, Staring Centrum, Interne Mededeling 100.

AANHANGSELS

	blz.
1 HET "PRIMAL ALL-INTEGER ALGORITHM"	43
2 HET STELSEL VAN WATERLOPEN EN KUNSTWERKEN	49
3 RESULTATEN VOOR HET STUDIEGEBIED	57

AANHANGSEL 1

HET 'PRIMAL ALL-INTEGER ALGORITHM'

Ga uit van het geheeltallige probleem:

$$(A1) \quad x(0) = \max \{a(0,0) + \sum_{j=1,n} a(0,j) \cdot x(j)\}$$

$$\text{zodanig dat: } \sum_{j=1,n} a(i,j) \cdot x(j) \leq a(i,0) \quad i=1, \dots, m$$

$$x(j) \geq 0, \text{ geheeltallig} \quad j=1, \dots, n$$

Bij het oplossen van dit probleem wordt uitgegaan van een formulering waarbij alle coëfficiënten, $a(0,j)$, $a(i,j)$ en $a(i,0)$, geheeltallig zijn, met $a(i,0) \geq 0$. Het probleem is geschreven als een tableau, op basis van de in (A2) gegeven transformatie.

$$(A2) \quad x(0) = \max \{a(0,0) + \sum_{j=1,n} (-a(0,j)) \cdot (-x(j))\}$$

$$\text{zodanig dat: } x(j) = 0 + (-1) \cdot (-x(j)) \quad j=1, \dots, n$$

$$x(n+i) = a(i,0) + \sum_{j=1,n} a(i,j) \cdot (-x(j)) \quad i=1, \dots, m$$

$$x(j) \geq 0, \text{ geheeltallig} \quad j=1, \dots, n+m$$

De $x(n+i)$ ($i=1, \dots, m$) zijn slack-variabelen. Om de eindigheid van het algoritme te garanderen, wordt het probleem uitgebreid met beperking (A3), met M groter dan de verwachte som van de $x(j)$ voor $j=1, \dots, m$, zodat $x(m+n+1)$ altijd positief is.

$$(A3) \quad x(m+n+1) = M + \sum_j -x(j)$$

Het tableau ziet er als volgt uit:

	1	-x(1)	.....	-x(j)	.....	-x(n)
x(0)	a(0,0)	-a(0,1)	.....	-a(0,j)	.....	-a(0,n)
x(1)	0	-1	0.....0	0	0.....0	0
x(j)	0	0	0.....0	-1	0.....0	0
x(n)	0	0	0.....0	0	0.....0	-1
x(n+1)	a(1,0)	a(1,1)	.....	a(1,j)	.....	a(1,n)
x(n+i)	a(i,0)	a(i,1)	.....	a(i,j)	.....	a(i,n)
x(n+m)	a(m,0)	a(m,1)	.....	a(m,j)	.....	a(m,n)
x(m+n+1)	M	1	1.....1	1	1.....1	1

Bij toepassing van het algoritme worden alleen de met de niet-basisvariabelen corresponderende kolommen opgenomen in het tableau. In iedere iteratie wordt de met de nieuwe basisvariabele corresponderende kolom vervangen door de met de nieuwe niet-basisvariabele corresponderende kolom.

Het algoritme ziet er als volgt uit:

STAP 0: verifieer of alle coëfficiënten geheeltallig zijn, bepaal een toelaatbare startoplossing en stel het nummer van de iteratie op nul ($nit=0$).

Als er in een vergelijking een of meer coëfficiënten niet geheeltallig zijn dan wordt de betreffende vergelijking vermenigvuldigd met een constante. De slack-variabelen $x(n+i)$ zijn de basisvariabelen voor de startoplossing, zodat $x(n+i)=a(i,0)$ voor $i=1,\dots,m$ en $x(j)=0$ voor $j=1,\dots,n$. De startoplossing is toelaatbaar als alle basisvariabelen groter dan of gelijk aan nul zijn (dus: $a(i,0) \geq 0$). Als dit niet het geval is moet een andere wel toelaatbare startoplossing worden gezocht.

STAP 1: bepaal of alle $a(0,j) \leq 0$, $j=1,n+m+1+nit$. Als dit het geval is, is de optimale oplossing gevonden en stopt de procedure anders wordt nit met één opgehoogd.

STAP 2: stel $nit=nit+1$ en selecteer de nieuwe basisvariabele, dit is de niet-basisvariabele $x(s)$ met $a(0,s) = \max_j \{a(0,j)\}$

STAP 3: bepaal de verzameling basisvariabelen $V=\{x(v)\}$ waarvoor geldt:

$$(A4) \quad [a(v,0)/a(v,s)] = \min_{i:a(i,s)>0} \{[a(i,0)/a(i,s)]\}$$

Met $[a]$ het grootste gehele getal kleiner dan of gelijk aan a .

STAP 4: bepaal de Gomory-snede, weergegeven in vergelijking (A5), die als nieuwe basisvariabele (extra beperking) wordt toegevoegd aan het probleem om te fungeren als verlatende basis-variabele (spilrij). De basis voor de Gomory-snede is de variabele $x(v)$ die tot V behoort en die gedurende het grootste aantal direct voorgaande iteraties zonder onderbreking tot V heeft behoord.

$$(A5) \quad x(n+m+1+nit) = [a(v,0)/a(v,s)] + \sum_j [a(v,j)/a(v,s)] \cdot (-x(j))$$

STAP 5: pas de coëfficiënten in de tableau aan aan de situatie met $x(n+m+1+nit)$ als niet-basisvariabele en $x(s)$ als basisvariabele. Dit gebeurt via substitutie van vergelijking (A6) voor $x(s)$.

$$(A6) \quad x(s) = -[a(v,0)/a(v,s)] - \sum_{j=1, s-1}^{s+1, n+m+1+nit-1} [a(v,j)/a(v,s)] \cdot (-x(j)) + (-1) \cdot (-x(n+m+1+nit))$$

Vervolgens wordt de met de Gomory-snede corresponderende rij verwijderd en vervolgt de procedure met STAP 1.

Het algoritme wordt gedemonstreerd aan de hand van het volgende voorbeeld:

$$X(0) = \max \{3 \cdot X(1) + X(2)\}$$

$$\text{zodanig dat: } \begin{aligned} 2 \cdot X(1) + 3 \cdot X(2) &\leq 6 \\ 2 \cdot X(1) - 3 \cdot X(2) &\leq 3 \\ X(1), X(2) &\geq 0, \text{ geheel-talig} \end{aligned}$$

Het bij dit probleem behorende tableau is:

	1	-X(1)	-X(2)	
X(0)	0	-3	-1	
s(1)	6	2	3	s(1) = 6 + 2 \cdot (-X(1)) + 3 \cdot (-X(2))
s(2)	3	2	-3	s(2) = 3 + 2 \cdot (-X(1)) - 3 \cdot (-X(2))
X(1)	0	-1	0	X(1) = -1 \cdot (-X(1))
X(2)	0	0	-1	X(2) = -1 \cdot (-X(2))

In STAP 2 wordt X(1) als nieuwe basisvariabele geselecteerd omdat $-3 < -1$. Vervolgens wordt in STAP 3 de rij s(2) gekozen als basis voor de Gomory-snedede omdat $3/2 < 6/2$. De bijbehorende Gomory-snedede wordt bepaald in STAP 4 en wordt toegevoegd aan het tableau. De Gomory-snedede is gelijk aan:

$$gs(1) = [3/2] + [2/2] \cdot (-X(1)) + [-3/2] \cdot (-X(2)) = 1 + (-X(1)) + (-2) \cdot (-X(2))$$

Dit resulteert in het volgende tableau:

	1	-X(1)	-X(2)	
X(0)	0	-3	-1	
s(1)	6	2	3	
s(2)	3	2	-3	
X(1)	0	-1	0	
X(2)	0	0	-1	
gs(1)	1	1	-2	

In STAP 5 wordt het begintableau voor de volgende iteratie bepaald. gs(1) wordt de nieuwe niet-basisvariabele en X(1) de nieuwe basisvariabele. In de berekeningen komt dit neer op de volgende substitutie:

$$X(1) = 1 + (-gs(1)) + (-2) \cdot (-X(2))$$

of

$$-X(1) = -1 + (-1) \cdot (-gs(1)) + 2 \cdot (-X(2))$$

In het tableau wordt de met X(1) corresponderende kolom vervangen door de kolom die correspondeert met gs(1) en wordt de met gs(1) corresponderende rij

verwijderd (kolommen van basisvariabelen worden weggelaten omdat deze een coëfficiënt gelijk aan -1 hebben in de rij die met de basisvariabele correspondeert en verder uit nullen bestaan).

$$\begin{array}{r|ccc|}
 & 1 & -gs(1) & -X(2) & \\
 X(0) & 3 & 3 & -7 & \\
 \hline
 s(1) & 4 & -2 & 7 & \\
 s(2) & 1 & -2 & 1 & \\
 X(1) & 1 & 1 & -2 & \\
 X(2) & 0 & 0 & -1 &
 \end{array}$$

De procedure vervolgt met de keuze van de nieuwe basisvariabele in STAP 1, dit wordt X(2), enz.. Het uiteindelijke maximum is X(0)=4 waarbij X(1)=1 en X(2)=1.

Toevoeging van de Gomory-snede aan het probleem garandeert de geheeltalligheid van de oplossing in de betreffende iteratie, zonder dat de oplossingsruimte (verzameling van toelaatbare oplossingen) verandert. Alle toelaatbare oplossingen blijven dus toelaatbaar terwijl er geen toelaatbare oplossingen worden toegevoegd. Dit kan als volgt worden bewezen.

Schrijf $a(j)=f(j)+a(s).b(s)$ met $f(j) < a(s)$, dit houdt in dat $[a(j)/a(s)]=b(j)$.

De Gomory-snede gs en de genererende rij $x(v)$ kunnen worden geschreven als (met weglaten rij index):

$$(A7) \quad gs = b(0) - \sum_j b(j).x(j) \geq 0$$

$$(A8) \quad x(v) = f(0) + as.b(0) - \sum_j [f(j)+as.b(j)].x(j) = f(0) - \sum_j f(j).x(j) + a(s).gs \geq 0$$

Bij reductie van de oplossingsruimte geldt dat er een oplossing x is die toelaatbaar is voor $x(v)$ en niet voor gs , dus:

$$(A9) \quad x(v) = f(0) - \sum_j f(j)x(j) + a(s).gs \geq 0$$

en

$$(A10) \quad gs = b(0) - \sum_j b(j).x(j) < 0 \quad (\text{dit is dus } \leq -1)$$

Uit (A9) volgt dat moet gelden: $f(0) \geq \sum_j f(j).x(j) - a(s).gs$

waarbij $f(j)$ en $x(j) \geq 0$ en, volgens (A10), $gs \leq -1$. Dus:

$$\begin{array}{l}
 f(0) \geq \sum_j f(j).x(j) - a(s).(-1) \geq a(s) \\
 \text{de definitie van } f(0) \text{ geeft: } 0 \leq f(0) < a(s)
 \end{array}
 \quad \left. \begin{array}{l} \text{---} \\ | \\ | \\ | \\ \text{---} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{tegenspraak,}$$

dus er bestaat geen oplossing x die toelaatbaar is voor $x(v)$ en niet voor gs (QED).

Als de met de Gomory-snedes corresponderende slack-variabele na een aantal iteraties weer basisvariabele wordt, dan wordt deze uit het tableau verwijderd. Dit is toegestaan omdat de Gomory-snedes de oplossingsruimte van het oorspronkelijke probleem niet beïnvloedt.

Tot slot wordt beschreven hoe een negatieve coëfficiënt $a(v,0)$ (waarbij $a(v,0) < 0$) wordt verwijderd:

1> bepaal of er een coëfficiënt $a(v,s)$ is die negatief (<0) is en waarvoor geldt:

$$(A11) \quad [a(v,0)/a(v,s)] \cdot a(i,s) + a(i,0) \geq 0 \quad \text{voor alle } a(i,0) \geq 0$$

Als er een coëfficiënt $a(v,s)$ is die aan deze voorwaarde voldoet dan is de hiermee corresponderende kolom de spilkolom. De Gomory-snedes wordt:

$$(A12) \quad g_s = [a(v,0)/a(v,s)] + \sum_j [a(v,j)/a(v,s)] \cdot (-x(j))$$

2> Als er geen coëfficiënt $a(v,s)$ is die voldoet aan (A11) dan wordt aan het probleem een variabele x_a toegevoegd die gelijk is aan -1 keer de basisvariabele met negatief teken. Door x_a basisvariabele te maken, ontstaat een toelaatbare startoplossing. De variabele x_a moet in het optimum de waarde nul hebben. Dit wordt gerealiseerd door de variabele op te nemen in de doelstellingsfunctie met een grote (negatieve) coëfficiënt (de term in doelstellingsfunctie is: $-M \cdot x_a = M \cdot (-x_a)$ met $M > 0$). Voor x_a worden een extra rij, $x_a = -1 \cdot (-x_a)$, en een extra kolom (met coëfficiënt -1 in de met $x(v)$ corresponderende rij) toegevoegd aan het tableau. De extra kolom fungeert als spilkolom en de met $a(v,0)$ corresponderende rij is de spilrij (met negatieve coëfficiënt $a(v,0)$).

Voorbeeld:

Stel het geheeltallige probleem: $Z = \max \{3X(1) - X(2)\}$

$$\begin{aligned} \text{zodanig dat: } & 3X(1) - X(2) \leq 3 \\ & -5X(1) - 4X(2) \leq -10 \\ & 2X(1) + X(2) \leq 5 \\ & X(1), X(2) \geq 0 \end{aligned}$$

Dit geeft het volgende tableau:

		-X(1)	-X(2)	
X(0)	0	-3	1	|
X(1)	0	-1	0	|
X(2)	0	0	-1	|
X(3)	3	3	-1	|
X(4)	-10	-5	-4	|
X(5)	5	2	1	|

Voor de rij X(4) met negatieve coëfficiënt (-10) wordt de variabele X(6) toegevoegd. Stel dat $M=10$, dan wordt de tableau, met $g_s=X(4)$:

	1	-X(1)	-X(2)	-X(6)
X(0)	0	-3	1	10
X(1)	0	-1	0	0
X(2)	0	0	-1	0
X(3)	3	3	-1	0
X(4)	-10	-5	-4	-1
X(5)	5	2	1	0
X(6)	0	0	0	-1
gs	-10	-5	-4	-1

Na de iteratie ziet de tableau er als volgt uit, met kolomaanduiding X(4) in plaats van gs:

	1	-X(1)	-X(2)	-X(4)
X(0)	100	-53	-39	10
X(1)	0	-1	0	0
X(2)	0	0	-1	0
X(3)	3	3	-1	0
X(4)	0	0	0	-1
X(5)	5	2	1	0
X(6)	10	5	4	-1

Deze tableau wordt gebruikt bij toepassing van het algoritme (het optimum is X(1)=1 en X(2)=2).

AANHANGSEL 2

HET STELSEL VAN WATERLOPEN EN KUNSTWERKEN

Inleiding

Het stelsel van waterlopen en kunstwerken in het studiegebied is weergegeven als een netwerk van knooppunten en takken (zie kaart). Het netwerk betreft zowel het primaire als het secundaire stelsel. De deelgebieden zijn hierbij weergegeven als (eind)knooppunten.

Het primaire stelsel van waterlopen en kunstwerken betreft de waterlopen die bij Rijks Waterstaat in beheer zijn (Zuid-Willemsvaart, Kanaal Wessem-Nederweert, Noordervaart, Wilhelminakanaal) en de Peelkanalen. De andere delen van het leidingstelsel behoren tot het secundaire stelsel. Het grootste deel van het secundaire stelsel betreft leidingen die deelgebieden verbinden met (koppelen aan) het primaire stelsel. Enkele van de weergegeven leidingen (takken) bestaan niet in de huidige situatie. Dit betreft takken die moeten worden geopend/aangelegd als aanvoer van oppervlaktewater naar het betreffende deelgebied plaatsvindt. Voor enkele delen van het netwerk worden de doorvoercapaciteit en het gebruik van het netwerk nader toegelicht. Dit betreft:

- de Peelkanalen;
- de Zuid-Willemsvaart tussen Nederweert en Den Bosch;
- het stroomgebied van de Aa;
- het Wilhelminakanaal;
- het "kruispunt" bij Nederweert.

Bij het gebruik van het netwerk wordt onderscheid gemaakt tussen aanvoer van oppervlaktewater voor de landbouw en aanvoer voor andere doeleinden, zoals scheepvaart en wegzijging.

Dit aanhangsel betreft de situatie context 2000 (Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990), dit is de situatie die, bij ongewijzigd beleid, in het jaar 2000 zal optreden. Ten opzichte van deze situatie zijn de volgende aanpassingen mogelijk:

- installatie van een gemaal bij Oosterhout. De kosten van dit gemaal (op jaarbasis) bedragen 123 000 gulden per m³;
- uitbreiding van de capaciteit van het gemaal bij Panheel. De kosten hiervan (op jaarbasis) bedragen 95 000 gulden per m³;
- uitbreiding van de doorvoercapaciteit op de Zuid-Willemsvaart tussen Nederweert en Helmond, kosten 47 000 gulden per m³ (op jaarbasis);
- uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen, de totale kosten van deze uitbreiding zijn 41 000 gulden (op jaarbasis);
- uitbreiding, tot 4000 l/s, van de inlaatcapaciteit bij Katsberg in combinatie met vergroting van de doorvoercapaciteit van de Noordervaart tot 5500 l/s. De totale kosten (op jaarbasis) van deze uitbreidingen bedragen 86 000 gulden.

Naast de kosten (investering, beheer en onderhoud) van eventuele aanpassingen moet rekening worden gehouden met de kosten van het oppompen van het water. De oppompkosten, omgerekend naar kosten per groeiseizoen, bedragen 34 000 gulden per m³.s voor het gemaal bij Panheel en 21 000 gulden per m³.s voor het gemaal bij Oosterhout.

De Peelkanalen

De waterschappen de Maaskant en Noord-Limburg en een deel van het waterschap de Aa worden via de Peelkanalen van water voorzien. In de situatie context 2000 is de capaciteit van de Peelkanalen niet toereikend om alle daarvoor in aanmerking komende deelgebieden van water te voorzien. Het noordelijk deel van het gebied is in deze situatie niet ontsloten, omdat de capaciteit van de takken 1 en 16 (dit is na tak 10) gelijk is aan nul. Dit betreft de aanvoer naar een groot deel van het Waterschap de Maaskant.

Het waterschap de Maaskant kan (volledig) worden ontsloten door uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen. In tabel A1 is de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen voor verschillende situaties weergegeven. Dit betreft de situatie context 2000, de situatie die ontstaat na uitbreiding van de Peelkanalen (variant1) en de situatie die ontstaat na uitbreiding van de Peelkanalen en vergroting van de inlaatcapaciteit bij Katsberg en de doorvoercapaciteit op de Noordervaart (variant 2).

Tabel A1 Doorvoercapaciteit (l/s) van de Peelkanalen in de situatie context 2000, in de variant dat de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen is uitgebreid (variant1) en in de variant dat tevens de doorvoercapaciteit op de Noordervaart en de inlaatcapaciteit bij Katsberg zijn vergroot (variant2)

	Tak	Doorvoercapaciteit		
		Huidig	Uitbreiding	
			Variant1	Variant2
Noordervaart	28	4000	4000	5500
Katsberg	142	3000	3000	4100
Kanaal van Deurne	143	2000	3200	3200
	93	2000	3800	3800
Helenavaart	144	1500	1500	1500
	145	1500	1500	1500
Defensiekanaal	8	900	2500	2500
	9	900	2500	2500
	10	900	2500	2500
	16	0	600	600
Sambeekse uitwetering	1	0	1000	1000

Voor de takken van het secundaire stelsel is de capaciteit geen beperkende factor. Een deel van deze takken wordt namelijk pas aangelegd/geopend als aan het betreffende deelgebied water wordt toegewezen, waarbij uiteraard voor voldoende capaciteit wordt gezorgd. De hiermee corresponderende kosten worden rechtstreeks toegerekend aan de betreffende deelgebieden. Voor bestaande takken wordt uitbreiding gerealiseerd als de toedeling dit vereist. Ook in dit geval worden de met de uitbreiding corresponderende kosten toegerekend aan de profiterende deelgebieden.

Er wordt verondersteld dat de wegzijging uit de Noordervaart (tak 28) 300 l/s bedraagt.

De Zuid-Willemsvaart tussen Nederweert en Den Bosch

De Zuid-Willemsvaart tussen Nederweert en Den Bosch heeft vertakkingen naar het Wilhelminakanaal (tak 40) en naar het stroomgebied van de rivier de Aa (tak 98). Een belangrijke taak van de Zuid-Willemsvaart is de doorvoer van water voor het schutten op de Zuid-Willemsvaart (bij Helmond en Den Bosch) en op het Wilhelminakanaal. In de situatie context 2000 is de doorvoercapaciteit zodanig dat slechts bij benadering aan deze behoefte kan worden voldaan, omdat een deel van het doorgevoerde water via wegzijging verdwijnt. Aanvoer van Maaswater voor de landbouw is niet mogelijk. Potentiële aanpassingen om aanvoer voor de landbouw mogelijk te maken zijn: uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de Zuid-Willemsvaart (bij Nederweert) en oppompen van Maaswater bij Oosterhout (op het Wilhelminakanaal). Bij realisering van de laatst genoemde mogelijkheid vermindert de hoeveelheid water die ter compensatie van schutverliezen via de Zuid-Willemsvaart moet worden aangevoerd, zodat aanvoer voor de landbouw mogelijk wordt.

Een rioolzuiveringsinstallatie (RIZ) en enkele bedrijven lozen (afval)water op de Zuid-Willemsvaart. Een deel van deze lozingen komt ten goede aan de landbouw, de rest wordt afgevoerd (tabel A2).

Tabel A2 *Herkomst en omvang (l/s) van de lozingen op de Zuid-Willemsvaart en het deelgebied waar gebruik door de landbouw plaatsvindt*

Herkomst	Tak	Lozing	Deelgebied
Campina Eindhoven	89	12	DM3
Mars	56	15	
RIZ Schijndel	130	52	
Omniplast	53	6	AA8

De doorvoercapaciteit van de takken in het stroomgebied van de Zuid-Willemsvaart is gespecificeerd in tabel A3. Tevens is aangegeven hoe groot het (vereiste) debiet is ten gevolge van lozingen en ter compensatie van wegzijging en schutverliezen. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de situatie dat er bij Oosterhout geen Maaswater wordt opgepompt en de situatie dat er 1500 l/s wordt opgepompt.

De wegzijging op de Zuid-Willemsvaart bedraagt tussen Nederweert en Helmond 300 l/s (takken 36, 43, 97 en 86) en tussen Helmond en Den Bosch 900 l/s (takken 75, 67, 51 en 50). De wegzijging is verwerkt in de vereiste debieten (tabel A3).

Voor de takken van het secundaire stelsel is de capaciteit voldoende of wordt aangepast. De kosten van de aanpassing worden toegerekend aan de profiterende deelgebieden. Alleen takken van het secundaire stelsel waarvoor een minimaal debiet vereist of gegeven is (bijvoorbeeld door lozing afvalwater) zijn opgenomen in tabel A3.

Tabel A3 *De capaciteit (l/s) van de Zuid-Willemsvaart, het debiet (l/s) ten gevolge van lozingen en ter compensatie van wegzijging en schutverliezen (per tak) als er bij Oosterhout geen Maaswater wordt opgepompt en als er 1500 l/s wordt opgepompt*

Tak	Capaciteit	Debiet	
		Oppompen	Niet oppompen
36	5 000	3 583	5 083
43	5 000	3 583	5 083
97	5 000	3 583	5 083
86	5 000	3 383	4 883
73	18 000	1 933	1 933
67	18 000	1 633	1 633
56	*	15	15
130	*	52	52
51	18 000	1 400	1 400
50	18 000	1 300	1 300
53	*	6	6
89	*	12	12
102	*	12	12

* takken secundaire stelsel

Het stroomgebied van de Aa

Het stroomgebied van de rivier de Aa behoort tot het secundaire stelsel. De verbinding met het primaire stelsel (met de Zuid-Willemsvaart) vindt plaats via tak 98. Via dit stroomgebied wordt een deel van het waterschap de Aa van water voorzien.

In het stroomgebied van de rivier de Aa zijn een onttrekking (door Volvo) en een aantal lozingen van rioolzuiveringsinstallaties (RIZ) en bedrijven te vinden. Met uitzondering van de lozing door de RIZ Uden vindt dit plaats in deelgebied AA17.

Tabel A4 *De omvang (l/s) van de lozingen en de onttrekking in het stroomgebied van de Aa*

Lozing/onttrekking	Tak	Debiet
RIZ Someren	140	87
Goossens/Campina	91	17
Nedschroef	84	5
WOB Helmond	84	23
Volvo (onttrekking)	88	100
RIZ Helmond	138	607
RIZ Uden	150	312

De omvang van de onttrekking en van de lozingen is gespecificeerd in tabel A4. Het totaal aan lozingen verminderd met de onttrekking in deelgebied AA17 bedraagt 639 l/s. Dit is meer dan voldoende om, voor deelgebied AA17, te voorzien in de behoefte aan water van de landbouw. Het resterende water kan in andere deelgebieden worden gebruikt. In tabel A5 zijn de aanvoerbehoefte en de daarmee corresponderende kosten en opbrengsten gegeven. De aanvoerbehoefte betreft de situatie in een 10-% droog jaar (1983). De vaste kosten zijn de aan het

deelgebied toegerekende kosten van aanpassing (van de capaciteit) van de leiding naar het betreffende deelgebied. Dit betreft het secundaire stelsel. De tabel betreft de situatie waarin lozingen niet worden gebruikt om in de aanvoerbehoefte te voorzien.

De kengetallen voor deelgebied AA4 betreffen het zuidelijke deel van het deelgebied. Deelgebied AA4 is namelijk gesplitst in een noordelijk en een zuidelijk deel. Het zuidelijke deel (ca. 70% van het totale deelgebied) wordt via de Aa van water voorzien. Het noordelijke deel wordt buiten beschouwing gelaten, omdat dit niet via het primaire stelsel van water wordt voorzien. In het vervolg wordt met deelgebied AA4 het zuidelijk deel van dit deelgebied bedoeld.

Tabel A5 *De aan de deelgebieden in het stroomgebied van de Aa toe te rekenen vaste kosten (gld.1000) van aanpassing van het secundaire stelsel, de aanvoerbehoefte (l/s) in een 10-% droog jaar (1983) en de baten (gld.1000) van wateraanvoer (extra opbrengst minus variabele kosten)*

Deelgebied	Vaste kosten	Subinfiltratie		Berekening	
		aanvoer	baten	aanvoer	baten
AA4	0	228	83	705	154
AA5	0	231	47	339	70
AA17	3	37	-1	136	31
AA18	26	32	6	152	19
AA19	4	19	1	11	1
AA20	13	30	8	56	11

In deelgebied AA4 vindt een lozing van 312 l/s (RIZ Uden) plaats. Gebruik van dit water voor de landbouw is alleen mogelijk na vermenging met een gelijke hoeveelheid Maaswater. Hierbij wordt uitgegaan van volledige menging. Bij de bepaling van de optimale toedeling wordt daarom uitgegaan van een aanvoerbehoefte van 312 l/s. Nadat menging heeft plaatsgevonden wordt eventueel overtollig water geloosd op de Aa.

Voor de deelgebieden AA18 en AA19 zijn de vaste kosten hoger dan de (totale) baten van subinfiltratie en berekening. Aan deze deelgebieden zal daarom nooit water worden toegeedeeld, zodat ze verder buiten beschouwing kunnen worden gelaten. Voor deelgebied AA20 is aanvoer van Maaswater alleen rendabel als er zowel subinfiltratie als berekening plaats vindt. Als berekening niet is toegestaan wordt ook dit deelgebied buiten beschouwing gelaten.

Het totaal aan lozingen (minus de onttrekking) in deelgebied AA17 is 639 l/s. De aanvoerbehoefte voor subinfiltratie (in 1983) is 37 l/s, zodat hierin volledig kan worden voorzien. Ondanks de negatieve baten vindt er in dit deelgebied toch subinfiltratie plaats. In het geval dat berekening niet is toegestaan is het resterend deel van de lozing (602 l/s) voldoende om voor de deelgebieden AA4 en AA5 aan de behoefte te voldoen (459 l/s). Hierbij vindt geen menging plaats met water van de lozing door de RIZ Uden. Als berekening niet is toegestaan, is er in het stroomgebied van de Aa geen behoefte aan aanvoer van Maaswater.

Als berekening is toegestaan, kan via lozingen volledig worden voldaan aan de aanvoerbehoefte (173 l/s) in deelgebied AA17. De resterende 466 l/s wordt gebruikt in deelgebied AA5, waar voor subinfiltratie een aanvoerbehoefte van 104 l/s resteert. Voor deelgebied AA4 kan nu de lozing van de RIZ Uden worden gebruikt.

De aanvoerbehoefte van Maaswater voor subinfiltratie is 312 l/s. Na menging met de lozing van de RIZ Uden blijft 396 l/s over die kan worden gebruikt voor beregening (resterende aanvoerbehoefte 309 l/s) of op de Aa kan worden geloosd.

Als er Maaswater wordt aangevoerd moet de verbinding met het primaire stelsel (tak 98) worden geopend. In tabel A5 zijn de kosten hiervoor opgevoerd als vaste kosten voor deelgebied AA17. Doorberekening van de kosten naar de andere deelgebieden vindt vervolgens plaats via de billijkheidsbenadering (als er water door een deelgebied stroomt mag het deelgebied er van profiteren via subinfiltratie). Omdat voor deelgebied AA17 via lozingen volledig in de behoefte wordt voorzien, wordt het deelgebied bij de toedeling buiten beschouwing gelaten. De kosten voor het openen van tak 98 worden gekoppeld aan deelgebied AA4.

Samenvattend geldt dat de behoefte aan aanvoer van Maaswater naar het stroomgebied van de Aa afwezig is als alleen subinfiltratie is toegestaan. Als beregening is toegestaan, is er een vraag naar Maaswater. Dit is weergegeven in tabel A6, waarbij de baten naar evenredigheid zijn aangepast. De deelgebieden AA18 en AA19 zijn weggelaten.

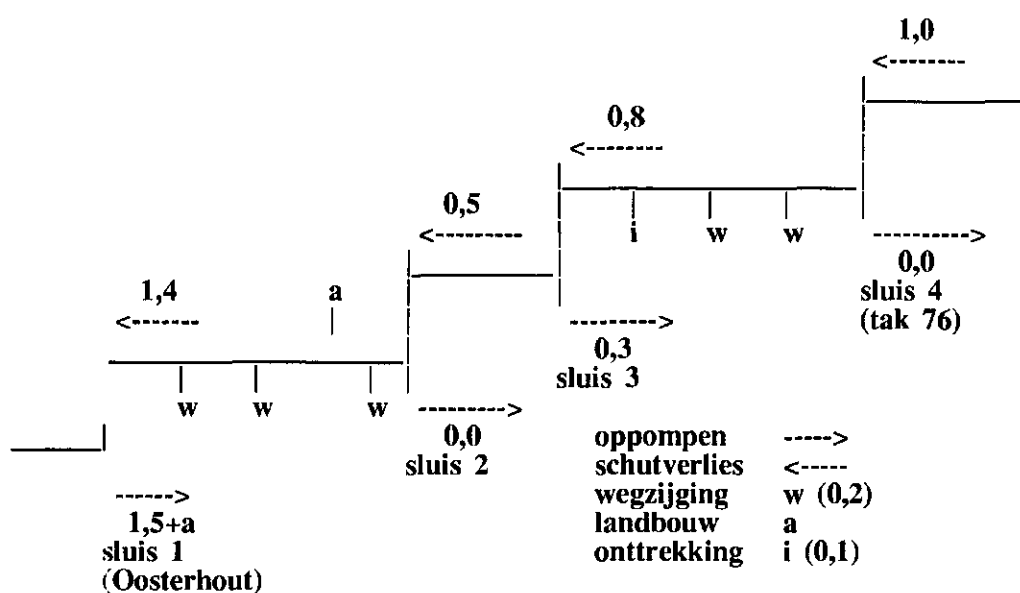
Tabel A6 *De aan de deelgebieden in het stroomgebied van de Aa na toedeling van lozingen, toe te rekenen vaste kosten (gld.1000) van aanpassing van het secundaire stelsel, de aanvoerbehoefte (l/s) in een 10%-droog jaar (1983) en de baten (gld.1000) van wateraanvoer (extra opbrengst minus variabele kosten*

Deelgebied	Vaste kosten	Subinfiltratie		Beregening	
		aanvoer	baten	aanvoer	baten
AA4	3	312	83	309	154
AA5	0	0	0	104	22
AA17	0	0	0	0	0
AA20	13	30	8	56	11

Het stroomgebied van de Aa behoort tot het secundaire stelsel. Er is verondersteld dat de capaciteit van takken niet beperkend is. Voorts is aangenomen dat wegzijging ten goede komt aan de landbouw, zodat deze is verwerkt in de aanvoerbehoefte voor subinfiltratie.

Het Wilhelminakanaal

De koppeling van het Wilhelminakanaal met de Zuid-Willemsvaart vindt plaats via tak 40. De aanvoer van Maaswater voor de compensatie van schutverliezen en wegzijging vindt plaats via de Zuid-Willemsvaart. Voor een deel echter kan in de behoefte worden voorzien door bij Oosterhout Maaswater op te pompen. Beide mogelijkheden zijn in de beschouwing betrokken. Voor het oppompen van Maaswater bij Oosterhout is voor een (vaste) variant gekozen op basis van de kosten van het oppompen. Meer of verder oppompen dan in de gekozen variant vereist een grote investering. De gekozen variant houdt in dat er 1500 l/s wordt opgepompt om de verliezen door schutten en wegzijging te compenseren. Daarnaast kan Maaswater worden opgepompt ten behoeve van de landbouw in deelgebied DO1. Als beregening uit oppervlaktewater is toegestaan, betreft dit 302 l/s. In de figuur is de situatie bij oppompen schematisch weergegeven.



Figuur Schematische weergave oppompen water bij Oosterhout (debieten: m³/s)

In het "stroomgebied" van het Wilhelminakanaal is een onttrekking (door Fuji in Tilburg) en er zijn enkele lozingen. In tabel A7 zijn de omvang van de lozingen en de onttrekking weergegeven en de bestemming bij gebruik door de landbouw.

Tabel A7 Herkomst en omvang (l/s) van lozingen op het Wilhelminakanaal en het deelgebied met gebruik door de landbouw

Lozing/onttrekking	Tak	Debiet	Deelgebied
Bavaria	72	32	AA1
Philips	82	50	
Fuji (onttrekking)	165	100	
Euroglas	62	10	DO1

Verrekening van lozingen en onttrekkingen met het vereiste debiet voor wegzijging en compensatie van schutverliezen, levert de in tabel A8 weergegeven vereiste debieten. De wegzijging uit het Wilhelminakanaal bedraagt 1400 l/s, de schutverliezen bij Oosterhout zijn 1400 l/s.

Tabel A8 *Het debiet (l/s) ten gevolge van lozingen en onttrekkingen en het vereiste debiet (l/s) ter compensatie van wegzijging en schutverliezen voor het Wilhelminakanaal*

Tak	Vereist debiet	
	zonder oppompen	met oppompen
157	1600	1800
63	1800	300
62	10	10
3	2000	500
165	100	100
75	2300	800
76	2500	1000
82	50	50
77	2550	1050
79	2650	1150
80	2750	1250
40	2850	1350
32	72	32

Het kruispunt bij Nederweert

Het kruispunt bij Nederweert betreft het Kanaal Wessem-Nederweert (tak 26), de Zuid-Willemsvaart tussen Loozen en Nederweert (tak 44), de Zuid-Willemsvaart tussen Nederweert en Helmond (tak 36) en de Noordervaart (tak 28). De voeding van de Noordervaart moet via de Zuid-Willemsvaart (tussen Loozen en Nederweert) geschieden. De Zuid-Willemsvaart tussen Nederweert en Helmond kan worden gevoed via Zuid-Willemsvaart (tussen Loozen en Nederweert) en via het Kanaal Wessem-Nederweert.

In de situatie context 2000 geldt dat:

- de capaciteit van het gemaal Panheel 6000 l/s is;
- de schutverliezen bij Panheel 3700 l/s bedragen;
- de wegzijging op het kanaal Wessem-Nederweert 300 l/s is;
- de capaciteit op de Zuid-Willemsvaart tussen Loozen en Nederweert 10000 l/s en de wegzijging 300 l/s is;
- de capaciteit op de Zuid-Willemsvaart tussen Nederweert en Helmond 5000 l/s is;
- de wegzijging op de Noordervaart 300 l/s is;
- de omvang van het vereiste debiet op de Zuid-Willemsvaart vanaf Nederweert (voor wegzijging en schutverliezen) afhankelijk is van het al dan niet oppompen van Maaswater bij Oosterhout. Als er Maaswater wordt opgepompt is het vereiste debiet 3583 l/s en anders 5083 l/s (zodat de capaciteit niet toereikend is).

Als er geen Maaswater wordt opgepompt (bij Oosterhout of Panheel) is er bij Nederweert (via tak 44) 400 l/s beschikbaar voor de landbouw. Deze hoeveelheid kan worden vergroot door oppompen. Zonder capaciteitsuitbreiding bij Panheel kan er 6400 l/s beschikbaar komen bij Nederweert. Als ook bij Oosterhout Maaswater wordt opgepompt, is dit 7800 l/s plus 302 l/s bij Oosterhout.

AANHANGSEL 3

RESULTATEN VOOR HET STUDIEGEBIED

Het verdelingsmodel is toegepast voor een aantal varianten voor het primaire stelsel. De weergegeven resultaten betreffen een 10%-droog jaar (1983). De baten zijn de nominale opbrengst van wateraanvoer (op deelgebiedsniveau) voor alle deelgebieden die van water worden voorzien, waarbij de kosten van de aanpassing van het primaire stelsel niet zijn verrekend. Bij de optimalisering is uitgegaan van onbeperkte beschikbaarheid van Maaswater. De mogelijke aanpassingen zijn beschreven in aanhangsel 2.

De herkomst van het water wordt weergegeven door de volgende code:

- 1 - aanvoer via de Zuid-Willemsvaart tussen Loozen en Nederweert;
- 2 - aanvoer, na Nederweert, via de Zuid-Willemsvaart;
- 3 - aanvoer, na Nederweert, via de Noordervaart;
- 4 - aanvoer via Oosterhout.

De code voor de deelgebieden bestaat uit een combinatie van letters, die corresponderen met het waterschap waartoe het deelgebied behoort, en een volgnummer. De lettercombinaties zijn:

- AA - waterschap de AA;
- DM - waterschap de Dommel;
- DO - waterschap de Dongestroom;
- LB - waterschap Noord-Limburg;
- MD - waterschap Maas- en Diezepolders;
- MK - waterschap de Maaskant;
- ZL - waterschap de Zandley.

De codes voor de bestemming van het water zijn:

- 1 - subinfiltratie;
- 2 - beregening;
- 1/2 - subinfiltratie plus beregening (als de baten van subinfiltratie negatief zijn).

De varianten A1,...,A5 (tabel A9) betreffen de situatie dat beregening uit oppervlaktewater niet is toegestaan. Voor de Peelkanalen wordt onderscheid gemaakt tussen de situatie zonder uitbreiding ("beperkt") en de situatie met uitbreiding ("uitgebreid").

Tabel A9 De varianten voor de situatie dat beregening uit oppervlaktewater niet is toegestaan

Variant	Capaciteit				Oppompen Oosterhout
	Peelkanalen	Katsberg/ Noorderv. (l/s)	Zuid- Willemsv. (l/s)	Panheer (l/s)	
A1	beperkt	3000	5000	6000	niet
A2	beperkt	3000	5000	6000	wel
A3	uitgebreid	3000	5000	6000	niet
A4	uitgebreid	3000	5000	6000	wel
A5	uitgebreid	3000	6000	6000	niet

De capaciteit in de kolommen "Katsberg/ Noorderv", "Zuid-Willemsv" en "Panheel" betreft de inlaat- dan wel doorvoercapaciteit in de betreffende variant. In de kolom "Oosterhout" wordt via "niet" of "wel" aangegeven of er bij Oosterhout Maaswater wordt opgepompt.

De resultaten voor de varianten A1,...,A5 zijn samengevat in tabel A10. Voor ieder variant zijn weergegeven: de baten van wateraanvoer, de hoeveelheid Maaswater die bij Panheel resp. Oosterhout wordt opgepompt en de "verdeling" van water bij het knooppunt Nederweert (zie aanhangsel 2). Deze verdeling betreft de totale hoeveelheid water, dus inclusief water voor niet-landbouwbestemmingen.

Tabel A10 De baten (gld.1000), de hoeveelheid water (l/s) die wordt opgepompt en de verdeling (l/s) bij Nederweert voor de varianten A1,...,A5

Variant	Baten	Oppompen		Verdeling Nederweert				
		Panheel	Oosterh	Aanvoer			Afvoer	
				Loozen	Panheel	ZWV	N-vaart	Panheel
A1	570	1631	0	9700	0	5083	2248	2369
A2	756	881	1500	9700	0	4333	2248	3119
A3	648	1850	0	9700	0	5083	2467	2150
A4	834	1100	1500	9700	0	4333	2467	2900
A5	834	2600	0	9700	0	5833	2467	1400

De optimale toedeling van oppervlaktewater aan deelgebieden (bestemmingen) voor deze varianten is beschreven in tabel A11.

Tabel A11 Herkomst van het toegedeelde water bij de optimale toedeling voor de varianten A1,...,A5 (berekening uit oppervlaktewater niet toegestaan)

Deelgebied	Bestemming	Variant				
		A1	A2	A3	A4	A5
AA1	1		2		2	2
AA2	1	3	3	3	3	3
AA3	1	3	3	3	3	3
AA6	1	3	3	3	3	3
AA7	1	3	3	3	3	3
AA8	1		2		2	2
AA9	1		2		2	2
MK1	1	3	3	3	3	3
MK2	1			3	3	3
MK3	1			3	3	3
MK4	1			3	3	3
MK5	1			3	3	3
MK7	1			3	3	3
MK11	1	3	3	3	3	3
DM4	1		2		2	2
DM5	1		2		2	2
LB2	1	3	3	3	3	3
LB3	1	3	3	3	3	3
LB5	1	3	3	3	3	3
LB6	1	3	3	3	3	3
LB7	1	3	3	3	3	3
LB10	1	3	3	3	3	3
LB11	1	3	3	3	3	3

De tot nu toe besproken varianten hebben betrekking op de situatie dat beregning uit oppervlaktewater niet is toegestaan. Alle overige varianten betreffen de situatie dat beregning uit oppervlaktewater wel is toegestaan. Dit zal daarom niet steeds worden vermeld. In iedere serie varianten (B,C,D,E) vindt stapsgewijs uitbreiding plaats van de capaciteit van de Zuid-Willemsvaart en de inlaatcapaciteit bij Panheel. Voor alle varianten geldt dat de Peelkanalen zijn "uitgebreid". Voor de capaciteit bij Katsberg en het al dan niet oppompen van water bij Oosterhout geldt dat deze binnen een serie niet veranderen, maar dat ze variëren over de series.

Bij de varianten B1,...,B6 wordt uitgegaan van een beperkte inlaatcapaciteit (3000 l/s) bij Katsberg en van oppompen van Maaswater bij Oosterhout. In deze serie varianten is het niet nodig de inlaatcapaciteit bij Panheel te vergroten.

De beschrijving van de varianten is gegeven in tabel A12 en de kengetallen zijn samengevat in tabel A13. De resultaten van de optimalisering (toedeling van water aan deelgebieden) voor de varianten B1,...,B6 zijn samengevat in tabel A14.

Tabel A12 De varianten B1,...,B6 waarbij beregning uit oppervlaktewater is toegestaan

Variant	Capaciteit			Oppompen	
	Peelkanalen	Katsberg/ Noorderv.	Zuid- Willemsv.	Panheel	Oosterhout
B1	uitgebreid	3000	5000	6000	wel
B2	uitgebreid	3000	5500	6000	wel
B3	uitgebreid	3000	6000	6000	wel
B4	uitgebreid	3000	6500	6000	wel
B5	uitgebreid	3000	7000	6000	wel
B6	uitgebreid	3000	7500	6000	wel

Tabel A13 De baten (gld.1000), de hoeveelheid water (l/s) die wordt opgepompt en de verdeling (l/s) bij Nederweert voor de varianten B1,...,B6

Variant	Baten	Oppompen		Verdeling Nederweert				
		Panheel	Oosterh	Aanvoer		Afvoer		
				Loozen	Panheel	ZWV	N-vaart	Panheel
B1	1514	3688	1802	9338	0	4940	4086	312
B2	1636	4261	1802	9338	261	5513	4086	0
B3	1733	4776	1802	9338	776	6028	4086	0
B4	1811	5269	1802	9338	1269	6521	4086	0
B5	1853	5773	1802	9338	1773	7025	4086	0
B6	1869	6038	1802	9338	2038	7290	4086	0

Tabel A14 Herkomst van het toegedeelde water bij de optimale toedeling voor de varianten B1,...,B6 (niet uitbreiden bij Katsberg, oppompen bij Oosterhout)

Deelgebied	Bestemming	Variant					
		B1	B2	B3	B4	B5	B6
AA1	1			2	2	2	2
	2					2	2
AA3	1	3	3	3	3	3	3
AA4	1	2	2	2	2	2	2
	2	2	2	2	2	2	2
AA5	1	2	2	2	2	2	2
	2	2	2	2	2	2	2
AA6	1	3	3	3	3	3	3
AA7	1	3	3	3	3	3	3
AA8	1	2	2	2	2	2	2
	2				2	2	2
AA9	1	2	2	2	2	2	2
	2			2	2	2	2
AA14	1/2			2	2	2	2
AA15	1/2						2
AA16	1					2	2
	2						2
AA20	1/2				2		2
MK1	1	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3
MK2	1	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3
MK3	1	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3
MK4	1	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3
MK5	1	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3
MK7	1	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3
MK11	1	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3
MK15	1/2	3	3	3	3	3	3
DM1	1/2	1	1	1	1	1	1
DM2	1					2	2
	2					2	2
DM3	1/2				2	2	2
DM4	1	2	2	2	2	2	2
	2	2	2	2	2	2	2
DM5	1	2	2	2	2	2	2
	2	2	2	2	2	2	2
DO1	1/2	4	4	4	4	4	4
ZL1	1/2					2	2
LB2	1	3	3	3	3	3	3
LB3	1	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3
LB5	1	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3
LB6	1	3	3	3	3	3	3
LB7	1	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3
LB10	1	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3
LB11	1	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3

De varianten C1,...,C11 betreffen de situatie waarin Katsberg niet wordt uitgebreid en waarin er geen water wordt opgepompt bij Oosterhout. De varianten zijn beschreven in tabel A15.

Tabel A15 De varianten C1,...,C11 waarbij berekening uit oppervlaktewater is toegestaan

Variant	Capaciteit				Oppompen Oosterhout
	Peelkanalen	Katsberg/ Noorderv. (l/s)	Zuid-Willemsv. (l/s)	Panheel (l/s)	
C1	uitgebreid	3000	5000	6000	niet
C2	uitgebreid	3000	5500	6000	niet
C3	uitgebreid	3000	6000	6000	niet
C4	uitgebreid	3000	6500	6000	niet
C5	uitgebreid	3000	7000	6000	niet
C6	uitgebreid	3000	7500	6000	niet
C7	uitgebreid	3000	8000	6000	niet
C8	uitgebreid	3000	8000	7000	niet
C9	uitgebreid	3000	8500	7000	niet
C10	uitgebreid	3000	9000	7500	niet
C11	uitgebreid	3000	9000	8000	niet

De kengetallen voor deze varianten zijn weergegeven in tabel A16, en de optimale verdeling van water over deelgebieden in tabel A17.

Tabel A16 De baten (gld.1000), de hoeveelheid water (l/s) die wordt opgepompt en de verdeling (l/s) bij Nederweert voor de varianten C1,...,C11

Variant	Baten	Oppompen		Verdeling Nederweert				
		Panheel	Oosterh	Aanvoer			Afvoer	
				Loozen	Panheel	ZWV	N-vaart	Panheel
C1	1045	3831	0	9338	0	5083	4086	169
C2	1150	4220	0	9338	220	5472	4086	0
C3	1342	4718	0	9338	718	5970	4086	0
C4	1468	5188	0	9338	1188	6440	4086	0
C5	1590	5761	0	9338	1761	7013	4086	0
C6	1672	5914	0	9700	1914	7528	4086	0
C7	1701	6020	0	9700	2020	7699	4086	0
C8	1769	6749	0	9338	2749	8001	4086	0
C9	1817	6899	0	9700	2899	8513	4086	0
C10	1854	7478	0	9700	3478	9092	4086	0
C11	1869	7840	0	9338	3840	9092	4086	0

Tabel A17 *Herkomst van het toegeede water bij de optimale toedeling voor de varianten C1,...,C11 (niet bij uitbreiden Katsberg, niet oppompen bij Oosterhout)*

Deelgebied	Bestemming	Variant										
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
AA1	1						2	2	2	2	2	2
	2										2	2
AA3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
AA4	1		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2			2	2	2	2	2	2	2	2	2
AA5	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2			2	2	2	2	2	2	2	2	2
AA6	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
AA7	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
AA8	1			2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2							2	2	2	2	2
AA9	1				2	2	2	2	2	2	2	2
	2						2	2	2	2	2	2
AA14	1/2						2			2	2	2
AA15	1/2										2	2
AA16	1										2	2
	2										2	2
AA20	1/2			2						2	2	2
MK1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MK2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MK3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MK4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MK5	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MK7	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MK11	1	3	3	3	3	3	3		3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3		3	3	3	3
MK15	1/2	3	3	3	3	3	3		3	3	3	3
DM1	1/2	1	1	1	1	1			1			1
DM2	1										2	2
	2										2	2
DM3	1/2									2	2	2
DM4	1		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2					2	2	2	2	2	2	2
DM5	1				2	2	2	2	2	2	2	2
	2					2	2	2	2	2	2	2
DO1	1/2								2	2	2	2
ZL1	1/2									2	2	2
LB2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
LB3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
LB5	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
LB6	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
LB7	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
LB10	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
LB11	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

De serie varianten D1,...,D11 betreft varianten waarbij de inlaatcapaciteit bij Katsberg wordt uitgebreid en er geen water wordt opgepompt bij Oosterhout. De varianten zijn beschreven in tabel A18.

Tabel A18 De varianten D1,...,D11 waarbij berekening uit oppervlaktewater is toegestaan

Variant	Capaciteit				Oppompen Oosterhout
	Peelkanalen	Katsberg/ Noorderv. (l/s)	Zuid-Willemsv. (l/s)	Panheel (l/s)	
D1	uitgebreid	4000	5000	6000	niet
D2	uitgebreid	4000	5500	6000	niet
D3	uitgebreid	4000	6000	6000	niet
D4	uitgebreid	4000	6500	6000	niet
D5	uitgebreid	4000	7000	6000	niet
D6	uitgebreid	4000	7000	7000	niet
D7	uitgebreid	4000	7500	7000	niet
D8	uitgebreid	4000	8000	7000	niet
D9	uitgebreid	4000	8500	8000	niet
D10	uitgebreid	4000	8500	9000	niet
D11	uitgebreid	4000	9000	9000	niet

De kengetallen voor deze varianten zijn gegeven in tabel A19.

Tabel A19 De baten (gld.1000), de hoeveelheid water (l/s) die wordt opgepompt en de verdeling (l/s) bij Nederweert voor de varianten D1,...,D11

Variant	Baten	Oppompen		Verdeling Nederweert				
		Panheel	Oosterh	Aanvoer		Afvoer		
				Loozen	Panheel	ZWV	N-vaart	Panheel
D1	1331	5226	0	9338	1226	5083	5481	0
D2	1436	5615	0	9338	1615	5472	5481	0
D3	1625	6020	0	9338	2020	5970	5388	0
D4	1717	6003	0	9700	2003	6440	5263	0
D5	1741	5984	0	9700	1984	7013	4671	0
D6	1861	6794	0	9700	2794	7013	5481	0
D7	1919	6986	0	9700	2986	7298	5388	0
D8	1934	7045	0	9700	3045	7581	5164	0
D9	2072	8033	0	9700	4033	8569	5164	0
D10	2118	8656	0	9338	4656	8513	5481	0
D11	2151	9025	0	9338	5025	8975	5388	0

De optimale toedeling van water voor de varianten D1,...,D11 is weergegeven in tabel A20.

Tabel A20 Herkomst van het toegedeelde water bij de optimale toedeling voor de varianten D1,...,D11 (uitbreiden Katsberg, niet oppompen Oosterhout)

Deelgebied	Bestemming	Variant										
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11
AA1	1									2	2	2
	2									2		2
AA3	1	3	3	3			3	3	3	3	3	3
AA4	1		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2			2	2	2	2	2	2	2	2	2
AA5	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2			2	2	2	2	2	2	2	2	2
AA6	1	3	3	3	3		3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3		3	3			3	3
AA7	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
AA8	1			2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2							2	2	2	2	2
AA9	1				2	2	2	2	2	2	2	2
	2							2	2	2	2	2
AA14	1/2									2	2	2
AA16	1											2
	2											2
AA20	1/2			2							2	2
MK1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MK2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MK3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MK4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MK5	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MK7	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MK11	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
DM1	1/2	1	1	1								1
DM2	1											2
	2											2
DM3	1/2									2	2	2
DM4	1		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2				2	2	2	2	2	2	2	2
DM5	1				2	2	2	2	2	2	2	2
	2					2	2	2	2	2	2	2
DO1	1/2									2	2	2
ZL1	1/2									2	2	2
LB2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
LB3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
LB5	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
LB6	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
LB7	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
LB9	1/2	3	3				3					3
LB10	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
LB11	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3		3	3	3	3	3	3	3

De laatste serie varianten betreft de situatie dat er uitbreiding bij Katsberg plaatsvindt en dat er water wordt opgepompt bij Oosterhout. Dit zijn de varianten E1,...,E7 die zijn beschreven in tabel A21.

Tabel A21 De varianten E1,...,E6 waarbij berekening uit oppervlaktewater is toegestaan

Variant	Capaciteit Peelkanalen	Oppompen			Oppompen Oosterhout
		Katsberg/ Noorderv.	Zuid- Willemsv.	Panheel	
E1	uitgebreid	4000	5000	6000	wel
E2	uitgebreid	4000	5500	6000	wel
E3	uitgebreid	4000	6000	6000	wel
E4	uitgebreid	4000	6500	6000	wel
E5	uitgebreid	4000	6500	7000	wel
E6	uitgebreid	4000	7000	7000	wel
E7	uitgebreid	4000	7500	8000	wel

De kengetallen voor deze varianten zijn in tabel A22 gegeven.

Tabel A22 De baten (gld.1000), de hoeveelheid water (l/s) die wordt opgepompt en de verdeling (l/s) bij Nederweert voor de varianten B1,...,B6

Variant	Baten	Oppompen		Verdeling Nederweert				
		Panheel	Oosterh	Aanvoer		Afvoer		
				Loozen	Panheel	ZWV	N-vaart	Panheel
E1	1806	5109	1802	9338	1109	4966	5481	0
E2	1922	5656	1802	9338	1656	5513	5481	0
E3	2004	5809	1802	9700	1809	6028	5481	0
E4	2056	6011	1802	9700	2011	6323	5388	0
E5	2097	6664	1802	9338	2664	6521	5481	0
E6	2134	6996	1802	9338	2996	6853	5481	0
E7	2155	7433	1802	9338	3433	7290	5481	0

De corresponderende waterverdeling is gegeven in tabel A23.

Tabel A23 *Herkomst van het toegedeelde water bij de optimale toedeling voor de varianten E1,....,E7 (uitbreiden Katsberg, oppompen bij Oosterhout)*

Deelgebied	Bestemming	Variant						
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
AA1	1			2	2	2	2	2
	2						2	2
AA3	1	3	3	3	3	3	3	3
AA4	1	2	2	2	2	2	2	2
	2	2	2	2	2	2	2	2
AA5	1	2	2	2	2	2	2	2
	2	2	2	2	2	2	2	2
AA6	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3
AA7	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3
AA8	1	2	2	2	2	2	2	2
	2				2	2	2	2
AA9	1	2	2	2	2	2	2	2
	2			2	2	2	2	2
AA14	1/2			2		2	2	2
AA15	1/2							2
AA16	1							2
	2							2
AA20	1/2					2	2	2
MK1	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3
MK2	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3
MK3	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3
MK4	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3
MK5	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3
MK7	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3
MK11	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3
DM1	1/2	1	1			1	1	1
DM2	1							2
	2							2
DM3	1/2				2	2	2	2
DM4	1	2	2	2	2	2	2	2
	2	2	2	2	2	2	2	2
DM5	1	2	2	2	2	2	2	2
	2	2	2	2	2	2	2	2
DO1	1/2	4	4	4	4	4	4	2
ZL1	1/2						2	2
LB2	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3
LB3	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3
LB5	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3
LB6	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3
LB7	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3
LB9	1/2	3	3	3	3	3	3	3
LB10	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3
LB11	1	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3