



Flexwater

Pilot Brabant Water - Regio Zuid

Verkennend onderzoek naar optimale productieconfiguraties met Optiwin

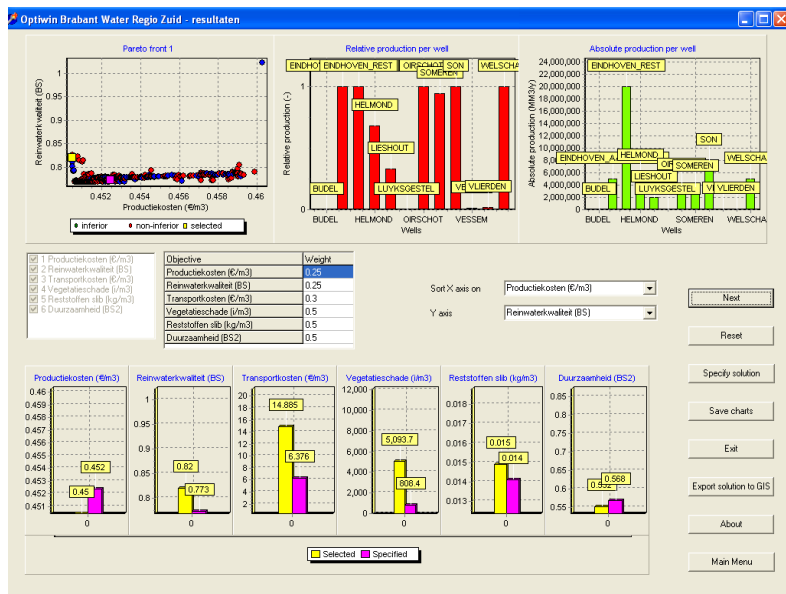
BTO 2008.058
December 2008

Flexwater

Pilot Brabant Water - Regio Zuid

Verkennd onderzoek naar optimale productieconfiguraties met Optiwin

BTO 2008.058
December 2008



© 2008 KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Colofon

Titel

Flexwater Pilot Brabant Water Regio Zuid

Projectnummer

111.504.300.004

Projectmanager

Dr. ir. H. van Oene MBA

Opdrachtgever

BTO

Kwaliteitsborger

Prof. dr. P.J. Stuyfzand

Auteur(s)

Dr. ing. K. Vink

Prof. dr. ir. J. P. M. Witte

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

Samenvatting

Dit rapport betreft een pilot studie van de derde fase van het Flexwater project. Doel van deze studie is het maken van een flexibel instrument voor het verkennen van kansrijke opties voor productie en transport van drinkwater. Resultaat is een beslissingondersteunend planningsinstrument (Optiwin), waarmee de bijdrage van flexibele oplossingen aan de optimalisering van de drinkwatervoorziening in beeld wordt gebracht. Het instrument bestaat uit een set effectmodellen en een optimalisatiemodule, gekoppeld met een GIS. Het instrument is modulair opgezet: welke effectmodellen in de set worden opgenomen varieert, afhankelijk van de doelstellingen van het betreffende onderzoek. De eerste stappen in de bouw van dit instrument zijn gerealiseerd in het verkennend onderzoek naar mogelijkheden tot brakwaterwinning in de Noordoostpolder (Vink e.a., 2007). Verdere ontwikkeling heeft plaatsgevonden in de onderhavige studie, bij Brabant Water in Regio Zuid. De inspanningen zijn gericht op de volgende aspecten:

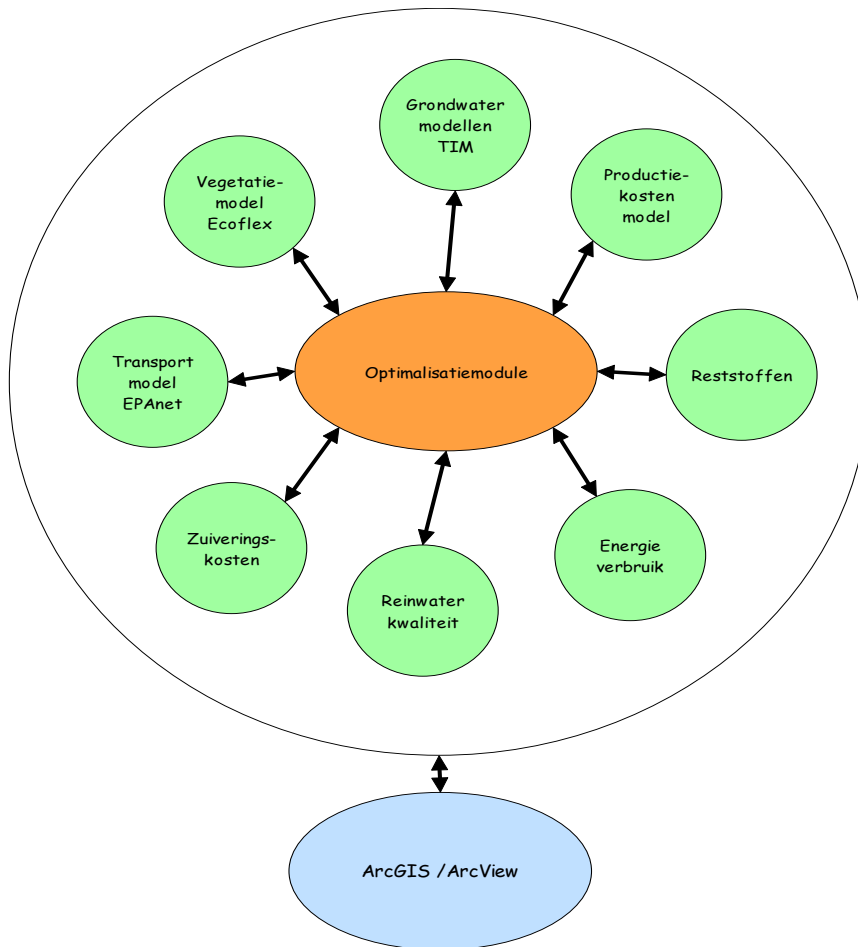
- verder ontwikkelen van Optiwin als beslissingondersteunend instrument voor regionale verdelingsvraagstukken (beheersplannen, strategische plannen);
- onderzoeken van de bruikbaarheid van het instrument voor medewerkers van drinkwaterbedrijven;
- verder ontwikkelen van operationele methoden om effecten van grondwateronttrekking op grondwaterafhankelijke vegetatie te kwantificeren;
- identificeren van interessante productieconfiguraties (verdelingen van debieten over winningen) voor de drinkwatervoorziening in Regio Zuid.

Uitvoering

Er is een set effectmodellen op maat gemaakt voor Regio Zuid. Deze zijn modulair gekoppeld met de 'Graphical User Interface' en de optimalisatiemodule van Optiwin. De volgende effectcategorieën van de drinkwaterproductie in Regio Zuid zijn gekwantificeerd:

- grondwaterstanden;
- grondwaterafhankelijke natuur (indicatief);
- productiekosten;
- reststoffen;
- energie;
- reinwaterkwaliteit;
- transportnetwerk.

Met behulp van de optimalisatiemodule is verkend welke productieconfiguraties Pareto-efficiënt zijn, dat wil zeggen: voor welke configuraties er geen andere zijn die op enige effectcategorie beter scoren zonder op tenminste één van de effectcategorieën slechter te scoren. Daarvoor zijn de effecten van vele mogelijke productieconfiguraties berekend met de diverse modellen, aangestuurd door een genetisch algoritme (Vink e.a., 2002, 2006). De Pareto-efficiënte configuraties zijn met de bijbehorende effecten opgeslagen in een databank. De effecten van een breed spectrum van productie-alternatieven zijn zo op inzichtelijke wijze ontsloten, direct binnen Optiwin in de vorm van tabellen en grafieken, of in kaartvorm, na export naar GIS.



Figuur 1 Schema van de koppeling van de optimalisatiemodule van Optiwin met de effectmodellen en GIS

Resultaten

Bij uitvoering is gebleken dat een losse koppeling tussen de optimalisatiemodule (1), de effectmodellen (2) en ArcView/ ArcGis (3) een efficiënte techniek is om de zoekruimte voor alternatieve productieconfiguraties te verkennen (Figuur 1). De losse koppeling (Burrough, 1986) houdt in dat het GIS en de optimalisatietool Optiwin onafhankelijk van elkaar kunnen werken, maar dat invoergegevens en resultaten van Optiwin en de effectmodellen met een enkele handeling in het GIS geïmporteerd kunnen worden. De effectmodellen zijn eveneens los gekoppeld en kunnen daardoor gemakkelijk vervangen of aangevuld worden door andere modellen.

Op grond van de in dit rapport beschreven analyses en ervaringen tijdens uitvoering van het project wordt geconcludeerd dat er een nuttig en bruikbaar beslissingondersteunend instrument is ontwikkeld voor het verkennen van alternatieve productieconfiguraties. De aanpak is geschikt voor zowel de korte als de lange termijn. Het instrument is echter nog niet helemaal uitontwikkeld. Nadere ontwikkeling is slechts mogelijk in nauwe samenwerking met gebruikers van de tool bij de drinkwaterbedrijven. In voorliggende studie heeft het accent gelegen op de ontwikkeling van het instrument. Gebruik bij de drinkwaterbedrijven in de dagelijkse praktijk is nog onvoldoende aan de orde geweest.

De resultaten van de berekeningen met Optiwin zijn vergeleken met de optimale configuratie volgens het Beheersplan 2008 van Brabant Water (Vos en Eck, 2008). Bij de keuze voor de optimale onttrekkingconfiguratie is in het Beheersplan gebruik gemaakt van een weging van de verschillende criteria. Wanneer dezelfde weging wordt toegepast op de dataset met scenario's die met Optiwin zijn berekend, dan blijkt dat de optimale oplossing volgens het Beheersplan niet overeenkomt met die van Optiwin. Uit nader onderzoek is gebleken dat de verschillen verband houden met de wijze waarop de transportberekeningen zijn uitgevoerd. De transporteffecten zijn berekend voor situaties met een jaargemiddelde watervraag en niet voor een situatie met hoge vraag, zoals bijvoorbeeld tijdens een

warme, droge zomerse dag kan optreden. Rekening houdend met deze verschillen komen de resultaten in grote lijnen met die van het Beheersplan 2008 overeen.

Aanbevelingen

Het instrument kan verbeterd worden door diverse componenten verder te ontwikkelen:

- Verbeteren van het gebruiksgemak van de tool, bij zowel het uitvoeren van optimalisatieberekeningen als het zoeken van interessante oplossingen in de gegevensbank.
- De handleiding uitbreiden en verbeteren.
- Transportberekeningen voor piekvraagcondities.
- De indicatorwaarde "Haalbaarheid transport" uitbreiden met een indicatie van de benodigde kosten voor het aanpassen van het transportnetwerk. Verwerking van de exploitatiekosten van het drinkwatertransport in de optimalisatie. Integratie van verblijftijdberekeningen in het distributienetwerk in de optimalisatie.
- De benodigde rekentijd voor Ecoflex reduceren. Deze bedraagt de rekentijd voor een optimalisatie (bestaande uit honderden alternatieven) ongeveer 250 uur. Een voorziening die ervoor zorgt dat de vegetatie-effecten aanvankelijk globaal worden berekend en gaandeweg in de optimalisatie meer gedetailleerd kan hier een oplossing bieden. Een interessante alternatieve aanpak om reketijden te reduceren is toepassing van 'Grid computing', het inzetten van meerdere PC's tegelijkertijd.
- Ecoflex uitbreiden zodat effecten van ASR (Aquifer Storage & Recovery) op vegetatie adequaat kunnen worden verkend. De in de voorliggende studie gebruikte Tim (Bakker, 2006) grondwatermodellen zijn overigens stationair en ondersteunen de berekening van seizoenseffecten ook niet.

Inhoud

Samenvatting	3
Inhoud	7
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Optimalisatie van waterbeheer in internationaal perspectief	10
2 Beschrijving Regio Zuid	15
2.1 Algemeen	15
2.2 Winningen	16
2.3 Transportnetwerk	16
2.4 Natuurgebieden	17
3 Optiwin	19
3.1 Twee sporen	19
3.2 Optimalisatiemodule	21
3.3 Appels en peren: Pareto efficiëntie	21
3.4 Effectmodellen	22
3.4.1 Productiekosten	22
3.4.2 Leidingenmodel	23
3.4.3 Stijghoogte-effecten op vegetatie	25
3.4.4 Waterkwaliteit	29
3.4.5 Reststoffen	30
3.4.6 Duurzaamheid	30
3.5 Opzet van de optimalisatie	30
3.5.1 Indicatorfuncties	31
3.5.2 Betekenis van de symbolen	32
3.6 Beschrijving functionaliteit Optiwin	33
4 Resultaten	39
4.1 Validatie van de resultaten	39
4.2 Vergelijking met het Beheersplan 2008	41
4.3 Algemene conclusies	42
5 Literatuur	45
Bijlagen	47
Bijlage 1 Natuurdoeltypen	49

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De Nederlandse drinkwatervoorziening is zeer betrouwbaar en efficiënt. Niettemin bestaan er diverse (mogelijke) ontwikkelingen die het noodzakelijk maken om de huidige inrichting van de drinkwatervoorziening tegen het licht te houden: schaalvergroting, klimaatverandering, ontwikkelingen van de watervraag, terrorisme, vervanging van infrastructuur, fusies, waterwinningen met kwaliteitsproblemen en technologische ontwikkelingen geven aanleiding om de bestaande praktijk tegen het licht te houden en alternatieven te onderzoeken.

Hierboven genoemde ontwikkelingen beïnvloeden de randvoorwaarden en uitgangspunten op basis van investeringsbeslissingen, die genomen worden en deze stellen waterbedrijven continu voor de uitdaging om de watervoorziening te (her)optimaliseren. Flexibilisering van de drinkwatervoorziening biedt mogelijkheden om in te spelen op de geschetste toekomstige ontwikkelingen en is een bouwsteen om de watervoorziening verder te optimaliseren.

In de eerste fase van het project Flexwater zijn voor geheel Nederland de winbare grondstofbronnen geïnventariseerd en algemene rekenregels ontwikkeld om de bedrijfseconomische kosten van winning, zuivering en transport te kwantificeren (Ramaker et al. 2006). In de tweede fase van het project zijn vormen van flexibele drinkwatervoorziening verkend, onder ander door het beschrijven van concepten vanuit een "groene weide- perspectief", een denkmodel waarbij de bestaande inrichting van de drinkwatervoorziening buiten beschouwing werd gelaten.

In de huidige derde fase van het project wordt de haalbaarheid van flexwaterconcepten getoetst aan concrete, bestaande situaties, waarbij de opbrengsten van de vorige fasen van het project worden meegenomen in de kostenmodellen en bij scenariokeuzen. Er wordt rekening gehouden met de beïnvloedbare kosten van bestaande productiemiddelen. De beoordeling van de kansrijkheid van flexwaterconcepten wordt daardoor complexer. Er zijn weinig *technische* beperkingen bij drinkwaterproductie en transport, zodat er veel verschillende manieren zijn om aan de drinkwatervraag te voldoen. Naast technische haalbaarheid zijn er ook andere criteria waar alternatieven op getoetst moeten worden, zoals leveringszekerheid, productiekosten, reinwaterkwaliteit, flexibiliteit, ecologie en zowel ruimtelijke als bestuurlijke ontwikkelingen.

Doelen van de derde fase van het Flexwaterproject

Doel van de derde fase van het project Flexwater is het efficiënt genereren en kunnen beoordelen van kansrijke nieuwe concepten voor productie en transport van drinkwater in bestaande situaties, zodat de drinkwatervoorziening kosteneffectiever wordt, er minder verdroging wordt veroorzaakt, de vergunde capaciteit beter wordt benut en er beter kan worden ingespeeld op toekomstige ontwikkelingen.

Ontwikkeling van een beslissing ondersteunend systeem met optimaliseringmodule

Voor de realisatie van het hierboven beschreven doel wordt een beslissingondersteunend planningsinstrument ontwikkeld (naam Optiwin), bedoeld voor verkennende studies op regionale schaal, waarmee de bijdrage van flexibele oplossingen aan de optimalisering van de drinkwatervoorziening in beeld wordt gebracht. Het instrument bestaat uit een set effectmodellen en een optimalisatiemodule, gekoppeld met een GIS (geografisch informatiesysteem). De set effectmodellen varieert afhankelijk van de doelstellingen van het betreffende onderzoek. De eerste stappen in de technische ontwikkeling van dit instrument zijn gerealiseerd in een pilot studie met Vitens, waarin mogelijkheden tot brakwaterwinning in de Noordoostpolder zijn onderzocht. Verdere ontwikkeling vindt plaats in de onderhavige Flexwater pilot in Regio Zuid, met Brabant Water.

Fasering van optimalisatie

Identificatie van doelen

Randvoorwaarden

Indicatoren van effecten

Formulering effectmodellen

Optimaliseren

Codering genen

Scheiden inferieure en Pareto-efficiënte oplossingen

Waardering van effecten: beleidskeuzen

1.2 Optimalisatie van waterbeheer in internationaal perspectief

Internationale publicaties en presentaties tonen een sterk toenemende aandacht voor instrumenten waarmee optimalisatie van watergebruik kan worden bereikt. In deze paragraaf is een korte verkenning van de vakliteratuur beschreven om de positie van Optiwin te plaatsen in de internationale context. Er zijn drie categorieën van publicaties over beslissingondersteunende systemen en optimalisatietechnieken voor 'water resources management' te onderscheiden:

1. publicaties die de ontwikkeling van een nieuwe optimalisatiemethodiek tot onderwerp hebben;
2. publicaties die de ontwikkeling van een *decision support systeem* (Beslissing ondersteunend systeem) tot onderwerp hebben;
3. publicaties en (vooral) presentaties die de toepassing van productie optimalisatiesystemen bij drinkwaterbedrijven tot onderwerp hebben.

De eerste categorie publicaties is sterk vertegenwoordigd in de internationale wetenschappelijke literatuur en relatief goed ontsloten. De meeste van deze artikelen hebben betrekking op optimalisatietechnieken waarmee complexe, non-lineaire problemen kunnen worden opgelost. Van deze categorie zijn geen voorbeelden in dit rapport opgenomen vanwege het hoge technische gehalte.

De tweede categorie publicaties is voor een deel te vinden in de wetenschappelijke literatuur, maar ook op websites van organisaties en in tijdschriften die niet "peer reviewed" zijn. Enkele voorbeelden uit de tweede categorie ("beslissing ondersteunende systemen voor water management") zijn weergegeven in Tabel 1. Dit is slechts een fractie van wat er in catalogi en op Internet te vinden is. Er is geen uitgebreide beschrijving van deze publicaties opgenomen in dit rapport, omdat de bruikbaarheid van deze publicaties voor de Nederlandse drinkwaterbedrijven beperkt is.

Tabel 1 Enkele voorbeelden van beslissingondersteunende systemen voor waterbeheer

- 1 MIKE BASIN, the Danish Hydraulic Institute (DHI), Denmark
- 2 BASINS, the U.S.- Environmental Protection Agency, USA
- 3 DSS for Water Resources Planning Based on Environmental Balance, Egypt
- 4 A Spatial Decision Support System for The Evaluation of Water Demand And Supply Management Schemes, by the Technical University of Athens
- 5 IQQM, by the New South Wales Department of Land and Water Conservation, with collaborative assistance from the Queensland Department of Natural Resources, Australia.
- 6 ENSIS, by the Norwegian Institute for Water Research (NIWA) and the Norwegian Institute for Air Research (NILU), Norway.
- 7 REALM, by the Victoria University Of Technology and the Department of Natural Resources and Environment, in The State of Victoria, Australia
- 8 OPTIMA, Optimisation for sustainable water resources management, Environmental Software and Services, Austria
- 9 MULINO, Decision Support for Water Resource Management, Italy
- 10 WEAP, by the Stockholm Environment Institute's Boston Center at the Tellus Institute, Sweden
- 11 AQUATOOL, by the Universidad Politecnica de Valencia, Spain
- 12 IRAS, by the Civil and Environmental Engineering Department of Cornell University and the Resources Planning Associates Inc of Ithaca, New York State, USA
- 13 SWRRB A Basin Scale Simulation Model for Soil Water Resources Management, Texas, USA

De derde categorie publicaties heeft betrekking op management tools die primair gericht zijn op kwantificering van effecten van scenario's en optimalisatie van de drinkwatervoorziening door het drinkwaterbedrijf. Deze toepassingen neigen meer naar "enterprise resource planning" (ERP) en zijn niet primair ingericht op het gebruik door meerdere watergebruikende partijen. Deze categorie is in de literatuur minder goed ontsloten dan de categorieën 1 en 2, maar is wel het meest relevant voor de doelen van het voorliggende rapport. Vaak betreft het publicaties waar niet ingegaan wordt op de technische details, of betreft het presentaties op congressen zonder dat er een 'paper' in de proceedings van de betreffende conferentie is opgenomen.

In de onderstaande opsomming is een aantal publicaties dat bij literatuuronderzoek is komen "bovendrijven" bondig samengevat:

1. Center for Drinking Water Optimization, University of Colorado at Boulder, 1997. Dit centrum is opgericht met subsidies van de United States Environmental Protection Agency (USEPA) en het Office of Groundwater and Drinking Water (OGWDW). De missie bestaat uit het ontwikkelen van een kader voor een integrale optimalisatie van de nationale drinkwatervoorziening. Volksgezondheid is het primaire doel, maar er wordt ook rekening gehouden met regelgeving en de doelen van producenten en consumenten.

2. Water-Resources Optimization Model for Santa Barbara, California by Tracy Nishikawa (USGS, 1998). In dit artikel wordt een simulatieoptimalisatie model beschreven voor optimaal watermanagement van de stad Santa Barbara bij droogte. Het model bestaat uit een koppeling van een grondwatermodel met een LP module (Lineaire Programmering). Het model heeft een tijdhorizon van 5 jaar. Het doel is minimale kosten, de randvoorwaarden zijn:
 - a. voorkomen van zeewater-intrusie;
 - b. productiecapaciteit.
3. Discrete-Time Optimal Control for Water Resources Engineering and Management, John W. Nicklow, Southern Illinois University, International Water Resources Association, 2000. Deze auteur schetst de toenemende noodzaak om adequaat waterbeheer te voeren door de toenemende vraag naar en schaarste van water. Hij stelt zijn vertrouwen in moderne optimalisatietechnieken als genetische algoritmen (GA), en 'Simulated Annealing' (SA), die geschikt zijn om in een simulatieoptimalisatie cyclus te worden toegepast. Deze technieken worden vaak toegepast in een schil die visualisatie en interactiviteit bewerkstelligen.
4. Optimization for California Water Management, Andrew J. Draper et al., 2000. Dit artikel heeft net als dat van Nishikawa ook betrekking op de staat California (USA), maar in dit optimalisatiemodel zijn ook economische doelen in het model opgenomen. Er wordt geconcludeerd dat het mogelijk en praktisch is om dit model in de praktijk toe te passen. De ontwikkeling van dit grootschalige model heeft een positieve invloed gehad op een systematische en geïntegreerde gegevensverwerking van oppervlaktewater, grondwater, distributie en watervraag.
5. Optimizing a water master plan, Jeffery Frey et al., 2001. Voor de drinkwatervoorziening van Grand Prairie, Texas, is een optimalisatiemodel met een genetisch algoritme gebruikt om het beste uitbreidingsplan voor het dekken van de toekomstige watervraag te bepalen. Hierbij werden: de locatie en de capaciteit van putten en transportleidingen, opslagcapaciteit, de invloed van drukregelaars en de economische kosten in aanmerking genomen. Uiteindelijk werd het model voor zowel de korte termijn, operationele planning, als de langere termijn, strategische planning, gebruikt. Men schat dat het gebruik van de optimalisatietechniek een kostenreductie van 20% - 30% mogelijk maakte.
6. WRAPsim (Water Resource Allocation Plan Simulation) of Yorkshire Water (2002). In diverse documenten, waarvan een deel toegankelijk is via Internet, wordt beschreven hoe WRAPsim wordt gebruikt om op zowel korte als langere termijn de inzet van grondwater en oppervlaktewater uit rivieren en reservoirs te optimaliseren.
7. Modelling and optimization of water quality in a large-scale regional water supply system, University of California Water Resources Center, 2002. Dit artikel betreft een 'multicommodity' model voor het bepalen van optimale waterdistributie en waterkwaliteit in een regionaal drinkwatervoorzieningsstelsel. Het is toegepast op het Metropolitan Water District of Southern California. Met het model kan het mengen van water uit verschillende bronnen in een transportnetwerk worden gesimuleerd en geoptimaliseerd. Voor de optimalisatie wordt gebruik gemaakt van een genetisch algoritme.
8. Optimized groundwater management LINEG, S. KADEN et al., 2004. De betrokken organisaties zijn WASY Institute for Water Resources Planning and Systems Research, University of Siegen, en LINEG (Linksniederrheinische Entwässerungsgenossenschaft). De studie betreft de optimalisatie van drie drainagepompen met een grondwatermodel in combinatie met een polytoop algoritme. Als optimalisatiedoelen zijn minimale pompcapaciteit en minimale kosten gekozen.
9. Last Resort Algorithms for Optimization of Water Resources Systems, Slobodan P. Simonovic, University of Manitoba, 2004. In dit artikel bespreekt Simonovic het gebruik van optimalisatietechnieken om problemen van watersnood, wateroverlast, droogte en

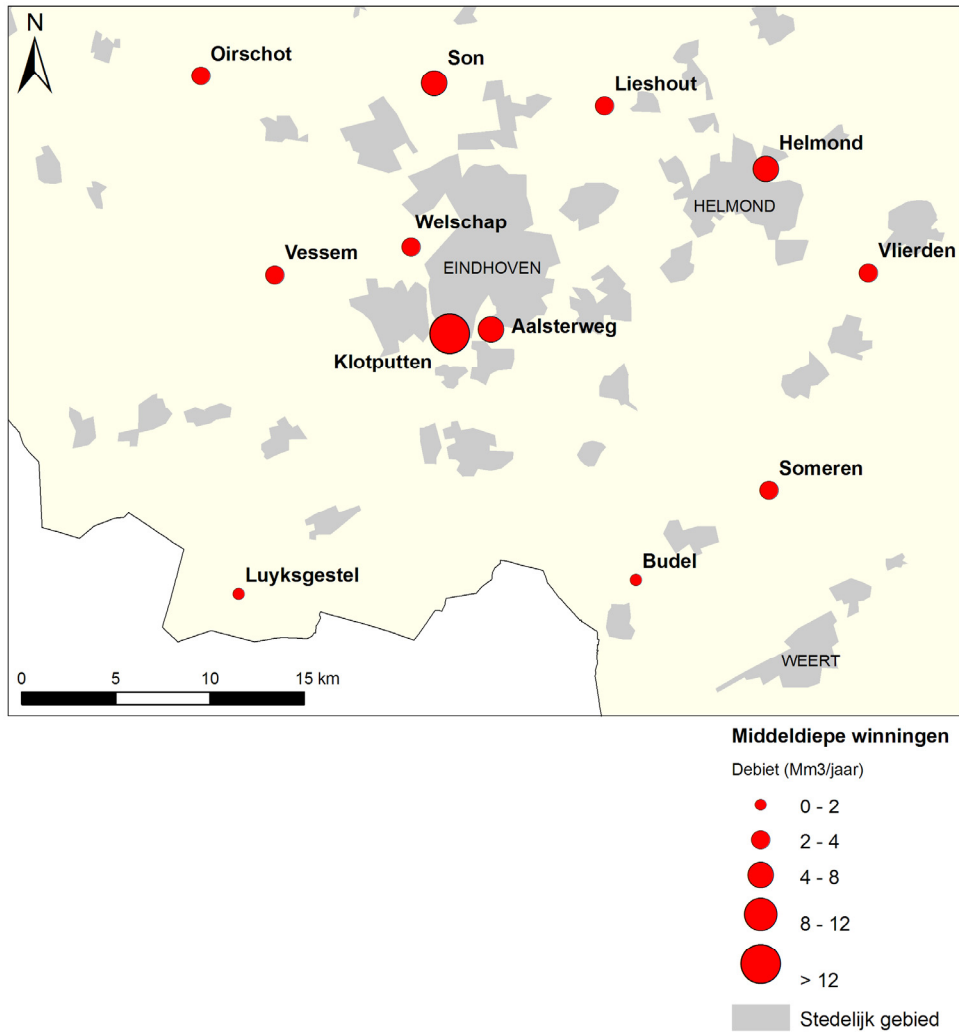
waterverontreiniging te bestrijden. In het verleden zijn vaak klassieke optimalisatietechnieken gebruikt. De huidige complexiteit is te groot voor klassieke technieken. Hij beschrijft het gebruik van 'simulated annealing' en van een genetisch algoritme voor twee non-lineaire optimalisatieproblemen. Deze moderne technieken zijn krachtiger dan de klassieke methoden en in die zin een soort "laatste redmiddel".

In veel gevallen is waterschaarste een belangrijke drijvende kracht achter de ontwikkeling en worden 'decision support' systemen voor 'water resources management' voor meerdere toepassingen ingezet: de horizon eindigt niet bij watergebruik voor drinkwaterproductie, maar verdisconteert ook landbouw, industrie en waterbeheersing in ecologisch waardevolle gebieden. Een reden die in veel publicaties wordt genoemd voor gebruik van deze systemen is de complexiteit van de uit te voeren taken. Op basis van gesprekken en ervaringen tijdens congressen en symposia bestaat de indruk dat veel Amerikaanse en Europese drinkwaterbedrijven inmiddels gebruik maken van 'decision support systems' (DSS), 'enterprise resource planning systems' (ERP) en geavanceerde optimalisatietechnieken, maar dat slechts een klein deel van deze toepassingen via Internet en vakliteratuur wordt gepubliceerd.

2 Beschrijving Regio Zuid

2.1 Algemeen

Regio Zuid is één van de drie regio's van het totale voorzieningsgebied van Brabant Water (Figuur 2). Er wordt in 2008 naar verwachting ruim 53 miljoen m³/jaar afgezet.



Figuur 2 Winningen Brabant Water in Regio Zuid

2.2 Winningen

Er zijn 11 grondwaterwinningen van Brabant Water in Regio Zuid (zie Tabel 2). Van de 11 winningen zijn er 5 die uit het middeldiepe pakket winnen en daardoor van invloed zijn op de ondiepe grondwaterstanden in het gebied. Deze middeldiepe winningen kunnen van belang zijn voor grondwaterafhankelijke vegetatie in de nabijheid van die winningen. Bij de resterende 6 winningen wordt grondwater onttrokken uit diepe pakketten en is de relatie met ondiepe grondwaterstanden minder gevoelig doordat het effect over een groot gebied wordt gespreid.

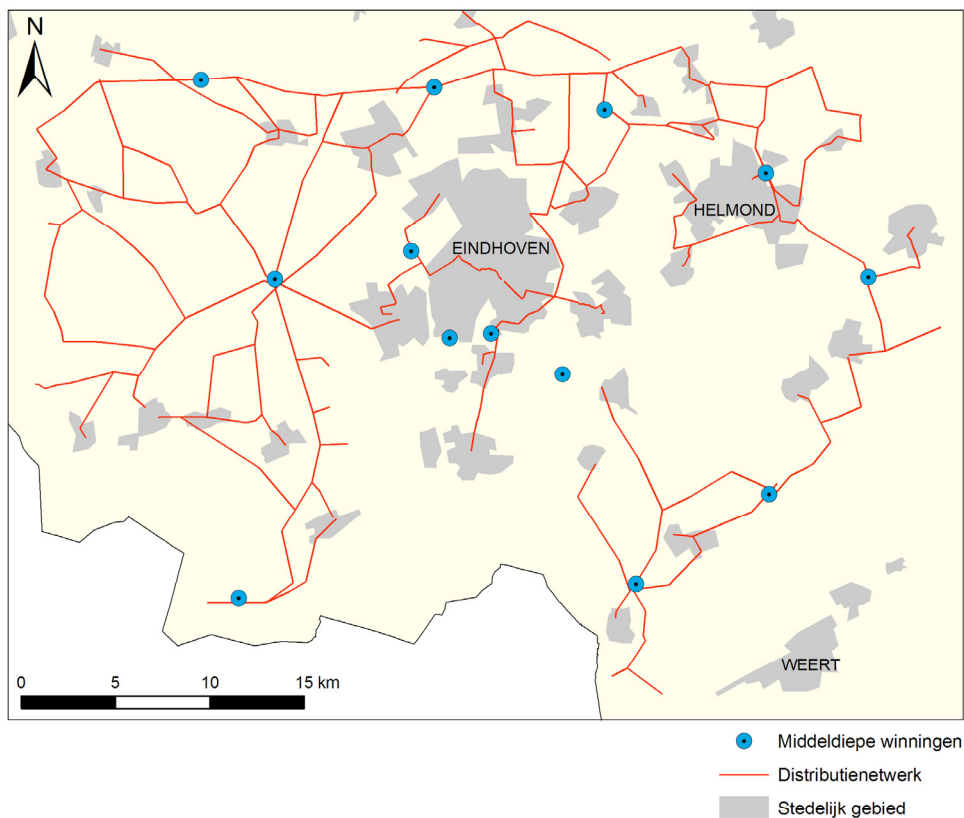
Tabel 2 Grondwaterwinningen van Brabant Water in Regio Zuid

Naam	Capaciteit (Mm ³ /j)	Onttrekkingsvergunning (M m ³ /j)	Waarvan freatisch (Mm ³ /j)	Waarvan middeldiep ((Mm ³ /j)	Waarvan diep (Mm ³ /j)
BUDEL	5.5	3.5	0	5.5	0
EINDHOVEN	25	25	0	5	20
HELMOND	9	9	0	6	3
LIESHOUT	6	6	0	0	8
LUYKSGESTEL	2	2	0	2	0
OIRSCHOT	4	3.4	0	0	4
SOMEREN	4	4	0	0	4
SON	8	8	0	0	8
VESSEM	8.5	6.5	0	8.5	0
VLIERDEN	4.5	4.5	0	0	4.5
WELSCHAP	5	5	0	0	5

De totale capaciteit van de 11 winningen is ongeveer 82 Mm³/j. De totale vergunde capaciteit (2008) bedraagt ca. 77 Mm³/j, dat is 94% van de productiecapaciteit. De geprognosticeerde watervraag in 2008 bedraagt ca. 53 Mm³/j, ofwel 66% van de totale productiecapaciteit.

2.3 Transportnetwerk

Het transportnetwerk in de regio Zuid is in de loop der jaren 'organisch' gegroeid vanuit een situatie waarbij de delen van het gebied nog niet met elkaar verbonden waren. Inmiddels is de non-activiteit van het leidingensysteem van regio Zuid uitgebreid (Figuur 3). Niettemin is de capaciteit van het netwerk ontoereikend om alle mogelijke verdelingen van de naar verwachting benodigde 53 miljoen m³ voor 2008 over de beschikbare winningen technisch haalbaar te maken. De mate waarin het netwerk alternatieve verdelingen van debieten over de beschikbare winningen ondersteunt is beperkt. Enerzijds is dit het gevolg van de wijze waarop het netwerk in de loop der jaren 'organisch' is gegroeid, anderzijds is dit een gevolg van economische en technische afwegingen. Een netwerk dat alle mogelijke verdelingen van debieten over de beschikbare winningen 'aan zou kunnen' zou niet alleen in aanleg veel duurder zijn dan het bestaande netwerk, maar ook technische eisen stellen ten aanzien van de invloed van de verblijftijd in het netwerk op de waterkwaliteit.



Figuur 3 Hoofdtransportleidingen van het distributienetwerk in de regio Zuid

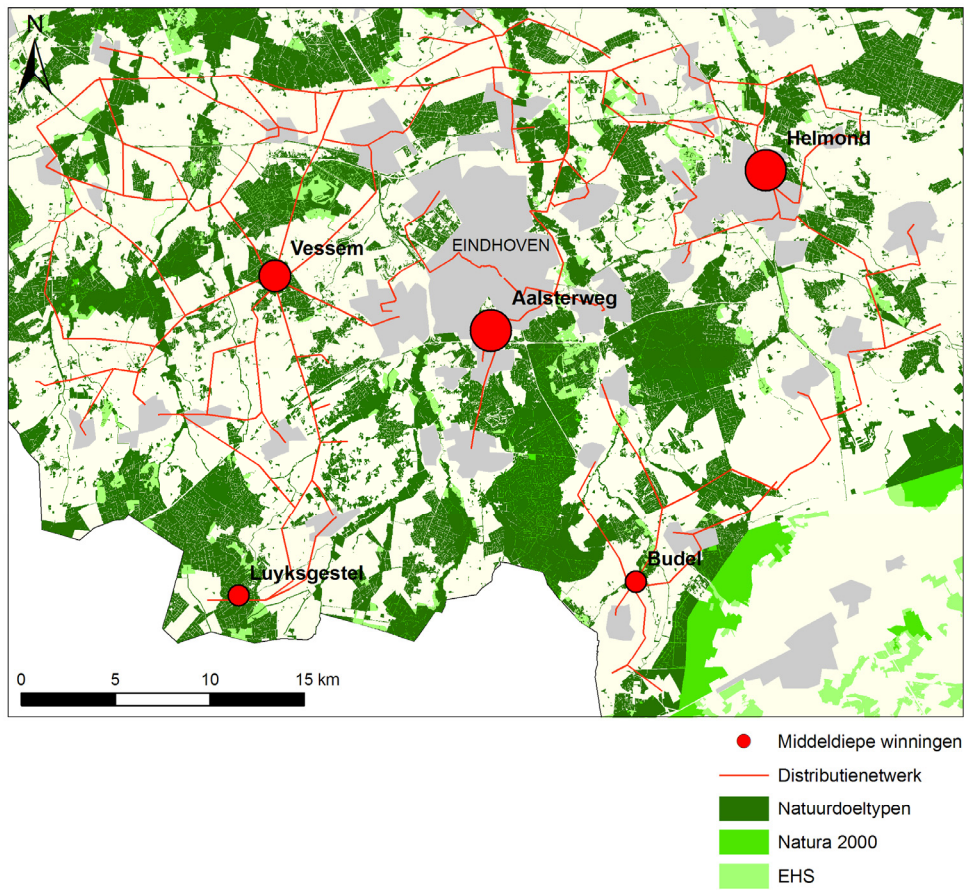
2.4 Natuurgebieden

De natuurgebieden in de provincie Noord Brabant hebben niet allemaal dezelfde beschermingsstatus. Er bestaan in hoofdzaak drie verschillende categorieën:

1. Natura 2000 gebieden
2. Ecologische hoofdstructuurgebieden
3. Natte natuurparels

Voor een groot deel van deze gebieden heeft de provincie Noord-Brabant natuurdoel typen vastgesteld. Deze natuurdoeltypen zijn gebaseerd op de landelijke lijst van natuurtypen (zie bijlage0).

Voorzover natuurgebieden uit de genoemde 3 categorieën grondwaterafhankelijk zijn (dat is voor lang niet alle natuurdoel typen het geval) en binnen de invloedssfeer van de middeldiepe winningen zijn gelegen, zijn ze relevant voor het afwegen van verschillende debietverdelingen.



Figuur 4 Gebieden met waardevolle vegetatie in Regio Zuid

3 Optiwin

3.1 Twee sporen

De functionaliteit van Optiwin kent twee sporen: het scenariospoor en het optimalisatiespoor. Het eerste spoor heeft betrekking op het doorrekenen van één enkele productieconfiguratie, het tweede spoor biedt de mogelijkheid om met behulp van de optimalisatiemodule te zoeken naar interessante alternatieve productieconfiguraties. Een productieconfiguratie is de vorm waarin de drinkwatervoorziening in een gebied plaats kan vinden, bestaande uit één of meerdere vraagpunten, pompstations, zuiveringinstallaties, reinwaterkelders en een transportnetwerk, waarbij van elk onderdeel de locaties, capaciteiten en debieten zijn vastgesteld.

Bij gebruik volgens het eerste spoor, het scenariospoor, definieert een gebruiker een productieconfiguratie en berekent met behoeve van het instrument de relevante effecten. Deze effecten worden berekend met de modellen die door de gebruiker geselecteerd (aangevinkt) zijn. Momenteel kan worden berekend wat effecten zijn van wijzigingen in de verdeling van debieten over de winningen voor een gemiddelde situatie. Er bestaat het voornemen om in de toekomst functionaliteit te implementeren waarmee effecten kunnen worden berekend van een klimaatscenario, samenvoeging van voorzieningsgebieden, invoering van een technologische vernieuwing, of van een stapsgewijze vervanging van transportleidingen.

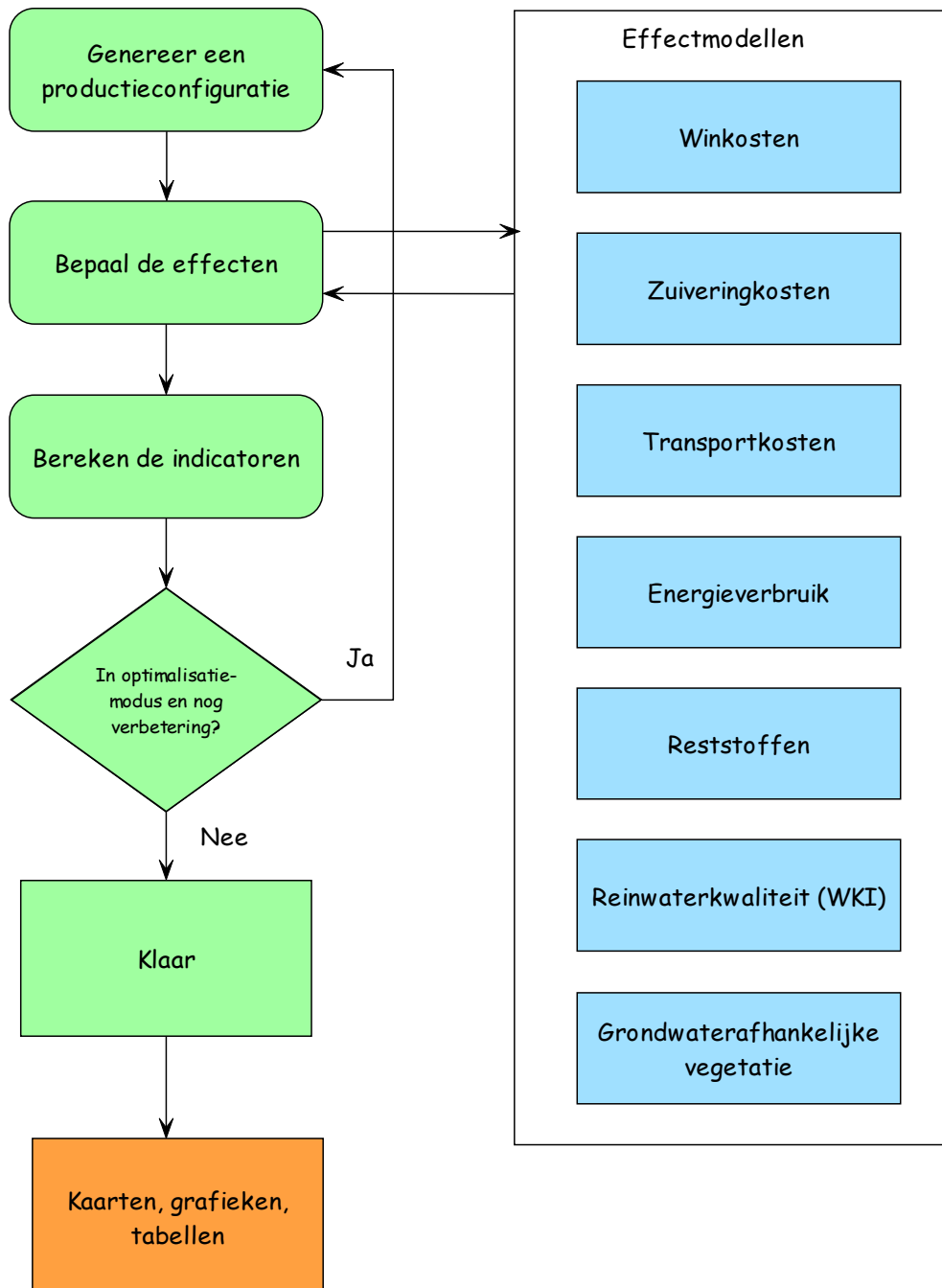
Bij gebruik volgens het tweede spoor, het optimalisatiespoor, ligt de productieconfiguratie niet van tevoren al vast, maar wordt voor een deel nog open gehouden, door bijvoorbeeld in plaats van vastgestelde debieten bereiken van debieten per winning te definiëren. De gebruiker definieert in dit geval geen productieconfiguratie, maar in plaats daarvan randvoorwaarden waaraan alternatieve configuraties moeten voldoen. De optimalisatiemodule van het instrument genereert dan een groot aantal configuraties dat voldoet aan de door de gebruiker ingestelde randvoorwaarden. Van elke configuratie worden de effecten berekend en worden de prestaties geclassificeerd op basis van Pareto-efficiëntie¹(Pareto, 1905). De gebruiker kan naderhand de eigenschappen van de verschillende configuraties en de bijbehorende effecten inspecteren. De resultaten worden gevisualiseerd in de vorm van kaarten, tabellen en grafieken. Op grond van de resultaten kan een bepaalde configuratie meer in detail door de gebruiker worden geanalyseerd, of er kan een nieuwe optimalisatie worden gestart met gewijzigde randvoorwaarden.

Het voordeel voor de gebruiker bij het eerste spoor is dat bedrijfseconomische, technische en andere 'effecten' van productieconfiguraties snel inzichtelijk zijn. Bij gebruik volgens het tweede spoor kan het instrument ook worden gebruikt om interessante alternatieve configuraties te identificeren en de effecten ervan te berekenen.

Effecten van alternatieve bronnenkeuzen en transportvarianten kunnen in een ruimtelijk gedifferentieerde context worden beoordeeld op leveringszekerheid, kwaliteit, kosteneffectiviteit, ecologische effecten, flexibiliteit, bestuurlijk draagvlak of andere effectcategorieën waarvoor een effectmodel is geformuleerd. Het instrument heeft een modulaire structuur, zodat effectmodellen gemakkelijk kunnen worden toegevoegd of weggelaten, afhankelijk van de aard van de uit te voeren studies. Er dient wel een 'interface' tussen Optiwin en een nieuw effectmodel te worden geprogrammeerd, maar de verdere afhandeling is al generiek in de software verzorgd. Voor de criteria

¹ Zie paragraaf 3.2 "Optimalisatiemodule"

die de haalbaarheid van alternatieven bepalen, worden indicatoren gekozen die een geschikte maatlat vormen om prestaties weer te geven. De indicatoren worden berekend met de effectmodellen.



Figuur 5 Stroomschema van Optiwin – Regio Zuid

3.2 Optimalisatiemodule

Voor het vinden van de beste debietverdelingen is een optimalisatiemodule toegepast met als kern een genetisch algoritme (GA).

De eerste genetische algoritmen zijn ontwikkeld in de jaren '70 van de vorige eeuw (Holland, 1975). Vanaf de jaren 90 is het aantal toepassingen snel toegenomen (Beasley, 1993). De ontwikkeling van genetische algoritmen is geïnspireerd op de genetische processen van organismen zoals Charles Darwin die dit als eerste verwoordde in zijn *The origin of Species*. Zoals bij Darwin de evolutie van soorten het onderwerp van studie is, zo worden in de theorie van genetische algoritmen mogelijke oplossingen voor optimalisatieproblemen als individuen, dat wil zeggen leden van een populatie beschouwd.

Drie beginselen uit Darwin's evolutieleer worden toegepast in genetische algoritmen:

- overleven van de sterksten
- (onvolledige) vererving van eigenschappen
- variatie van eigenschappen in populaties

Het eerste beginsel heeft niet alleen betrekking op het overleven van individuen, maar ook op de reproductie. De consequentie van het tweede beginsel is dat eigenschappen van nakomelingen lijken op die van hun "ouders", maar er ook wat van verschillen. Het derde beginsel zorgt voor een doorlopende variatie van eigenschappen van mogelijke oplossingen.

GA's werken met een populatie van meer of minder geschikte oplossingen voor een probleem. De "fitheid" van een oplossing wordt berekend en de eigenschappen ("genen") van individuen die een relatief hoge fitheid bezitten worden gecombineerd met andere oplossingen, resulterend in nieuwe oplossingen. De reproductiecyclus wordt herhaald tot verdere verbetering van de fitheid stagneert.

Genetische algoritmen zijn bij uitstek geschikt voor optimalisatieproblemen met meerdere, conflicterende doelstellingen doordat er een populatie met oplossingen beschikbaar is. Deze populatie kan worden gepresenteerd in de vorm van een *Pareto front*.

3.3 Appels en peren: Pareto efficiëntie

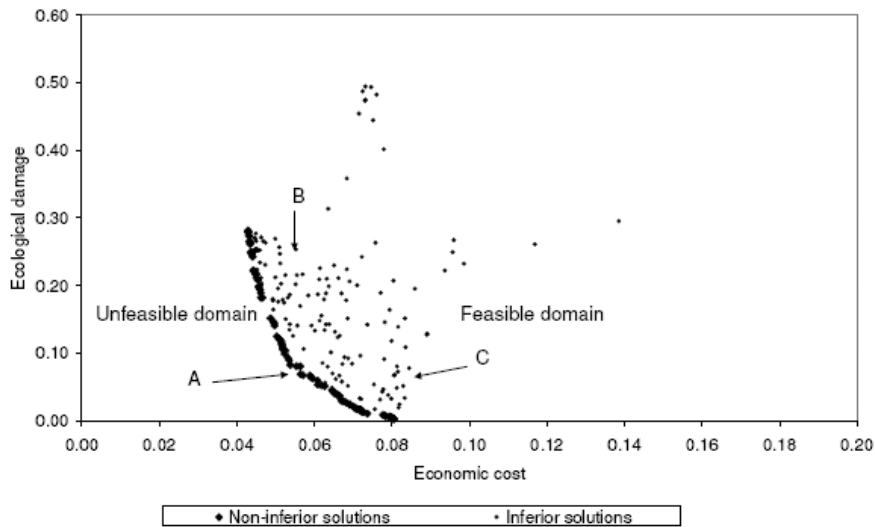
Bij optimalisatievraagstukken worden in de praktijk vaak meerdere doelen (criteria) nagestreefd. Als er slechts één doel bestaat (of meerdere, maar niet conflicterende doelen) is er sprake van een maximalisatie vraagstuk (minimalisatie vraagstuk). Conform de hierboven beschreven terminologie is er bij een optimalisatievraagstuk altijd sprake van meer dan één doel en bijbehorende indicatoren van effecten. De indicatoren zijn niet objectief converteerbaar en dus is er sprake van het bekende 'appels en peren' probleem. Mensen hebben de eigenschap op verschillende wijze de effecten te wegen en dus is het niet mogelijk een objectief optimum te identificeren. Wanneer er meerdere deelnemers bij de keuze betrokken zijn impliceert dit dat er communicatie, onderhandeling of stemming nodig is om tot een intersubjectieve beslissing te komen (keuzeprocess).

Al in het begin van de 20e eeuw heeft de politicologeconoom Pareto optimalisatievraagstukken met conflicterende doelfuncties bestudeerd. Hij onderscheidde inferieure en non-inferieure oplossingen. De keuze tussen verschillende non-inferieure oplossingen kan niet objectief gemaakt worden, maar een inferieure oplossing zal nooit een objectief optimum kunnen zijn. De keuze voor een objectief inferieure oplossing is niet rationeel.

Een praktisch voorbeeld ter illustratie van het begrip Pareto efficiëntie is de aanschaf van een pakje thee in de supermarkt. Een goed gesorteerde supermarkt verkoopt verschillende soorten thee, met verschillende kwaliteiten en voor verschillende prijzen. Wanneer een potentiële koper moet kiezen tussen een duur pakje thee van zeer goede kwaliteit en een goedkoop pakje thee van een mindere kwaliteit, dan is deze keuze subjectief. Het is niet mogelijk om op rationele gronden voor één van de beide alternatieven te kiezen. Wanneer er echter ook een pakje thee wordt aangeboden van mindere kwaliteit voor een gelijke of hogere prijs, dan kan op objectieve gronden besloten worden de betreffende

optie te verwerpen; geen rationeel mens zal ervoor kiezen meer geld uitgegeven zonder daarvoor in kwaliteit gecompenseerd te worden. Keuzemogelijkheden die bij voorbaat al op rationele gronden verworpen kunnen worden staan in de Pareto terminologie bekend als “inferieur”, of “gedomineerd” .

Non-inferioriteit is een relatieve eigenschap: een oplossing is non-inferieur (Pareto efficiënt, ‘non-dominated’) als binnen de oplossingsruimte geen andere oplossing te vinden is die beter scoort op tenminste één indicatorwaarde zonder op de andere indicatorwaarden slechter te scoren. De techniek kan het keuzeproces dus ondersteunen door alleen non-inferieure oplossingen aan te bieden bij een keuzeproces. Wanneer bij een optimalisatievraagstuk met twee conflicterende doelen de beide indicatorwaarden van de oplossingen op een grafiek worden uitgezet op de x en y as, dan vormen de Pareto-efficiënte oplossingen samen het Pareto-front.



Figuur 6 Voorbeeld van een populatie oplossingen met een Pareto-front

In Figuur 6 is oplossing A Pareto-efficiënt, omdat er geen andere oplossing bestaat die zowel lagere economische kosten met zich meebrengt als lagere ecologische schade. Oplossing B brengt gelijke economische kosten met zich mee als oplossing A, maar veroorzaakt meer ecologische schade. Oplossing C brengt gelijke ecologische schade met zich mee als oplossing A, maar veroorzaakt hogere economische kosten. Gegeven de mogelijkheid van oplossing A is een keuze voor oplossing B of C niet rationeel en dus *objectief* te verwerpen. Er kan bij een optimalisatievraagstuk met meerdere, tegenstrijdige doelen dus een preselectie worden uitgevoerd op de mogelijke oplossingen.

3.4 Effectmodellen

De effecten van verschillende debietverdelingen worden berekend met effectmodellen die in deze studie zijn ontwikkeld. Sommige modellen zijn zeer eenvoudig en vergen een computerrekening van minder dan een seconde, andere zijn complex en gedetailleerd, zoals het vegetatie-effectmodel en het transportmodel, en vergen enkele minuten computerrekening. In onderstaande paragrafen zijn de verschillende effectmodellen toegelicht. De doelfuncties per effectmodel zijn beschreven in 3.4.

3.4.1 Productiekosten

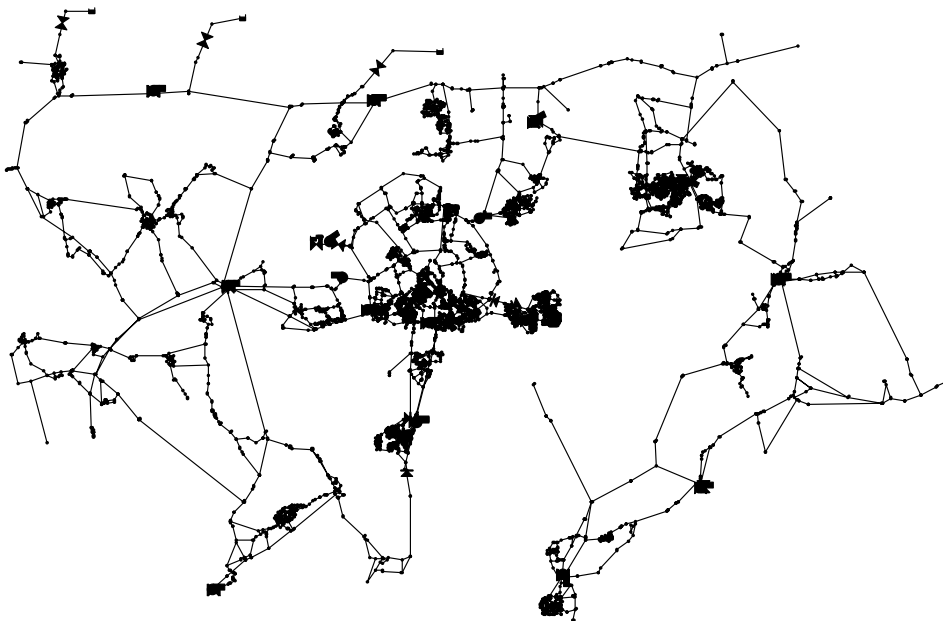
Het model voor berekening van de productiekosten van de winningen in Regio Zuid als functie van verschillende debietverdelingen is gebaseerd op informatie die is ontvangen van Brabant Water. De kosten bestaan uit vaste kosten en variabele kosten, waarbij de laatste component de kosten per m³ reinwater betreft. In het gehanteerde bedrijfseconomische model zijn de variabele kosten per m³ winningspecifiek, maar onafhankelijk van de productieomvang van een winning. De vaste kosten

worden onafhankelijk van de productieomvang van een winning berekend. Wanneer in een bepaald scenario de productie van een winning 0 m³/j is, worden dus toch de vaste kosten berekend. In deze rapportage zijn op grond van vertrouwelijkheid de financiële gegevens niet gepubliceerd.

3.4.2 Leidingenmodel

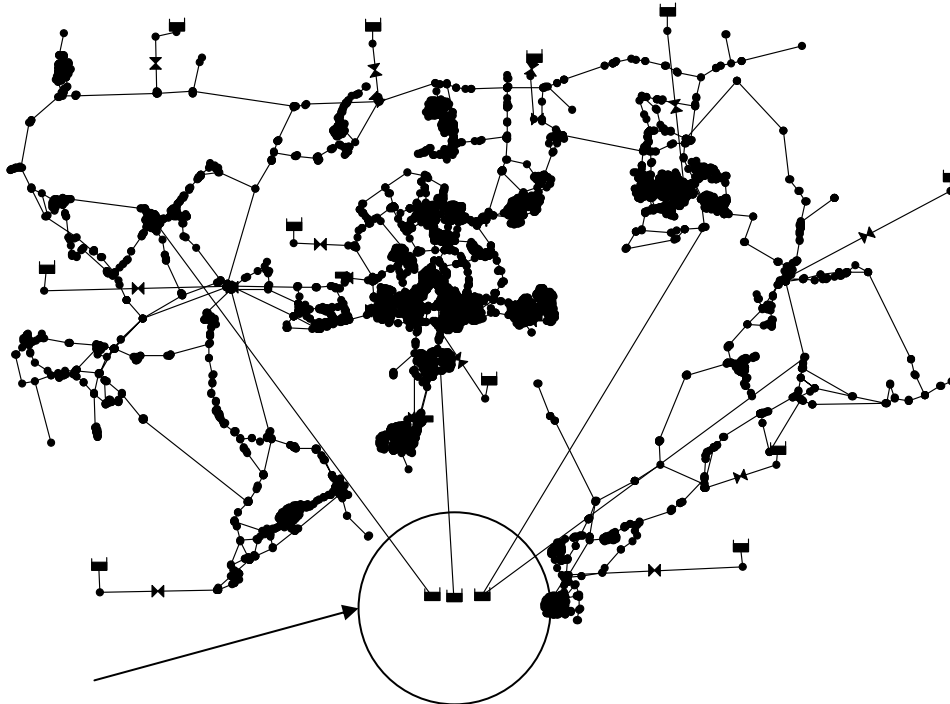
Voor het bepalen van de technische haalbaarheid van alternatieve debietverdelingen over de winningen zijn berekeningen uitgevoerd met behulp van het programma EPANET 2.0. Dit programma is ontwikkeld door de USGS en is in brede kring geaccepteerd. De USGS stelt dit programma gratis beschikbaar voor derden, inclusief broncode.

Het gehele distributienet is eerst in het leidingenmodel Aleid vereenvoudigd ('verdund') en vervolgens geëxporteerd naar EPANET. De conversie van Aleid naar Epanet is uitgevoerd om het mogelijk te maken dat vanuit de optimalisatiemodule van Optiwin berekeningen met Epanet kunnen worden uitgevoerd. Om effecten van verschillende debietverdelingen te simuleren zijn de winningen in het model gesimuleerd als Flow Control Valves (FCV). Achter elke FCV is een virtueel² reservoir toegevoegd met een zodanig hoge drukhoogte dat ook de hoogstgelegen afnamepunten in principe voldoende leveringsdruk hebben, mits het leidingnet voldoende capaciteit bezit om zonder te grote drukverliezen het drinkwater naar de betreffende punten te brengen. Er zijn ook drie virtuele reservoirs toegevoegd aan het leidingenmodel. Elk van de reservoirs is gekoppeld aan een deel van het voorzieningsgebied van regio Zuid (Figuur 8). De reservoirs is een stijghoogte toegekend van de hoogste maaiveldhoogte in het deelgebied plus 25 m. Op deze wijze kan worden gecontroleerd of een bepaalde debietverdeling toereikend is om ten minste 25 m.w.k drukhoogte te leveren op elke plaats in het deelgebied. Als de debieten van de winningen ontoereikend zijn om een druk van ten minste 25 m.w.k te leveren, dan gaan de betreffende reservoirs meeleveren. Voor een goede druk dienen de debieten over de drie virtuele reservoirs dus nihil te zijn.

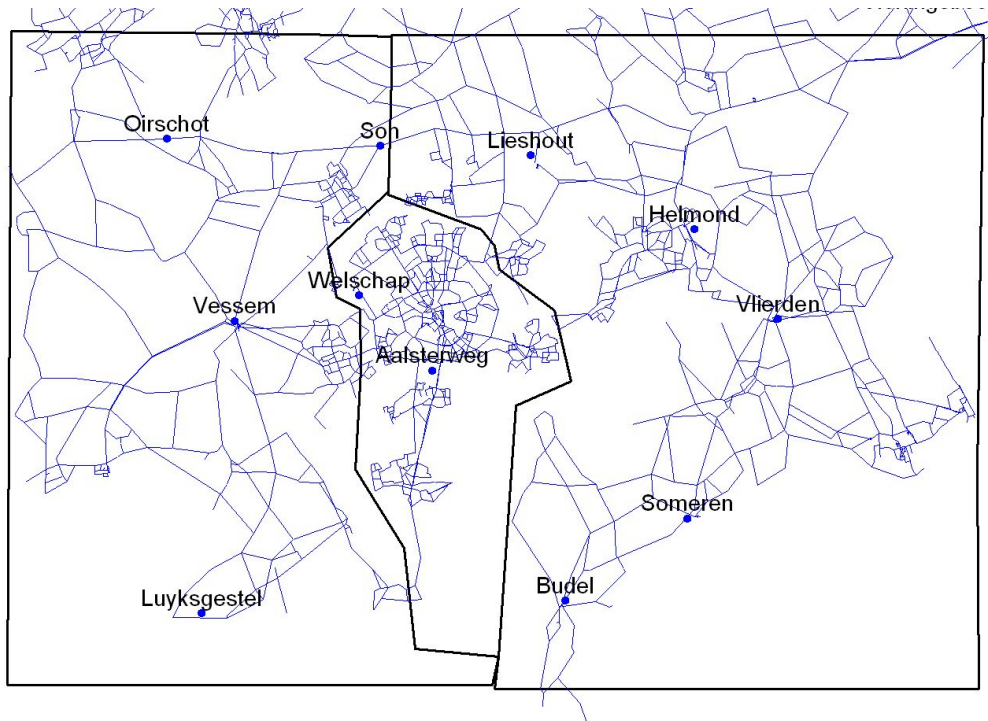


Figuur 7 Het vereenvoudigde transportnetwerk in Regio Zuid dat bij de berekeningen met EPANET is gebruikt

² d.w.z. niet corresponderend met een reëel bestaand reservoir



Figuur 8 Het vereenvoudigde transportnetwerk in Regio Zuid dat bij de berekeningen met EPANET is gebruikt, voorzien van drie virtuele reservoirs, om te kunnen beoordelen of overal voldoende druk in het systeem wordt geleverd. Deze reservoirs zijn in de figuur aangegeven met pijl en cirkel. De overige reservoirs representeren de grondwaterreserves.

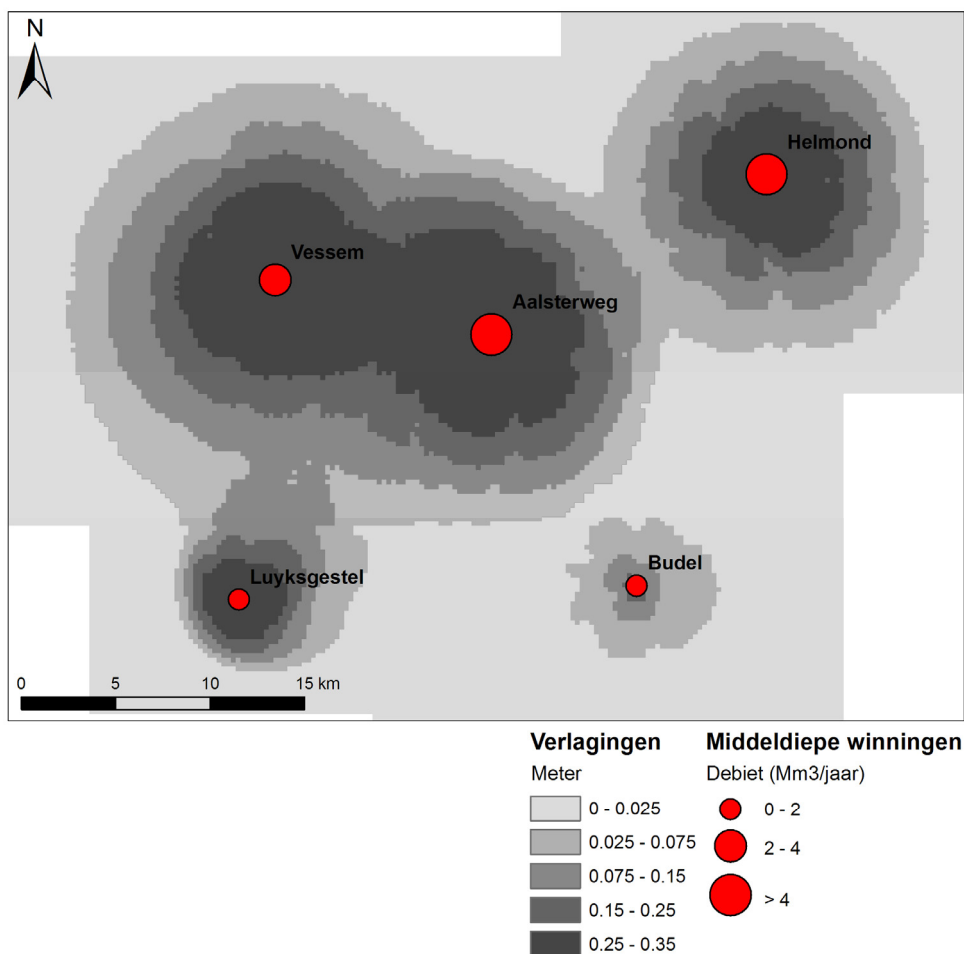


Figuur 9 Voor controle van de te leveren waterdrukken is het voorzieningsgebied van regio zuid opgedeeld in drie deelgebieden, elk voorzien van een virtueel reservoir.

De doelfunctie is beschreven in paragraaf 3.5.1

3.4.3 Stijghoogte-effecten op vegetatie

De 5 winningen die grondwater onttrekken uit het middeldiepe pakket kunnen van invloed zijn op grondwaterafhankelijke vegetatie in het gebied en ook op grondwaterafhankelijke landbouwopbrengsten. De effecten op de vegetatie worden berekend door eerst een indicatieve berekening uit te voeren van de te verwachten verlagingen met de ArtTIM modellen van de winningen die bij Brabant Water beschikbaar zijn. De afzonderlijke modellen worden 'samengesmeed' tot een enkele kaart die de verlagingen en/of verhogingen in het gebied ten opzichte van een gekozen referentiesituatie weergeeft. De bepaling van de effecten van een alternatieve debietverdeling op de vegetatie vindt plaats door deze te vergelijken met een referentiesituatie. De referentiesituatie heeft betrekking op de hydrologische omstandigheden waar de bestaande vegetatie op is ingesteld. Voor bepaling van de effecten op de vegetatie worden de veranderingen van de grondwaterstanden op een rasterkaart geprojecteerd. De rasterkaart bestaat uit een verzameling punten die gesitueerd is in de natuurgebieden en (in deze studie) een onderlinge afstand hebben van 25 m. Deze relatief hoge punt dichtheid in natuurgebieden is gekozen om lokale verschillen zo goed mogelijk te verdisconteren.



Figuur 10 Voorbeeld van een kaart met berekende grondwaterstanden die als invoerbestand dient voor de berekening van de effecten op grondwaterafhankelijke vegetatie

Opzet prototype module ECOFLEX

Voor dit project is een prototype van een module ECOFLEX gemaakt waarmee zeer indicatief de effecten van grondwaterwinning op vegetaties in kaart kunnen worden gebracht. Deze effecten worden uitgedrukt in natuurwaarde-eenheden, afgekort nwe. Natuurwaardering maakt het mogelijk de natuurdoeltypen onderling te wegen, zodat de resultaten van verschillende typen kunnen worden gesommeerd en - uiteindelijk - voor een beleidsmaker overzichtelijk gepresenteerd in een eindcijfer of een kaart.

Een goede voorspelling van ecohydrologische effecten vergt een uitgebreide berekening en een gedetailleerde geografische invoer, voornamelijk over de bodemgesteldheid. Zoals vermeld, wordt in deze studie met een eenvoudige benadering volstaan. In deze benadering wordt het effect gebaseerd op slechts vier parameters:

1. De verandering in grondwaterstand (freatische stijghoogte), ΔH (m). Positieve waarden betekent een daling van de grondwaterstand, negatieve een stijging.
2. De gevoeligheid van het habitatype voor verandering in de grondwaterstand, α (% cm⁻¹).
3. De potentiële natuurwaarde van het habitatype, V (nwe).
4. De beschermingsstatus van het gebied: EHS en/of Natura-2000 en/of Waterparel.

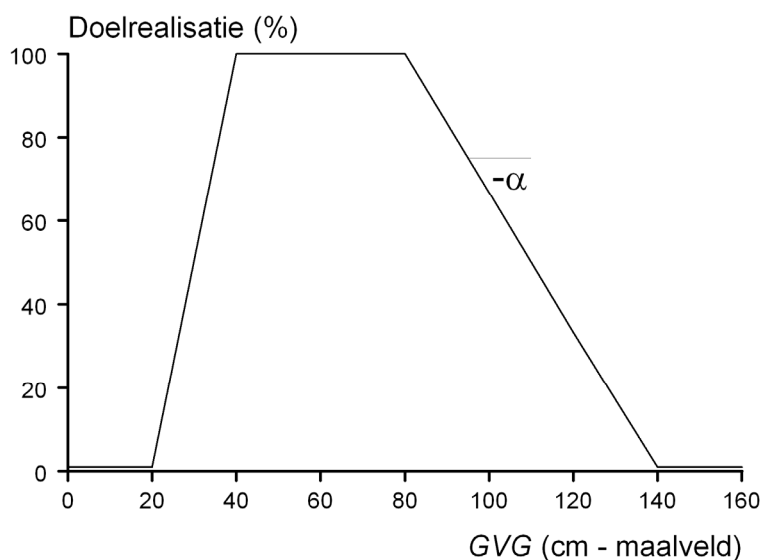
Als geografische invoer vraagt de module om drie verrasterde kaarten: een kaart van ΔH , een kaart van de in het gebied voorkomende natuurdoel typen, en een kaart met de beschermingsstatus. In deze studie is gebruik gemaakt van kaarten met een resolutie van 25×25 m. Iedere pixel was daarbij geclassificeerd tot slechts één natuurdoel type.

Waarden voor α en V worden in aparte bestanden opgegeven. Deze kunnen desgewenst aan de eigen inzichten van de gebruiker worden aangepast. Ook kan de gebruiker via een invoerbestand het resultaat extra wegen, naar gelang de beschermingsstatus van het natuurdoel type.

Bepaling gevoeligheid α

De provincie Noord-Brabant heeft op basis van het programma Waterlood (Runhaar & Hennekens, 2005) doelrealisatie functies voor natuurdoel typen bepaald³. Een dergelijke functie geeft het bereik in gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand GVG aan waarbij een natuurdoel type optimaal of suboptimaal voorkomt. De mate van doelrealisatie wordt uitgedrukt in een percentage, zie Figuur 11. De hellingshoek van het rechter, uitdrogende, gedeelte van de functie is nu gebruikt als schatter voor de gevoeligheid α (Figuur 11). Voor grondwateronafhankelijke typen geldt $\alpha = 0$.

³ Het resultaat is opgeslagen in het Excelbestand 'Natuurtypen-PNB_030403_nagezonden.xls'



Figuur 11 Denkbeeldige doelrealisatie functie uit Waternood en de daarvan afgeleide gevoeligheid α .

Er bestaan echter verschillende manieren om doelrealisatie functies voor natuurdoel typen te bepalen, en in die manieren heeft de provincie Noord-Brabant geen keuze gemaakt. Voor de kenners van Waternood melden we hier dat we uiteindelijk de *gemiddelde* functie van de samenstellende plantengemeenschappen hebben genomen. De α -waarden die dat opleverde gaf, naar ons oordeel, het beste resultaat. Van natuurdoel typen die afhankelijk zijn van basenrijk grondwater is bovendien de α -waarde verdubbeld.

Potentiële natuurwaarden V

Aan ieder natuurdoel type is handmatig een waarde toegekend op een tiendelige schaal. In verband met de omvang van de studie is hier bijzonder weinig tijd aan besteed; het operationeel krijgen van het prototype kreeg prioriteit.

Beschermingsstatus

De gebruiker kan de beschermingsstatus van een gebied extra laten meetellen via de gewichtsfactoren G_{EHS} en G_{2000} , voor respectievelijk EHS en Natura-2000. De resultaten worden met deze factoren vermenigvuldigd; een factor van 1.0 betekent dus dat geen extra gewicht aan de status wordt toegekend, een factor 2.0 dat het resultaat met twee wordt vermenigvuldigd. Voor het prototype zijn de volgende waarden opgegeven: $G_{EHS} = 1.5$, $G_{2000} = 2.0$.

Rekenregels

Aanname bij het berekenen van schade aan de natuur (door daling van de grondwaterstand) is dat het natuurdoel type in optimale toestand verkeert (doelrealisatie 100%). Bovendien kan de schade niet groter zijn dan de potentiële natuurwaarde van het type. Ten slotte wordt gewogen met het maximum van de gewichten G_{EHS} en G_{2000} . Dit leidt dan tot:

$$S = V \cdot \max(G_{EHS}, G_{2000}) \cdot \min\left(1, \frac{1}{100} \alpha \Delta H\right) \quad |\Delta H > 0 \quad [1]$$

Bij winst (stijging grondwaterstand) is de veronderstelling dat het natuurdoel type in zeer slechte toestand verkeert (doelrealisatie 0%):

$$W = V \cdot \max(G_{EHS}, G_{2000}) \cdot \max\left(1, -\frac{1}{100} \alpha \Delta H\right) \quad |\Delta H < 0 \quad [2]$$

De resultaten geven derhalve de maximaal te verwachten schade en winst van een ingreep in het grondwatersysteem aan.

Uitvoer

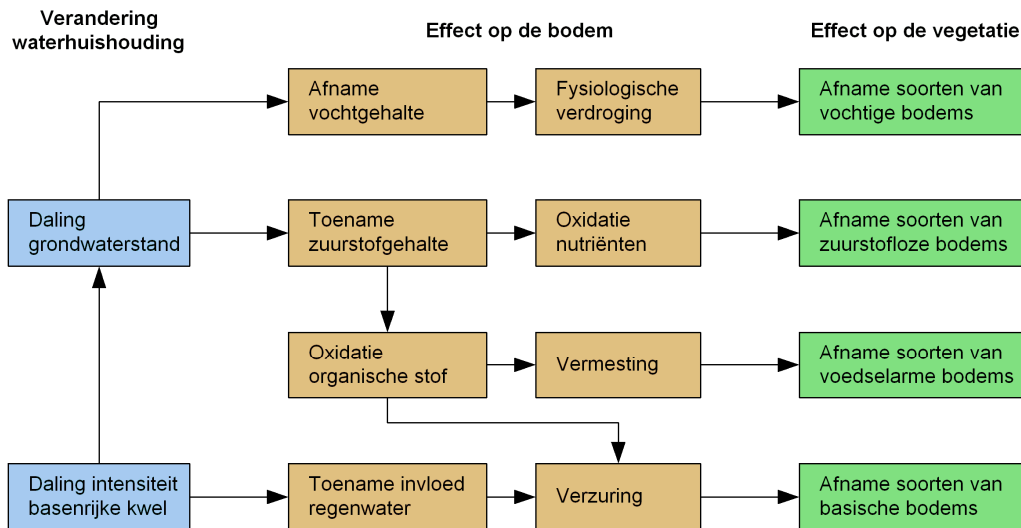
De uitvoer bestaat uit twee bestanden. Het eerste bestand geeft per pixel een getal voor de schade of winst. Schade wordt in dit bestand als een negatief getal weggeschreven, winst als een positief getal. Het tweede bestand geeft een overzicht van de resultaten in de vorm van twee tabellen, één voor schade en één voor winst. In een dergelijke tabel is voor ieder natuurdoel type de over alle pixels gesommeerde schade/winst weergegeven en het resultaat uitgesplitst naar de categorieën 'alleen in de EHS', 'alleen in Natura-2000', 'in de EHS én in Natura-2000', 'buiten EHS en Natura-2000'.

Discussie

De uitkomsten van het prototype moeten als zeer indicatief worden beschouwd: ze geven op een relatieve schaal aan hoeveel winst of verlies er te verwachten is onder een bepaald scenario. De schade en winst zijn in de berekening evenredig verondersteld aan zowel de gevoeligheid α als de natuurwaarde V . Dit lijkt een redelijke aanname, hoe simpel ook. Waarden voor beide grootheden moeten echter veel beter worden vastgesteld dan nu is gedaan. Voor de vaststelling van V hebben we al aangegeven dat we hier weinig tijd aan hebben kunnen besteden, maar we hebben ook ernstige bedenkingen bij de van Waterlood afgeleide gevoeligheden α .

Verandering van de grondwaterstand kan leiden tot een keten aan effecten (Figuur 12). Verlaging van de grondwaterstand kan leiden tot een gebrek aan water in de wortelzone, waardoor planten niet meer maximaal kunnen verdampen en belangrijke celfuncties verstoord worden: verdroging in strikte zin (in Figuur 12 aangegeven als 'fysiologische verdroging'). Ook kunnen soorten die gebonden zijn aan natte, zuurstofarme bodems verdwijnen doordat voedingsstoffen in een vorm beschikbaar komen die moeilijk of niet opneembaar voor ze is. Bijvoorbeeld stikstof in de geoxideerde vorm van nitraat in plaats van de gereduceerde vorm ammonium ('oxidatie nutriënten'). Doordat meer zuurstof in de bodem doordringt, wordt organische stof via oxidatie sneller afgebroken. Bij deze afbraak komen voedingsstoffen vrij, waarvan concurrentiekrachtige, snel groeiende soorten (vaak grassen) profiteren. Het resultaat van deze 'vermesting' is een verruigde, soortenarme vegetatie. Bij de afbraak van organische stof komen protonen vrij zodat de pH daalt: de standplaats verzuurt. Verzuring kan ook optreden als de pH niet meer wordt gebufferd door de aanvoer van baserijk grondwater, bijvoorbeeld in de vorm van kwel. In de wortelzone wordt het baserijke grondwater dan vervangen door basenarm regenwater.

De hier beschreven bodemfysische en bodemchemische processen hangen vooral af van het bodemtype. Voorbeeld: in een bodem met veel organische stof en een neutrale pH is een explosie aan nutriënten te verwachten wanneer de grondwaterstand daalt, maar in een humusarme bodem niet. In het prototype wordt hiermee geen rekening gehouden, maar in ecohydrologische modellen als NICHE (Meuleman et al., 1996) en PROBE (Witte et al., 2007) weer wel. Die zijn echter trager in gebruik en stellen hogere eisen aan zowel de hoeveelheid invoergegevens als de nauwkeurigheid van die gegevens. Ze zijn daarom minder geschikt voor inbouw in Optiwin. De bodemafhankelijkheid van ecohydrologische processen geeft echter wel aan dat de uitkomsten van het prototype, het is al eerder gezegd, als zeer indicatief moeten worden beschouwd.



Figuur 12 Belangrijkste schadelijke effecten van hydrologische veranderingen op natte ecosystemen (Witte, 2008).

Het wekt misschien bevreemding dat in de berekening van schade en winst (vergelijking [1] en [2]) uitgegaan is van respectievelijk een zeer goed en een zeer slecht ontwikkeld natuurdoel type (doelrealisaties 1.0 en 0.0). Alternatief is uit te gaan van de door het hydrologische model berekende grondwaterstand. De nauwkeurigheid van hydrologische modellen sluit echter zelden ook maar enigszins aan bij de gevoeligheid van natuurdoel typen. Als een regionaal model de grondwaterstand onder een natuurgebied berekent met een gemiddelde fout van enkele decimeters, dan is dat al een hele prestatie. Voor de meeste natte en vochtige natuurdoel typen, echter, kunnen enkele decimeters het verschil uitmaken tussen leven en dood.

In de module worden schade en winst apart geadmistreerd. Dat is niet voor niets: de voorspelling dat natuur kapot gaat is veel minder onzeker dan de voorspelling dat natuur zich ontwikkelt. Daling van de grondwaterstand in een dotterbloemhooiland bijvoorbeeld, leidt vrijwel zeker tot een verlies aan natuurwaarde, op welke manier je die ook berekent (aantal soorten, aantal zeldzame soorten, aantal Rode-lijstsoorten, etc.). De aanwezigheid van dat dotterbloemhooiland verschaft ook informatie over de bodem (het is er nat, zwakzuur en matig voedselrijk) en de aanwezigheid van soorten. De ontwikkeling van een dotterbloemhooiland uit een vette weide of een akker, hangt van veel meer factoren af dan van de grondwaterstand. Naast bodemkundige factoren spelen de aanwezigheid van een zaadbank en dispersiemogelijkheden van plantensoorten een grote rol.

Al met al is het verstanding schade en winst apart te administreren, en beide cijfers niet te sommeren.

Wil men ECOFLEX inzetten, dan is het noodzaak eerst de juiste waarden voor α en V vast te stellen. Bovendien adviseren we dan ook het model enigszins aan te passen: nu is slechts één natuurdoel type aan een pixel toegekend (en één beschermingsstatus), in een volgende versie zouden er meerdere typen mogelijk moeten zijn, met informatie over de oppervlakteverdeling over die typen. Deze aanpassing is noodzakelijk, omdat nu lijnvormige natuurdoel typen (langs beken en sloten vooral) makkelijk worden 'weggegeneraliseerd'. Na het doorvoeren van deze verbeteringen dient de module te worden getoetst, op zijn minst aan het oordeel van enkele kundige ecologen.

3.4.4 Waterkwaliteit

De reinwaterkwaliteit is één van de criteria die is gehanteerd om de aantrekkelijkheid van alternatieve debietverdelingen te beoordelen. Voor de 11 winningen in Regio Zuid is per winning een specifieke waarde van de waterkwaliteitsindex toegepast. Deze waterkwaliteitsindex (wki) is op dezelfde wijze opgebouwd als beschreven in het Beheersplan Watervoorziening 2008 (Vos et al., 2007). In het gehanteerde model is de WKI onafhankelijk van de jaarproductie van een winning. De WKI bestaat uit

een set van 34 subparameters. De subparameters hebben betrekking op fysische, chemische en biologische eigenschappen.

3.4.5 Reststoffen

Doordat de ruwwaterkwaliteit per winning varieert, verschillen ook de aard en de hoeveelheid reststoffen die per m³ reinwater wordt geproduceerd. Ook bij deze indicator is dezelfde benadering gevolgd als in het Beheersplan Watervoorziening 2008 (Vos et al., 2007).

3.4.6 Duurzaamheid

Voor het criterium duurzaamheid wordt dezelfde aanpak gevolgd als in het Beheersplan Watervoorziening 2008 (Vos & Eck, 2007). Duurzaamheid is daarbij opgebouwd uit de volgende componenten:

- beïnvloeding omgeving (vegetatie)
- elektriciteitsgebruik
- chemicaliëngebruik
- waterverliezen

Er bestaat overlap met het criterium 'effecten grondwaterafhankelijke vegetatie' dat in het beheersplan 2008 niet is toegepast en in deze studie indicatief wordt bepaald m.b.v. de Tim modellen en het prototype van het ecologische effectenmodel Ecoflex. Hoewel in het algemeen dergelijke vormen van overlap tussen criteria niet bijdragen aan het maken van heldere keuzen en daarom niet wenselijk zijn, zijn in dit geval de overlappingsen gehandhaafd om een vergelijking met de analyses uit het beheersplan 2008 mogelijk te maken. Wanneer de resultaten met behulp van de analyses uit het beheersplan zijn gevalideerd kan voor eventuele vervolgstudies het criterium duurzaamheid anders geformuleerd worden.

3.5 Opzet van de optimalisatie

Voor een goede vergelijking met het Beheersplan Watervoorziening Brabant Water 2008 zijn de criteria *waterkwaliteit*, *productiekosten*, *duurzaamheid* en *reststoffen-slib* op dezelfde wijze gehanteerd als in het beheersplan 2008. Daarmee zijn geschikte voorwaarden gecreëerd om de resultaten te vergelijken met de analyses in het Beheersplan 2008.

In totaal zijn er in de voorliggende studie zes criteria toegepast bij het beoordelen van verschillende debietverdelingen over de winningen. Daarvan zijn drie criteria in deze studie gelijk aan die in het beheersplan watervoorziening 2008:

- Productiekosten
- Reinwaterkwaliteit
- Duurzaamheid

3 criteria zijn extra toegevoegd:

- Haalbaarheid transport
- Vegetatieschade
- Reststoffen-slib

De drie toegevoegde criteria zijn in het Beheersplan 2008 op een andere manier verdisconteerd. Daardoor bestaat er enige overlap tussen het criterium *duurzaamheid* en de criteria *reststoffen-slib* en *vegetatieschade*. Het criterium vegetatieschade is in deze studie meegenomen door gebruik te maken van de resultaten van de Tim modellen van de middeldiepe winningen van Brabant Water, in combinatie met het provisorische ecologische effectenmodel EcoFlex. In de analyse die voorafging aan het schrijven van het beheersplan 2008 is het effect van een onttrekkingconfiguratie op de vegetatie geschat op basis

van expert oordeel. *Vegetatieschade* is met een op 'expert judgement' gebaseerde score verwerkt in het criterium *duurzaamheid*. *Reststoffen-slib* is eveneens (gewogen) opgenomen in de duurzaamheidscore. De technische haalbaarheid met betrekking tot transport is door Brabant Water bij de analyses voor het maken van het beheersplan 2008 in eerste instantie op basis van expert oordeel bepaald en in tweede instantie getoetst aan modelberekeningen.

Indicatoren zijn gedefinieerd als kosten

Voor alle criteria zijn indicatoren gedefinieerd die uitdrukken in welke mate oplossingen aan de criteria voldoen. Deze indicatoren worden berekend met de effectmodellen. Alle indicatoren zijn als kosten gedefinieerd; dat wil zeggen dat de gewenstheid van een oplossing afneemt naarmate de waarden van de indicatoren toenemen.

In onderstaande paragraaf zijn de definities van de verschillende indicatorfuncties gepresenteerd.

3.5.1 Indicatorfuncties

Indicator productiekosten:

$$S = \frac{\sum_{i=1,n} \{Fc[i] + q[i] \cdot Vc[i]\}}{Td}$$

Zie 3.5.2 voor betekenis van de symbolen.

Indicator haalbaarheid transport

Berekeningen met het transportmodel hebben aangetoond dat de flexibiliteit van het systeem beperkt is. Lang niet alle mogelijke debietverdelingen die op basis van de productiecapaciteiten van de winningen mogelijk zijn kunnen met het leidingennet binnen de gewenste drukbereiken worden getransporteerd. De eerste beoordeling van het effect van een debietverdeling op het leidingennet heeft daarom betrekking op de haalbaarheid. De corresponderende indicatorwaarde is in onderstaande paragraaf beschreven. Wanneer een debietverdeling geen knelpunten oplevert in het leidingennet, dan zijn er vervolgens aanvullende beoordelingen aan de orde. De drie belangrijkste aanvullende criteria hebben betrekking op de verblijftijd, de energiekosten en de effecten van menging van reinwater van verschillende winningen. Deze drie criteria zijn in de voorliggende studie nog niet nader uitgewerkt.

$$Sw = 100 + Nw$$

$$P_1q = \left\{ \forall [P_i < P_{1\min}] \sum qk_i (P_{1\min} - P_i) \right\}$$

$$P_2q = \left\{ \forall [P_i < P_{2\min}] \sum qk_i (P_{2\min} - P_i) \right\}$$

$$P_3q = \left\{ \forall [P_i > P_{\max}] \sum qk_i (P_i - P_{\max}) \right\}$$

$$Qr = \sum_{v=1..k} Abs(Q_v)$$

$$S_t = \frac{S_w \cdot [Q_r + 2 \cdot P_1 q + P_2 q + P_3 q]}{T_d}$$

Indicator reinwaterkwaliteit

$$S_k = \frac{\sum_{i=1,n} \{q[i] \cdot Wki[i]\}}{T_d}$$

Indicator duurzaamheid

$$S_d = \frac{\sum_{i=1,n} \{q[i] \cdot Di[i]\}}{T_d}$$

Indicator reststoffen

$$S_r = \frac{\sum_{i=1,n} \{q[i] \cdot R[i]\}}{T_d}$$

3.5.2 Betekenis van de symbolen

Symbol	Betekenis
Di[i]	Duurzaamheidsindex van winning i
Fc[i]	Vaste kosten (fixed cost) van winning i (€/j)
Nw	Aantal waarschuwingen in output transportmodelberekening
P _{1min}	Minimaal vereiste wettelijke drukhoogte (20 mwk)
P _{1q}	Som van de drukonderschrijdingen t.o.v. de wettelijke norm, gewogen naar debiet
P _{2min}	Minimaal vereiste drukhoogtenorm Brabant Water (25 mwk)
P _{2q}	Som van de drukonderschrijdingen t.o.v. de norm van Brabant Water, gewogen naar debiet
P _{3q}	Som van de drukoverschrijdingen t.o.v. de maximaal toelaatbare druk (60 mwk), gewogen naar debiet
P _i	Drukhoogte in knooppunt i
P _{max}	Maximale toelaatbare drukhoogtenorm Brabant Water (60 mwk)
q _{k_i}	Debiet in knooppunt i
q[i]	Debiet van winning i (m ³ /j)
Q _r	Som absolute debieten over synthetische reservoirs (L ³ /T)
Q _v	Debiet van synthetisch reservoir v (L ³ /T)
R[i]	Hoeveelheid slib van winning i (Kg/ m ³)
S	Score kosten (€/m ³)
S _d	Score Duurzaamheid (naar debiet gewogen index Brabant Water)

Symbol	Betekenis
S_k	Score reinwaterkwaliteit (naar debiet gewogen index Brabant Water)
S_r	Score reststoffen (naar debiet gewogen index Brabant Water)
S_t	Indicatorwaarde haalbaarheid transport
S_w	Waarschuwingenscore
T_d	Totale watervraag (m^3/j)
$V_c[i]$	Variabele kosten (variable cost) van winning i ($€/m^3$)
$W_{ki}[i]$	Waterkwaliteitsindex van winning i

3.6 Beschrijving functionaliteit Optiwin

Optiwin bestaat uit een GUI (Graphical User Interface) met daarin de volgende functies:

- Hoofdmenu - (scherm 0)
- Invoergegevens - bekijken en veranderen (scherm 1)
- Optimaliseren (scherm 2)
- Resultaten analyseren (scherm 3)
- Sorteren van de verzameling van Pareto-efficiënte oplossingen volgens diverse criteria:
 - scores per doelfunctie
 - Paretoscores
 - toepassing van gewogen doelfuncties, met door de gebruiker te specificeren gewichten
- Exporteren van gedetailleerde output van een geselecteerde oplossing naar GIS en Excel
- Berekenen van effecten van een handmatig gespecificeerde debietconfiguratie

Back Reload Exit

winning	vaste kosten	var. kosten	min. jaarprod.	jaarcapaciteit	vergunning	freatisch	middeldiep	diep	kwaliteit	kg slib/m3	duurzaa
BUDEL			0	5500000	3500000	0	5500000	0	2	0.053670414	1.6
EINDHOVEN_AALSTERWEG			0	5000000	5000000	0	5000000	0	1	0.023357143	0.6
EINDHOVEN_REST			0	20000000	20000000	0	0	20000000	1	0.023357143	0.6
HELMOND			0	8000000	9000000	0	6000000	3000000	1	0.01138806	1.1
LIESHOUT			0	6000000	6000000	0	0	8000000	0.33	0.011515152	0.9
LUYKSGESTEL			0	2000000	2000000	0	2000000	0	1.33	0.013862069	1.2
DIRSCHOT			0	4000000	3400000	0	0	4000000	1	0.0012	0.4
SOMEREN			0	4000000	4000000	0	0	4000000	0.67	0.015897436	0.5
SON			0	8000000	8000000	0	0	8000000	0.33	0.003247059	0.3
VESSEM			0	8500000	6500000	0	8500000	0	1	0.029817751	2
VLIERDEN			0	4500000	4500000	0	0	4500000	1	0.012938389	1
WELSCHAP			0	5000000	5000000	0	0	5000000	0.67	0.006470588	0.1

Total demand (m3/y) 53390000

- Productiekosten (€/m3)
- Reinwaterkwaliteit (BS)
- Transportkosten (€/m3)
- Vegetatieschade (t/m3)
- Reststoffen slib (kg/m3)
- Duurzaamheid (BS2)

Figuur 13 Het scherm 'Invoergegevens' in Optiwin (financiële gegevens voor deze rapportage onzichtbaar gemaakt)

Bij het starten van Optiwin worden de gegevens ingelezen uit een invoerbestand.

Schermb Invoergegevens

In het scherm *Invoergegevens* kunnen in de bovenste box (Figuur 13) de kengetallen per winning geïnspecteerd en (indien gewenst) veranderd worden. Het invoerbestand kan overigens ook buiten Optiwin aangepast worden; dit gaat het gemakkelijkste door het bestand in te lezen in Excel, de gegevens naar wens te veranderen en vervolgens weer als tab-delimited text te exporteren.

In de tweede box van het invoerschermb kan de totale gewenste productiehoeveelheid worden ingevoerd. Deze staat in het voorbeeld op 53.390.000 m³/jaar, conform de prognose in het beheersplan 2008.

In de derde box van het invoerschermb kan aangevinkt worden voor welke doelen geoptimaliseerd moet worden.

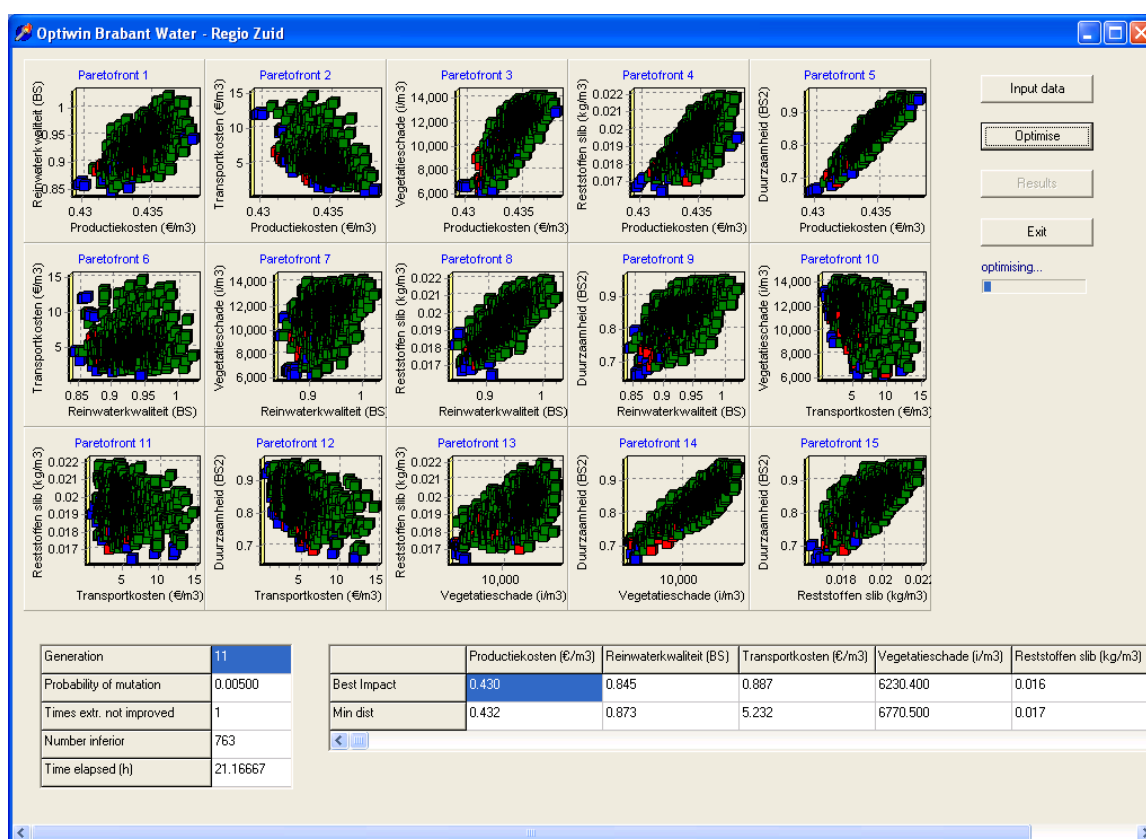
Schermb Optimalisatie

In het optimalisatieschermb van Optiwin wordt de voortgang van de optimalisatie getoond in een groot aantal grafiekjes. Elk van deze grafiekjes heeft een unieke combinatie van doelfuncties op de assen staan. In bijgaand voorbeeld zijn er in totaal 15 grafiekjes, omdat er 6 doelfuncties zijn. De grafiekjes tonen het verband tussen de scores van verschillende doelfuncties voor de oplossingen in de populatie. In bepaalde gevallen zijn deze scores duidelijk gecorreleerd, soms positief, soms negatief. Uit de grafiek van Duurzaamheid en Vegetatieschade in Figuur 14 (rij 3, kolom 4) kan bijvoorbeeld geconcludeerd worden dat deze positief gecorreleerd zijn: hoe minder vegetatieschade een debietconfiguratie veroorzaakt, des te duurzamer is zij. (Alle scores zijn als kosten gedefinieerd: hoe hoger de score hoe ongunstiger het is). De duurzaamheidscore is ontworpen bij Brabant Water en bevat ook een component die betrekking heeft op vegetatieschade. Uit de positieve correlatie met de vegetatieschade score blijkt dat het prototype van het ecologische effectenmodel overeenstemt met het expert judgement bij Brabant Water.

Het positieve verband tussen productiekosten en duurzaamheid (grafiekje op rij 1, kolom 5) heeft te maken met het feit dat de diepe winningen in Regio Zuid relatief lage productiekosten hebben doordat het grondwater van uitstekende kwaliteit is en daardoor weinig zuivering behoeft en weinig reststoffen (slib, ijzer) bevat. Tegelijkertijd worden geen grondwaterstandverlagingen in het ondiepe grondwater berekend als gevolg van onttrekking van grondwater in de diepe winningen en is daardoor de berekende vegetatieschade nul.

De grafieken zijn bedoeld om het verloop van de optimalisatie te kunnen volgen. De box onder de grafieken levert kengetallen van het optimalisatieproces:

- Aantal berekende generaties door het genetische algoritme
- Mutatiekans
- Aantal generaties sinds de laatste verbetering van een minimale score
- Aantal Pareto-inferieure oplossingen
- Verstreken rekentijd
- Berekende minima per doelfunctie
- Scores per doelfunctie van de oplossing die voldoet aan het 'minimal distance'. Deze oplossing heeft de beste integrale score wanneer de schalen van alle assen genormaliseerd zijn.



Figuur 14 Het Optimalisatiescherm van Optiwin. De oplossingen zijn gepresenteerd volgens iedere mogelijke combinatie van twee doelen.

De beoordeling van het tijdstip dat de optimalisatie door het genetisch algoritme klaar is dient door de gebruiker te worden bepaald. Hiervoor is enige kennis van de werking van genetische algoritmen benodigd. Afgebroken optimalisatieberekeningen kunnen op een ander tijdstip weer worden voortgezet. In het geval van Regio Zuid duurt een optimalisatie enkele dagen; deze lange rekentijd wordt vooral veroorzaakt door de grote mate van gedetailleerdheid waarmee de effecten op de grondwaterafhankelijke vegetatie worden berekend.

Schermscherm Resultaten

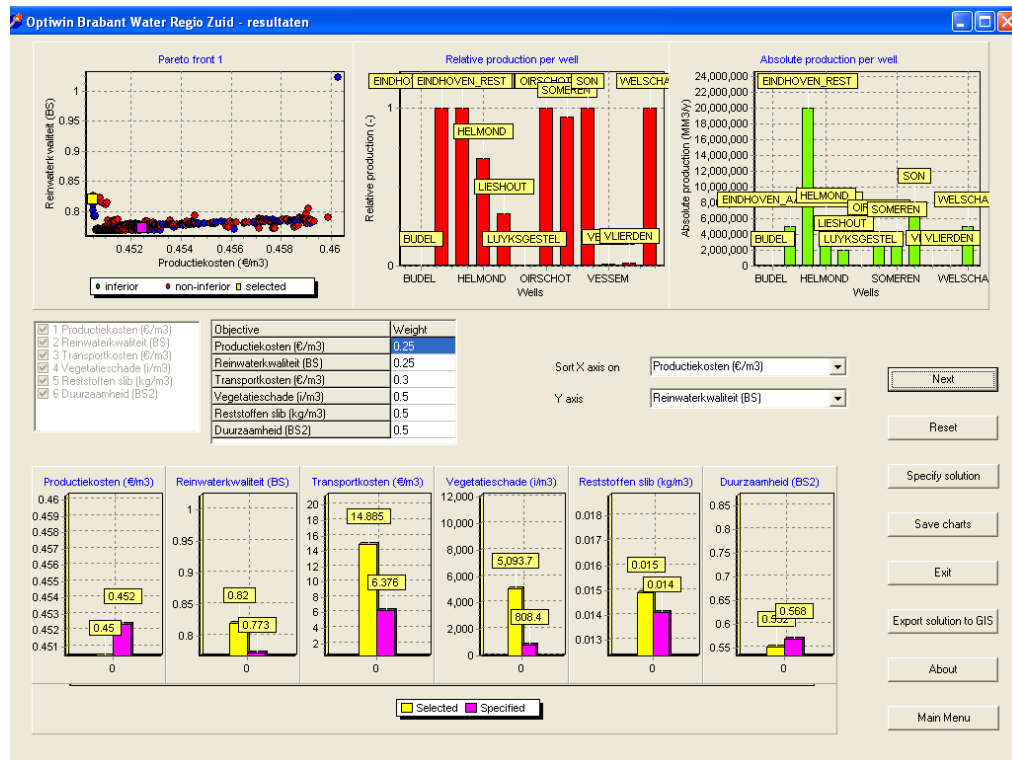
Wanneer de optimalisatie klaar is, dan bestaat er een verzameling van enkele honderden Pareto-efficiënte oplossingen die het gehele spectrum aan mogelijke debietverdelingen bestrijken. Het scherm resultaten bevat diverse functies om uit deze verzameling die oplossingen (te beschouwen als scenario's) te selecteren die het beste overeenkomen met de voorkeuren van de gebruiker. In Figuur 15 is een screendump weergegeven van het resultaat scherm.

Grafiek 1, linksboven op het scherm toont de verzameling Pareto-efficiënte oplossingen (scenario's). De scenario's zijn weergegeven in de kleuren blauw en rood; wanneer een scenario voor één paar doelfuncties Pareto-efficiënt is wordt deze in rood weergegeven, wanneer deze voor meerdere paren van doelfuncties Pareto-efficiënt is wordt deze in blauw getoond.

Grafiek 2 geeft de benutting van elke winning in Regio Zuid weer van de geselecteerde oplossing. Deze is in grafiek 1 aangegeven met een geel vierkantje.

Grafiek 3 toont het debiet van het geselecteerde scenario op een absolute schaal. Ieder stipje in grafiek 1 correspondeert met een scenario.

Op de onderste rij staafdiagrammen zijn per doelfunctie de indicatorwaarden van de geselecteerde oplossing in grafiek 1 weergegeven (in geel), eventueel aangevuld met die van een handmatig gespecificeerde oplossing (in paars).



Figuur 15 Resultatenschermscherm van Optiwin

De assen van de grafiek kunnen door de gebruiker gekozen worden m.b.v. de twee combo-boxen onder grafiek 2 en grafiek 3. De oplossingen worden gesorteerd zodat met de button "Next" in overeenstemming met de volgorde van de oplossingen op de x-as van het ene naar het andere scenario kan worden genavigeerd. Er zijn twee aanvullende mogelijkheden met betrekking tot de selectie van de indicatorwaarden op de assen, resp. de Pareto-score van de scenario's en een op weging van meerdere indicatorwaarden gebaseerde schaal. De Pareto-score van een scenario wordt berekend door het aantal paren assen waarvoor het betreffende scenario Pareto-efficiënt is te sommeren. De weging van de verschillende doelfuncties kan door de gebruiker worden gespecificeerd in box 2 (kolomnamen 'objective' en 'weight').

Wanneer de gebruiker een bepaald scenario in detail wil inspecteren, dan kan door het klikken op de button "Export solution to GIS" het scenario worden herberekend en de uitvoer worden voorbereid op import in een GIS.

4 Resultaten

4.1 Validatie van de resultaten

Genetische algoritmen behoren tot de groep heuristische optimalisatietechnieken. Deze groep past een gediscretiseerde, iteratieve verkenning van de zoekruimte toe, waarbij een grote mate van flexibiliteit bestaat ten aanzien van mogelijkheden om voorwaarden voor geldige oplossingen te formuleren. Een belangrijk aandachtspunt is de validatie van de verkregen resultaten. Het moet voldoende zeker zijn dat de berekende optima de echte 'global' optima zijn, en niet suboptimale 'local' optima. Eén van de manieren om de resultaten althans gedeeltelijk te valideren is door de extreme einden van de Pareto fronts te vergelijken met door deductie verkregen resultaten. De menselijke geest is namelijk goed in staat om deducerend, dat wil zeggen redenerend op basis van logische principes, extreme oplossingen van het optimalisatievraagstuk te identificeren. Zo kunnen mensen direct inzien dat bij een productieconfiguratie met de laagste kosten in ieder geval de productielocatie met de laagste kosten per m³ geproduceerd drinkwater op volle capaciteit ingeschakeld dient te zijn, mits het transportsysteem daarbij niet als beperkende factor optreedt. Niet-extreme oplossingen corresponderen met bepaalde waarderingsschema's. Waarderingschema's maken een gewogen conversie van de ene effectcategorie in een andere mogelijk en de corresponderende optimale oplossingen zijn veel moeilijker door de ongewapende menselijke geest te identificeren en kunnen daarom niet goed met deductie worden gevalideerd.

De partiële validatie van de resultaten is op analoge wijze uitgevoerd voor alle doelen. Een overzicht van de validatie is in het navolgende uitgewerkt.

Variabele productiekosten

- Winning met de hoogste variabele productiekosten: Luykgestel
- Debiet van deze winning in de (extreme) oplossing met minimale productiekosten: 0 Mm³/j
- Winning met de laagste variabele productiekosten: Son
- Debiet van deze winning in de (extreme) oplossing met minimale productiekosten: maximaal (8 Mm³/j)
- Conclusie: resultaat Optiwin stemt overeen met deductieve analyse

Reinwaterkwaliteit

- Winning met de beste gewogen kwaliteitsindex voor reinwaterkwaliteit: Son en Lieshout
- Debiet van deze winningen in de (extreme) oplossing met maximale gewogen reinwaterkwaliteit productiekosten: resp. 8,0 en 6,0 Mm³/j
- Conclusie: resultaat Optiwin stemt overeen met deductieve analyse

Vegetatieschade

- Winningen met minimale vegetatieschade: diepe winningen: Eindhoven-rest⁴, Lieshout, Oirschot, Someren, Son, Vlierden, Welschap
- Winningen met de meeste vegetatieschade: Eindhoven-Aalsterweg, Budel, Vessem, Luykgestel, Helmond (middeldiep)
- De debietconfiguratie uit de verzameling pareto-efficiënte oplossingen met minimale vegetatieschade is gepresenteerd in Tabel 3. Uit de resultaten blijkt dat de diepe winningen, waarvoor geen vegetatieschade wordt berekend, maximaal of tenminste voor een groot deel van hun productiecapaciteit zijn ingezet terwijl middeldiepe winningen, waarbij wel een negatief effect op vegetatie wordt berekend alleen met zeer kleine debieten zijn ingezet. Bij zeer kleine debieten is de vegetatieschade van de middeldiepe winningen zeer gering of nul.
- Conclusie: resultaat Optiwin stemt overeen met deductieve analyse

⁴ Behalve PS Aalsterweg

Tabel 3 Berekende debietconfiguratie met minimale vegetatieschade

Naam	Capaciteit (Mm ³ /j)	Debiet bij minimale vegetatieschade (Mm ³ /j)	Benutting	Vegetatie-effect
Budel	5.5	0	Min	-
Eindhoven_rest	20	19.35	≈Max	0
Eindhoven-Aalsterweg	5	0.91	Laag	-
Helmond	8	0.99	Laag	-
Lieshout	6	5.95	≈Max	0
Luyksgestel	2	0.53	Laag	-
Oirschot	4	3.97	≈Max	0
Someren	4	3.76	Hoog	0
Son	8	7.94	≈Max	0
Vessem	8.5	0.82	Laag	-
Vlierden	4.5	4.22	Hoog	0
Welschap	5	4.96	≈Max	0

Reststoffen (slib)

- Winning met de beste gewogen kwaliteitsindex voor reststoffen: Oirschot
- Winning met de meest ongunstige kwaliteitsindex voor reststoffen: Budel
- Debiet van Oirschot in de (extreme) oplossing met beste score voor reststoffen: 4,0 Mm³/j (maximaal)
- Debiet van Budel in de (extreme) oplossing met beste score voor reststoffen: 0 Mm³/j (minimaal)
- Conclusie: resultaat Optiwin stemt overeen met deductieve analyse

Duurzaamheid

- Winning met de beste gewogen index voor duurzaamheid: Welschap
- Winning met de meest ongunstige index voor duurzaamheid: Vessem
- Debiet van Welschap in de (extreme) oplossing met beste score voor duurzaamheid: 5,0 Mm³/j (maximaal)
- Debiet van Vessem in de (extreme) oplossing met beste score voor reststoffen: 0,1 Mm³/j (≈minimaal)
- Conclusie: resultaat Optiwin stemt overeen met deductieve analyse.

4.2 Vergelijking met het Beheersplan 2008

De optimale onttrekkingconfiguratie die in het Beheersplan voor Regio Zuid naar voren is gekomen is gespecificeerd in Tabel 4.

Tabel 4 Optimale onttrekkingconfiguratie Beheersplan 2008(Vos en Eck, 2008)

WPB Regio Zuid	afzet 2008 PLAN	benutting 2008 PLAN
	mlj m3	%
Budel	2,00	59%
Eindhoven	18,47	74%
Helmond	5,40	60%
Lieshout	2,71	47%
Luyksgestel	1,40	74%
Oirschot	3,15	95%
Someren	2,50	66%
Son	7,60	95%
Vessem	3,53	54%
Vlierden	3,30	79%
Welschap	3,33	67%
Totaal Zuid	53,39	70%

Benutting = afzet gedeeld door productiecapaciteit

Productiecapaciteit = vergunningsruimte minus eigen water verbruik.

De resultaten van de berekeningen met Optiwin zijn vergeleken met de optimale configuratie volgens het Beheersplan 2008 van Brabant Water. Bij de keuze voor de optimale onttrekkingconfiguratie is in het Beheersplan gebruik gemaakt van een weging van de verschillende criteria. De berekening van verschillende randvoorwaarden en effecten is in Optiwin niet exact gelijk aan die in het Beheersplan, omdat in Optiwin alle effecten met modellen zijn berekend.

Tabel 5 Wegingsfactoren per criterium in het Beheersplan 2008 en Optiwin

	Beheersplan 2008	Optiwin set 1	Optiwin set 2
Productiekosten (€/m3)	0.25	0.25	0.25
Reinwaterkwaliteit (BS)	0.25	0.25	0.25
Transport(druk)	-	0	0.3
Vegetatieschade (i/m3)	-	0	0.5
Reststoffen slib (kg/m3)	-	0	0.5
Duurzaamheid (BS2)	0.5	0.5	0.5

In Optiwin is een selectie van de best scorende oplossingen uitgevoerd volgens twee verschillende sets van wegingsfactoren. De verschillen tussen beide sets houden verband met de verschillende wijze waarop de effecten voor de betreffende criteria zijn bepaald in het resp. het Beheersplan en Optiwin. In het Beheersplan is voor bepaling van de effecten van debietconfiguraties ten aanzien van transport, vegetatieschade en duurzaamheid meer gebruik gemaakt van ervaring en expert oordeel, terwijl daarvoor in Optiwin uitsluitend indicatieve berekeningen met modellen zijn gebruikt.

Wanneer zoveel mogelijk dezelfde weging wordt toegepast op de dataset met scenario's die met Optiwin zijn berekend, dan blijkt dat de optimale oplossing volgens het Beheersplan niet overeenkomt met die van Optiwin. Uit nader onderzoek is gebleken dat verschillen in grote mate te verklaren zijn doordat bij de keuze van het optimale scenario in Optiwin transportberekeningen voor een gemiddelde watervraag

zijn toegepast, en niet voor condities met een hoge vraag. Rekening houdend met deze verschillen stemmen de resultaten in grote lijnen met die van het Beheersplan 2008 overeen.

Tabel 6 Vergelijking van resultaten uit het Beheersplan 2008 met Optiwin

Woningen	Debietten (Mm3/j)		
	Beheersplan 2008	Optiwin set 1	Optiwin set 2
Budel	2.0	0.0	0.0
Eindhoven	18.5	23.4	20.1
Helmond	5.4	1.7	0.0
Lieshout	2.7	6.0	6.0
Luyksgestel	1.4	0.0	1.9
Oirschot	3.2	4.0	4.0
Someren	2.5	4.0	4.0
Son	7.6	8.0	8.0
Vessem	3.5	0.4	0.5
Vlierden	3.3	0.9	4.1
Welschap	3.3	5.0	5.0

4.3 Algemene conclusies

Op grond van de in dit rapport beschreven analyses en de ervaringen tijdens de gehouden workshop wordt geconcludeerd dat er een nuttig en bruikbaar beslissingondersteunend instrument is ontwikkeld voor het maken van beheersplannen. Het instrument is echter nog niet uitontwikkeld. Nadere ontwikkeling is slechts mogelijk in nauwe samenwerking met gebruikers van de tool bij de drinkwaterbedrijven. In voorliggende studie heeft het accent gelegen op de ontwikkeling van het instrument. Gebruik bij de drinkwaterbedrijven in de dagelijkse praktijk is nog onvoldoende aan de orde geweest.

Aanbevelingen

Het instrument kan verbeterd worden door diverse componenten verder te ontwikkelen:

- Verbeteren van het gebruiksgemak van de tool, bij zowel het uitvoeren van optimalisatieberekeningen als het zoeken van interessante oplossingen in de gegevensbank.
- De handleiding uitbreiden en verbeteren.
- Transportberekeningen voor piekvraagcondities.
- De indicatorwaarde "Haalbaarheid transport" uitbreiden met een indicatie van de benodigde kosten voor het aanpassen van het transportnetwerk. Verwerking van de exploitatiekosten van het drinkwatertransport in de optimalisatie. Integratie van verblijftijdberekeningen in het distributienetwerk in de optimalisatie.
- De benodigde rekentijd voor Ecoflex reduceren. Deze bedraagt de rekentijd voor een optimalisatie (bestaande uit honderden alternatieven) ongeveer 250 uur. Een

voorziening die ervoor zorgt dat de vegetatie-effecten aanvankelijk globaal worden berekend en gaandeweg in de optimalisatie meer gedetailleerd kan hier een oplossing bieden. Een interessante alternatieve aanpak om rekestijden te reduceren is toepassing van 'Grid computing', het inzetten van meerdere PC's tegelijkertijd.

- Ecoflex uitbreiden zodat effecten van ASR (Aquifer Storage & Recovery) op vegetatie adequaat kunnen worden verkend. De in de voorliggende studie gebruikte Tim grondwatermodellen zijn overigens stationair en ondersteunen de berekening van seizoenseffecten ook niet.

5 Literatuur

- Bakker M. 2006. Tim manual, version 0.5. Date: 14 February, 2006. <http://bakkerhydro.org/timml/index.html>
- Beasley D., D. R. Bull and R. R. Martin, 1993. An overview of genetic algorithms, University Computing.
- Burrough, P.A., 1986. "Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment", 1986 Clarendon Press Oxford.
- Cirkel, D.G., D. van der Loo en Patrick van der Wens, 2005. Brabant Water Beheersplan Watervoorziening 2006; Verbetering inzet productiemiddelen. Brabant Water 's-Hertogenbosch
- Holland, J.H., 1975. Adaptation in natural and artificial systems MIT Press.
- Meuleman, A.F., R.A. Kloosterman, W. Koerselman, M. den Besten & A.J.M. Jansen, 1996. NICHE: een nieuw instrument voor hydro-ecologische effectvoorspelling. H2O 5: 37-9.
- Pareto V., 1906. Manual of political economy. Kelley Pubs; Reprint edition (1969)
- Ramaker, A.B., M. Blokker, R. Beuken, G.A. van den Berg, G. Cirkel, E. Cornelissen, A. Doomen, J. Kappelhof, B. Raterman, P. Stuyfzand, K. Vink, 2006. "Flexwater, inventarisatie van bronnen, berging, zuivering en infrastructuur", Kiwa Water Research BTO 2006.036
- Rossman, Lewis A., 2000. Epanet 2 Users Manual. Water Supply and Water Resources Division. National Risk Management Research Laboratory Cincinnati, OH 45268. United States Environmental Protection Agency EPA/600/R-00/057 September 2000
- Runhaar, J. & S.M. Hennekens, 2005. Hydrologische randvoorwaarden natuur versie 2. Gebruikershandleiding bij applicatie Hydrologische Randvoorwaarden Natuur versie 2 die wordt verspreid via de website www.synbiosys.alterra.nl/waternood/. Alterra, Wageningen.
- Vink, C. 2006. "Continuing lines - application of heuristic optimisation techniques for spatial environmental problems with multiple objectives". Thesis. ISBN 798907383883 3
- Vink, C. and P.P. Schot., 2000. "Application of a genetic algorithm in a GIS-based decision support system for multi-objective optimisation of drinking water production". Proceedings from the 4th International Conference on GIS and Environmental Modelling (GIS/EM4), Banff, Canada, September 2-8, 2000. <http://www.colorado.edu/research/cires/banff/pubpapers/187/>
- Vink, C; Schot, P.P. 2002. "Multiple objective optimization of drinking water production strategies using a genetic algorithm" Water Resources Research, Vol. 38, No. 9, doi:10.1029/2000WR000034, 2002
- Vink, C, P. J. Stuyfzand, B. Raterman, C. Maas, I. Leunk, D.G. Cirkel, 2007. Flexwater Pilot Noordoostpolder; Verkennend onderzoek naar mogelijkheden voor brakwaterwinning met Optiwin. Kiwa Water Research BTO 2007.029.
- Vos. F. en M. Eck, 2007. Brabant Water Beheersplan Watervoorziening 2008. Brabant Water 's-Hertogenbosch.
- Witte, J.P.M., M.W.A. de Haan & M.J.M. Hootsmans, 2007. PROBE: een model voor vegetatiedoelen. Landschap 24(2): 77-87.
- Witte, J.P.M., 2008. Grondwater als bron voor biodiversiteit. Inaugurele rede VU, Amsterdam.

Bijlagen

Bijlage 1 Natuurdoeltypen

Code	Benaming natuurdoeltype
1	Beek/Rivier/Waterloop met natuurvriendelijke oevers
45	Berkenbroekbos
49	Berkenbroekbos/Elzenbroekbos
37	Berken-Eikenbos (d)
50	Berken-Eikenbos (d)/Beuken-Eikenbos (d)
38	Berken-Eikenbos (v)
51	Berken-Eikenbos (v)/Berkenbroekbos
52	Berken-Eikenbos (v)/Beuken-Eikenbos (v)
39	Beuken-Eikenbos (d)
40	Beuken-Eikenbos (v)
53	Beuken-Eikenbos (v)/Eiken-Haagbeukenbos
54	Beuken-Eikenbos (v)/Eiken-Haagbeukenbos/Elzenbroekbos
55	Beuken-Eikenbos (v)/Eiken-Haagbeukenbos/Vogelkers-Essenbos
56	Beuken-Eikenbos (v)/Vogelkers-Essenbos
22	Blauwgrasland
10	Bloemrijk grasland (d)
57	Bloemrijk grasland (d) en Braam/Doornstruweel
11	Bloemrijk grasland (d/v)
58	Bloemrijk grasland (d/v) en Braam/Doornstruweel
12	Bloemrijk grasland (v)
59	Bloemrijk grasland (v) en Braam/Doornstruweel
47	Bos met verhoogde natuurwaarde
33	Braam/Doornstruweel
14	Brak grasland
20	Dotterbloemhooiland
24a	Droge heide
17	Droog/Heischraal grasland
60	Droog/Heischraal grasland en Braam/Doornstruweel
61	Droog/Heischraal grasland en heide
62	Droog/Heischraal grasland en Zandverstuiving
41	Eiken-Haagbeukenbos
63	Eiken-Haagbeukenbos/Vogelkers-Essenbos
46	Elzenbroekbos

Code	Benaming natuurdoeltype
43	Essen-Iepenbos
64	Essen-Iepenbos/Elzenbroekbos
34	Gagelstruweel
36b	Griend (Hakhout/Griend)
31	Grote zeggenmoeras
36a	Hakhout (Hakhout/Griend)
26	Hoogveen
21	Kleine zeggenmoeras
29	Moeras
65	Moeras/Open begroeiing
48	Multifunctioneel bos
4	Multifunctioneel water
25	Natte heide
66	Natte heide/Gagelstruweel
67	Natte heide/Hoogveen
30	Natte ruigte
2	Natuurlijke laaglandbeek
68	Natuurlijke laaglandbeek/Moeras
3	Nevengeul
44	Ooibos
69	Ooibos en Braam/Doornstruweel
27	Open begroeiing
9	Reservaatsakker
32	Rietmoeras
70	Rietmoeras/Grote zeggenmoeras
71	Rietmoeras/Grote zeggenmoeras/Natte ruigte
15	Rivierduin
28	Slik
5	Soortenrijk water
16	Stroomdalgrasland
72	Stroomdalgrasland/Bloemrijk grasland (d/v)
73	Stroomdalgrasland/Bloemrijk grasland (d/v) Rivierduin en Slik
6	Ven (gebufferd)
7	Ven (onbufferd)
8	Ven (onbufferd-gebufferd)

Code	Benaming natuurdoeltype
19	Vochtig heischraal grasland
74	Vochtig heischraal grasland en heide
18	Vochtig schraalland
75	Vochtig schraalland en heide
76	Vochtig schraalland/Bloemrijk grasland
24b	Vochtige heide
42	Vogelkers-Essenbos
77	Vogelkers-Essenbos/Elzenbroekbos
13a	Weidevogelgrasland
35	Wilgenbroekbos
78	Wilgenbroekbos/Elzenbroekbos
13b	Wintergastengrasland
23	Zandverstuiving
79	Zandverstuiving/Droge heide
-	Geen code

