

32 / uu6(660) 2^{ee} x.

**Waterconservering en multifunctioneel landgebruik
ten behoeve van ondiepe waterwinning en natte natuur**

P.E.V. van Walsum en A.A. Veldhuizen

BIBLIOTHEEK "DE HAAFF"
Droevendaalsesteeg 3a
6708 PB Wageningen

27 APR 2000

Rapport 660

Staring Centrum, Wageningen, 1999

in 970749

REFERAAT

P.E.V. van Walsum en A.A. Veldhuizen. *Waterconservering en multifunctioneel landgebruik ten behoeve van ondiepe waterwinning en natte natuur*; 1999. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 660. 92 blz.; 38 fig.; 9 tab.; 19 ref.

Het in dit rapport besproken project 'Multifunctioneel landgebruik en waterconservering' is onderdeel van DTO-project Duurzaam Landgebruik. Voor een studiegebied nabij Winterswijk is met een hydrologisch model middels een aantal scenario's andere inzicht verkregen in de sturings- en waterconserveringsmogelijkheden van het gebiedseigen water en is de 'waterwinst' gekwantificeerd bij verschillende combinaties van landgebruik en waterbeheer. De aanleg van een reservoir stond steeds centraal. Tevens is aandacht besteed aan de gevolgen voor landbouw en natuur.

Trefwoorden: waterconservering, multifunctioneel landgebruik, reservoir, diepe drainage.

ISSN 0927-4499

Dit rapport kan te bezien door NLR 35.00 over te maken op banknummer 36 90 84 612 ten name van het Staring Centrum, Wageningen, onder vermelding van Rapport 660. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 1999 Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC),
Postbus 125, NL-6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

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

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.

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

Projectnummer 85027

[Rapport 660/IS/12-99]

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Projectkader	13
1.2 Methodiek	14
2 Modellerings stroomgebiedshydrologie van het proefgebied	17
2.1 Inleiding	17
2.2 Implementatie van het model	17
2.2.1 Ruimtelijke indeling en tijdstappen	17
2.2.2 Grondwater	18
2.2.2.1 Maaiveld	18
2.2.2.2 Schematisering van de ondergrond	18
2.2.2.3 Randvoorwaarden en grondwaterwinningen	20
2.2.3 Bodemwater en vegetatie-atmosfeer interacties	21
2.2.3.1 Schematisering, bodemkaart en bodemgebruik	21
2.2.3.2 Verdamping	22
2.2.3.3 Waterbalans van de wortelzone	22
2.2.3.4 Freatische berging in de ondergrond	23
2.2.3.5 Berging van water op het maaiveld	24
2.2.4 Oppervlaktewater	24
2.2.4.1 Schematisering	24
2.2.4.2 Interactie tussen grond- en oppervlaktewater	25
2.2.4.3 Dynamiek van het oppervlaktewater	28
2.3 Toetsing en bijstelling invoergegevens	29
3 Ecologische en landbouwkundige evaluatie	33
3.1 Ecologische evaluatie (verzorgd door KIWA)	33
3.1.1 Actuele grondwaterafhankelijke vegetatie	33
3.1.2 Potentieel natuurlijke vegetatie	33
3.2 Landbouwkundige evaluatie	35
4 Scenario-onderzoek	39
4.1 Inleiding	39
4.2 Maatregelen en scenario's	39
4.3 Resultaten	43
4.3.1 Aanleg van een reservoir	43
4.3.2 Beheer van het reservoir	46
4.3.3 Waterconservering met peilopzetten	53
4.3.4 Diepe drainage in waterconserveringsgebieden	55
4.3.5 Multifunctioneel landgebruik	63

4.4	Ecologische evaluatie (verzorgd door KIWA)	67
4.5	Landbouwkundige evaluatie	70
5	Conclusies	73

Literatuur	77
------------	----

Aanhangsels

1	Maaiveldshoogtekaart	79
2	Bodemkaart	83
3	Grondwatertrappenkaart	87
4	Afwateringsstructuur	91

Woord vooraf

Voor het project Duurzaam Landgebruik, onderdeel van het interdepartementale onderzoekprogramma Duurzame Technologische Ontwikkeling (DTO), werden in 1996 een aantal ideeën voor multifunctioneel landgebruik beschreven. Deze ideeën, de zogenaamde voorbeeldsystemen, waren bijna futuristisch van aard en er werd van uitgegaan dat alles mogelijk was en ooit technisch realiseerbaar zou worden. Zo werd ook een zogenaamd voorbeeldsysteem voor waterwinning in combinatie met agrarische productie, natuurbeheer en recreatie op papier gezet. In een volgende fase van het project Duurzaam Landgebruik werden op basis van de voorbeeldsystemen projectvoorstellen geschreven met een grotere haalbaarheid onder huidige omstandigheden. In het projectvoorstel 'Multifunctioneel landgebruik en waterconservering' werd voor water en vooral ook natuur een nadere uitwerking van de voorbeeldsystemen gegeven, die in de praktijk realiseerbaar moest zijn. Vervolgens werd geconstateerd dat voor dit alles een voorstudie nodig was voor een nader aan te wijzen gebied om de mogelijkheden voor waterwinning in combinatie met natuur en landbouw concreet in beeld te brengen. Als belangrijkste eis werd gesteld dat het aan te wijzen gebied een (deel)stroomgebied met een ondiep freatisch systeem zou moeten zijn met zo min mogelijk hydrologische invloeden van buiten het gebied. In het gebied rond Winterswijk is zo'n gebied gezocht en gevonden bij de Stortelersbeek. Vervolgens is de beoogde voorstudie in 1998 gestart.

Dit rapport doet verslag van deze voorstudie die grotendeels is uitgevoerd door Staring Centrum (SC) in opdracht van het waterschap Rijn en IJssel (WRIJ), mede gefinancierd uit programmagelden. De algehele projectleiding was in handen van ir. A. Oldenkamp; ir. P.E.V. van Walsum was de technische projectleider. De modelstudie is uitgevoerd door ir. A.A. Veldhuizen en ir. P.E.V. van Walsum (beiden SC). Ir. M.J.D. Hack-ten Broeke van SC heeft een bijdrage geleverd aan de afronding en rapportage. Dr. A.F.M. Meuleman (KIWA) heeft zorg gedragen voor de beschrijving van de ecologie van het gebied (par. 3.1) en de effecten van de scenario's op de ecologische potenties (par. 4.4). De landbouwkundige evaluatie is uitgevoerd in samenwerking met dr. ir. H. Korevaar en dr. A.K. van der Werf (beiden AB-DLO).

De begeleiding van het project was in handen van de projectgroep waterconservering, bestaande uit de volgende personen:

A. Oldenkamp (voorzitter)	Waterschap Rijn en IJssel
A. van der Werf	AB-DLO
C. Vredeveld	Natuurmonumenten
G. Winters	Arcadis
J. Tiggeloven	WCL
L. Lekkerkerk	Provincie Gelderland
M. Laeven	KIWA
O. de Kuijer	KDO-consulting
P. van Walsum	SC
R. Awater	Waterbedrijf Gelderland
W. Waalderbos	GLTO

Samenvatting

In het kader van het DTO-project Duurzaam landgebruik is voor het gebied van de Stortelersbeek bij Winterswijk een hydrologische voorstudie uitgevoerd om zicht te krijgen op de sturingsmogelijkheid van water ten behoeve van waterconservering en multifunctioneel landgebruik in het gebied. De multifunctionaliteit betreft verschillende vormen van landbouwkundig gebruik, natuur, recreatie en waterconservering. Het gekozen gebied voldoet aan de vooraf gestelde eis dat het een (deel)stroomgebied moest betreffen met een ondiep freatisch systeem waarbij de regionale grondwaterstroming geen grote rol speelt.

De vraagstelling van dit onderzoek vraagt om een model van het gehele waterhuishoudkundige systeem, en niet alleen van grond- en oppervlaktewater. Het model SIMGRO (Veldhuizen e.a., 1998) modelleert het waterhuishoudkundige systeem als een integraal geheel en is daarom gekozen voor deze studie. Het gemodelleerde gebied is 464 ha groot en bestaat uit 37 deelstroomgebieden. De cellen van het grondwatersysteem representeren gemiddeld 600 m². Het gebiedsmodel is getoetst aan de hand van de grondwatertrappenkaart, schaal 1: 10000 (Kleijer en Ten Kate, 1998).

Deze studie had als doel om:

- inzicht te geven in de sturings- en conserveringsmogelijkheden van water;
- een kwantificering te geven van de waterwinst bij verschillende combinaties van landgebruik en sturingsstrategieën van het water;
- het perspectief te schetsen voor de verschillende landgebruikers en belanghebbenden (landbouw, natuur, water);
- het voorkeursscenario te formuleren voor de uitvoering.

Er is een aantal scenario's gedefinieerd om te achterhalen wat de (sturings)mogelijkheden voor waterwinning en -conservering zijn en om na te kunnen gaan welke maatregelen het meest effectief zijn. Voor elk scenario is nagegaan wat de leverantiebetrouwbaarheid van water zou zijn. De leverantiebetrouwbaarheid is de tijdsfractie dat een bepaald vooraf gekozen debiet minimaal wordt geleverd. Dit debiet is relevant voor eventuele waterwinning maar ook voor de watervoerendheid van de beek benedenstrooms. Voor de meest relevante scenario's is vervolgens bepaald wat het effect zou kunnen zijn op natuurwaarden (potenties voor natuur) en op landbouwkundige gebruiksmogelijkheden.

De gedefinieerde hoofdscenario's zijn:

1. huidige situatie
2. aanleg van een reservoir
3. beheer van het reservoir
4. waterconservering door middel van opzetten van het peil
5. diepe drainage

Binnen deze hoofdscenario's zijn soms meerdere varianten geformuleerd om te komen tot een verkenning van de verschillende mogelijkheden en combinaties. Zo

zijn in de scenario's 4 en 5 varianten opgenomen om het effect van toepassing van multifunctioneel grasland of bouwland te onderzoeken.

Het reservoir met een omvang van 13,8 ha is midden in het proefgebied aangelegd. De locatie is gekozen op grond van de goede hydrologische omstandigheden, maar hoeft niet de plaats aan te geven waar daadwerkelijk een reservoir zal worden aangelegd. Het gaat er in deze modelstudie om het effect van een fictief reservoir te kwantificeren. Het totale areaal van het toevoergebied voor dit fictieve reservoir is 305 ha en dat is 67% van het proefgebied. De locatie middenin het proefgebied maakt het mogelijk om de eventuele benedenstroomse positieve effecten op de natuurwaarden te onderzoeken. Het reservoir is bij het afdampunt 1 m diep uitgegraven en de bijbehorende maximale waterdiepte van het reservoir is 2 m. De maximale inhoud van het reservoir komt daarmee op 275 000 m³ en met de oppervlakte van 305 ha van het toevoergebied wordt een opslagcapaciteit van 90 mm gecreëerd. Op basis van de resultaten voor verschillende aftapdebieten is ervoor gekozen om de overige scenario's door te rekenen met een aftapdebiet van 25 l s⁻¹. Dit komt overeen met 260 mm per jaar.

Bij het scenario voor beheer van het reservoir (scenario 3) zijn varianten doorgerekend met een dam met doorlaatopening om het debiet uit het reservoir te regelen. Voor dat debiet is zonder verdere maatregelen een leverantiebetrouwbaarheid van 0,76 te bereiken. Voor scenario 1 en 2 is dit 0,30.

Bij scenario 4 wordt grondwaterconservering verondersteld door het opzetten van peilen in de bovenstroomse toevoergebieden. Het idee achter het opzetten van peilen is dat de grondwaterafvoer naar de beek geleidelijker zal zijn en een verbeterde continuïteit zal vertonen. De grondwaterconservering is geïmplementeerd in twee aparte deelgebieden, samen 43% van het toevoergebied. Hier is het winterpeil overall op 0,90 m - mv. gebracht en het zomerpeil op 0,50 m - mv. De leverantiebetrouwbaarheid verandert als gevolg van de maatregelen echter niet en blijft dus 0,76. De hoofdoorzaak hiervoor is dat het gebied een niet erg doorlatende ondergrond heeft, waardoor de ondergrondse voeding van het reservoir en van de benedenstroomse beektrajecten door de grotere watervoorraad in de bovenstroomse gebieden niet wordt verhoogd.

In scenario 5 wordt in het waterconserveringsgebied (flexibele) diepe drainage (op 2 m diepte) toegepast. Door diep te draineren wordt ruimte gecreëerd in de grond voor de tijdelijke opslag van water. Met de flexibele drainage kan deze opslag naar wens worden aangesproken in situaties dat de waterleverantie vanuit het reservoir wegens watergebrek wordt onderbroken. De geohydrologische omstandigheden in het gebied van de Stortelersbeek zijn daarbij zodanig dat de verdroging als gevolg van diepe drainage een relatief lokaal effect hebben, dit in tegenstelling tot grondwaterwinningen in goed doorlatende aquifers elders in de Achterhoek.

Het blijkt dat flexibele drainage de hoogste leverantiebetrouwbaarheid voor het water uit het reservoir kan geven, namelijk een waarde van 0,93 tegenover maximaal 0,92 voor permanente drainage. Dat is in beide gevallen een forse verbetering ten opzichte van de 0,76 die zonder diepe drainage wordt gehaald. Uit het oogpunt van kosten en

praktische uitvoerbaarheid lijkt diepe drainage zonder een regelmechanisme te prefereren boven flexibele drainage. Het voordeel van flexibele drainage is echter dat kan worden volstaan met een kleiner reservoir. Daarbij komt dat er in de conserveringsgebieden minder droogte voor de landbouw zal zijn.

Het belangrijkste hydrologische effect van de grondgebruiksalternatieven is de verandering van de potentiële verdamping. Zowel in combinatie met scenario 4 als met scenario 5 is daarom een scenario doorgerekend met een 15% lagere potentiële verdamping. De leverantiebetroouwbaarheid neemt daardoor bij scenario 4 toe tot 0,82. In combinatie met scenario 5 treedt als gevolg van gereduceerde verdamping een kleine verbetering op in de leverantiebetroouwbaarheid.

Voor drie deelgebieden in het Stortelersbeekgebied is nagegaan wat de potenties zijn voor natuur voor verschillende scenario's. Hiertoe zijn voor een aantal SIMGRO-knooppunten in die gebieden (Blekkinkveen, raai Stortelersbeek, waterconservering Kobus) de grondwaterniveaus als gevolg van de verschillende scenario's gehanteerd om na te gaan of de grondwaterafhankelijke vegetatie zou kunnen veranderen.

In de huidige situatie zijn slechts weinig grondwaterafhankelijke natuurwaarden aanwezig, terwijl er op meer locaties potenties voor natuur zijn. Dat betekent dat al bij de huidige potentiële natuurwaarden een inrichting van het gebied mogelijk is met meer grondwaterafhankelijke natuur. De vergelijking tussen de scenario's betreft steeds de potenties voor natuur.

Voor het Blekkinkveen overheersen zure, voedselarme tot matig voedselrijke omstandigheden. De waterconservering (scenario 4) binnen het Stortelersbeekgebied kan op een aantal locaties in het Blekkinkveen leiden tot basenrijke omstandigheden als gevolg van de toegenomen GLG en de toegenomen kwel. Scenario 5 (diepe drainage) zal voor het Blekkinkveen leiden tot een vermindering van de potentie voor grondwaterafhankelijke natuur ten opzichte van de huidige situatie.

Voor de raai dwars op de Stortelersbeek nabij landgoed 't Kreil zijn de omstandigheden in het centrale beekdal basenrijk en op de flanken van het beekdal zuur tot zwak zuur. Hierin komt geen verandering als gevolg van de verschillende scenario's.

Het waterconserveringsgebied nabij de Kobuswaterloop kent ook weer zure tot zwak zure omstandigheden. De verschillende scenario's brengen hierin geen verandering, behalve opnieuw bij waterconservering (scenario 4). Op enkele plekken kunnen daardoor meer basenrijke omstandigheden ontstaan met kansen voor Dotterbloemhooiland of Elzenbroek. Scenario 5 leidt ook hier weer tot een vermindering van de potentiële natuurwaarden, waardoor minder grondwaterafhankelijke vegetatie kan worden verwacht.

Een aantal criteria voor droogteschade en natschade zijn gehanteerd voor het huidige landbouwareaal in het gebied, waarbij wordt verondersteld dat het hele areaal in gebruik is voor één type landgebruik. De gebiedsgemiddelde effecten zijn berekend voor de scenario's 4 en 5.

Scenario 4 levert gemiddeld voor het proefgebied een iets minder gunstige landbouwkundige situatie op. Beschouwen we het optimale grondwaterstandcriterium dan is er voor alle typen landgebruik sprake van een geringe toename van de natschade ten opzichte van de huidige hydrologische situatie. De criteria voor droogte pakken echter gunstiger uit en voor grasland weegt dit op tegen de nadelige gevolgen van de vernatting. Voor bouwlandgebruikstypen en multifunctionele beplantingen is er geen sprake van vermindering van de droogteschade en is het netto effect een beperkte verslechtering van de landbouwkundige geschiktheid van 5 à 6%. Voor alle vormen van landgebruik scoren de bewerkbaarheid en kans op misoogst slechts 0 tot 4% slechter dan onder de huidige omstandigheden.

De diepe drainage van scenario 5 levert ten opzichte van de huidige situatie een vermindering van de natschade op. Door afname van natschade en toename van droogteschade is het netto effect voor de graslandgebruikstypen voor het optimale grondwaterstandcriterium opnieuw ongeveer nul. Voor de bouwlandgebruiksvormen en multifunctionele beplantingen is het netto effect als gevolg van afname van de natschade bij dit criterium een verbetering van de gebiedsgemiddelde score van 8 tot 13%. Ook de criteria voor bewerkbaarheid en misoogsten leveren een iets gunstiger beeld op voor het landbouwkundig gebruik. Bewerkbaarheid scoort 0 tot 4% beter. Voor misoogsten verandert de gemiddelde score -1 tot maximaal 7% voor verschillende graslandgebruiksvormen en slechts van 0 tot 4% voor bouwlandgebruiksvormen.

Door bij de daadwerkelijke inrichting van het gebied niet af te gaan op gebiedsgemiddelde effecten, maar juist rekening te houden met de lokale omstandigheden is het mogelijk om de verschillende maatregelen (selectieve verdroging en selectieve vernatting) en de voorgestelde vormen van multifunctioneel landgebruik zodanig te combineren dat een optimale relatie tussen de onderdelen ontstaat.

1 Inleiding

1.1 Projectkader

Om duurzaam in de maatschappelijke behoeften te kunnen voorzien dient op een andere wijze dan tot op heden het geval is geweest met het milieu, energie en grondstoffen te worden omgegaan. In het kader van het DTO-project Duurzaam Landgebruik is voor het proefgebied Winterswijk nagegaan hoeveel voedsel, water, natuur, energie het gebied zou kunnen produceren op grond van de van nature aanwezige eigenschappen (De Kuijer e.a., 1997). Hiervoor moet dan wel de milieuoverlast die de productie veroorzaakt worden opgelost en moet het land voor meerdere functies gelijktijdig gebruikt worden. In het werkdocument 'Duurzaam Landgebruik; van voorbeeldsystemen naar systeemonderzoek' (Aarts en De Kuijer, 1997) worden 9 onderzoeksvoorstellen aangereikt, die perspectiefvol lijken en er op gericht zijn om het gebied op een meer duurzame wijze in te richten en te beheren.

Eén van die onderzoeksvoorstellen is 'Multifunctioneel landgebruik en waterconservering', in het vervolg DTO-Waterconservering genoemd. Met multifunctioneel wordt hier het gebruik van de grond bedoeld door meerdere functies tegelijk. Conform het DTO-projectvoorstel is het doel de functies waterconservering en waterwinning in combinatie met zowel natuur als landbouw, biomassawinning uit natuur en bovendien energiewinning uit waterkracht met elkaar te verenigen. De functies worden gerealiseerd in één stroomgebied. De uitdaging van dit project ligt in het maximaliseren van de output van iedere functie op zich, zonder aan de randvoorwaarden van de andere functies afbreuk te doen (De Boer e.a., 1997). Dat laatste moet men overigens niet al te letterlijk opvatten: als alle mogelijkheden van 'win-win' zijn benut, dan gaan verdere maatregelen altijd gepaard met verlies voor de ene functie en winst voor de ander.

Deze studie heeft beoogd:

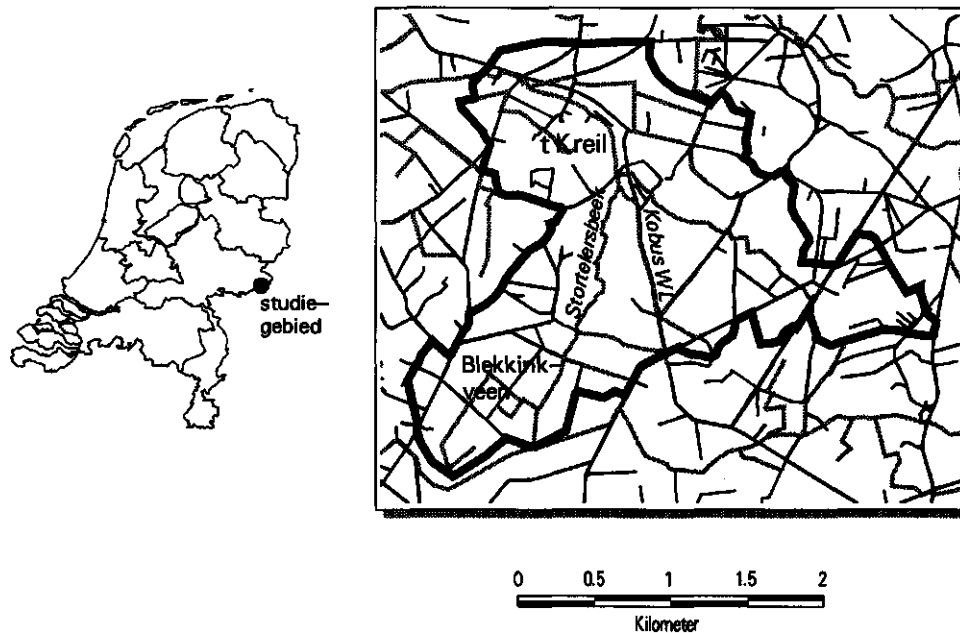
- inzicht te geven in de sturings- en conserveringsmogelijkheden van water;
- een kwantificering te geven van de waterwinst bij verschillende combinaties van landgebruik en sturingsstrategieën van het water;
- het perspectief te schetsen voor de agrariër, natuurbeheerder, waterbeheerder, watermaatschappij, etc;
- inzicht te geven in de hiaten in kennis en in de vragen die door middel van onderzoek-, demo- en de proefprojecten beantwoord moeten worden;
- het voorkeursscenario te formuleren voor het uit te voeren proefproject.

Ten opzichte van de oorspronkelijke onderzoeksvoorstellen is het onderzoek 'DTO-waterconservering' ingeperkt:

- het onderdeel energiewinning uit waterkracht blijft buiten beschouwing, omdat uit een recent afgeronde studie van het NUON is gebleken dat de potentiële energie-opwekkingsmogelijkheid met behulp van oppervlaktewater in het gebied beperkt is;

- vragen met betrekking tot waterkwaliteit blijven vooralsnog in de modellering buiten beschouwing.

Getracht is antwoord te geven op de onderzoeksvragen aan de hand van een regionale hydrologische modelstudie. Als proefgebied is gekozen de 'kop' van het stroomgebied van de Stortelersbeek, gelegen ten zuiden van Winterswijk. Het gebiedje heeft een omvang van 464 ha, en omvat een deel van het landgoed 't Kreil (zie Figuur 1).



Figuur 1 Ligging van het studiegebied

1.2 Methodiek

Bij het verrichten van een simulatiestudie dient men vooraf te bedenken aan welke eisen de modellering moet voldoen. Dat betreft ten eerste de vragen:

- welke systeemcompartimenten en –kenmerken dienen in beeld te worden gebracht?
- welke voorspelnauwkeurigheid wordt voldoende geacht voor het beantwoorden van de onderzoeksvraagstelling?

Wat betreft de relevante systeemcompartimenten wordt eerst ingegaan op het belang van het bodemwater:

- bodemwater heeft een regulerende invloed op de verdamping; na de neerslag is de verdamping de belangrijkste waterbalansterm, en dient daarom goed in beeld te worden gebracht in een waterconserveringsstudie;
- bodemwater speelt voor zowel de landbouw- als natuurfunctie een cruciale rol; het is daarom van belang die invloed in beeld te brengen en direct te relateren aan toestandsvariabelen van bodemwater (dus niet indirect via de bodemparameters).

Modellering van oppervlaktewater is gewenst in verband met de regulerende invloed die het heeft op het grondwater. Ook de wijze waarop het oppervlaktewater wordt getransporteerd via een netwerk van waterlopen is van wezenlijk belang voor de mogelijkheden die er zijn om het water te verzamelen in een reservoir en om het eventueel weer te herverdelen. Het vullen van een reservoir is een vorm van inundatie. De wijze waarop dit water een interactie heeft met het omringende grondwater kan voor een deel het gebruiksnut van het reservoir bepalen.

De vraagstelling van dit onderzoek vraagt om een model van het gehele waterhuishoudkundige systeem, en niet alleen van grond- en oppervlaktewater. Het model SIMGRO (Veldhuizen e.a., 1998) modelleert het waterhuishoudkundige systeem als een integraal geheel en is daarom gekozen voor deze studie. Het heeft als kern een numeriek grondwatermodel en kan op verschillende manieren worden geïmplementeerd, afhankelijk van de vraagstelling van het onderzoek. Zo is het mogelijk om voor het oppervlaktewater een directe koppeling te maken met een hydraulisch model zoals DUFLOW of SOBEK. Voor kleine wateren (secundaire waterlopen en kleiner) is het echter de ervaring dat bij minimaal verlies aan nauwkeurigheid het veel handzamer is om het hydraulisch model apart te gebruiken van het model voor het integrale systeem: gegeven een bepaalde inrichting van waterlopen wordt het hydraulisch model voor een reeks stationaire situaties doorgerekend. Er is voor gekozen om het nog eenvoudiger op te zetten: aan de hand van dwarsprofiel- en lengteprofielparameters worden peil-afvoerrelaties bepaald met behulp van eenvoudige hydraulische formules voor stationaire stroming.

Ook voor het bodemwatersysteem wordt bij implementatie van SIMGRO gebruik gemaakt van een apart model, in dit geval van CAPSEV (Wesseling, 1991). Met CAPSEV worden voor een aantal bodemvochtspanningen en grondwaterstanden berekeningen gedaan van waterberging en capillaire opstijging. De resultaten van deze berekeningen worden vervolgens in de vorm van tabellen ingelezen voor gebruik bij de integrale modellering.

Voor het kleinschalig sturen van het waterbeheer kan gebruik worden gemaakt van mechanismen voor peilinstelling en mechanismen voor het variëren van de drooglegging van drains, de zogenaamde flexibele drainage. Dat laatste kan in hellend terrein alleen worden bereikt door drains parallel te laten lopen aan de contouren, en de uitstroomopeningen van een draaibare L-buis te voorzien.

Vanwege het verkennende karakter van dit onderzoek is ervoor gekozen om het model alleen te toetsen aan de hand van de gesimuleerde grondwaterstanden. Als toetsingsmiddel was daarvoor een recente grondwatertrappenkaart op schaal 1:10000 (Kleijer en Ten Cate, 1998) beschikbaar.

Met het model is een reeks scenario's doorgerekend voor een reeks van 9 simulatiejaren (1984-1993). Het ging daarbij om scenario's ten aanzien van de inrichting, grondgebruik en waterbeheer.

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van de wijze waarop het model SIMGRO voor het studiegebied is geïmplementeerd. Het daarop volgende hoofdstuk

beschrijft de wijze waarop de ecologische en landbouwkundige evaluatie plaats heeft gevonden. Deze hoofdstukken verhogen het begrip van het model en de manier waarop de resultaten van de scenario's worden beoordeeld, maar kunnen eventueel worden overgeslagen. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 de doorgerekende reeks scenario's besproken. In hoofdstuk 5 worden enige conclusies getrokken en worden een aantal nog openstaande onderzoeksvragen geformuleerd.

2 Modellering stroomgebiedshydrologie van het proefgebied

2.1 Inleiding

Het implementeren van SIMGRO verloopt in twee fasen (zie ook par. 1.2). In de eerste fase wordt gebruik gemaakt van de beschikbare informatie over ruimtelijke kenmerken van het gebied en van informatie over eigenschappen van het abiotische en biotische systeem. In deze fase gaat het om 'direct' gebruik van informatie. In de tweede fase wordt beschikbare informatie over afvoeren, oppervlaktewaterpeilen en grondwaterstanden gebruikt voor het aanpassen van parameters. Het gaat daarbij om 'indirect' gebruik van informatie, bij de kalibratie van het model.

In het navolgende wordt aangegeven hoe het model voor het studiegebied is geïmplementeerd; daarbij wordt de bovengenoemde indeling in fasen gevolgd.

Tegelijkertijd met de beschrijving van de eerste fase wordt op summiere wijze verder uitgeweid over het model zelf (zie ook par. 1.2). Die beschrijving dient ook om duidelijk te maken hoe ingrepen in het regionale systeem in het model worden ingevoerd in de scenario's (hoofdstuk 4).

2.2 Implementatie van het model

2.2.1 Ruimtelijke indeling en tijdstappen

Een driehoeksnetwerk vormt de meetkundige basis van de numerieke berekening van grondwaterstroming met de methode van eindige elementen. Aan de hand van het driehoeksnetwerk kan voor ieder knooppunt een zogenaamd 'invloedsoppervlak' worden geconstrueerd, dat hier een 'gridcel' zal worden genoemd. In SIMGRO worden de gridcellen gegroepeerd tot 'afwateringseenheden'. Het model voor het studiegebied is geïmplementeerd met 37 afwateringseenheden en 7697 knooppunten. De gemiddelde oppervlakte van een afwateringseenheid is 13 ha en die van een gridcel is 600 m². De gemiddelde knooppuntsafstand is 25 m. Vanwege het hydrologische en ecologische belang van waterlopen is ervoor gezorgd dat er een rij knooppunten precies op iedere (grotere) waterloop ligt, met links en rechts flankerende rijen knooppunten.

In het model wordt met verschillende tijdstappen gewerkt voor de verschillende deelsystemen, toegesneden op hun reactietijd. Voor het grond- en bodemwater is dat 0,2 dag, voor het oppervlaktewater is dat 15 minuten.

2.2.2 Grondwater

2.2.2.1 Maaiveld

Het maaiveld vormt de bovenste begrenzing van de ruimte waarbinnen het grondwaterlichaam zich kan bevinden. Het maaiveldsverloop is ontleend aan radarmetingen met een dichtheid van 1 meting per 16 m². Op basis van deze informatie is onder meer een hoogtelijnenkaart met een interval van 0,5 m afgeleid (zie Aanhangsel 1)

2.2.2.2 Schematisering van de ondergrond

De stroming van grondwater wordt in SIMGRO op een geschematiseerde wijze beschreven door de ondergrond voor te stellen als een opeenvolging van (afwisselend) watervoerende en slecht doorlatende lagen. In de watervoerende lagen wordt de stroming geacht horizontaal te zijn, en in de slecht doorlatende verticaal. De onderste laag wordt altijd gevormd door de hydrologische basis, die als ondoorlatend wordt beschouwd.

Voor het proefgebied is een schematisering in twee lagen aangehouden:

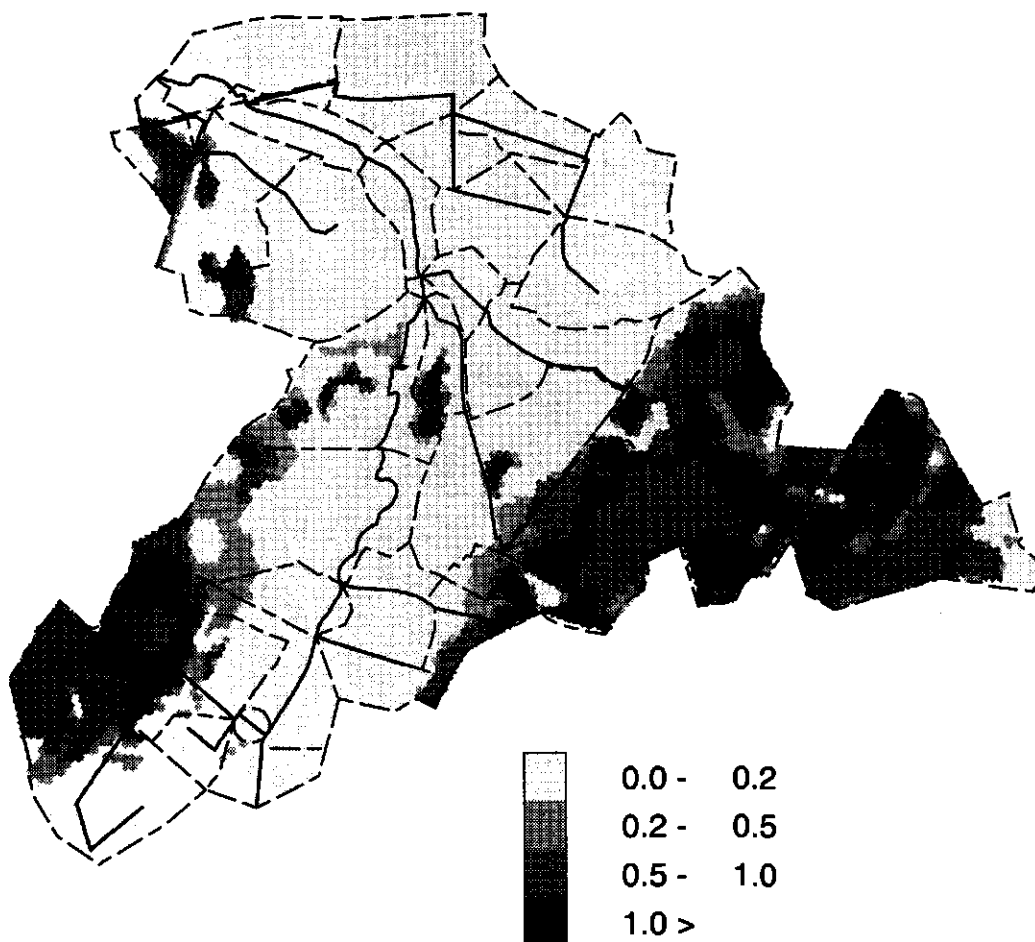
- een afdekkende slechtdoorlatende laag, met als belangrijkste weerstandsbiedende element keileem;
- een watervoerende laag bestaande uit pleistoceen zand.

Onder het pleistocene zand bevindt zich een laag tertiaire klei. Deze laag wordt geacht de hydrologische basis te vormen.

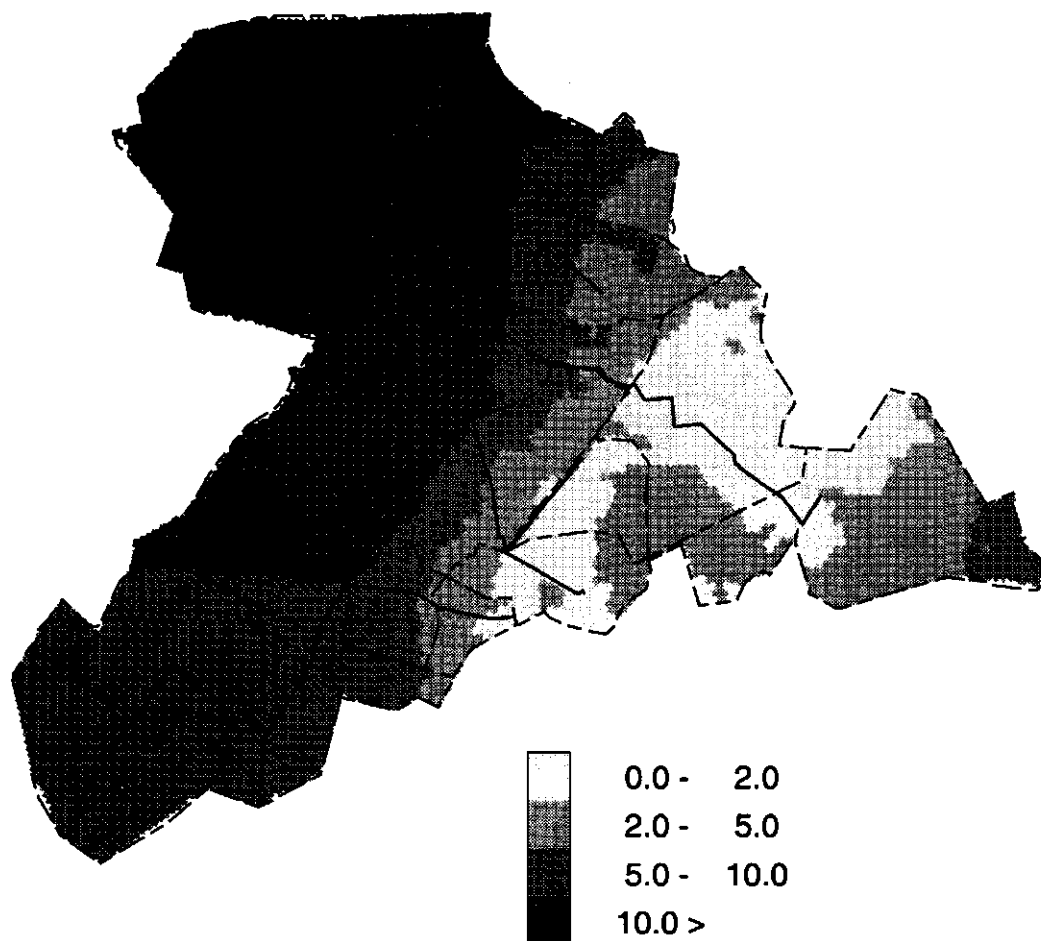
De laag keileem is lang niet overal aanwezig. Informatie over de verbreiding en dikte is ontleend aan de recent uitgevoerde bodemkartering met een schaal van 1:10 000 (Kleijer en Ten Cate, 1998). Aangezien de bodemkartering niet dieper reikt dan 1.50 m zijn dieptes (van de onderkant van de laag) groter dan 1.50 m op deze wijze niet te achterhalen. In Figuur 2 is de op deze wijze bepaalde dikte van de keileemlaag uitgebeeld. Als eerste schatting van de doorlatendheid is een waarde van 0,01 m.d⁻¹ aangenomen voor laagdiktes kleiner dan 0,5 m; voor laagdiktes groter dan 0,5 m is een doorlatendheid van 0,005 m.d⁻¹ aangenomen. Waar de keileem ontbreekt is de weerstand op 10 d gesteld.

De in Figuur 3 uitgebeelde dikte van de watervoerende laag is afgeleid uit het verschil tussen de maaiveldshoogtekaart en een TNO-kaart van de 'top van het Tertair' (Bloemendaal en Cornelissen, 1985). De eerste schatting van de doorlatendheid is afhankelijk gesteld van de plaatselijke laagdikte:

- bij een laagdikte kleiner dan 5 m is een doorlatendheid van 5 m.d⁻¹ aangehouden;
- bij een laagdikte groter dan 5 m is een doorlatendheid van 20 m.d⁻¹ aangehouden.



Figuur 2 Dikte van het afdekkende keilempakket (m)



Figuur 3 Dikte (m) van de watervoerende laag (pleistoceen zand);

2.2.2.3 Randvoorwaarden en grondwaterwinningen

Voor het simuleren van de regionale grondwaterstroming is het nodig om langs de rand van het model de randvoorwaarden te kennen. De randvoorwaarde kan zijn gegeven in de vorm van een flux of stijghoogte. De modelgrens komt overeen met het bovenstroomse deel van het stroomgebied van de Stortelersbeek. Voor een groot deel van het stroomgebied komt ofwel de grondwaterscheiding overeen met die van het oppervlaktewater, ofwel is de doorlatendheid van de ondergrond gering, zodat daar mag worden verondersteld dat de grondwaterflux nul is. Alleen in de omgeving van het uitstroompunt is aangenomen dat er een significante grensoverschrijdende flux van grondwater is. Voor die zone is de stijghoogte vastgezet op basis van de gekarteerde grondwatertrap (zie Aanhangel 3), van 0,60 m -mv voor Gt III tot 1,60 m -mv voor Gt VII.

2.2.3 Bodemwater en vegetatie-atmosfeer interacties

2.2.3.1 Schematisering, bodemkaart en bodemgebruik

In de bodemwatermodule wordt onderscheid gemaakt tussen:

- vegetatie-atmosfeer-interacties;
- de wortelzone;
- het onverzadigde deel van de ondergrond (tussen onderkant wortelzone en grondwaterstand).

Voor de wortelzone en de ondergrond (tussen onderkant wortelzone en grondwaterstand) wordt met eenvoudige balansmodellen de dynamiek van het vochtgehalte gesimuleerd. Per gridcel en per bodemgebruiksvorm wordt een aparte simulatie uitgevoerd; hier wordt in par. 2.2.3.3 nader op ingegaan.

Voor het kunnen simuleren van het bodemwater is informatie over bodemkenmerken onontbeerlijk. Voor die informatie is gebruik gemaakt van de recent uitgevoerde bodemkartering schaal 1:10 000 (Kleijer en Ten Cate, 1998); voor bijna 60 ha van het stroomgebied moest noodgedwongen worden teruggevallen op de bodemkaart schaal 1:50 000. De eenheden op de bodemkaart zijn vertaald naar een 45-tal bodemfysische profielen. Daarbij is gebruik gemaakt van bouwstenen van de zogenaamde Staringreeks (Wösten e.a., 1994). De verbreiding van de voorkomende profielen is opgenomen in Aanhangsel 2. Tegelijkertijd met de bodemkartering zijn de grondwatertrappen opgenomen. De verbreiding van voorkomende grondwatertrappen is opgenomen in Aanhangsel 3.

Gegevens over het bodemgebruik in het proefgebied zijn ontleend aan het LGN-bestand (LandGebruikskartering Nederland; De Wit e.a., 1999). Een overzicht van de in het stroomgebied voorkomende bodemgebruiksvormen is opgenomen in Tabel 1. Daaruit blijkt onder meer dat grasland veruit de meest voorkomende bodemgebruiksvorm is, gevolgd door loofbos.

Tabel 1 Overzicht van bodemgebruik in het proefgebied. De gegevens zijn ontleend aan het LGN-bestand (De Wit e.a. 1999)

Bodemgebruik	Oppervlakte (ha)	Oppervlakte (%)
Grasland	270	58
Mais	52	11
Aardappelen	4	1
Granen	23	5
Loofbos	72	16
Naaldbos	30	6
Droge heide	3	1
Wegen/ bebouwd	10	2
Totaal	464	100

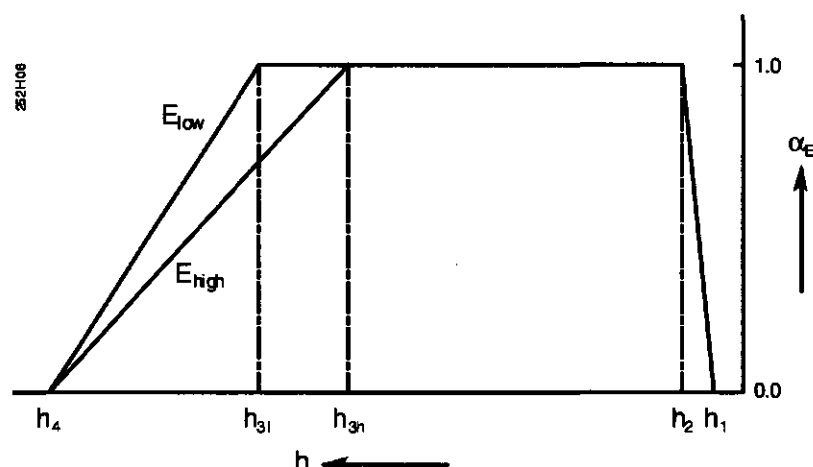
2.2.3.2 Verdamping

De berekening van de gewasverdamping wordt verricht in twee stappen:

- berekening van potentiële verdamping, door vermenigvuldiging van de referentie-gewasverdamping (van Makkink) met een gewasfactor;
- berekening van de actuele verdamping door (eventuele) reductie van de potentiële verdamping aan de hand van het eventuele vochttekort.

De gebruikte gewasfactoren zijn ontleend aan Feddes (1987). Voor open water is een 'gewasfactor' van 1,25 aangehouden. Deze waarde kan men zien als een bovengrens; in de praktijk zal de verdamping in ieder geval niet hoger zijn.

De (eventuele) reductie van de potentiële verdamping tot de actuele verdamping wordt in SIMGRO gebaseerd op de vochtspanning in de wortelzone volgens Figuur 4.



Figuur 4 Curve voor de berekening van de relatieve verdamping (actuele verdamping gedeeld door de potentiële verdamping) als functie van de vochtspanning h in de wortelzone; de knippunten zijn gewasspecifiek. Totale reductie treedt op bij een vochtspanning lager dan h_4 ; tussen h_4 en h_3 is de reductie afhankelijk van de potentiële verdamping E . Is deze hoger dan $E_{high} = 5 \text{ mm d}^{-1}$ dan wordt de reductie berekend volgens de curve van h_4 naar h_{3h} ; als hij lager is dan $E_{low} = 1 \text{ mm d}^{-1}$ van h_4 naar h_{3l} ; indien de potentiële verdamping tussen 1 en 5 mm d^{-1} bedraagt wordt er geïnterpoleerd. Geen reductie treedt op indien de vochtspanning tussen h_3 en h_2 ligt. Reductie is voor sommige gewassen mogelijk onder te natte omstandigheden tussen h_2 en h_1 ; in die gevallen stopt de gewasverdamping als de vochtspanning lager is dan h_1 .

2.2.3.3 Waterbalans van de wortelzone

In het balansmodel van het water in de wortelzone worden alle in- en uitgaande termen bijgehouden:

- neerslag en verdamping;
- oppervlakkige afstroming;
- percolatie en capillaire opstijging.

Oppervlakkige afstroming wordt berekend als de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit overschrijdt of als er water op het maaiveld staat ('inundatie'). Of deze afstroming ook daadwerkelijk plaatsvindt hangt echter ook af van de situatie in het afwateringssysteem: als de waterlopen afgedamd zijn, zoals in vernatte natuurgebieden, dan moet het peil eerst zijn gestegen tot boven de 'afvoerdrempel' om het afvoerproces te kunnen laten beginnen. Hier wordt in par. 2.2.4 verder op ingegaan.

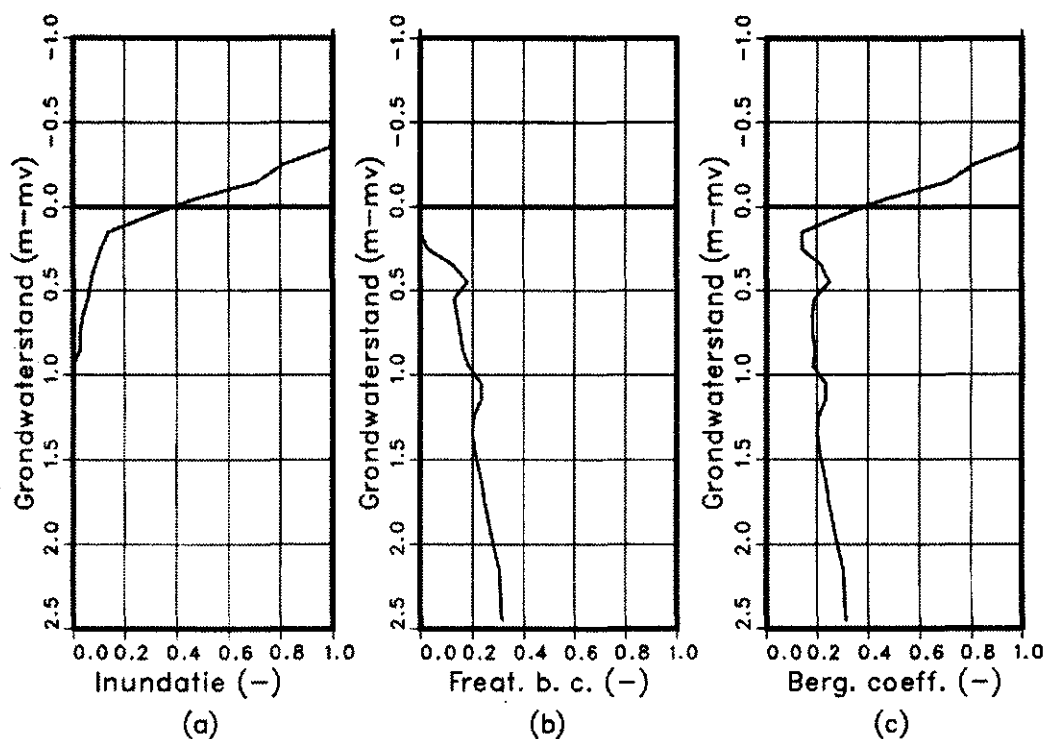
Percolatie wordt berekend wanneer het watergehalte van de wortelzone het zogenaamde evenwichtswatergehalte overschrijdt. Het evenwichtswatergehalte is het watergehalte dat in evenwicht is met de diepte van de grondwaterstand, in afwezigheid van stroming. Capillaire opstijging vanuit het grondwater wordt berekend wanneer het watergehalte beneden de evenwichtswaarde blijft.

Het balansmodel maakt gebruik van rekenresultaten die vooraf met het ééndimensionale numerieke model CAPSEV zijn verkregen (Wesseling, 1991). Het model CAPSEV heeft als invoer de opbouw van lagen en de bijbehorende bodemfysische parameters.

2.2.3.4 Freatische berging in de ondergrond

In het model wordt met een variërende waarde van de freatische bergingscoëfficiënt in de ondergrond gewerkt, waarbij deze coëfficiënt geheel afhankelijk wordt gesteld van de diepte van de grondwaterstand. In werkelijkheid is de bergingscoëfficiënt ook afhankelijk van het watergehalte van de wortelzone. Voor het modelleren op regionale schaal is de gevolgde benadering voldoende nauwkeurig (Veldhuizen e.a., 1999).

De waarde van de freatische bergingscoëfficiënt als functie van de grondwaterstandsdiepte is eveneens met CAPSEV berekend, door een serie berekeningen te maken voor verschillende grondwaterstandsdiepten. Een kenmerkend verloop van de aldus berekende bergingscoëfficiënt is weergegeven in Figuur 5b. Boven het niveau van de wortelzone is de coëfficiënt 0, omdat de berging in de wortelzone elders wordt berekend (par.2.2.3.3).



Figuur 5 Kenmerkend verloop van de freatische bergingscoëfficiënt, als functie van de grondwaterstandsdiepte (b), berekend met CAPSEV (Wesseling, 1991). De bergingscoëfficiënt boven 0,2 m-mv is per definitie nul, omdat deze berging apart wordt bijgehouden in het balansmodel voor de wortelzone. (a) representeert de inundatiecurve berekend op grond van de lokale maaiveldshoogteverdeling. (c) is een optelling van de curves (a) en (b) en geeft de bergingscoëfficiënt weer zoals die in het model wordt toegepast

2.2.3.5 Berging van water op het maaiveld

Water dat op het maaiveld staat als gevolg van volledige verzadiging van de ondergrond is in feite 'zichtbaar' grondwater, en wordt ook zo gemodelleerd. Daarbij wordt rekening gehouden met de maaiveldshoogteverdeling binnen een in de vorm van een inundatie-curve (zie Figuur 5a): de curve geeft op gridcel-niveau het verband tussen het percentage ondergelopen grond en de heersende (grond)-waterstand. Door deze curve op te tellen bij de curve voor de freatische bergingscoëfficiënt wordt een vloeiende overgang tussen grond- en oppervlaktewater gesimuleerd (Figuur 5c).

2.2.4 Oppervlaktewater

2.2.4.1 Schematisering

Binnen een afwateringseenheid wordt onderscheid gemaakt tussen vier klassen van waterlopen, die via een afwateringsstructuur met elkaar verbonden zijn:

- grotere waterlopen met vooral een afwateringsfunctie;
- kleinere waterlopen met vooral een ontwateringsfunctie;

- drains;
- greppels.

In deze studie is het onderscheid tussen grotere en kleinere waterlopen gelegd bij het onderscheid in A- en B-watergangen, die respectievelijk wel en niet in beheer zijn bij het waterschap. De dynamiek van het oppervlaktewater wordt gesimuleerd met een netwerk van reservoirs, één per traject van een grotere waterloop. De netwerkstructuur definieert de wijze waarop de reservoirs een cascade vormen, en komt overeen met de afwateringsstructuur zoals die door het waterschap is geïnventariseerd (zie Aanhangsel 4).

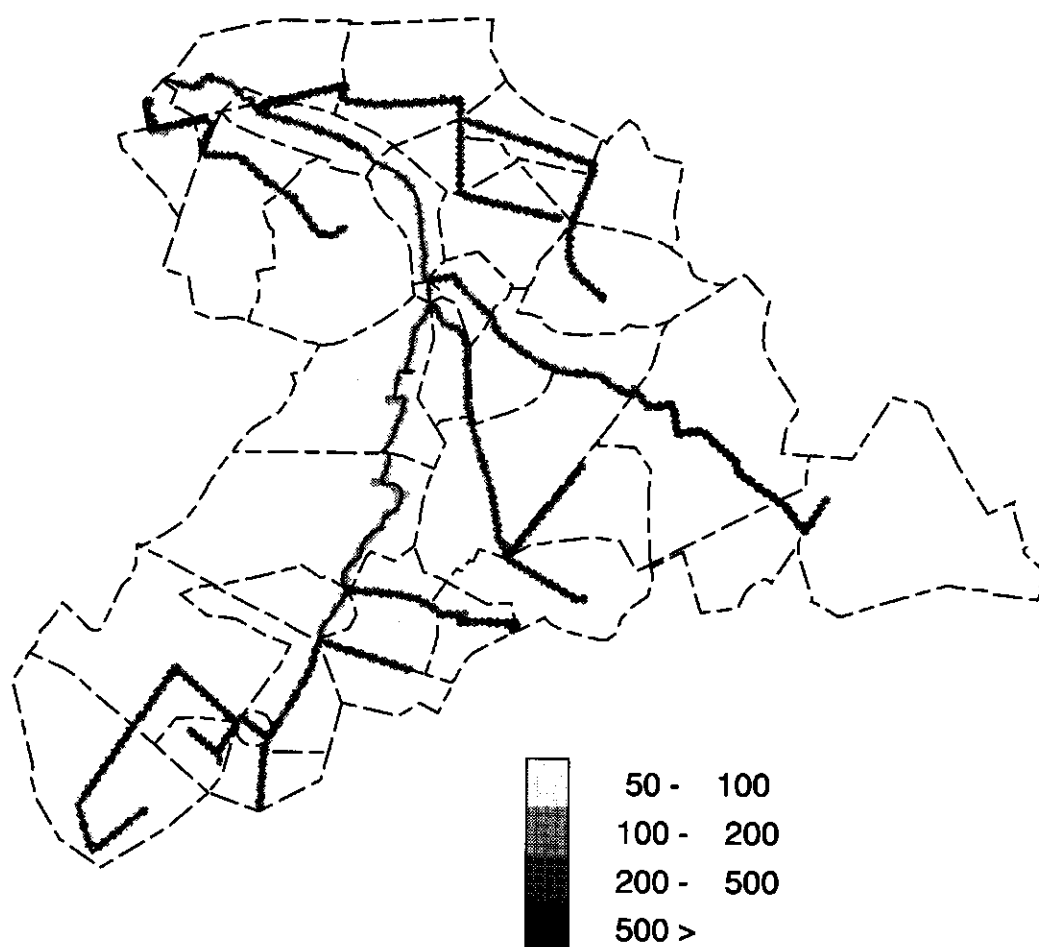
2.2.4.2 Interactie tussen grond- en oppervlaktewater

De interacties tussen grond- en oppervlaktewater worden berekend op het niveau van gridcellen en lagen van het grondwatermodel. Een drainage-/infiltratieflux wordt per klasse van waterlopen berekend door het peilverschil tussen grond- en oppervlaktewater te delen door de drainage-/infiltratieweerstand. Daarom moet per ontwateringsmiddel een drainage- en infiltratieweerstand bekend zijn, en tevens de drooglegging (draindiepte of bodemhoogte).

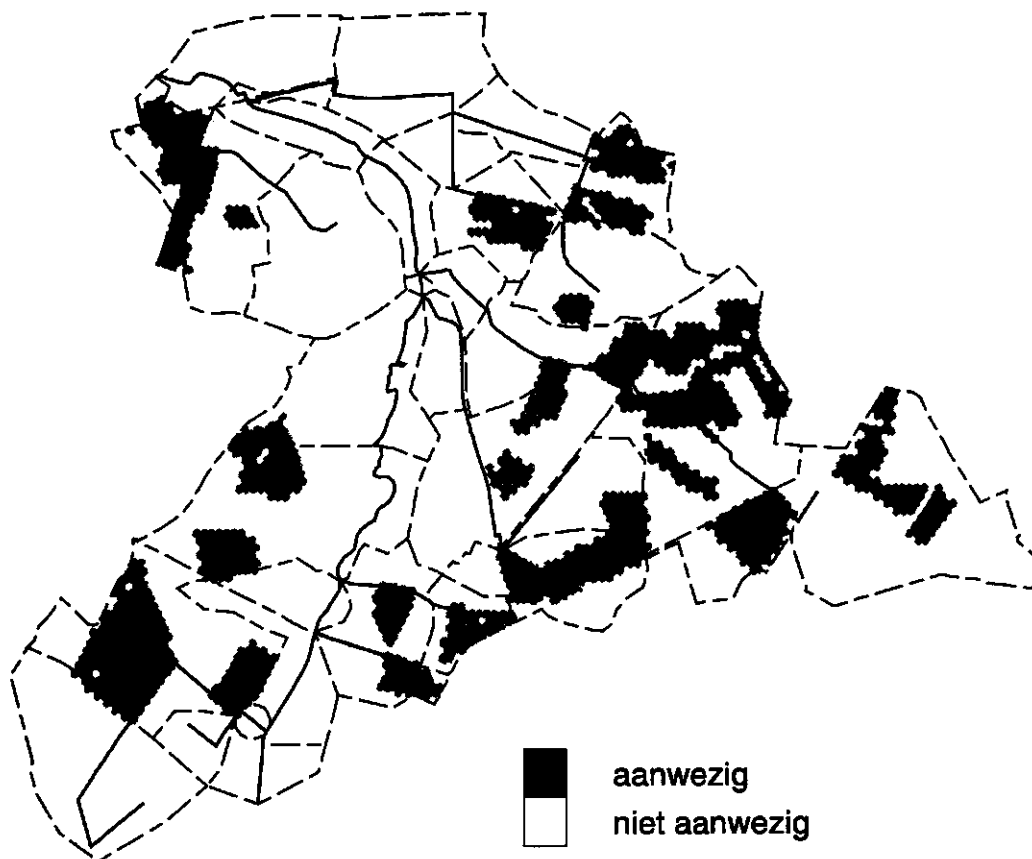
De drooglegging van de A-watergangen volgt direct uit de inventarisatie die door het waterschap is verricht. De weerstanden zijn geschat aan de hand van een eenvoudige analytische formule gebaseerd op de formule van Ernst (zie Veldhuizen e.a., 1998). De hoogte van de weerstand is zowel afhankelijk van kenmerken van de waterloop (dimensies en intreeweerstand) als van doorlatendheid van de geohydrologische lagen die de waterloop aansnijdt. Als gevolg van de relatief diepe ligging van de A-watergangen zullen de waterlopen op veel plaatsen tot in de watervoerende laag reiken, zoals blijkt uit de lage waarden voor de drainageweerstand (na kalibratie) in Figuur 6.

De bodemdiepte van B-watergangen is gesteld op 80 cm-mv; voor het dwarsprofiel is een bodembreedte van 0,5 m en een talud van 1:1 aangenomen. De ligging van de B-watergangen is weergegeven in Aanhangsel 4.

Gegevens over de in het gebied voorkomende buisdrainage zijn ontleend aan registraties bij het waterschap in verband met het vermijden van schade bij onderhoudswerkzaamheden. Deze registraties zijn per definitie niet compleet, omdat er geen meldingsplicht is. Als eerste schatting zijn de gegevens wel degelijk bruikbaar in het modelonderzoek; het overzicht van de bekende drainage is opgenomen in Figuur 7. Aangenomen is dat de aanwezige drainage op 90 cm-mv is aangelegd.



Figuur 6 Overzicht van drainageweerstanden (d) van de A-watergangen (na kalibratie)



Figuur 7 Overzicht van de aanwezigheid van buisdrainage

Bij stijgende grondwaterstand komt een steeds groter deel van het maaiveld blank te staan. Dat heeft niet alleen gevolgen voor de bergingscoëfficiënt (die bij volledig blank staan 1,0 bedraagt), maar ook voor de ontwatering van een gebied. Het maaiveld krijgt in feite een drainerende functie. Dit fenomeen wordt gemodelleerd door overal 'greppels' te introduceren. In het model begint het maaiveld te draineren bij een gemiddelde grondwaterstand in een knooppunt van 0,25 m-mv.

Afhankelijk van het oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand wordt er drainage (of infiltratie) berekend voor maximaal vier soorten ontwateringsmiddelen. Om een ontwateringsmiddel 'actief' te laten zijn moet of het oppervlaktewaterpeil en/of de grondwaterstand de bodemhoogte overstijgen. Indien de grondwaterstand hoger is dan het oppervlaktewaterpeil (drainage) dan wordt per gridcel van een afwateringseenheid het oppervlaktewaterpeil vertaald naar een ontwateringsbasis, voor iedere klasse van waterlopen:

- indien het peil lager is dan de bodemhoogte van de betreffende klasse van waterlopen, dan wordt de drooglegging gelijkgesteld aan de bodemhoogte;
- indien het peil hoger is dan de bodemhoogte, dan wordt de drooglegging gelijkgesteld aan het oppervlaktewaterpeil.

De drainage/infiltratiefluxen van de verschillende ontwateringsmiddelen worden vervolgens bij elkaar opgeteld. Deze methode is gebaseerd op de aanname dat de drainage-/infiltratieweerstand geconcentreerd is in de directe omgeving van een waterloop.

2.2.4.3 Dynamiek van het oppervlaktewater

De waterbalans van een traject van een A-watgang en de aangekoppelde kleinere waterlopen wordt gesimuleerd met één 'reservoir'. Voor ieder trajectreservoir wordt een relatie afgeleid tussen berging en peil, de zogenaamde bergingsrelatie, en tussen afvoer en peil, de afvoerrelatie. De trajectreservoirs zijn met elkaar verbonden als een cascade. Terugstuwing wordt alleen berekend indien het peil ten opzichte van NAP van een benedenstrooms trajectreservoir dat van een bovenstrooms reservoir dreigt te overtreffen. In dat geval gaat het benedenstroomse peil als een minimum-niveau fungeren. Er kan ook sprake zijn van het omkeren van de stromingsrichting indien het peil en de waterbalans daartoe aanleiding geeft. Deze situatie kan zich voordoen vanuit een samenstromingspunt van twee waterlopen: als de ene waterloop relatief meer water afvoert dan de andere, dan is het mogelijk dat er een 'terugstroom' is in de waterloop met weinig afvoer, via het samenstromingspunt gevoed door water uit de afvoerrijke tak. Dit is een veel voorkomende situatie bij afdamming van een reservoir dat wordt gevoed door verschillende waterlopen.

Bij gebruik van de afvoerrelatie wordt een natuurlijke situatie gesimuleerd (waterloop met een bepaalde bodemhoogte) of een stuw met een vaste klepstand ('vaste stuw'). In deze studie is alleen gebruik gemaakt van de waterloopinformatie, en niet van informatie over de aanwezige kunstwerken. De informatie over de aanwezigheid van kunstwerken is genegeerd omdat:

- de meeste duikers en veel stuwen in het gebied alleen zeer plaatselijke effecten veroorzaken;
- de meeste stuwen zich bovendien bevinden op plaatsen die voor het huidige onderzoek geen grote gevolgen hebben (bijvoorbeeld de stuwen in het hoger gelegen oostelijke deel van het proefgebied).

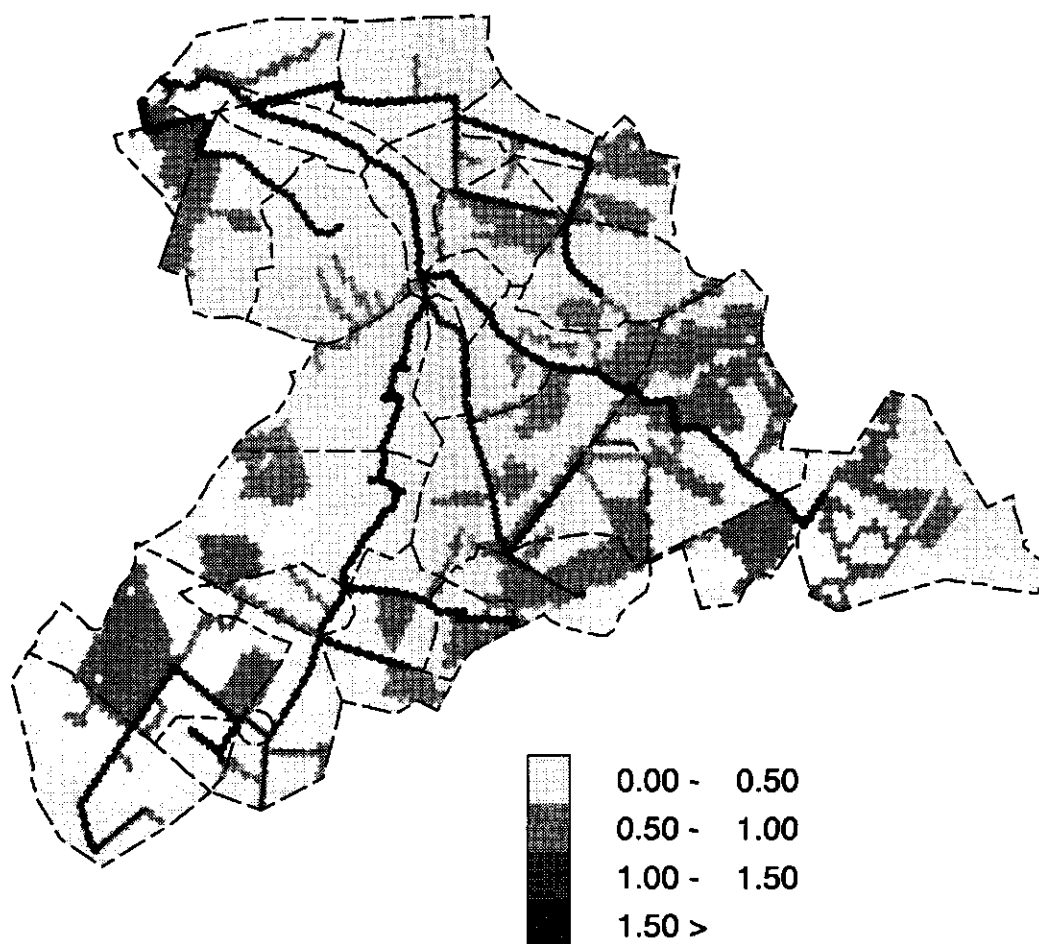
Voor het opstellen van peil-afvoerrelaties van waterlooptrajecten is gebruik gemaakt van eenvoudige hydraulische formules, waarbij met een k-Manning van $35 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ is gewerkt voor de winterperiode en $20 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ voor de zomerperiode.

Het peil waarbij nog net geen afvoer optreedt wordt hier de afvoerdrempel genoemd. Voor gridcellen met een A-watgang is dit het nulpunt van de afvoerrelatie. Voor de gridcellen waar geen A-watgang doorheen loopt wordt de afvoerdrempel bepaald door:

- de diepste aanwezige waterloop uit de categorieën 2-5 (B-watgangen, drains, greppels);
- de afvoerdrempel van de *aangekoppelde* A-watgang.

De afvoerdrempel van de aangekoppelde A-watgang is alleen bepalend indien deze ondieper is dan de *diepste* aanwezige lokale waterloop. In dat geval kan men spreken van gestremde afvoer van lokale ontwateringsmiddelen. In Figuur 8 is een ruimtelijk

beeld gegeven van de afvoerdrempel, vertaald naar een niveau ten opzichte van maaiveld.



Figuur 8 Afvoerdrempel (m -mv) voor drainagesituaties in de winterperiode. De afvoerdrempel is het niveau van de grondwaterstand waarbij nog net geen afvoer plaatsvindt.

2.3 Toetsing en bijstelling invoergegevens

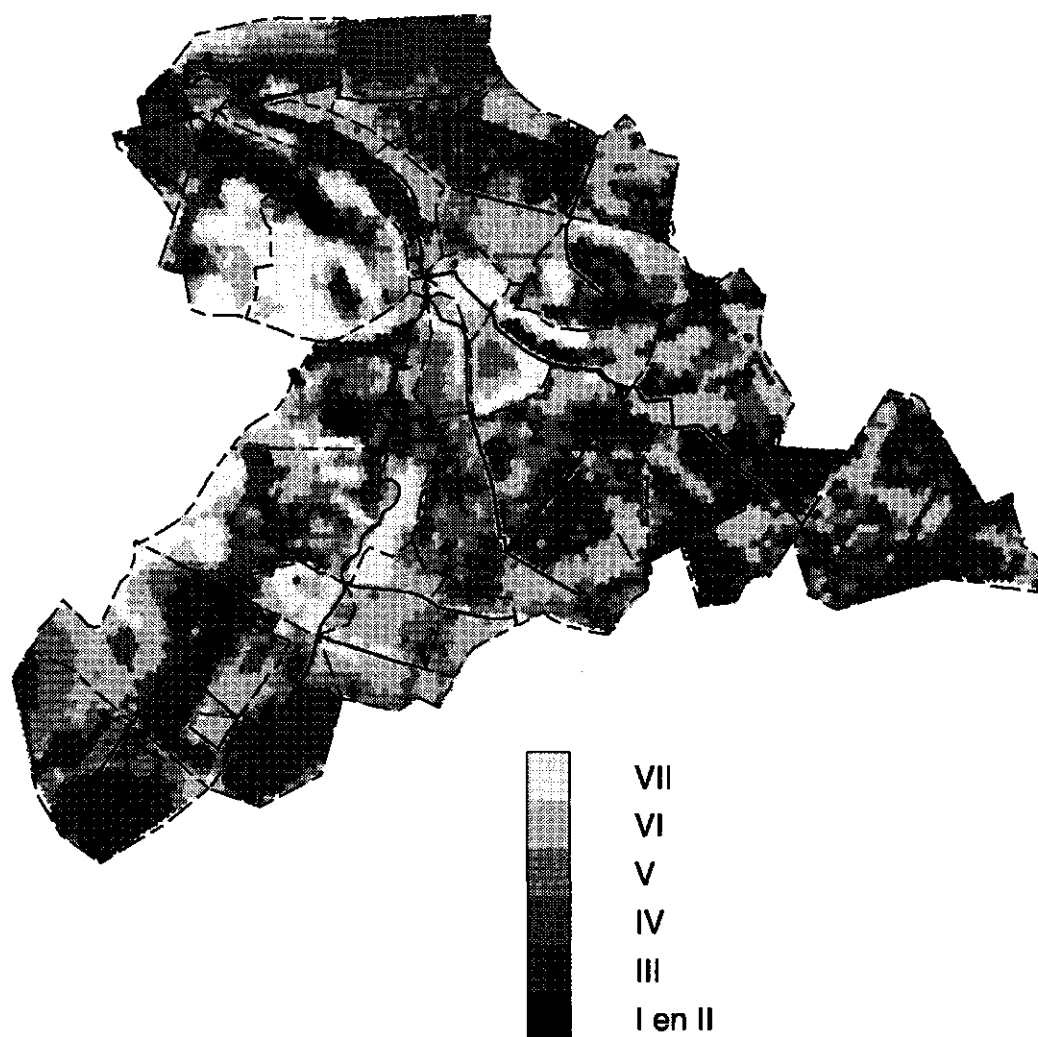
Het model is doorgerekend voor een periode van negen jaar, waarbij gebruik is gemaakt van meteorologische gegevens van de periode 1 januari 1984 – 1 januari 1993. Gebruik is gemaakt van gegevens van De Bilt omdat uit bestudering van het patroon van iso-neerslaglijnen en iso-verdampingslijnen was gebleken (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988) dat de jaarsommen van de omgeving van Winterswijk niet veel afwijken van die van het nationale hoofdstation.

Aan de hand van gesimuleerde freatische peilen is de gesimuleerde Grondwatertrappenkaart afgeleid. Vergelijking van deze kaart met die van de bodemkaart 1:10 000 (Aanhangsel 3) leerde dat er een veel te grote verspreiding van Gt VII werd gesimuleerd. Vervolgens is er een systematische gevoeligheidsanalyse

uitgevoerd waarbij een aantal sleutelparameters over het hele gebied werd gevarieerd. Dat betrof drainageweerstand en de doorlatendheden van de keileem en van de watervoerende laag. Uit deze reeks berekeningen is geconcludeerd dat:

- de doorlatendheid van de watervoerende laag aanvankelijk veel te hoog is ingeschat; daardoor moest de aanvankelijk geschatte waarde met een factor 25 worden teruggebracht;
- de drainageweerstand van de A-watergangen met een factor twee moet worden verhoogd om de te sterk drainerende werking van die watergangen af te remmen.

Deze 'kalibratie' leverde het kaartbeeld van Figuur 9 voor de grondwatertrappen.



Figuur 9 Gesimuleerde grondwatertrappenkaart na kalibratie

De extreme verlaging van de doorlatendheid van de watervoerende laag vraagt om een nadere toelichting. Volgens TNO (Bloemendaal en Cornelissen, 1985) is de maximale doorlatendheid in het gebied 20 m d^{-1} , gebaseerd op een pompproeven bij de waterwinning Corle. Van der Gaast (pers. med.) schat op grond van zijn ervaring

de doorlatendheid voor horizontale stroming van de afzettingen ter plaatse van de Stortelersbeek echter op 1 à 2 m d⁻¹, de doorlatendheid voor verticale stroming schat hij aanzienlijk lager door de aanwezigheid van leemlaagjes. Als we bedenken dat het proefgebied vrij geaccidenteerd is waardoor de stroming door de watervoerende laag een relatief grote verticale component heeft, dan is een schatting van de doorlatendheid van 0,8 m/d zoals die uit de 'kalibratie' is gekomen te verantwoorden.

Men kan de gevolgde procedure niet met recht een kalibratie van het model noemen. Gezien de doelstelling van het onderzoek, namelijk een globale verkenning van de mogelijkheden voor waterconservering, wordt dit echter niet als een bezwaar gezien. Overigens blijkt uit een vergelijking tussen de gesimuleerde en 'gemeten' grondwatertrappenkaart dat het model een redelijke voorspelnauwkeurigheid heeft. Een probleem is het simuleren van het voorkomen van Gt V, die op veel plaatsen als een Gt III wordt gesimuleerd. Een verklaring daarvoor is dat een 'gemeten' Gt V in een keileemgebied vaak ontstaat als gevolg van een schijngrondwaterspiegel. In een gebied waar veel keileem voorkomt – zoals in het proefgebied – kan dit verschijnsel zeer wel optreden.

3 Ecologische en landbouwkundige evaluatie

3.1 Ecologische evaluatie (verzorgd door KIWA)

3.1.1 Actuele grondwaterafhankelijke vegetatie

De huidige grondwaterafhankelijke natuurwaarden van het studiegebied zijn relatief gering. De meeste aanwezige natuurwaarden betreffen grondwateronafhankelijke gemeenschappen. Alleen direct langs de Stortelersbeek (o.a. dotterbloem en beekpunge, bossoorten van het elzen-vogelkersverbond), in het landgoed 't Kreil (o.a. bosbies), en in een verdroogd ven in het Blekkinkveen (o.a. bleke zegge, stijve zegge, moerasstruisgras, kleine valeriaan) zijn lokaal grondwaterafhankelijke natuurwaarden aanwezig (Schroder & Stronks, 1999).

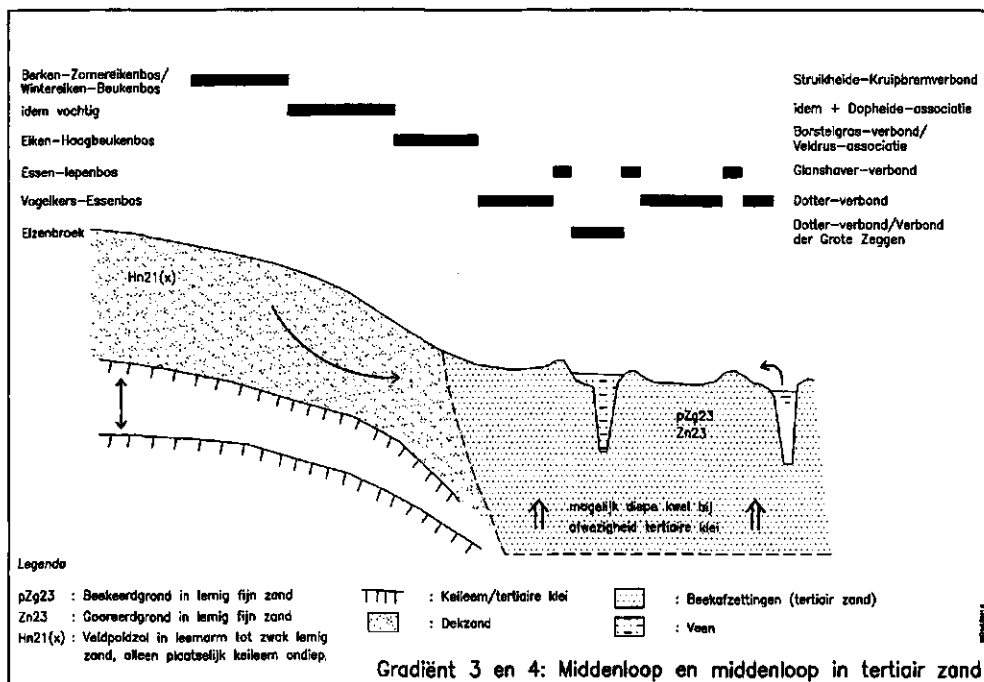
3.1.2 Potentieel natuurlijke vegetatie

Op grond van beschikbare bodem- en grondwatertrappenkaart, expertkennis en een database met standplaatsen van grondwaterafhankelijke vegetaties (NICHE database, Meuleman e.a., 1996 en Meuleman e.a., 1998) kan een beeld geschetst worden van de potentieel natuurlijke vegetatie. De beschreven vegetaties zijn overwegend indicatief voor voedselarme tot matig voedselrijke omstandigheden en zullen zich in de meeste situaties niet direct op landbouwgrond ontwikkelen, vanwege de accumulatie van meststoffen in de bodem. Plaggen van de voedselrijke toplaag bespoedigt in het algemeen de geschetste ontwikkeling.

Kenmerkend voor het studiegebied is een grote, natuurlijke variatie in standplaatsfactoren (vochtvoorziening, zuurgraad en voedselrijkdom), die het gevolg is van de aanwezige variatie in de bodemsamenstelling, geomorfologie en hydrologie. In de verspreidingspatronen van de standplaatsen kan in het algemeen een regelmatig patroon herkend worden, de zogenaamde ecologische gradiënten in het landschap (Baaijens, 1985). Voor de Achterhoek zijn door Athmer e.a. (1997) de belangrijkste ecologische gradiënten beschreven. Twee van deze gradiënten kunnen in het studiegebied aangetroffen worden. In de figuren 10 en 11 is van elke gradiënt beschreven welke vegetatie op welke plaats van de gradiënt aangetroffen kan worden. Hierbij is onderscheid gemaakt in een bosvariant (geen beheer) en een variant waarbij een vegetatiebeheer wordt uitgeoefend (o.a. maaien of begrazen).

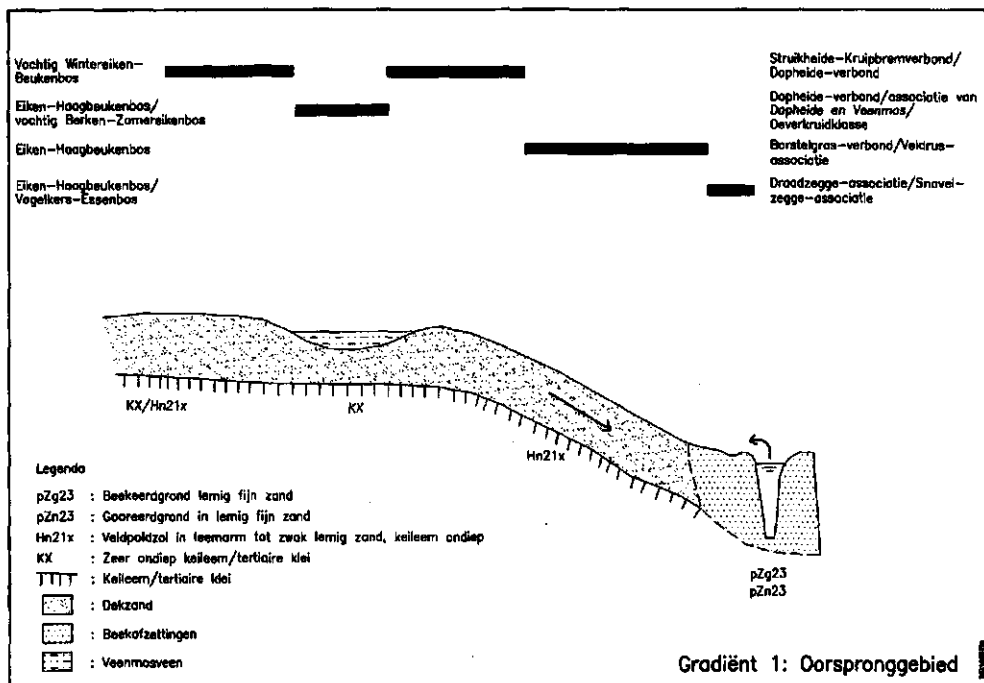
De eerste gradiënt is kenmerkend voor gebieden met keileem of tertiaire klei met bouwsteen B6 uit de starringreeks (Wösten e.a., 1994) ondiep in de ondergrond (Figuur 10). Vanwege de ondiepe ligging van deze slechtdoorlatende lagen, is de waterberging gering. Lokaal kan stagnatie van afstromend neerslagwater optreden, waardoor hoogveenvorming (ketelveentjes) kan plaatsvinden (starringreeksbouwsteen B18; huidige Gt IIa, gewenste Gt I). Bij verving op deze plekken in het verleden, zijn vennen ontstaan (o.a. ven Blekkinkveen). Op de flanken (leemarme, zure zandgronden met starringreeksbouwstenen B1 en B2) betreft de potentiële vegetatie

vooral vochtig wintereiken/beukenbos of heidevegetaties (gewenste Gt VI). In een smalle zone langs een beek kan het vogelkers/essenbos (gewenste Gt II-III) voorkomen. In de gradiënt overheersen zure tot zwak zure omstandigheden. Basenrijke omstandigheden zijn schaars of afwezig.



Figuur 10 Gradiënt kenmerkend voor gebieden met keileem of tertiaire klei ondiep in het profiel (uit Athmer et al., 1997)

De tweede gradiënt is weergegeven in figuur 11. Keileem of tertiaire klei ontbreken of zijn dieper gelegen in de ondergrond. Boven op de gradiënt overheersen leemarme, zure gronden, die op een aantal plaatsen overgaan in sterk lemige zandgronden (bouwsteen B3 van de staringreeks; lichte toename voedselrijkdom ten opzichte van B2).



Figuur 11 Gradiënt kenmerkend voor beekdalen (uit Athmer e.a., 1997)

Vegetatiekundig gezien lijkt de gradiënt vrij sterk op de vorige gradiënt, alleen in het centrale deel van het beekdal van de Stortelersbeek kan mogelijk basenrijke kwel optreden. Lokaal kan hierdoor onder zeer natte omstandigheden (gewenste Gt I/IIa) elzenbroekbos en dotterbloemhooilanden ontwikkeld worden.

3.2 Landbouwkundige evaluatie

De geplande maatregelen in het kader van dit DTO-project behelzen onder andere het veranderen van het landgebruik in multifunctionele varianten. Hiertoe zijn een aantal doelvegetaties gedefinieerd voor bouwland (Meijer en Schröder, 1998) en voor grasland (Korevaar, 1999). In Tabel 2 is per vegetatie weergegeven wat de hydrologisch ideale omstandigheden zijn. Het gaat hierbij om het grondwatertraject voor optimale groei en bewerkbaarheid. Tevens zijn criteria gesteld waarbij de productie totaal verloren zou gaan. Voor de scenario's kan op basis van deze criteria een eerste inschatting worden gegeven van het effect op landbouwkundige geschiktheid. De criteria zijn vrij eenvoudig en statisch van aard, zodat bijvoorbeeld geen oordeel wordt gegeven over de effecten van de veranderde dynamiek in het waterbeheer als gevolg van de scenario's. Voor onderlinge vergelijking van de scenario's zijn deze criteria echter goed bruikbaar.

Het is bij de landbouwkundige evaluatie in dit stadium niet de bedoeling opbrengsten en schades van de maatregelen in de scenario's te schatten. Ook wordt geen aandacht

geschonken aan de bodemkundige geschiktheid voor een bepaald type gewas. Gepoogd wordt om een indicatie te geven van de geschiktheid voor de aangepaste typen van landbouw voor die gronden die nu al de functie landbouw hebben.

Tabel 2 Hydrologische randvoorwaarden voor verschillende typen multifunctioneel grasland en bouwland.

Tabel 2a

Grondgebruikstype	Duur van groeiseizoen	Optimaal grondwaterstandstraject (m - mv.)
Bemest grasland	1 april – 1 november	0,40 – 1,20
Raaigras-vlinderbloem A	1 april – 1 november	0,40 – 0,80
Raaigras-vlinderbloem B	1 april – 1 november	0,80 – 1,20
Grassenmix A	1 april – 1 november	0,40 – 0,80
Grassenmix B	1 april – 1 november	0,80 – 1,20
Grassenmix C	1 mei – 1 oktober	0,25 – 0,40
Bloemrijk grasland A	1 april – 1 november	0,40 – 0,80
Bloemrijk grasland B	1 april – 1 november	0,80 – 1,25
Bloemrijk grasland C	1 mei – 1 oktober	0,25 – 0,40
Gangbaar 2020	1 april – 1 oktober	dieper dan 0,70
Driefunctioneel bouwland	1 april – 1 oktober	dieper dan 0,70
Nat en natuur	1 april – 1 oktober	dieper dan 0,50
Multif. beplantingen	1 april – 1 oktober	dieper dan 0,75

Tabel 2b

Grondgebruikstype	Bewerkbaarheids criterium		Misoogscriterium	
	Minimum # dagen	Grondwaterstand (m - mv.)	Maximum # dagen	Grondwaterstand (m - mv.)
Bemest grasland	23	dieper dan 0,40	21	ondieper dan 0,25
Raaigras-vlinderbloem A	23	dieper dan 0,40	21	ondieper dan 0,25
Raaigras-vlinderbloem B	23	dieper dan 0,40	21	ondieper dan 0,25
Grassenmix A	23	dieper dan 0,40	21	ondieper dan 0,25
Grassenmix B	23	dieper dan 0,40	21	ondieper dan 0,25
Grassenmix C	23	dieper dan 0,40	21	ondieper dan 0,10
Bloemrijk grasland A	23	dieper dan 0,40	21	ondieper dan 0,25
Bloemrijk grasland B	23	dieper dan 0,40	21	ondieper dan 0,25
Bloemrijk grasland C	23	dieper dan 0,40	21	ondieper dan 0,10
Gangbaar 2020	10	dieper dan 0,70	2	ondieper dan 0,20
Driefunctioneel bouwland	10	dieper dan 0,70	4	ondieper dan 0,20
Nat en natuur	10	dieper dan 0,50	4	ondieper dan 0,20
Multif. beplantingen	nvt	nvt	0	ondieper dan 0,50

Tabel 2 is het uitgangspunt voor de landbouwkundige beoordeling op hydrologische geschiktheid. De geschiktheid wordt beoordeeld aan de hand van de vergelijking tussen bovengrens van het optimale grondwaterstandstraject (tabel 2a) en de gemiddelde hoogste grondwaterstand in het groeiseizoen en de ondergrens van het optimale grondwaterstandstraject en de gemiddeld laagste grondwaterstand in het groeiseizoen. Beide zijn afgeleid naar analogie van de methode om de GLG en GHG te berekenen. Ook wordt gekeken naar het percentage dagen in het groeiseizoen dat ligt in het optimale traject.

Hydrologische ongeschiktheid wordt veroorzaakt door langdurige natte omstandigheden. Hiervoor wordt het misoogscriterium gebruikt (tabel 2b). Als de

grondwaterstand langer dan het aantal kritieke dagen ondieper is dan de kritieke grondwaterstand, dan is voor dat jaar het betreffende plot ongeschikt voor het gewas in kwestie.

De bewerkbaarheid of toegankelijkheid van het land moet gedurende een minimaal aantal dagen per maand in het groeiseizoen zijn gegarandeerd, dat wil zeggen dat de grondwaterstand gedurende het genoemde aantal dagen (tabel 2b) dieper moet zijn dan de kritieke grondwaterstand. Is dit niet het geval, dan gaat de productie voor die maand verloren.

4 Scenario-onderzoek

4.1 Inleiding

Het doel van het onderzoek is breed geformuleerd. Er wordt gezocht naar innovatieve maatregelen die het totale gebruiksnut van water sterk vergroten. Het gaat uiteindelijk om het scheppen van een duurzaam perspectief voor de grondeigenaren. Gezien de potentiële opbrengstwaarde van water bij afzet als drinkwater, ligt het voor de hand om in eerste instantie het accent te leggen op onderzoek naar alternatieven voor de diepe winning van grondwater die thans gangbaar is. Het belangrijkste nadeel van continue diepe winning is dat het over een groot gebied een verdrogende werking heeft. Dat maakt het treffen van compenserende maatregelen zeer lastig, zeker wanneer oeverinfiltratie niet mogelijk of niet wenselijk is vanwege problemen met de waterkwaliteit.

Afzet van drinkwater stelt hoge eisen aan kwaliteit en continuïteit van de leverantie. In dit kader blijft waterkwaliteit vooralsnog buiten beschouwing; het uitgangspunt is dat er effectieve maatregelen worden getroffen om de uitspoeling van stoffen binnen aanvaardbare grenzen te houden. Hier wordt verslag gedaan van onderzoek naar het maximaliseren van de continuïteit van de waterleverantie.

4.2 Maatregelen en scenario's

Van nature is de waterleverantie van het proefgebied zeer grillig. Uit de simulatie voor de huidige situatie en uit waarnemingen van gebiedsbewoners komt naar voren dat de beek gedurende ongeveer 1/3 van het jaar droogvalt. Er zijn twee soorten maatregelen mogelijk om de van de waterleverantie te vergroten:

- Aanleg van een reservoir voor de tijdelijke opslag van oppervlaktewater;
- Maatregelen gericht op het verbeteren van de continuïteit van de grondwaterafvoer.

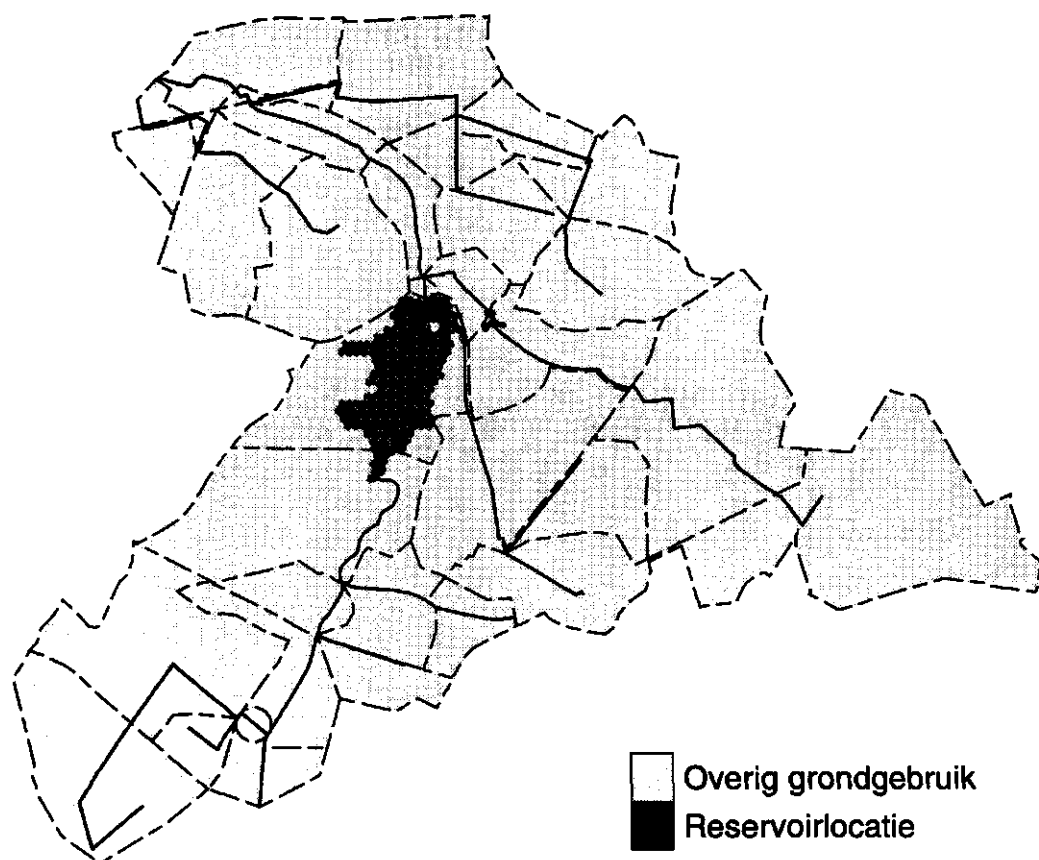
Er zal eerst op verschillende aspecten van dergelijke maatregelen worden ingegaan en tenslotte wordt de lijst met doorgerekende scenario's gepresenteerd.

Ten aanzien van een oppervlaktewaterreservoir doen zich een aantal vragen voor:

- wat is de beste locatie?
- hoe diep moet het zijn?
- moet het reservoir (deels) worden ingegraven?
- hoe groot moet het aftapdebiet zijn?

Voor de locatiekeuze spelen diverse factoren een rol, zoals:

- de aanwezigheid van bebouwing;
- de aanwezigheid van waardevolle natuur;
- de topografie en ligging ten opzichte van het toeleveringsgebied.



Figuur 12 Reservoirlocatie in het proefgebied

De eerste scenarioberekeningen leverden op dat ondanks de aanwezigheid van behoorlijke hoogteverschillen in het terrein het aanleggen van een reservoir 'bovenop' het huidige maaiveld niet erg effectief is: het areaalbeslag is dan relatief groot ten opzichte van het bereikte effect. Uiteindelijk is ervoor gekozen om de scenario's door te rekenen voor een reservoir midden in het proefgebied (Figuur 12), met een omvang van 13,8 ha. De locatie is gekozen op grond van de goede hydrologische omstandigheden, maar hoeft niet de plaats aan te geven waar daadwerkelijk een reservoir zal worden aangelegd. Het gaat er in deze modelstudie om het effect van een fictief reservoir te kwantificeren.

De topografie ter plaatse van dit reservoir biedt mogelijkheden om het vereiste grondverzet voor ingraving te beperken, doordat de beekflanken relatief steil zijn. Deze locatie heeft verder het voordeel dat de toevoer vanuit verschillende deelstroomgebieden kan worden verzameld; het totale areaal van het toevoergebied is 305 ha, zijnde 2/3 van het totale proefgebied. De keuze om het te onderzoeken reservoir niet bij het uitstroompunt van het proefgebied te plaatsen was een bewuste. De locatie middenin maakt het mogelijk om de eventuele benedenstroomse baten van het reservoir te onderzoeken. Het gaat daarbij om positieve effecten op de aquatisch-ecologische waarden en op de kwelafhankelijke terrestrische natuur. In Figuur 12 is overigens ook zichtbaar dat een klein deel van het reservoir niet aansluit bij de rest.

Dat is een gevolg van de topografie, die aldaar een kleine depressie heeft waar de bovenstroomse loop van een zijbeek doorheen loopt. Aangezien deze depressie toch onder water komt te staan is het logisch het ook bij het reservoir te betrekken.

Op basis van enige proefberekeningen is besloten een reservoir te simuleren dat bij het afdampunt 1 m diep is uitgegraven tot een niveau van 31,60 m + NAP. Aangenomen is dat bij het afdampunt het water maximaal tot 1 m boven het oorspronkelijke maaiveld kan worden opgezet. De maximale van het reservoir diepte ten opzichte van het oorspronkelijke maaiveld is 2 m. De maximale inhoud bedraagt 275 000 m³. Gegeven de oppervlakte van 305 ha van het toevoergebied wordt met het reservoir een opslagcapaciteit van 90 mm gecreëerd.

Bij maatregelen gericht op het verbeteren van de continuïteit van de grondwaterafvoer kan men aan verschillende ingrepen denken:

- grondwaterconservering door de ontwatering te remmen middels het opzetten van peilen in de bovenstroomse toevoergebieden;
- vergroten van de grondwaterberging door het aanleggen van diepe drainage in de bovenstroomse toevoergebieden; aan/uit zetten van de drains door middel van 'flexibele drainage';
- minder verbruik van grondwater voor verdamping door verandering van landgebruik; de keuze voor een ander landgebruik hangt ook af van nattere of drogere condities die samenhangen met de overige maatregelen.

Het idee achter het opzetten van peilen is dat daardoor de infiltratie naar het grondwaterreservoir wordt bevorderd, en dat daardoor de grondwaterafvoer naar de beek geleidelijker zal zijn en een verbeterde continuïteit zal vertonen. Tegelijkertijd kan een eventueel naastliggend nat natuurgebied op die manier worden ontzien, als gevolg van de gedeeltelijke bufferwerking van de vernatte landbouwgronden.

Bij aanleg van diepe drainage wordt gedacht aan drains op een diepte van 2 m; die diepte kan de gangbare draineerapparatuur nog wel aan. Het idee achter het aanleggen van diepe drainage is tweeledig:

- door diep te draineren wordt in de grond ruimte gecreëerd voor de tijdelijke opslag van water; met de flexibele drainage kan deze opslag naar wens worden aangesproken in situaties dat de waterleverantie vanuit het reservoir wegens watergebrek wordt onderbroken;
- door de diepe drainage en gemiddeld lagere grondwaterstanden wordt de capillaire opstijging vanuit het grondwater teruggebracht en daarmee de verdamping van de vegetatie.

Flexibele drainage kan in de praktijk worden gerealiseerd door de uiteinden van buizen van draaibare L-stukken te voorzien. De schaduwzijde van diepe drainage is dat eventueel aanwezige natte natuurwaarden kunnen worden aangetast, ook op supra-regionale schaal. In het studiegebied is echter de doorlatendheid van de ondergrond relatief gering, en bevindt zich in het toevoergebied van het reservoir op minder dan 10 m diep een laag tertiaire klei die een isolerende werking heeft; daardoor zijn de uitstralingseffecten via de diepe ondergrond zeer beperkt.

Zowel waterconservering met flink verhoogde grondwaterstanden als diepe drainage met flink verlaagde grondwaterstanden kunnen nadelig zijn voor de landbouwopbrengst. Door op deze nadelen in te spelen en het landgebruik aan te passen kan een deel van het nadelige effect worden weggenomen of op andere wijze worden gecompenseerd. Door de landbouwgrond een multifunctioneel gebruiksdoel te geven krijgt het bijvoorbeeld een zekere natuurwaarde. De daarmee samenhangende beperking van nutriëntentoediening leidt tot vershraling en in een bepaalde mate tot een afname van de verdamping. In de DTO-projecten 'Multifunctioneel grasland' (Korevaar, 1999) en 'Multifunctioneel bouwland' (Meijer en Schröder, 1998) zijn voor grasland en bouwland een aantal alternatieven uitgewerkt. In het kader van dit verkennende onderzoek zijn voorlopig alleen de extreme varianten meegenomen:

- 'Bloemrijk grasland', met ten opzichte van bemest grasland een productieniveau van 50%; dit percentage geldt bij optimale watervoorziening;
- 'Nat en natuur', dit is een rotatie van diverse granen die onder relatief natte condities nog een redelijk productieniveau halen.

Een cruciale vraag is in welke mate de gewasverdamping terugloopt bij teruglopende productie. Hier zal bij de bespreking van de scenario's nader op worden gegaan.

In Tabel 3 is een opsomming gemaakt van de doorgerekende hoofd- en nevenscenario's. Op het waarom van de nevenscenario's wordt bij de bespreking nader ingegaan.

Tabel 3 Lijst van doorgerekende scenario's

Nr.	Hoofdscenario	Nr.	Nevensscenario
1	Huidige situatie		
2	Reservoir zonder doorlaat		
3	Reservoir met doorlaat	3.1-3.4	Doorlaat van 15, 25, 50, 100 l.s ⁻¹
		3.5	Doorlaat 25 l.s ⁻¹ , dichte reservoirbodem
		3.6	Doorlaat 25 l.s ⁻¹ , 50% verd. open water
4	Reservoir met doorlaat 25 l.s ⁻¹ en opzetten peil in waterconserveringsgebieden	4.1	Huidige landbouw
		4.2-4.4	Schraalgraslanden, reductie van de potentiële graslandverdamping met 15, 30 en 50%
5	Reservoir met doorlaat 25 l.s ⁻¹ diepe drainage waterconserveringsgebieden	5.1-5.4	Permanente drainage met weerstanden 150, 250, 400, 600 d
		5.5-5.9	Regeling drainage adhv reservoirpeil, dr. Weerstand 70, 150, 250, 400, 600 d
		5.10	Regeling adhv reservoir, dr.w. 250 d, regeling tevens adhv grondwater
		5.11	Als 5.8 met 'ecologisch reservoir' van 1,25 m diep
		5.12-5.14	Als 5.9 met schraalgrasland ipv grasland, met reductie van de pot. verdamping met 15, 30 en 50%
		5.15	Als 5.12 met alle bouwland granen

4.3 Resultaten

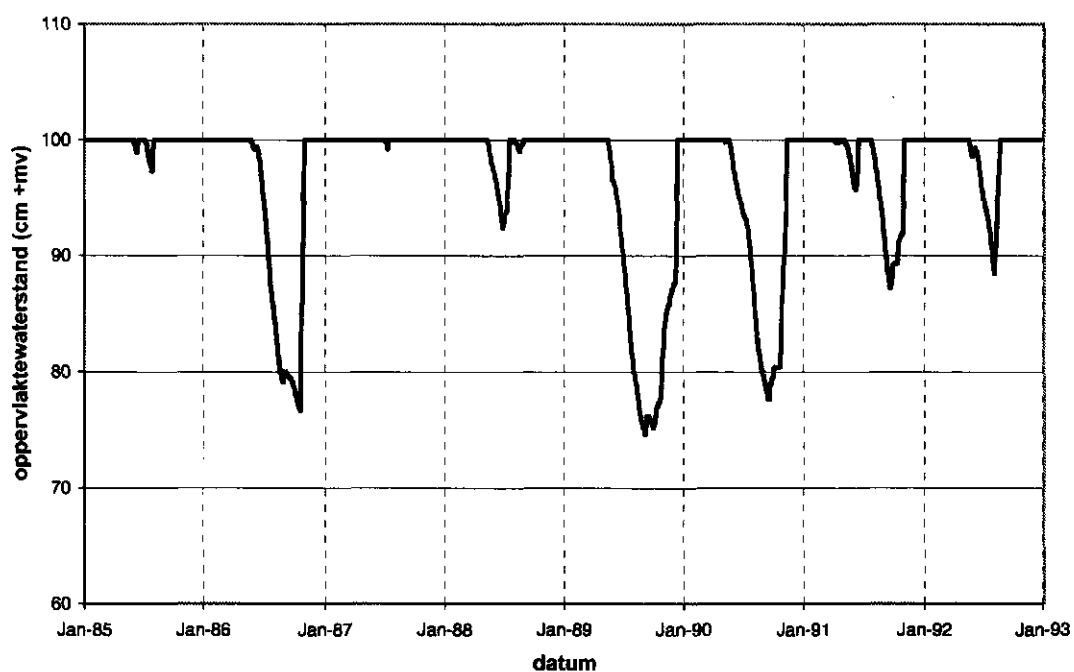
De scenario's zullen in groepen worden besproken:

- aanleg van het reservoir (hoofdscenario 2);
- beheer van het reservoir (hoofdscenario 3);
- waterconservering door middel van opzetten peil (scenario 4.1);
- diepe drainage (hoofdscenario 5);
- combinaties met multifunctioneel landgebruik (scenario's 4.2-4.4, 5.12-5.15)

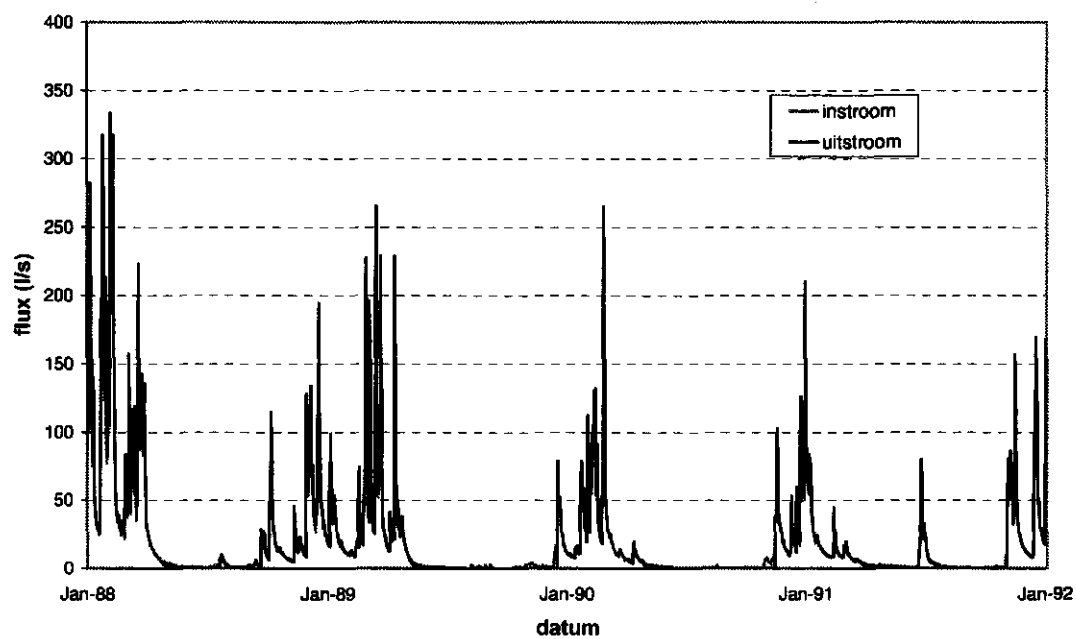
4.3.1 Aanleg van een reservoir

In hoofdscenario 2 is er sprake van een reservoir zonder beheer. Dit scenario is bedoeld om de hydrologische effecten van de aanleg van een reservoir op de omgeving af te tasten en om een beeld te krijgen van de verliezen uit een reservoir door uitstroom, verdamping en wegzijging. Het doorgelaten debiet wordt, hoewel dit vanuit hydrologisch en ecologisch oogpunt onwenselijk is, op nul gehouden zo lang het reservoir niet geheel vol is. Dat is gedurende circa de helft van de tijd het geval, zoals blijkt uit het gesimuleerde peilverloop in Figuur 13. In Figuur 14 is het gesimuleerde verloop van in- en uitstroom van het reservoir weergegeven. De uitstroom is tijdens afvoerrijke periodes vrijwel gelijk aan de instroom.

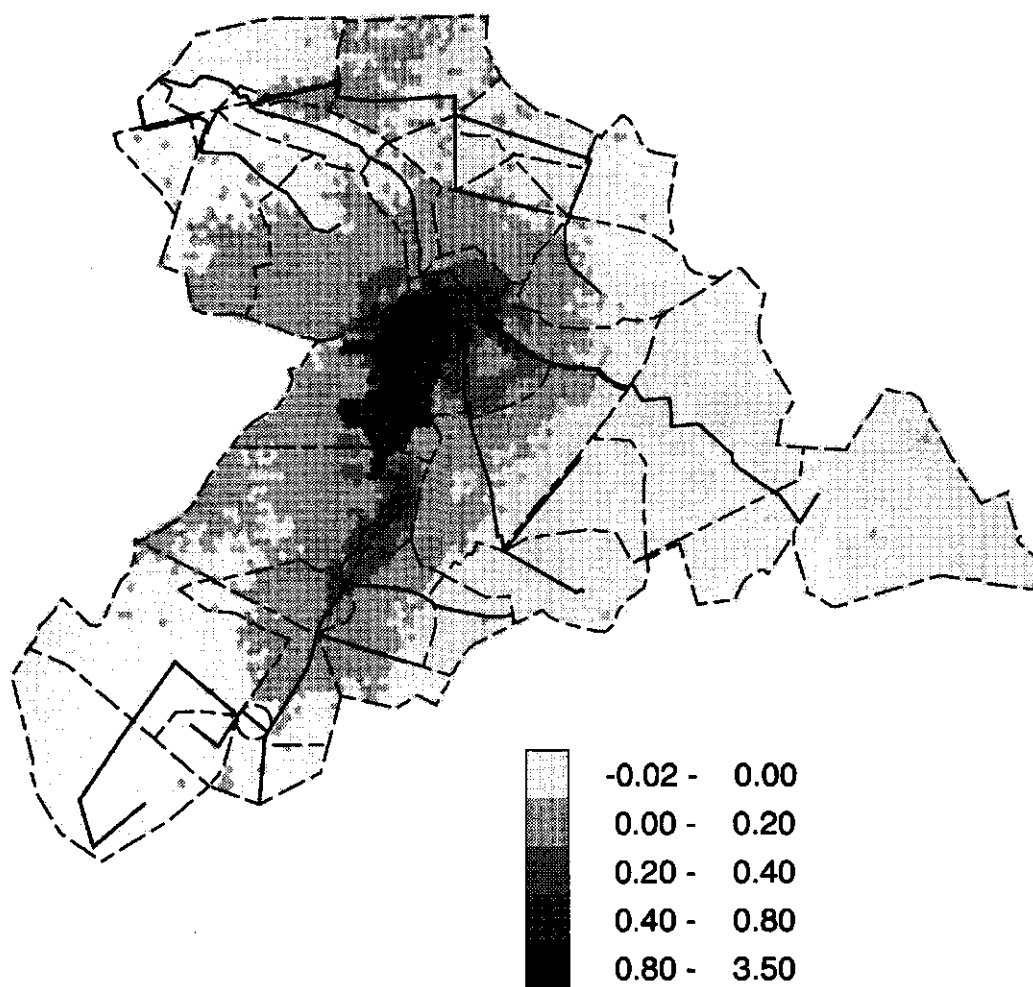
Aanleg van een reservoir heeft gevolgen voor de omgeving. In Figuur 15 is de veroorzaakte stijging van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) uitgebeeld. In verband met de eventueel hierdoor veroorzaakte natschade kan deze stijging nadelig zijn voor de landbouw, maar daar staat tegenover dat er ook baten zijn als gevolg van de eveneens veroorzaakte stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand zoals blijkt uit Figuur 16. Deze stijging geeft weer een vermindering van de droogteschade. Dat reservoiraanleg een stijging van de GLG veroorzaakt wil overigens niet zeggen dat het altijd een positief effect heeft op de laagste grondwaterstanden. Dat is alleen gemiddeld het geval. Wanneer het reservoir helemaal leeg raakt zal er tijdelijk een verdrogend effect optreden langs de rand waar het reservoirtalud 2,25 m de grond insteekt.



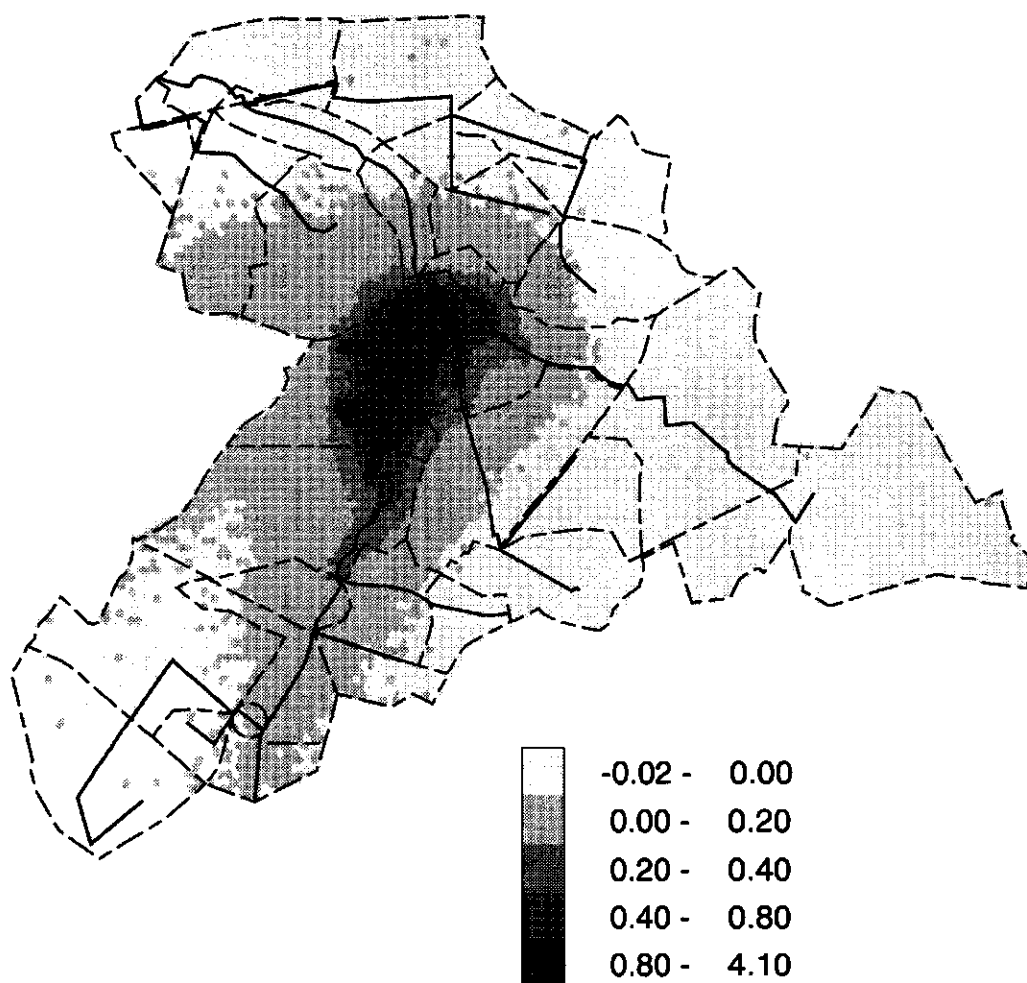
Figuur 13 Peilverloop van het reservoir in scenario 2 met alleen een overlaat en geen doorlaat van water



Figuur 14 Instroom en uitstroom van het reservoir tijdens een deel van de simulatieperiode



Figuur 15 Stijging van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (m) als gevolg van de reservoiraanleg



Figuur 16 Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (m) als gevolg van de reservoiraanleg

4.3.2 Beheer van het reservoir

De hoofdvraag met betrekking tot het reservoirbeheer betreft de optimale grootte van het zogenaamde aftapdebiet dat bij het reservoir wordt uitgelaten voor gebruik ten behoeve van waterwinning of verdrogingsbestrijding in het benedenstroomse gebied. In het model is het kunstwerk voor deze uitstroom gesimuleerd als een dam met onderin een doorlaatopening waarvan het debiet exact geregeld kan worden. Het doorgelaten debiet wordt in de tijddiagrammen opgeteld bij de hoeveelheid die via de overlaat wordt afgevoerd. De overlaat is alleen actief als het maximumpeil van het reservoir als gevolg van een hoog instroomdebiet (hoger dan het aftapdebiet) dreigt te worden overschreden. De overlaat is gemodelleerd als een automatische stuw, zodat er geen verdere peilstijging boven het ingestelde maximum reservoirpeil kan plaatsvinden.

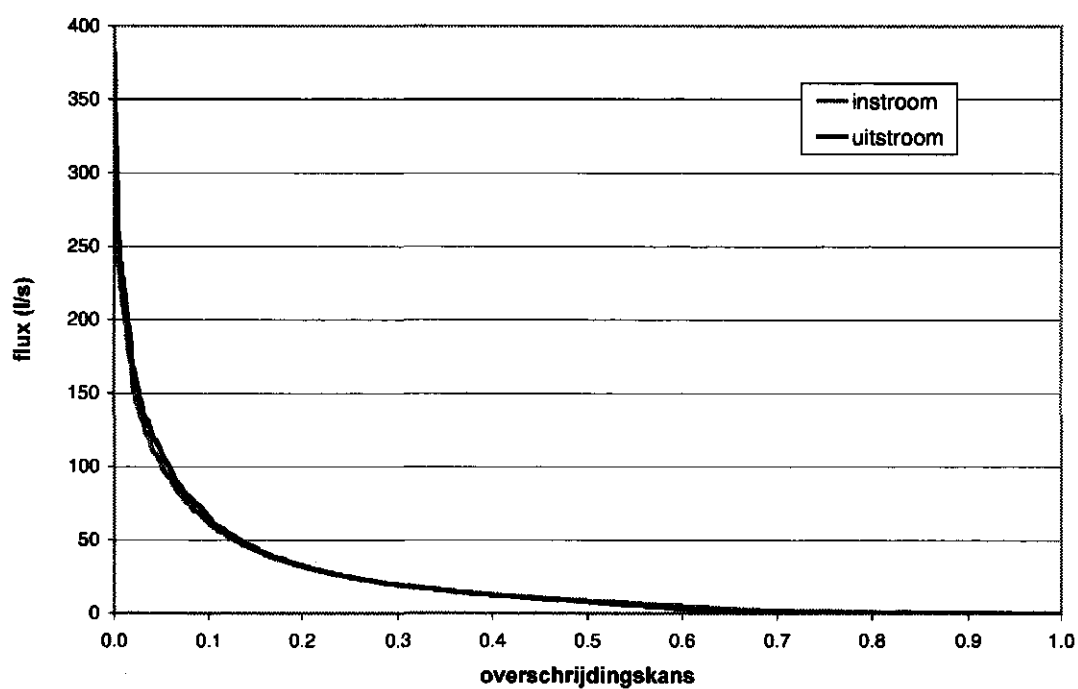
Vooraf bij waterwinning komt het erop aan dat het debiet zo constant mogelijk is, en dat de infrastructuur om het water af te voeren en te verwerken daarop is afgestemd.

Bepalend voor het gebruiksnut van het geleverde water is de combinatie van debiet en leverantiebetrouwbaarheid. Die betrouwbaarheid wordt hier gelijk gesteld aan de tijdsfractie dat een bepaald debiet minimaal wordt geleverd.

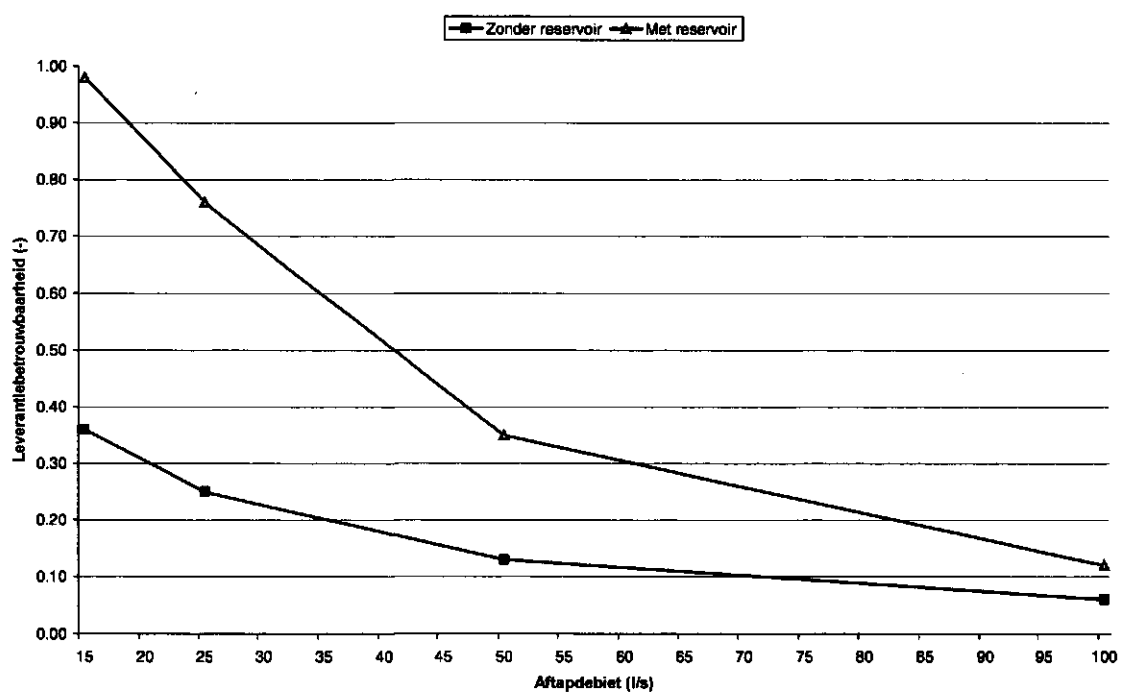
Bij een vol reservoir wordt het doorgelaten debiet geheel bepaald door het aanbod van water uit de toevoergebieden. Het in scenario 2 ontbreken van een doorlaatconstructie voor het aftapdebiet heeft tot gevolg dat veel water wordt 'verspild' doordat meestal meer wordt doorgelaten dan voor een bepaald aftapdebiet is vereist. Dat wordt uitgebeeld aan de hand van Figuur 17 waarin voor het reservoir het verband is weergegeven tussen afvoer (dikke lijn) en de bijbehorende overschrijdingskans. Hoe hoger die kans, hoe lager het debiet dat (minimaal) wordt geleverd. Het hellende verloop van de lijn houdt in dat voor elke mogelijke grootte van het aftapdebiet er gedurende een aanzienlijk deel van de tijd meer water wordt doorgelaten dan nodig is. (Het gevraagde aftapdebiet wordt alleen momentaan precies gerealiseerd bij het stijgen en dalen van de afvoer.)

In Figuur 17 is behalve de curve voor de afvoer (dikke lijn) ook de curve voor de aanvoer van water uit de toevoergebieden weergegeven (dunne lijn). Die curve verschilt slechts weinig van die voor de afvoer: bij hoge afvoer loopt de aanvoercurve iets onder de afvoercurve, en bij lage afvoeren is het andersom. De achtergrond daarvan is dat lage afvoeren meer kans hebben om 'in het reservoir te verdwijnen' dan hoge, doordat lage afvoeren zich meestal voordoen in periodes dat het reservoir als gevolg van een neerslagtekort en wegzijging niet tot de rand is gevuld. Dit doet zich bijna iedere zomer gedurende enkele maanden voor. Bij hoge afvoeren gedraagt het reservoir zich in de simulaties als een verhard oppervlak: overtollig regenwater wordt direct afgevoerd, afvoerpieken versterkend. In de praktijk kunnen door slim reservoirbeheer afvoerpieken juist worden afgevlakt. Hierop wordt in het vervolg niet ingegaan.

In de varianten van hoofdscenario 3 wordt onnodige 'verspilling' van water vermeden door met een constant doorlaatdebiet te werken. Dat doorlaatdebiet wordt zo lang mogelijk gelijkgehouden aan het gevraagde aftapdebiet. Maar als het reservoir leegraakt, dan wordt het doorgelaten debiet geheel bepaald door het aanbod van water vanuit de toevoergebieden. In Figuur 18 is voor de scenario's met aftapdebiet van respectievelijk 15, 25, 50 en 100 l.s⁻¹ het debiet uitgezet tegen de betrouwbaarheid in de vorm van de tijdsfractie. Tevens is de betrouwbaarheid weergegeven voor de situatie zonder reservoir. Het 'aftapdebiet' kan worden benut voor zowel het garanderen van een minimumdebiet benedenstrooms als voor oppervlakte-waterwinning.

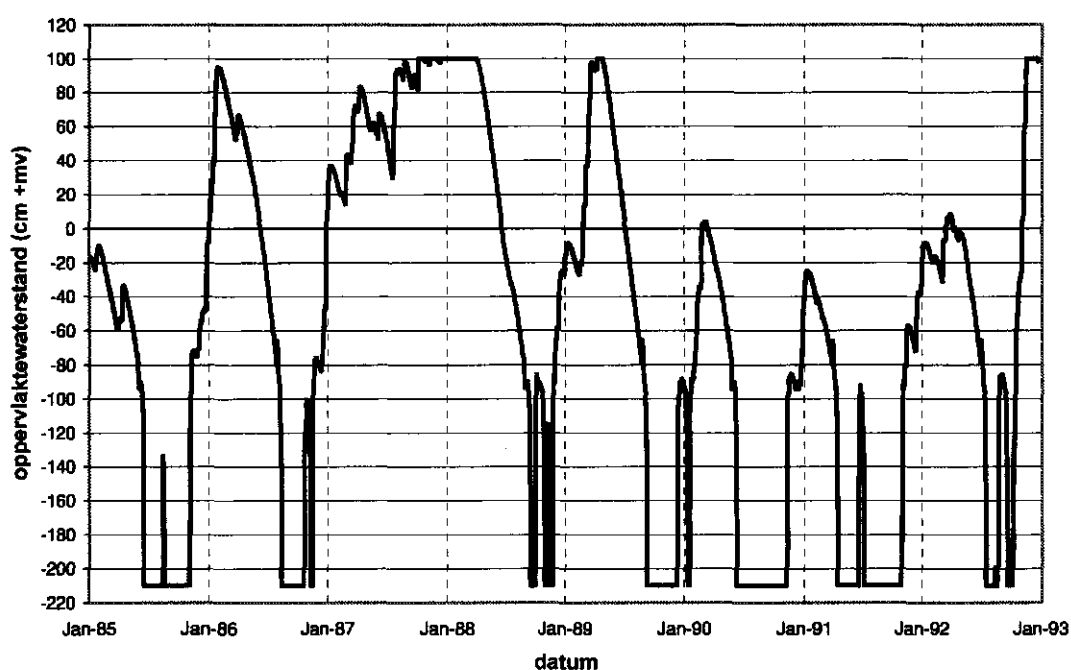


Figuur 17 Overschrijdingskans van reservoirafvoeren in scenario 2

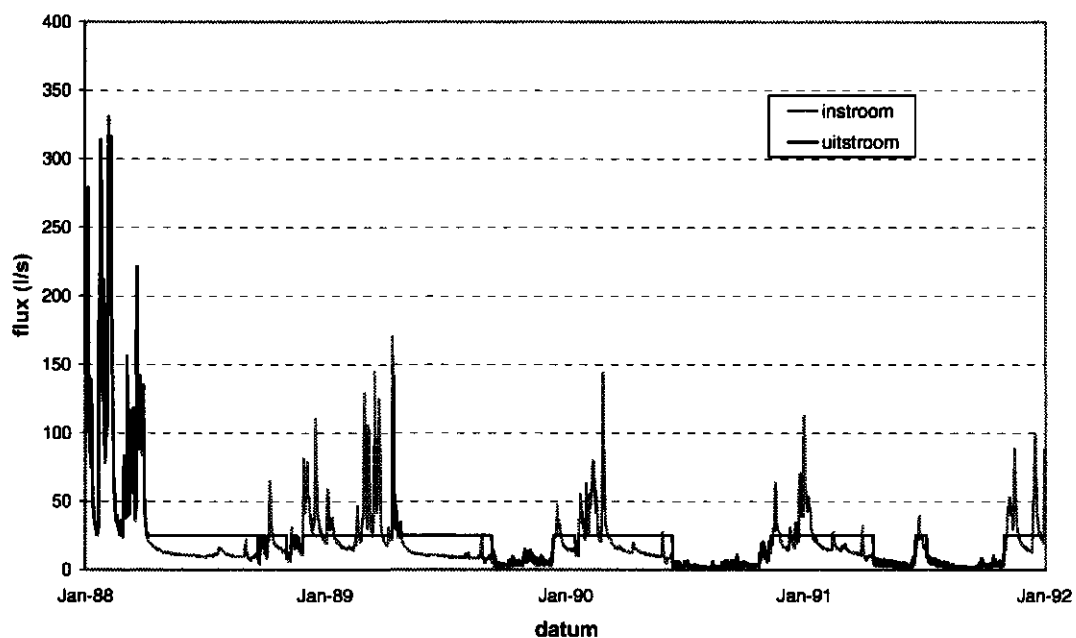


Figuur 18 Aftapdebiet en leverantiebetrouwbaarheid, voor de situatie met en zonder reservoir.

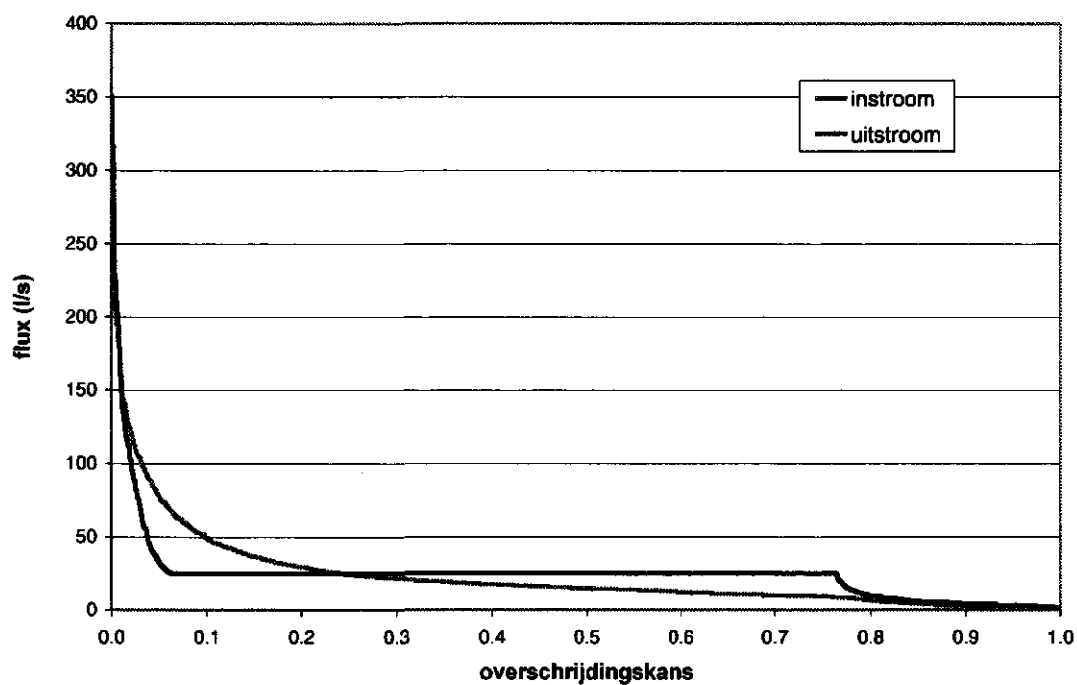
Op basis van de resultaten voor verschillende aftapdebieten is ervoor gekozen om de overige scenario's door te rekenen met een aftapdebiet van 25 l.s^{-1} . Voor dat debiet is zonder verdere maatregelen een leverantiebetroouwbaarheid van 0,76 te bereiken. Dat is een $2\frac{1}{2}$ keer grotere betrouwbaarheid dan de 0,30 die wordt berekend voor de huidige situatie (en de situatie met reservoir zonder doorlaat). De gesimuleerde tijdverlopen en de overschrijdingskanslijnen van in- en uitstroomdebieten zijn weergegeven in Figuur 19, Figuur 20 en Figuur 21. Een leverantiebetroouwbaarheid van 0,76 is voor het gebruiksdoel waterwinning nog niet hoog genoeg; maar met extra maatregelen zal het vereiste niveau benaderd kunnen worden. Als er was gekozen voor een aftapdebiet van 15 l.s^{-1} met een leverantiebetroouwbaarheid van 0,98, dan zou er nog weinig reden zijn voor het treffen van additionele maatregelen. Daarmee zou het gebied echter onderbenut worden voor het doel waterwinning.



Figuur 19 Peilverloop van het reservoir in scenario 3.2, met een 'aftapdebiet' van 25 l.s^{-1}



Figuur 20 Instroom en uitstroom van het reservoir tijdens de simulatieperiode in scenario 3.2, met een aftapdebiet van 25 l.s^{-1}



Figuur 21 Overschrijdingskans van afvoeren uit het reservoir met een aftapdebiet van 25 l.s^{-1} in scenario 3.2

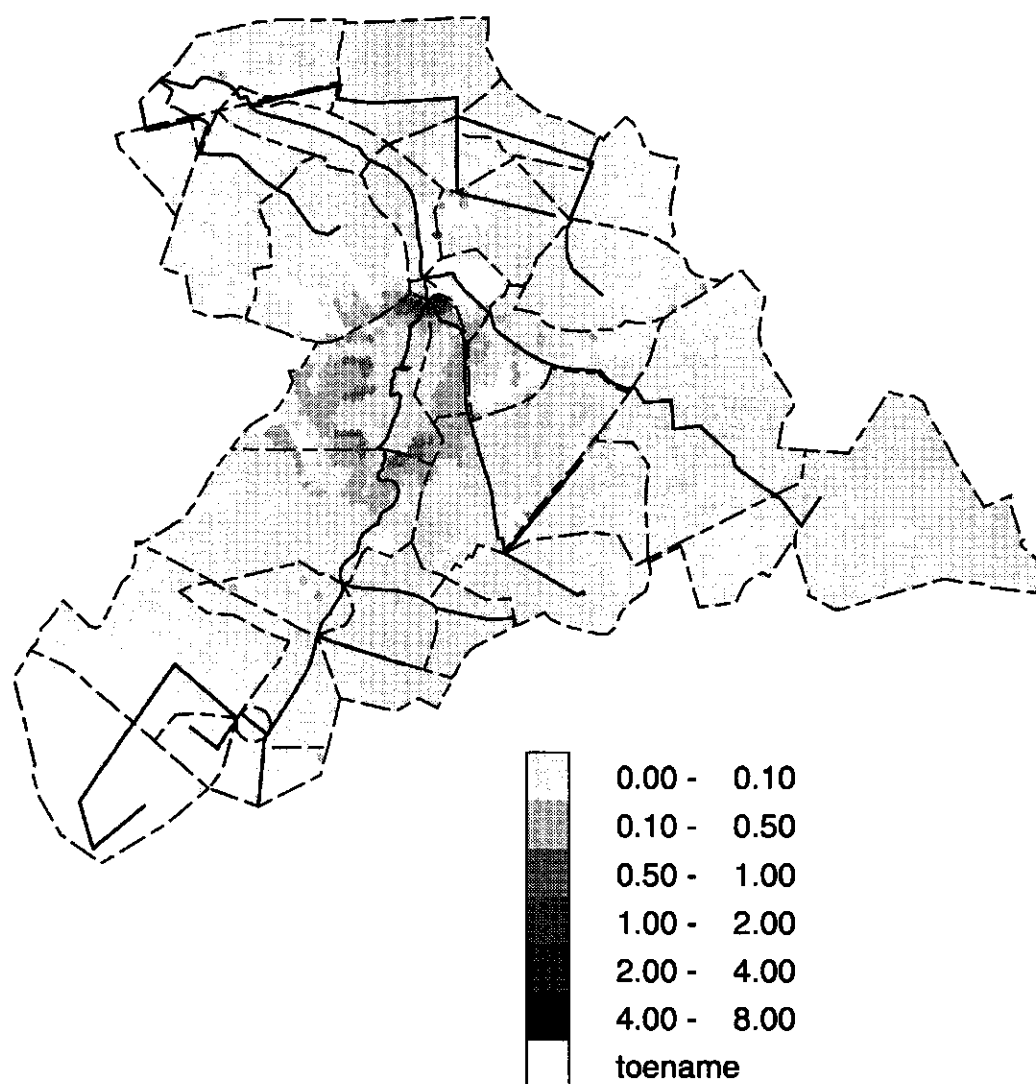
Een continue leverantie van 25 l.s^{-1} komt overeen met een volume van $790\,000 \text{ m}^3$ per jaar. Op een areaal van 305 ha (de oppervlakte van het toevoergebied) vertegenwoordigt dat een waterschijf van 260 mm.jr^{-1} . Dat komt vrijwel overeen met het gemiddelde neerslagoverschot van 255 mm.jr^{-1} tijdens de simulatieperiode.

Bij aanleg van een reservoir is het wel of niet dichtmaken van de reservoirbodem een belangrijk ontwerp vraagstuk. Met scenario 3.5 is onderzocht wat de gevolgen zullen zijn van het dichtmaken van de reservoirbodem. Het blijkt dat het dichtmaken van de bodem per saldo een verlaging van de leverantiebetrouwbaarheid van 0,76 naar 0,74 ten gevolge zal hebben, althans voor het ingegraven reservoir waarmee de simulaties zijn uitgevoerd. Bij volledige vulling van het reservoir is er bij een dichte reservoirbodem minder wegzijging in het deel van het reservoir waar de drukhoogte boven het oorspronkelijke maaiveld uitkomt, zoals te zien is in Figuur 22 (aan de noordzijde van het reservoir). Uit deze figuur blijkt dat er ook een afname van de wegzijging waarneembaar is in het gebied buiten het reservoir. Die afname is een gevolg van het minder worden van de drainerende werking die het reservoir heeft als de bodem niet meer doorlatend is. De afname van de drainerende werking is ook zichtbaar aan de afname van de kwel in Figuur 23. Eveneens zichtbaar is de lichte afname van de kwel direct benedenstrooms van het reservoir. Bij een open reservoirbodem kan deze kwel gunstige gevolgen hebben voor de aldaar aanwezige natte natuurwaarden. Bij dichtmaken van de bodem valt dat potentiële voordeel weg. Als gevolg van de geringe doorlatendheid van de ondergrond gaat het in dit gebied overigens om een klein effect.

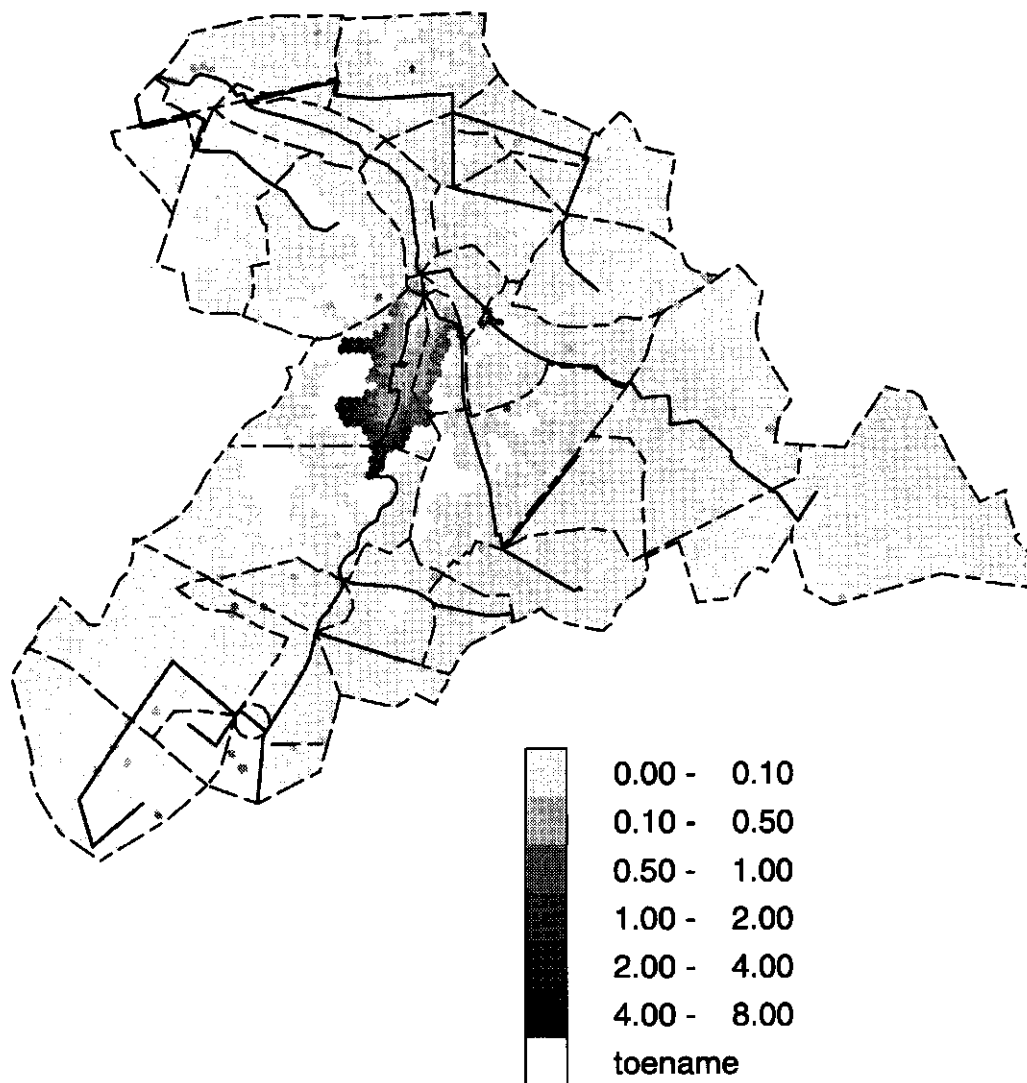
Met scenario 3.6 is onderzocht hoe gevoelig de leverantiebetrouwbaarheid is voor de verdamping vanuit het reservoir. Dat is gedaan door de verdamping uit open water terug te brengen tot 50% van de gangbare waarde van 1,25 maal de Makkink-referentiegewasverdamping. Het model geeft aan dat daardoor de leverantiebetrouwbaarheid toeneemt van 0,76 naar 0,80.

In dit kader is het relevant stil te staan bij de manier waarop de verdamping van open water wordt berekend. De aangehouden 'gewasfactor' van 1,25 geeft voor de zomerperiode verdampingswaarden die de Penman-verdamping voor open water redelijk benaderen. Voor de winterperiode is de berekening via de Makkink referentiegewasverdamping echter minder nauwkeurig, althans gerekend in procenten. Maar omdat het niveau van de verdamping dan relatief laag is valt de gemaakte fout in absolute termen mee. De Penman-verdamping geldt overigens voor 'zwart' water. In de praktijk heeft het meeste oppervlaktewater een groenige kleur, waardoor de verdamping afneemt als gevolg van een grotere reflectie van de inkomende straling. In het kader van deze studie kan worden aangenomen dat het oppervlaktewater (uiteindelijk) van zeer goede kwaliteit zal zijn en dat daardoor de verdamping de theoretische waarde zal benaderen. De vraag is dan op welke wijze de reductie van de verdamping zou kunnen worden gerealiseerd. Hiervoor zijn een aantal alternatieven:

- verkleining van het reservoir, bij gelijkblijvende inhoud;
- plaatsing van een groot areaal zonnecellen die de inkomende straling wegvangen.



Figuur 22 Afname van de wegzijging (mm/d) als gevolg van het dichtmaken van de reservoirbodem. Afgebeeld is het langjarig gemiddelde van de wegzijging in het tweede kwartaal



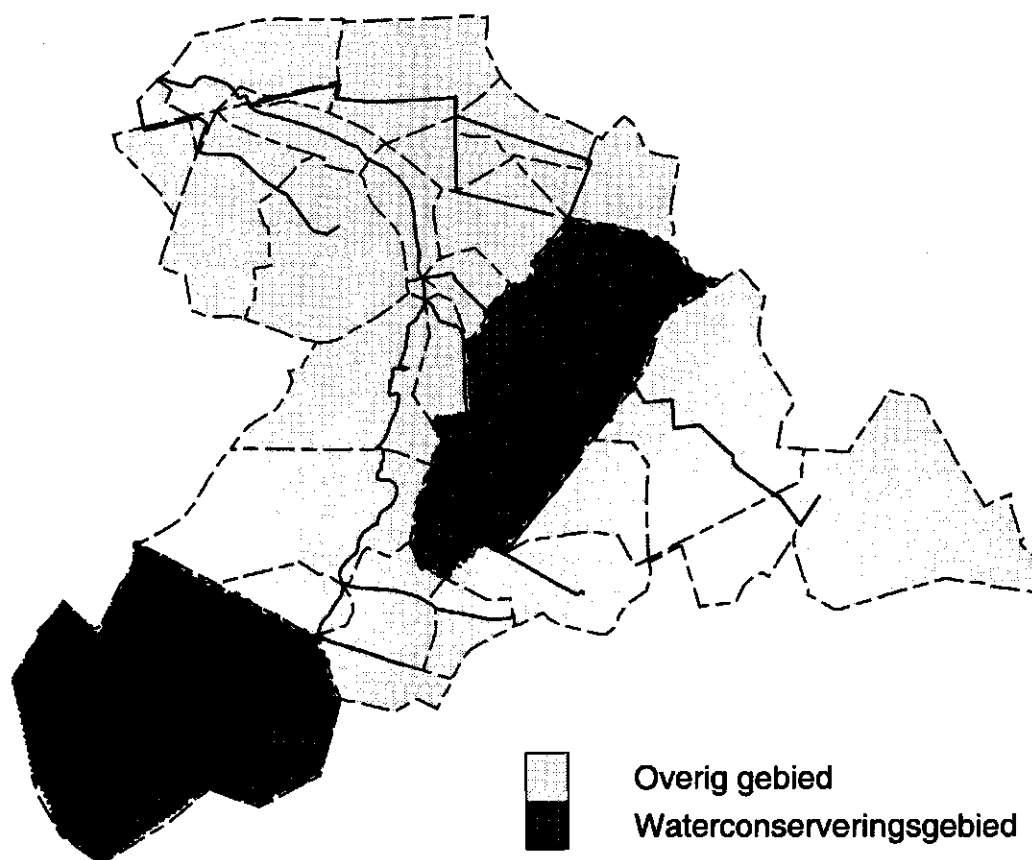
Figuur 23 Afname van de kwel (mm/d) als gevolg van het dichtmaken van de reservoirbodem. Afgebeeld is het langjarig gemiddelde van de kwel in het tweede kwartaal

4.3.3 Waterconservering met peilopzetten

In scenario 4.1 is onderzocht wat de potentiële baten zijn van waterconservering in de gangbare zin van het woord, d.w.z. met het opzetten van peilen. Deze waterconservering is geïmplementeerd in twee aparte deelgebieden van het bovenstroomse toevoergebied. In deze gebieden zijn de volgende maatregelen getroffen:

- het winterpeil is overal op 0,90 m-mv gebracht, en het zomerpeil op 0,50 m-mv;
- er is voor gezorgd dat bij deze peilen ook infiltratie van eventueel afstromend water mogelijk is, d.w.z. van water uit nog verder stroomopwaarts gelegen delen van het stroomgebied.

Het ook kunnen infiltreren van het water bij de genoemde peilen vereist een totale beheersing van de waterverdeling via het oppervlaktewater. Deze rekenwijze geeft derhalve een bovengrens aan van wat er bij de genoemde peilen in de praktijk mogelijk is. De waterconserveringsgebieden zijn in Figuur 24 weergegeven. Het betreft een areaal van 132 ha; dat is ca. 43% van het toevoergebied van het reservoir.

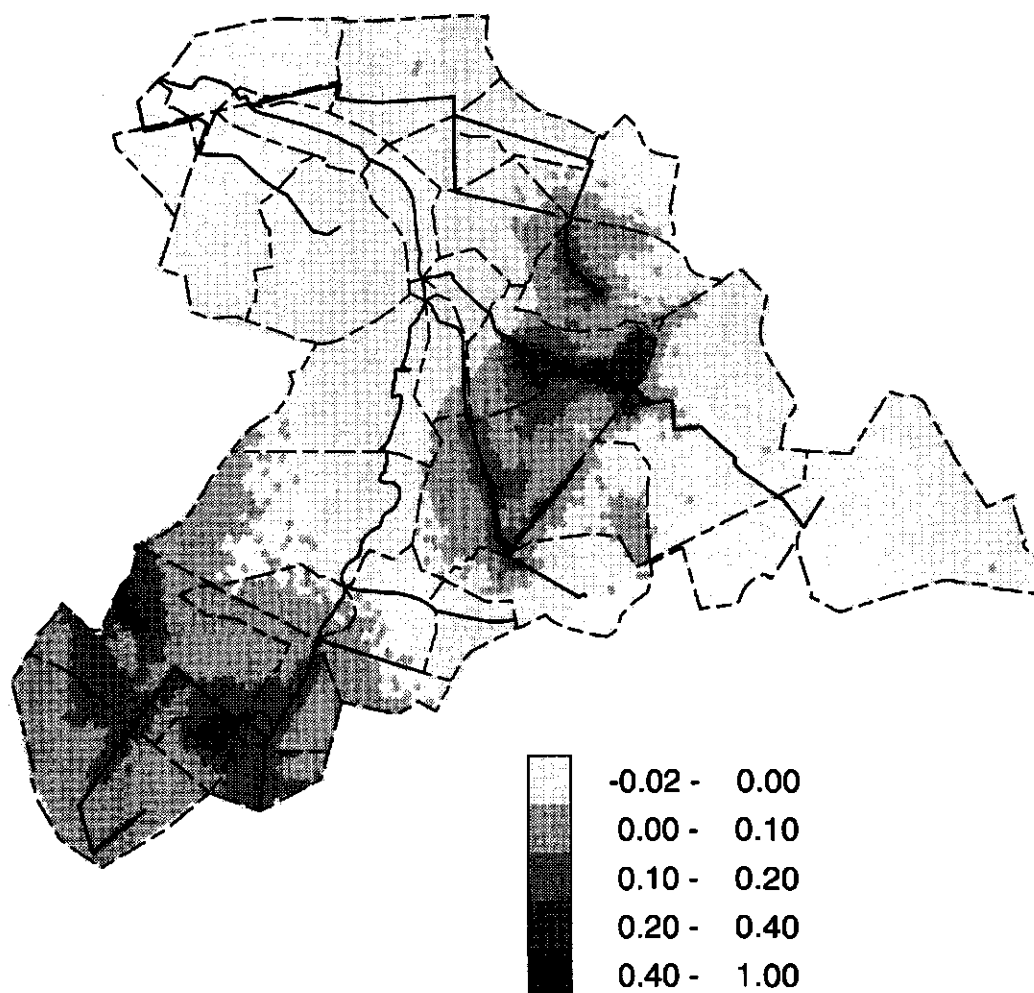


Figuur 24 Speciale waterconserveringsgebieden van hoofdscenario 4 (en hoger)

Uit de simulaties blijkt dat de doorgevoerde maatregelen een effect hebben op bijvoorbeeld de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand, zoals te zien is in Figuur 25. Het verwachte effect op de leverantiebetrouwbaarheid blijft echter geheel achterwege: die blijft 0,76. Dit wordt veroorzaakt door de specifieke eigenschappen van het gebied. Het gaat om een gebied met een relatief sterke helling van het maaiveld in combinatie met een niet erg doorlatende ondergrond. Daardoor wordt de ondergrondse voeding van het reservoir en van de benedenstroomse beektrajecten niet verhoogd door de grotere waterdruk in de bovenstroomse gebieden. Als gevolg van de hogere grondwaterstanden worden bovendien de capillaire opstijging en daarmee de verdamping gestimuleerd. Daardoor neemt het neerslagoverschot af, en is er minder water dat potentieel kan worden gewonnen.

Het doorgerekende scenario is niet erg extreem wat betreft de mate van waterconservering. Verwacht mag worden dat het verder opzetten van de peilen in

combinatie met actief peilbeheer wel zal leiden tot een verbetering van de leverantiebetrouwbaarheid.



Figuur 25 Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (m) als gevolg van waterconserveringsmaatregelen in scenario 4.1.

4.3.4 Diepe drainage in waterconserveringsgebieden

Zoals uiteen is gezet in paragraaf 4.2 is de strategie van diep draineren gericht op:

- creëren van ruimte in de ondergrond voor opslag van water in perioden met een neerslagoverschot;
- terugdringen van de capillaire opstijging;

Verschillende vragen doen zich voor:

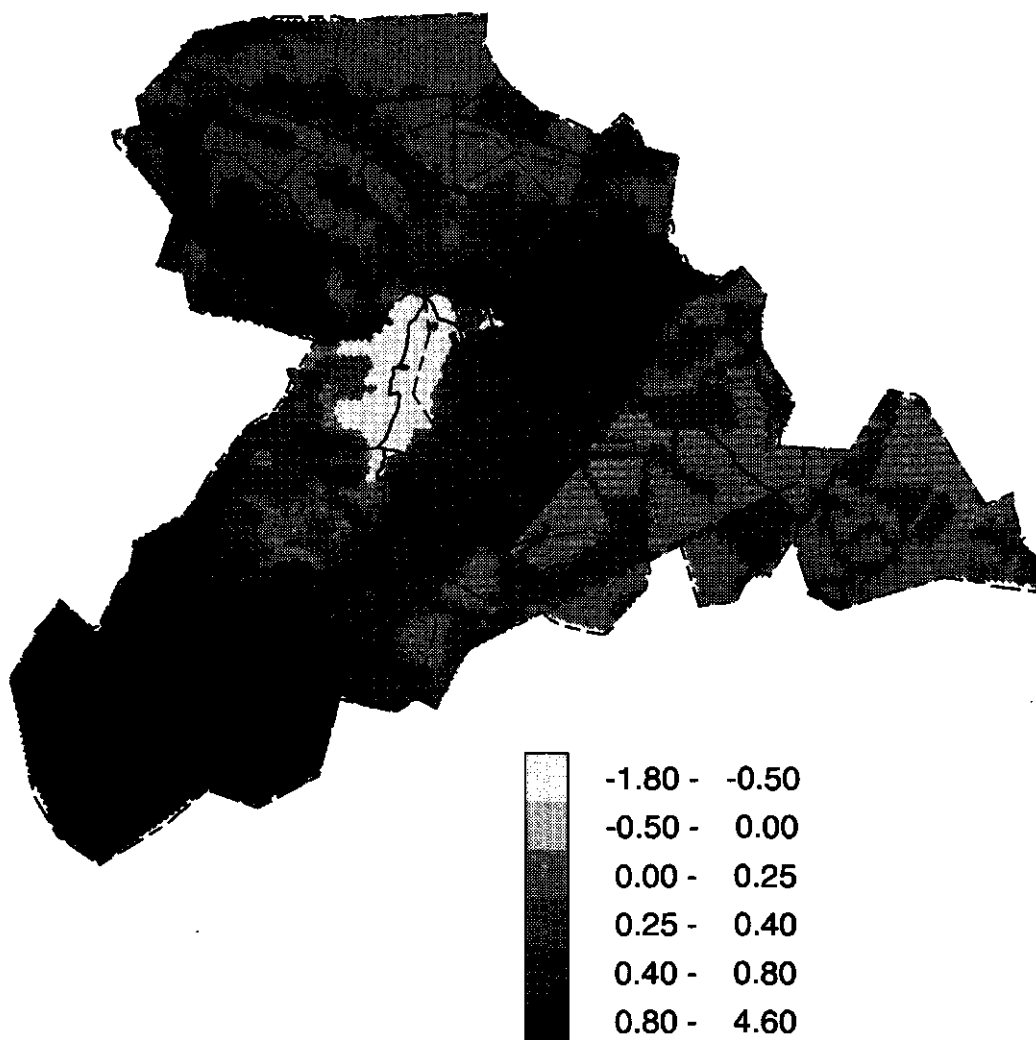
- is het lonend om ‘flexibele’ drainage toe te passen?
- met welke ‘drainageweerstand’ kan het beste worden gedraineerd?

Om te trachten een antwoord te vinden op deze vragen is voor 'permanente' en 'flexibele' drainage een reeks scenario's doorgerekend, met een drainageweerstand variërend tussen de 70 en 600 d. Deze weerstand en daarmee de intensiteit van de drainage is sterk bepalend voor de kosten van aanleg, onderhoud en beheer van het drainagesysteem. In alle gevallen zijn de drains op 2 m beneden maaiveld geplaatst. Bij flexibele drainage is de regeling van de drains in eerste instantie alleen gebaseerd op de waterdiepte in het reservoir:

- bij een waterdiepte van meer dan 1 m (en dus bij een uitputting van minder dan 1 m ten opzichte van de maximumdiepte van 2 m) wordt de drooglegging van de drains relatief ondiep gehouden, d.w.z. op 0,90 m-mv in de winterperiode en 0,50 m-mv in de zomerperiode;
- bij een waterdiepte van minder dan 1 m in het reservoir wordt de drooglegging vergroot tot de draindiepte van 2 m-mv.

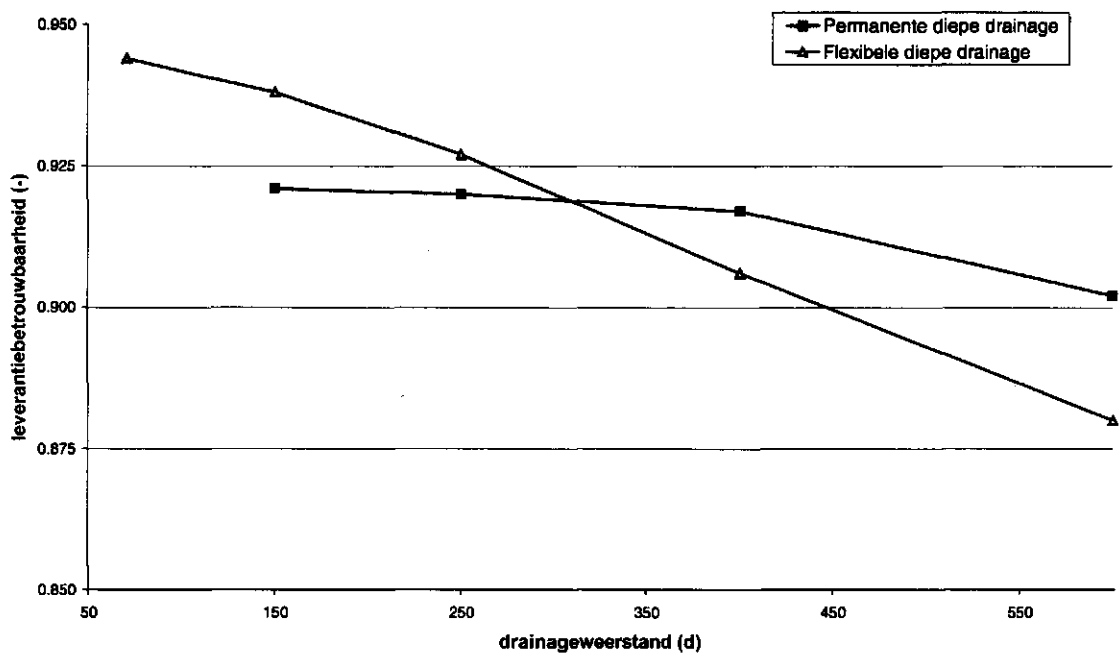
Ter illustratie van het effect van diepe drainage op de grondwaterstanden is in Figuur 26 het ruimtelijk beeld van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand weergegeven zoals die wordt berekend voor het scenario met permanente drainage met een drainageweerstand van 250 d. Het blijkt dat in de gedraineerde gebieden de grondwaterstand bijna nergens meer boven de 0,80 m-mv uitkomt. In werkelijkheid zal op plaatsen waar keileem voorkomt het effect van de drainage veel minder zijn. Bestudering van de keileemkaart (Figuur 2) leert dat het in de waterconserveringsgebieden om een beperkt areaal gaat. Bovendien zijn de scenario's doorgerekend met niet meer dan 43% van gronden voorzien van diepe drainage. Dat houdt in feite al rekening met de nodige uitval in het gebied.

Het percentage van de oppervlakte dat potentieel geschikt is door diepe drainage hangt van een aantal zaken af. De drainage moet bovenstrooms van het reservoir liggen, zodanig dat het water onder vrij verval naar het reservoir kan stromen. De drainage mag geen droogtegevoelige natuur zijn of beïnvloeden. Verder moet de bodem 'draineerbaar' zijn en moet de landeigenaar willen meewerken. Vanwege deze restricties is geschat dat meer dan 50% uitval mogelijk is.

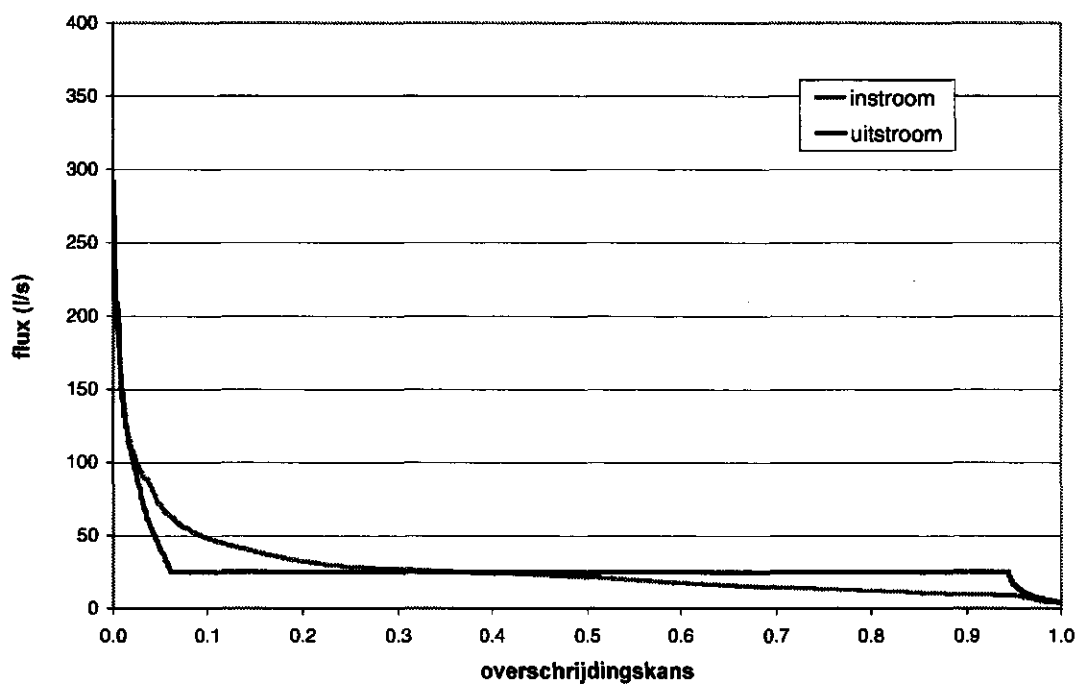


Figuur 26 Berekende Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (m -mv) na implementatie van diepe drainage in de waterconserveringsgebieden

In Figuur 27 zijn voor beide reeksen scenario's (permanente en flexibele drainage) de berekende leverantiebetrouwbaarheden weergegeven. Het blijkt dat flexibele drainage de hoogste leverantiebetrouwbaarheid kan geven, namelijk een waarde van 0,94 tegenover maximaal 0,92 voor permanente drainage. Dat is in beide gevallen een forse verbetering ten opzichte van de 0,76 die zonder diepe drainage wordt gehaald: de periode met onvoldoende leverantie wordt bij flexibele drainage met een factor 4 teruggebracht en bij permanente drainage met een factor 3, van 0,24 naar respectievelijk 0,06 en 0,08. De maximale leverantiebetrouwbaarheid bij flexibele drainage wordt gehaald bij een drainageweerstand van 70 dagen. Dit is voor een keileemgebied een niet erg realistische waarde. In het vervolg wordt ervan uitgegaan dat de drainageweerstand voor de diepe en de flexibele drainage 250 dagen bedraagt.

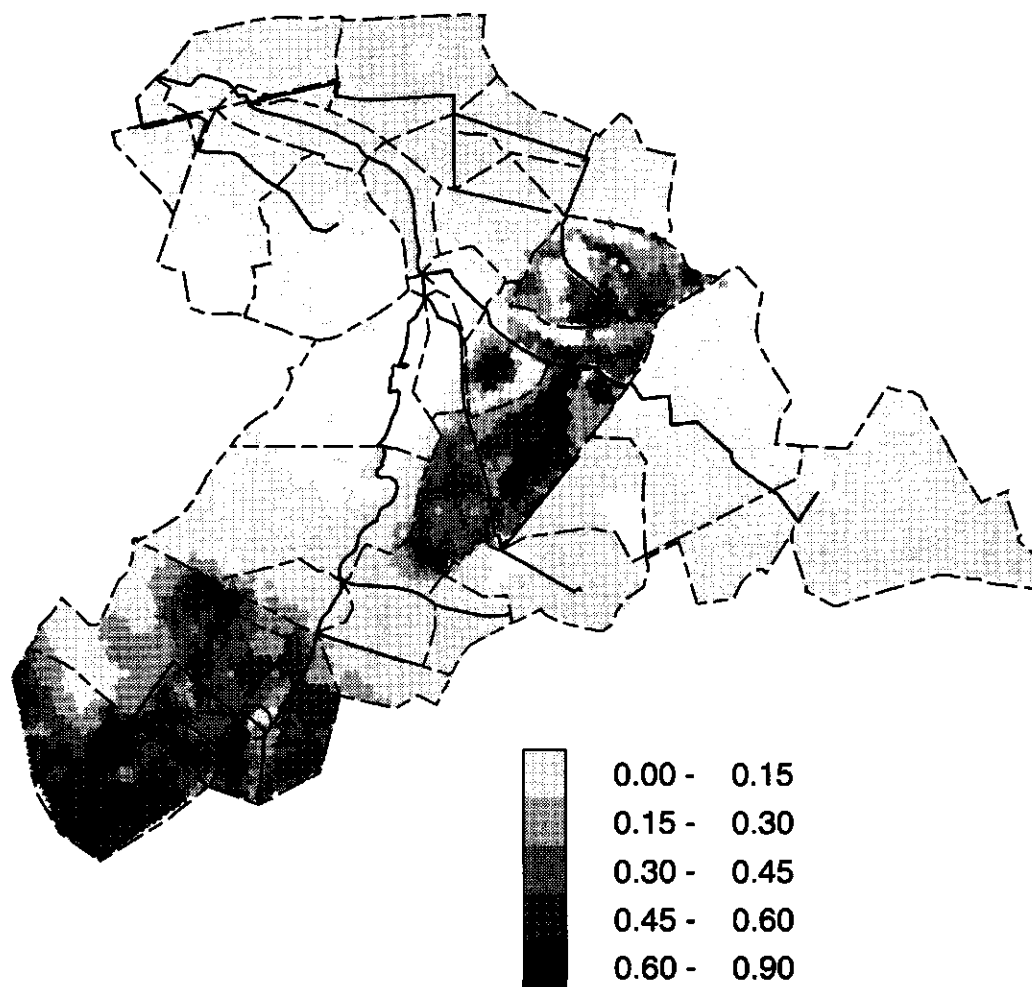


Figuur 27 Gesimuleerde leverantiebetroikbaarheid als functie van de drainageweerstand, voor scenario's met 'permanente' en met 'flexibele' drainage



Figuur 28 Overschrijdingskanslijn van afvoeren voor een reservoir van 2 m diep, en diepe drainage (scenario 5.7)

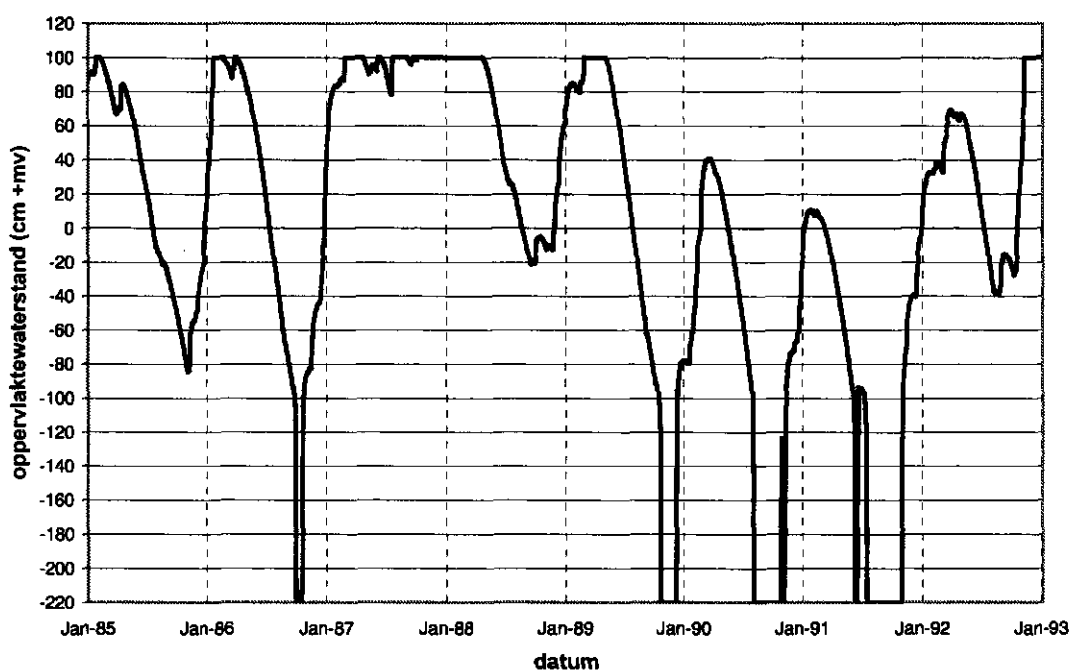
Een voorbeeld van de overschrijdingskanslijn van reservoirafvoeren bij flexibele diepe drainage is gegeven in Figuur 28. De winst van diepe drainage wordt voor een deel gehaald uit een afname van de verdamping: Het langjarig gemiddelde van de jaarverdamping neemt in het toevoergebied van het reservoir gemiddeld af met 30 mm.jr⁻¹. Het gaat daarbij echter ook om een ruimtelijk gemiddelde, met alleen afnames in het deel van het toevoergebied dat als waterconserveringsgebied wordt ingericht. In de laatstgenoemde gebieden is de afname circa tweemaal zo groot. Bij wijze van voorbeeld is in Figuur 29 het ruimtelijk beeld weergegeven van de verdampingsafname in het derde kwartaal. Deze door diepe drainage veroorzaakte verdampingsafname vertaalt zich niet alleen naar een betere leverantiebetrouwbaarheid maar ook naar een toename van de droogteschade van de landbouwproductie



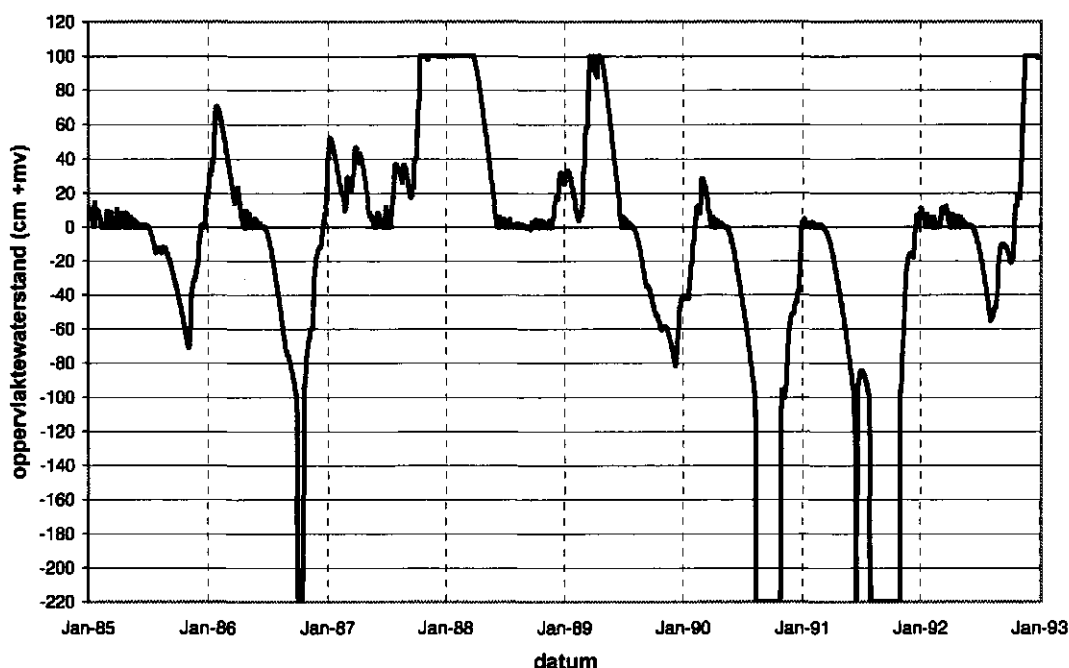
Figuur 29 Afname van het langjarig gemiddelde van de verdamping (mm/d) in het derde kwartaal, als gevolg van aanleg van diepe drainage.

Uit het oogpunt van kosten en praktische uitvoerbaarheid is diepe drainage zonder een regelmechanisme te prefereren boven flexibele drainage. Uit het feit dat voor permanente en flexibele drainage een ongeveer even hoge leverantiebetrouwbaarheid

wordt gehaald mag men echter niet concluderen dat het flexibiliseren van drainage niets oplevert. Dat wordt duidelijk wanneer een vergelijking wordt gemaakt aan de hand van het peilverloop in het reservoir. In Figuur 30 is voor een drainageweerstand van 250 d het reservoirpeilverloop weergegeven bij permanente drainage; in Figuur 31 is het verloop gegeven bij flexibele drainage. Uit de vergelijking tussen de twee verlopen valt op dat bij flexibele drainage het reservoir gemiddeld gesproken minder gevuld is. Dat komt doordat aan het grondwater in de waterconserveringsgebieden pas echt wordt getrokken op het moment dat het reservoir minder dan 1 m water bevat. Bij hogere standen wordt door de flexibele drainage het water in de waterconserveringsgebieden zoveel mogelijk op zijn plaats gelaten. Er wordt daadwerkelijk grondwater achter de hand gehouden. Bij permanente drainage daarentegen wordt er altijd maximaal aan het grondwater getrokken; het relatief voortijdig afstromende water wordt vervolgens in het reservoir opgeslagen. Vanuit kosten oogpunt is het wenselijk om de reservoirinhoud zo klein mogelijk te houden. Aangezien bij flexibele drainage het oppervlaktewater-reservoir minder wordt gebruikt dan bij permanente drainage, zal in het eerste geval verkleining van het reservoir minder ten koste gaan van de leverantiebetrouwbaarheid. Daarom is bij de verdere berekeningen uitgegaan van flexibele drainage.

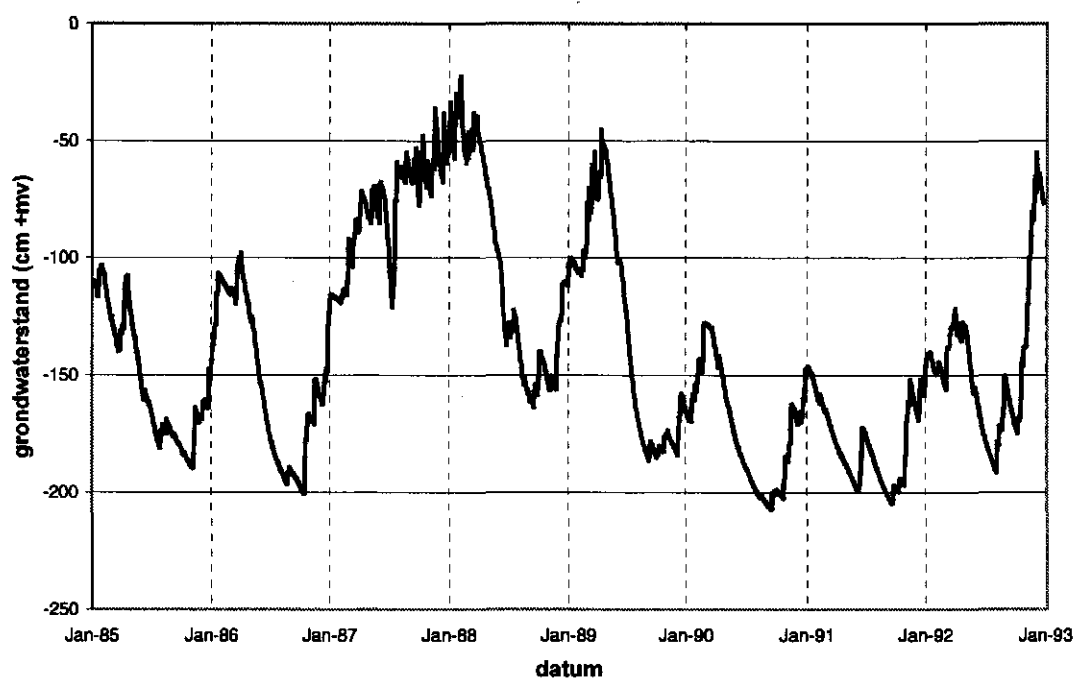


Figuur 30 Verloop van het reservoirpeil bij permanente drainage in de waterconserveringsgebieden (scenario 5.2)

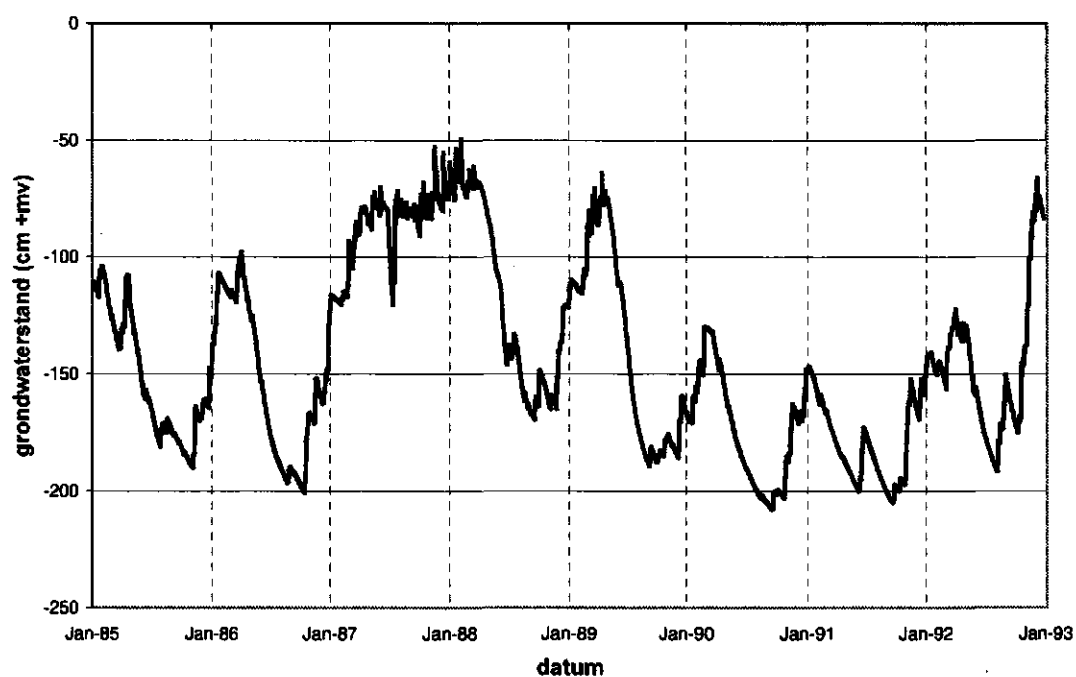


Figuur 31 Verloop van het reservoirpeil bij flexibele drainage in de waterconserveringsgebieden (scenario 5.7)

Een nog niet besproken voordeel van permanente drainage is de verminderde natschade van de landbouw in vergelijking met de flexibele drainage die tot dusver is gesimuleerd. Dat nadeel kan echter worden weggenomen door de flexibele drainage niet alleen te sturen op basis van het reservoirpeil maar ook op basis van grondwaterstanden. In scenario 5.8 is dat gedaan door de drooglegging van 0,90 m-mv naar 2,00 m-mv te verlagen indien de grondwaterstand op een bepaalde referentieplaats hoger komt dan 0,50 m-mv. Die referentieplaats voor de grondwater-sensor is geselecteerd op basis van de relatief natte condities die daar bleken te worden gesimuleerd. Het effect van deze extra regeling wordt getoond in Figuur 32 en Figuur 33. In deze figuren wordt gedemonstreerd hoe de gemiddelde grondwaterstand in een van de waterconserveringsgebieden een meer gematigd verloop krijgt bij toepassing van de extra beslisregel voor de drooglegging. Het blijkt overigens dat deze extra beslisregel een te verwaarlozen effect heeft op de leverantiebetrouwbaarheid, maar dus gunstig kan zijn voor de landbouw.



Figuur 32 Verloop van de gemiddelde grondwaterstand in een waterconserveringsgebied zondersturing van de drooglegging van diepe drains op basis van de grondwaterstand



Figuur 33 Verloop van de gemiddelde grondwaterstand in een waterconserveringsgebied met sturing van de drooglegging van diepe drains op basis van de grondwaterstand.

In het bovenstaande is reeds de overweging genoemd dat de uiteindelijke omvang van het reservoir niet onnodig groot moet zijn. Het terugbrengen van het volume gaat ten koste van het gebruiksnut, maar als de kosten tegelijkertijd meer dan evenredig dalen is het verkleinen van het reservoir een optie. Uit de diagrammen met het peilverloop van het reservoir is geconcludeerd dat vermindering van de maximale waterdiepte naar 1,25 m een niet al te groot effect zal hebben op de leverantiebetroikbaarheid. Met het simulatiemodel is dat uitgeprobeerd: de leverantiebetroikbaarheid blijkt slechts terug te lopen van 0,93 naar 0,90. Een extra voordeel van een reservoir met een maximale diepte van 1,25 m is bovendien dat het ecologisch en landschappelijk veel beter inpasbaar is dan een reservoir waarvan het peil met 2 m fluctueert.

4.3.5 Multifunctioneel landgebruik

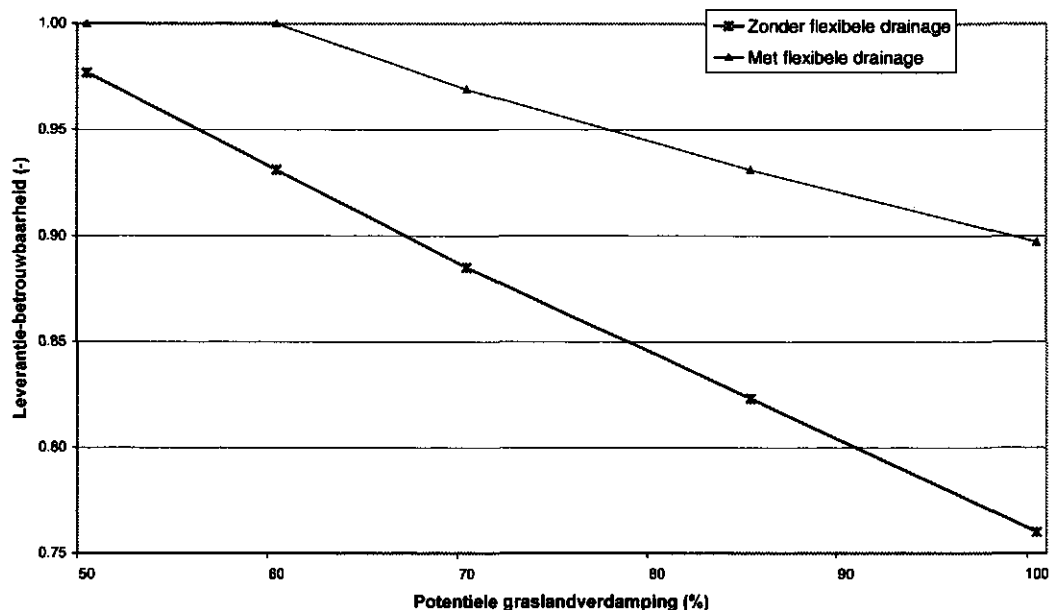
Voor het kunnen doorrekenen van scenario's met een vorm van multifunctioneel grondgebruik is het nodig om een inschatting te maken van de verandering van de potentiële verdamping als gevolg van het lagere productieniveau. Indien wordt uitgegaan van gecontroleerde condities op het niveau van de plant, dan bestaat er een lineair verband tussen productie en verdamping bij niet-watergelimiteerde omstandigheden. Dat zou dus inhouden dat bij 50% reductie van de potentiële productie (d.w.z. de productie bij optimale watervoorziening) ook de potentiële verdamping met dezelfde verhouding zou moeten teruglopen. . Beschouwingen op basis van de gecombineerde balans van water en energie op subregionale schaal wijzen echter op een veel geringere gevoeligheid van de potentiële verdamping voor de potentiële gewasproductie. Ruwe schattingen aan de hand van de formule van Monteith-Rijtema geven aan (Dolman, pers. med.) dat bij een 50% reductie van de productie (bij optimale watervoorziening) de verdamping met 15% terug loopt. Gezien de onzekerheid ten aanzien van de potentiële verdamping zijn er een aantal scenario's doorgerekend om de gevoeligheid van de leverantiebetroikbaarheid te onderzoeken. Doorgerekend zijn scenario's met respectievelijk 15%, 30%, en 50% reductie van de potentiële verdamping van grasland. Dat is gedaan voor twee scenario's van de overige omstandigheden:

- Zonder diepe drainage, en met een 2 m diep reservoir;
- Met diepe drainage, en met een 1,25 m diep reservoir.

De rekenresultaten voor deze scenario's zijn samengevat in Figuur 34. In aanmerking genomen dat bij een reservoir van 2 m diep het aanleggen van flexibele drainage een verbetering van de leverantiebetroikbaarheid geeft van 0,76 naar 0,93 (zie paragraaf 4.3.4) dan blijkt uit Figuur 34 dat een reductie van de potentiële verdamping van grasland met 39% vereist is om een vergelijkbaar effect te krijgen als de diepe drainage. Dat is veel in verhouding tot diepe drainage in het toevoergebied met een verdampingsreductie van gemiddeld 30 mm.jr⁻¹, oftewel een gemiddelde reductie van slechts 6%. Men zou verwachten dat een veel kleinere reductie van de potentiële graslandverdamping vereist is om een vergelijkbaar effect te krijgen als diepe drainage. Er zijn twee oorzaken voor deze schijnbare ongerijmdheid:

- Een reductie van de potentiële verdamping wordt niet direct doorvertaald naar een verlaging van de actuele verdamping: bij een lagere verdampingsvraag treedt er veel minder gauw vochttekort op (zie Figuur 4);

- Door aanleg van diepe drainage wordt de 'actieve' berging van het grondwaterreservoir vergroot. Daardoor komt er meer ruimte voor de opslag van pieken in het neerslagoverschot, zeker wanneer de drains ook via een sturingsmechanisme worden bediend.

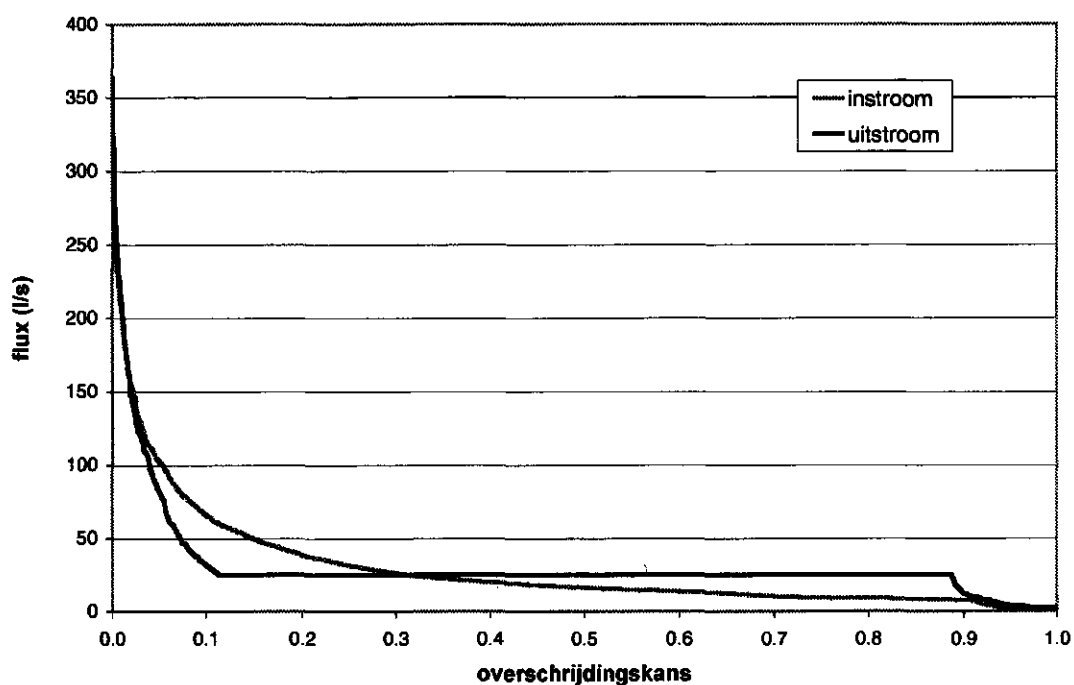


Figuur 34 Leverantiebetrouwbaarheid als functie van de reductie van de potentiële graslandverdamping, voor:

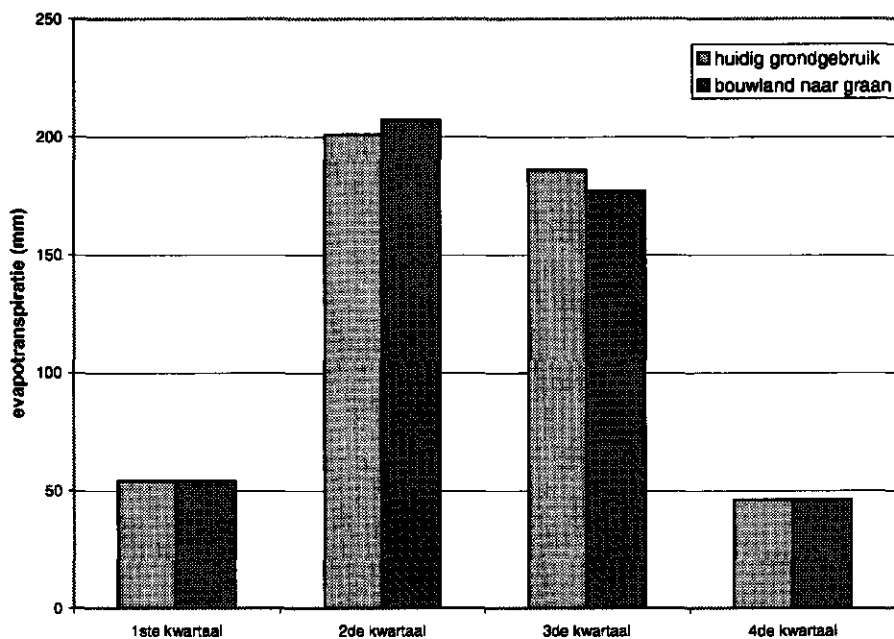
- Reservoir van 2 m diep, waterconservering met peilopzetten;
- Reservoir van 1,25 m diep, diepe drainage in waterconserveringsgebieden.

De grotere effectiviteit van de diepe drainage is zichtbaar aan de hand van de overschrijdingskanslijnen van afvoeren. In Figuur 35 is de lijn voor 30% reductie van potentiële graslandverdamping weergegeven. Vergelijking met Figuur 31 laat zien dat veel van de winst van de gereduceerde graslandverdamping verloren gaat in de vorm van meer afvoeren boven de gevraagde waterleverantie van 25 l/s.

Tenslotte is er een scenario doorgerekend waarin alle bouwlandgewassen worden vervangen door granen. Gedacht werd voordeel te halen uit het feit dat de grootste waterbehoefte van granen eerder in het seizoen valt dan bijvoorbeeld die van aardappelen. Dat het model die verschuiving van de verdamping ook berekent blijkt uit de in Figuur 36 gemaakte vergelijking tussen de langjarige gemiddeldes van respectievelijk het scenario met granen (5.15) en het scenario met het oorspronkelijke bouwlandgebruik (5.12) in de vier kwartalen. Uit die figuur blijkt overigens ook dat de totale berekende jaarverdamping ongeveer hetzelfde is voor beide gewassen. Uit de simulatie blijkt dat er met het naar voren halen van de verdamping geen voordeel te halen is, althans in het doorgerekende scenario. De reden voor het uitblijven van het verwachte voordeel is dat als gevolg van het oppervlaktewaterreservoir en het met diepe drainage gecreëerde 'actieve' grondwaterreservoir er genoeg buffercapaciteit is om de variaties van het neerslagoverschot op te vangen. Het is dan verklaarbaar dat het naar voren halen van de verdamping geen uiteindelijk effect heeft op de berekende betrouwbaarheid van de waterleverantie.

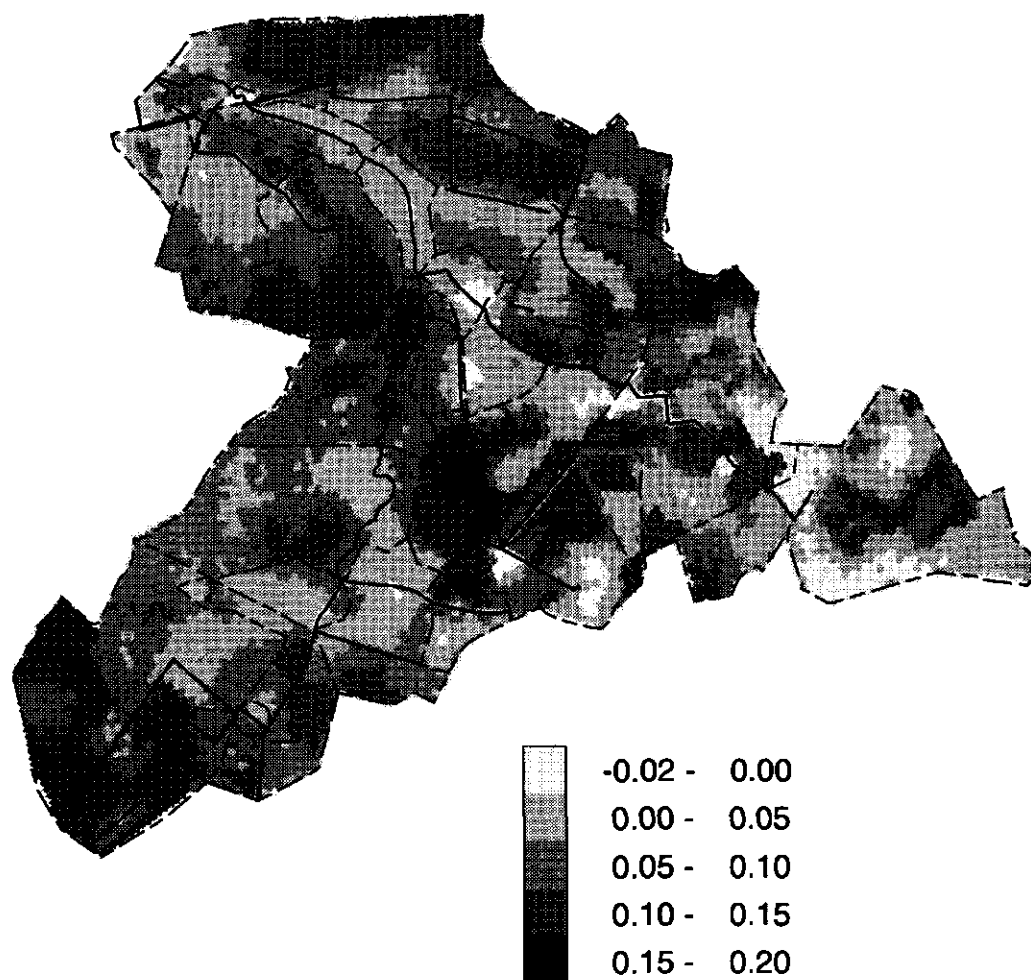


Figuur 35 Overschrijdingskanslijn van afvoeren voor een reservoir van 2 m diep, geen diepe drainage, waterconservering door middel van peilopzetten en een reductie van de potentiële graslandverdamping met 30% (scenario 4.3)

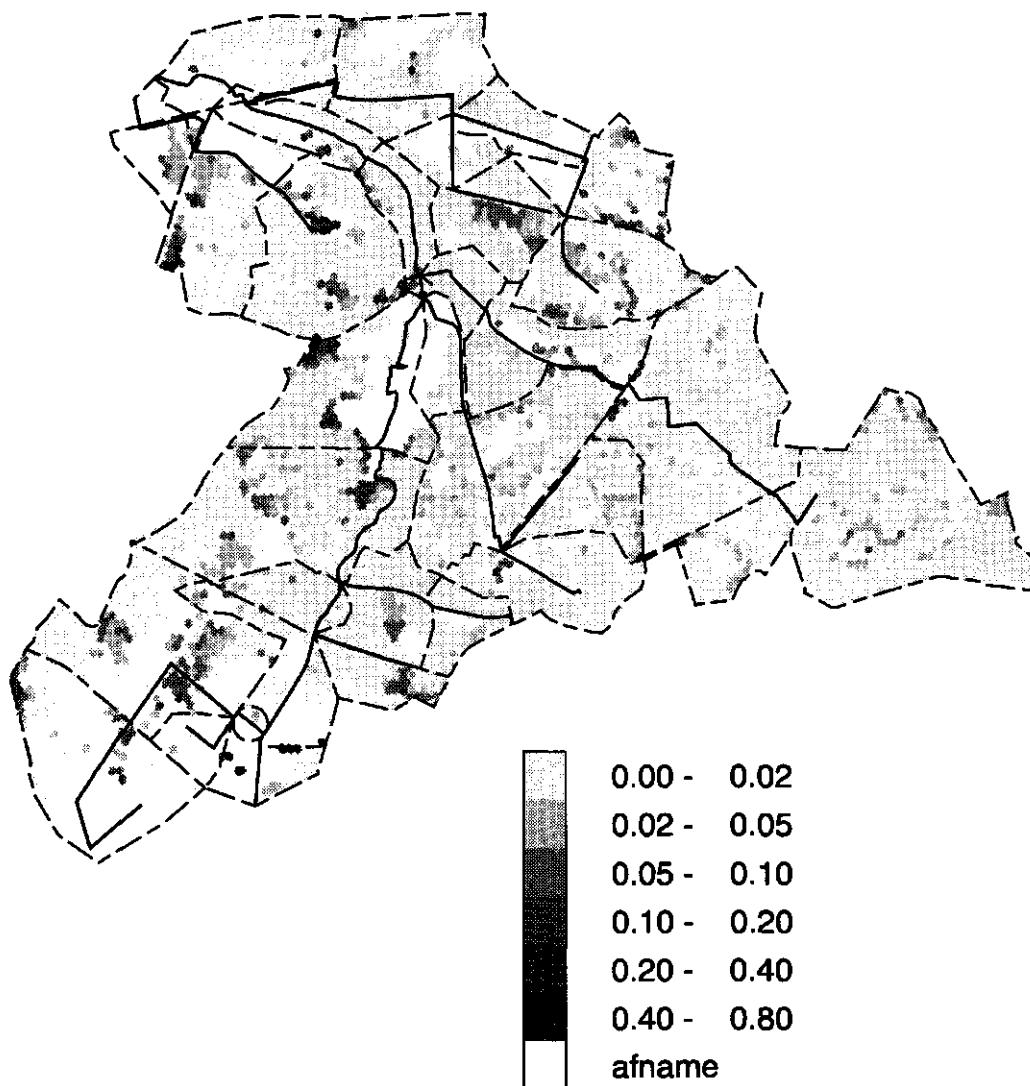


Figuur 36 Vergelijking tussen berekende langjarig gemiddelden van de actuele gebiedsgemiddelde kwartaalverdamping van de scenario's 5.12 en 5.15

Vermindering van de graslandverdamping heeft niet alleen voordelen voor de leverantiebetroikbaarheid. Gebieden met natte natuurwaarden hebben er ook profijt van, als gevolg van de hogere grondwaterstanden en de toegenomen kweldruk. Ter illustratie van het effect op de grondwaterstanden is in Figuur 37 de stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand weergegeven voor het scenario met 15% reductie van de graslandverdamping ten opzichte van de situatie zonder die reductie (scenario 4.2 ten opzichte van 4.1). In Figuur 38 is voor hetzelfde verschilscenario de toename van de kweldruk weergegeven.



Figuur 37 Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (m) als gevolg van reductie van de potentiële graslandverdamping met 15% (scenario 4.2 ten opzichte van scenario 4.1)



Figuur 38 De toename van de kwel (mm/d) als gevolg van reductie van de potentiële graslandlandverdamping met 15% (scenario 4.2 ten op zichte van scenario 4.1)

4.4 Ecologische evaluatie (verzorgd door KIWA)

Voor een drietal gebieden is een globale ecologische effectvoorspelling uitgevoerd voor een vijftal scenario's (eerste situatie betreft de huidige hydrologische situatie, waarbij geen mestgift of bekalking van gronden plaatsvindt (potentieel natuurlijke situatie). Het betreft het Blekkinkveen, een raai dwars over het beekdal van de Stortelersbeek nabij 't Kreil en het waterconserveringsgebied ter hoogte van de Kobuswaterloop.

Blekkinkveen

Zonder bemesting en bekalking zullen in het Blekkinkveen zure, voedselarme tot matig voedselrijke omstandigheden overheersen. Alleen in de overgangszone tussen zandige bodems en meer venige bodems kunnen zwak zure omstandigheden aangetroffen worden. In de huidige situatie zijn basenrijke omstandigheden niet aannemelijk. Deze omstandigheden weerspiegelen zich in de voorspelde vegetatietypen (Tabel 4).

Ook bij uitvoering van de verschillende scenario's blijven zure tot zwak zure omstandigheden overheersen, onder meer vanwege de relatief geringe kwelintensiteit (<0.25 mm/etmaal) en diep wegzakkende grondwaterstanden in de zomermaanden. Alleen bij scenario en 4.1 en 4.2 nemen zowel de GLG als kwelintensiteit dusdanig toe dat op één knooppunt basenrijke omstandigheden kunnen optreden. Alhoewel scenario 5 eveneens leidt tot een sterke toename van de kweldruk, zijn zowel de GLG als GHG dusdanig laag, dat er weinig grondwaterafhankelijke natuurwaarden tot ontwikkeling kunnen komen.

Tabel 4 Vegetatietypen voor 5 knooppunten en 5 scenario's in Blekkinkveen

Blekkink veen	Scenario 1	Scenario 3.2	Scenario 4.1	Scenario 4.2	Scenario 5.7
2132	RG. Zwarte zegge	RG. Zwarte zegge	RG. Zwarte zegge	RG. Zwarte zegge Dotterbloem- hooiland met zwarte zegge	Kamgrasweide
2336	RG. Zwarte zegge	RG. Zwarte zegge	RG. Zwarte zegge	RG. Zwarte zegge Dotterbloem- hooiland met zwarte zegge	Kamgrasweide
2482	RG. Borstelgras Veenmosrijke dopheide	RG. Borstelgras Veenmosrijke dopheide	Elzenbroek Dotterbloem- hooiland	Elzenbroek Dotterbloem- hooiland	Kamgrasweide
1799	RG. Borstelgras Veenmosrijke dopheide	RG. Borstelgras Veenmosrijke dopheide	RG. Borstelgras Veenmosrijke dopheide	Elzenbroek- Dotterbloem- hooiland	Kamgrasweide
1729	RG. Borstelgras Vochtige dopheide Veenmosrijke dopheide	RG. Borstelgras Vochtige dopheide Veenmosrijke dopheide	RG. Borstelgras Vochtige dopheide Veenmosrijke dopheide	Blauwgrasland met Borstelgras Veenmosrijke dopheide, RG. Borstelgras	Kamgrasweide

Stortelersbeek

In het centrale deel van het beekdal worden voor de huidige situaties vegetaties van basenrijke omstandigheden voorspeld. Hoger op de flanken van het beekdal gaan deze vegetaties over in vegetaties van meer zure tot zwak zure omstandigheden (bijvoorbeeld dopheidevegetatie, rompgemeenschap (RG) met borstelgras).

De hydrologische veranderingen ten gevolge van de scenario's zijn op de meeste knooppunten van het beekdal van de Stortelersbeek dusdanig gering, dat er vrijwel geen effecten optreden op de potentiële vegetatie (tabel 5).

Tabel 5 Vegetatietypen voor 6 knooppunten en 5 scenario's in beekdal van de Stortelersbeek

Stortelers beek	Scenario 1	Scenario 3.2	Scenario 4.1	Scenario 4.2	Scenario 5.7
1648	RG. Borstelgras	RG. Borstelgras Veenmosrijke dopheide	RG. Borstelgras	RG. Borstelgras Veenmosrijke dopheide	RG. Borstelgras Veenmosrijke dopheide
1711	Elzenbroek Dotterbloem- hooiland	Elzenbroek Dotterbloem- hooiland	Elzenbroek Dotterbloem- hooiland	Elzenbroek Dotterbloem- hooiland	Elzenbroek Dotterbloem- hooiland
1816	Elzenbroek Blauwgrasland Dotterbloem- hooiland	Elzenbroek Blauwgrasland Dotterbloem- hooiland	Elzenbroek Blauwgrasland Dotterbloem- hooiland	Elzenbroek Blauwgrasland Dotterbloem- hooiland	Elzenbroek Blauwgrasland Dotterbloem- hooiland
1889	Elzenbroek Blauwgrasland Dotterbloem- hooiland	Elzenbroek Blauwgrasland Dotterbloem- hooiland	Elzenbroek Blauwgrasland Dotterbloem- hooiland	Elzenbroek Blauwgrasland Dotterbloem- hooiland	Elzenbroek, Blauwgrasland Dotterbloem- hooiland
1852	Blauwgrasland met Borstelgras Veenmosrijke dopheide RG. Borstelgras	Blauwgrasland met Borstelgras Veenmosrijke dopheide RG. Borstelgras	Blauwgrasland met Borstelgras Veenmosrijke dopheide, RG. Borstelgras	Blauwgrasland met Borstelgras Veenmosrijke dopheide, RG. Borstelgras	Blauwgrasland met Borstelgras Veenmosrijke dopheide, RG. Borstelgras
1855	Veenmosrijke dopheide, RG. Borstelgras	Veenmosrijke dopheide RG. Borstelgras	Veenmosrijke dopheide, RG. Borstelgras	Veenmosrijke dopheide, RG. Borstelgras	Veenmosrijke dopheide, RG. Borstelgras

Waterconserveringsgebied ter hoogte van de Kobuswaterloop

De effecten van de verschillende scenario's op de potentiële vegetatie zijn in het algemeen gering. Meestal worden zure tot zwak zure omstandigheden voorspeld. Alleen de scenario's 4.1 en 4.2 resulteert in een enkel knooppunt tot meer basenrijke omstandigheden, waardoor bijvoorbeeld dotterbloemhooiland of elzenbroek tot ontwikkeling kan komen. Alleen scenario 5 resulteert in een dusdanige daling van de grondwaterstand op alle knooppunten, dat er vrijwel geen grondwaterafhankelijke vegetaties voorspeld worden (tabel 6).

Tabel 6 Vegetatietypen voor 6 knooppunten en 5 scenario's in het waterconserveringsgebied ter hoogte van de Kobuswaterloop

Kobus wl	Scenario 1	Scenario 3.2	Scenario 4.1	Scenario 4.2	Scenario 5.7
4810	Vochtige struikheide Vochtige dopheide Vochtige veenmosrijke dopheide, RG. Borstelgras	Vochtige dopheide Veenmosrijke dopheide RG. Borstelgras	Vochtige dopheide Veenmosrijke dopheide RG. Borstelgras	Vochtige dopheide Veenmosrijke dopheide RG. Borstelgras	Kamgrasweide
5061	Blauwgrasland met Borstelgras Veenmosrijke dopheide	Blauwgrasland met Borstelgras Veenmosrijke dopheide	Blauwgrasland met Borstelgras Veenmosrijke dopheide	Elzenbroek Dotterbloem- hooiland	Kamgrasweide
5274	Vochtige dopheide Veenmosrijke dopheide	Vochtige dopheide Veenmosrijke dopheide	Blauwgrasland met Borstelgras Veenmosrijke dopheide	Blauwgrasland met Borstelgras Veenmosrijke dopheide	Vochtige struikheide Kamgrasweide
5545	Kamgrasweide	Kamgrasweide	Vochtige dopheide Veenmosrijke dopheide RG. Borstelgras	Vochtige dopheide Veenmosrijke dopheide RG. Borstelgras	Kamgrasweide
5441	Vochtige dopheide Veenmosrijke dopheide, RG. Borstelgras	Vochtige dopheide Veenmosrijke dopheide RG. Borstelgras	Vochtige dopheide Veenmosrijke dopheide RG. Borstelgras	Vochtige dopheide Veenmosrijke dopheide RG. Borstelgras	Vochtige dopheide Veenmosrijke dopheide, RG. Borstelgras
5598	Veenmosrijke dopheide, RG. Borstelgras	Veenmosrijke dopheide RG. Borstelgras	Veenmosrijke dopheide RG. Borstelgras	Veenmosrijke dopheide RG. Borstelgras	Kamgrasweide

4.5 Landbouwkundige evaluatie

De methode voor de beoordeling van de landbouwkundige geschiktheid staat beschreven in paragraaf 3.2. Op grond van de criteria, genoemd in deze paragraaf, is voor het land dat in de huidige situatie landbouwkundig in gebruik is, gekeken naar de geschiktheid voor de 13 genoemde alternatieven. In de evaluatie is ervan uitgegaan dat het gehele landbouwkundige areaal met één gewas zou zijn bedekt, zonder overigens een aparte run uit te voeren met het hydrologische model. Met andere woorden, er is geen rekening gehouden met de hydrologische consequenties van de gewaskeuze.

De resultaten geven een indicatie van de veranderende geschiktheid voor de 13 alternatieve teelten, gemiddeld over het gebied en gemiddeld over de jaren 1984-1992. In onderstaande tabel staat de verandering van de landbouwkundige geschiktheid van het vernattingsscenario waarin een reservoir is aangelegd in combinatie met waterconserveringsmaatregelen (scenario 4.1) ten opzichte van de huidige situatie.

Tabel 7 Verandering van de geschiktheidscriteria in % van scenario 4.1 ten opzichte van de huidige situatie voor 13 alternatieve teelten berekend over de periode 1984-1992 voor het gehele landbouwareaal. Positieve waarden betekenen een positief effect.

Grondgebruik	GHG	GLG	Opt. Grondw.-traject	Bewerkbaarheid	Misoogst
1 Bemest grasland	-4	3	-1	-3	-2
2A Raaigras-vlinderbloem	-4	4	1	-3	-2
2B Raaigras-vlinderbloem	-4	3	-3	-3	-2
3A Grassen-mix	-4	4	1	-3	-2
3B Grassen-mix	-4	3	-3	-3	-2
3C Grassen-mix	-2	2	0	-3	-1
4A Bloemrijk grasland	-4	4	1	-3	-2
4B Bloemrijk grasland	-4	4	-3	-3	-2
4C Bloemrijk grasland	-2	2	0	-3	-1
Gangbaar 2020	-6	-	-5	-4	-3
Driefunctioneel bouwland	-6	-	-6	-4	-2
Nat & Natuur	-6	-	-4	-3	-2
Multif. beplantingen	-5	-	-5	-	0

De kolom 'GHG' in tabel 7 geeft het effect weer van de verandering van de GHG in het groeiseizoen ten opzichte van de bovengrens van het optimale groeitraject en evenzo geeft de kolom 'GLG' die van de GLG ten opzichte van de ondergrens. In de kolom 'Opt. Grondw.-traject' staat het effect op het percentage dagen waarbij de grondwaterstand in het optimale traject zit (zie tabel 2).

Uit de tabel kan worden geconcludeerd dat door aanleg van het reservoir en de vernattingsmaatregelen de landbouwkundige situatie gemiddeld over het gebied enigszins verslechtert. De som van de effecten op GHG en GLG is voor de graslandtypen ongeveer 0. De criteria die vooral betrekking hebben op natschade (GHG, bewerkbaarheid en misoogst) vertonen allen een beperkte negatieve verandering als gevolg van scenario 4.1.

In scenario 5.7 zijn maatregelen genomen om het reservoirbeheer te ondersteunen met diepe drainage, afhankelijk van het peil in het reservoir. Dit scenario leidt tot selectieve verdroging in een deel van het gebied, dat door landbouw wordt gedomineerd (zie Figuur 24). In de onderstaande tabel 8 is het landbouwkundig effect weergegeven van dit scenario ten opzichte van de huidige situatie.

Gunstige effecten treden op voor de criteria GHG, bewerkbaarheid en misoogst (tabel 8) door de selectieve verdroging. Voor de akkerbouwgewassen worden de optimale grondwaterstanden beter benaderd. Dit komt mede door de aanname dat lage grondwaterstanden geen negatief effect hebben op de akkerbouw (zie Tabel 2). Voor grasland zijn wel onderrandvoorwaarden aan het grondwaterstands-traject opgelegd, zodat voor de graslandgebruikstypen volgens tabel 8 sprake is van een verslechtering van het criterium 'Opt. grondw.-traject' als gevolg van verdroging.

Tabel 8 Verandering van de geschiktheidscriteria in % van scenario 5.7 ten opzichte van de huidige situatie voor 13 alternatieve teelten berekend over de periode 1984-1992 voor het gehele landbouwareaal. Positieve waarden betekenen een positief effect.

Grondgebruik	GHG	GLG	Opt. Grondw.-traject	Bewerkbaarheid	Misoogst
1 Bemest grasland	8	-10	-6	3	7
2A Raaigras-vlinderbloem	8	-1	-2	3	7
2B Raaigras-vlinderbloem	14	-10	-5	3	7
3A Grassen-mix	8	-1	-2	3	7
3B Grassen-mix	14	-10	-5	3	7
3C Grassen-mix	0	1	-1	1	-1
4A Bloemrijk grasland	8	-1	-2	3	7
4B Bloemrijk grasland	14	-11	-5	3	7
4C Bloemrijk grasland	0	1	-1	1	-1
Gangbaar 2020	11	-	8	4	4
Driefunctioneel	11	-	6	4	0
Natuur & N	8	-	4	3	0
Multif. bepl.	13	-	6	-	0

In bovenstaande evaluatie is voor het gehele gebied gemiddeld bekeken wat de positieve en negatieve effecten zijn. Dit leidt tot een onderschatting van de mogelijkheden voor de alternatieve gewassen, immers de gewaskeuze zal afgestemd worden op de lokale omstandigheden.

5 Conclusies

In Tabel 9 zijn de leverantiebetrouwbaarheden voor de belangrijkste scenario's opgesomd. Uit deze resultaten zullen een aantal voorlopige conclusies worden getrokken.

Tabel 9 Overzicht van belangrijkste scenario-resultaten voor de leverantiebetrouwbaarheid. De leverantiebetrouwbaarheid R is de fractie van de tijd dat het gevraagde aftapdebiet van 25 l.s⁻¹ geleverd kan worden. Diepe drainage (indien aanwezig) wordt uitgevoerd met een drainageweerstand van 250 d. Behalve scenario 3.6 zijn alle scenario's doorgerekend met een open reservoirbodem.

Nr.	Hoofdscenario	Nr.	Nevensscenario	R (-)
1	Huidige situatie			0,30
2	Reservoir zonder doorlaat			0,30
3	Reservoir met doorlaat	3.2	Open reservoirbodem	0,76
		3.5	Dichte reservoirbodem	0,74
		3.6	50% verdamping open water	0,80
4	Reservoir met doorlaat en opzetten peil in water-conserveringsgebieden	4.1	Huidige landbouw	0,76
		4.2	Schraalgraslanden, reductie van de potentiële graslandverdamping met 15%	0,82
5	Reservoir met doorlaat, Diepe drainage in water-Conserveringsgebieden	5.2	Permanente diepe drainage	0,92
		5.7	Flexibele diepe drainage adhv reservoirpeil	0,93
		5.10	Als 5.7, regeling tevens adhv grondwater	0,93
		5.11	Als 5.10 met reservoirdiepte van 1,25 m	0,90
		5.12	Als 5.11 met reductie van de potentiële grasland verdamping met 15%	0,93
		5.15	Als 5.12 met alle bouwland omgezet naar granen	0,93

Het blijkt dat in geen enkel (realistisch) scenario een volledige continuïteit van de waterleverantie kan worden bereikt. Dat is niet bezwaarlijk als de periode van niet-leverantie zich beperkt tot de tweede helft van de zomer. In die periode heeft oppompen van diep grondwater minder ecologische bezwaren dan wanneer dat het hele jaar rond gebeurt. Op basis van deze overweging komt de lat voor een acceptabel niveau van de leverantiebetrouwbaarheid op ca. 0,90 te liggen.

De locatie en omvang van het oppervlaktewaterreservoir zijn niet definitief vastgelegd, omdat behalve hydrologische allerlei andere overwegingen zoals grondeigendom een rol spelen. Zeker wanneer men ervan uitgaat dat het reservoir ook kan worden ingegraven zijn er wat betreft de hydrologie en de topografie geen al te grote beperkingen aan de orde. Het reservoir kan dan net zo goed worden verspreid door het op te delen in aparte kleine eenheden. Een nadeel daarvan is echter dat de kosten van het beheer oplopen.

Met betrekking tot de optimale omvang van het reservoir zijn er wel conclusies uit het onderzoek te trekken. Als wordt uitgegaan van een maximale waterdiepte van 1,25 m dan blijkt een reservoir met een omvang van 5% van het vanggebied effectief gebruikt te kunnen worden. In de doorgerekende scenario's gaat het om een reservoir met een oppervlakte van 14 ha en een vanggebied van 305 ha. Met effectief wordt bedoeld dat:

- veelvuldig gebruik wordt gemaakt van het hele beschikbare fluctuatietraject van 1,25 m;
- er een forse verhoging van de leverantiebetrouwbaarheid wordt bereikt.

Gerekend per eenheid van oppervlakte van het toevoergebied kan een dergelijk reservoir 60 mm water bergen, want ongeveer gelijk is aan een gemiddelde maandneerslag. Er is ondervonden dat uit een areaal van 305 ha een aftapdebiet van 25 l.s^{-1} met een leverantiebetrouwbaarheid van 0,90 kan worden geleverd. Gerekend per eenheid van oppervlakte is dat circa $0,08 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$.

Zonder additionele maatregelen wordt voor een aftapdebiet een leverantiebetrouwbaarheid van 0,76 bereikt. In de scenario's zijn diverse maatregelen uitgetoetst om de betrouwbaarheid te verhogen. Het meest effectief bleek daarbij het inrichten van waterconserveringsgebieden door middel van diepe flexibele drainage. Daarbij worden de drains op 2 m – mv. geplaatst, wat ongeveer de maximale diepte is van de gangbare draineerapparatuur. Deze maatregel komt erop neer dat een deel van het gebied wordt ingericht als actief grondwaterreservoir. Deze strategie maakt ondiep grondwater winbaar op momenten dat het echt nodig is, namelijk wanneer het peil in het oppervlaktewaterreservoir significant begint te zakken. Bij het kiezen van de locatie voor een actief grondwaterreservoir moet er wel voor worden gewaakt dat er geen regionale verdrogende werking van uitgaat. Op de plek van het reservoir zelf moet het vanuit het oogpunt van natuurwaarden niet bezwaarlijk zijn om deze strategie van selectieve verdroging door te voeren. De regionale uitstraling wordt voorkomen als er in de ondiepe ondergrond, bijvoorbeeld op minder dan 10 m, zich een vrijwel ondoorlatende laag bevindt; tevens dient de doorlatendheid van de bovengrond relatief gering te zijn. Aan beide voorwaarden is in de waterconserveringsgebieden van het proefgebied voldaan.

Het verdrogen van landbouwgronden met als doel de winbare hoeveelheid ondiep grondwater te vergroten kan men zien als een vorm van multifunctioneel landgebruik. In het scenario-onderzoek is ook onderzocht wat de baten kunnen zijn van multifunctioneel landgebruik waarbij als gevolg van verschraling het productieniveau wordt teruggebracht. Het blijkt dat deze strategie een gunstig effect heeft op de leverantiebetrouwbaarheid. Verder onderzoek moet uitwijzen wat het verband is tussen verschraling en verdamping. Hier is van 15% reductie van de graslandverdamping uitgegaan. Het blijkt dan dat de toename van de leverantiebetrouwbaarheid evenredig is met de nog resterende 'niet-leverantie'; circa een kwart van de niet-leverantie wordt weggewerkt. Reductie van de graslandverdamping heeft ook gevolgen voor de grondwaterstanden en daar zullen naastliggende natuurgebieden baat bij hebben.

De voorgestelde maatregelen hebben voor de landbouw deels positieve en deels negatieve effecten, die elkaar gebiedsgemiddeld goeddeels opheffen. De vernattingsmaatregelen zorgen voor slechtere bewerkbaarheid en een toename van het aantal misoogsten, terwijl in het waterconserveringsgebied met diepe drainage de bewerkbaarheid verbetert en het aantal misoogsten juist afneemt. Met name voor de akkerbouw wordt het waterconserveringsgebied aantrekkelijker. Een gedegen

landbouwkundige evaluatie is pas mogelijk als er een inrichtingsplan voor het gebied ligt.

In de huidige situatie zijn slechts weinig grondwaterafhankelijke natuurwaarden aanwezig in het gebied van de Stortelersbeek, terwijl er op verschillende plaatsen potenties zijn. Voor een aantal knooppunten van het rekenmodel in 3 deelgebieden is bekeken wat het effect op de potentiële natuurwaarden van de scenario's zou zijn. De waterconserveringsmaatregelen in scenario 4 geven plaatselijk verbeterde omstandigheden voor grondwaterafhankelijke natuurwaarden in het Blekkinkveen en nabij de Kobuswaterloop. In deze gebieden treden als gevolg van de diepe drainage in scenario 5 verslechterde omstandigheden op. In de raai over de Stortelersbeek nabij landgoed 't Kreil treden nauwelijks veranderingen op in de verschillende scenario's.

Samenvattend kan worden gezegd dat voor een duurzame inrichting en beheer van water in het landelijk gebied de te volgen strategie zal moeten afhangen van de lokale gebiedseigenschappen en het gewicht van de verschillende functies in het gebied.

Literatuur

- Aarts, H.F.M. en O.C.H. de Kuijer (red.), 1997. *Duurzaam landgebruik; van voorbeeldsystemen naar systeemonderzoek*. Delft, DTO. Werkdocument VD-5.
- Atmer, W.H.G.J., W.J. Molenaar, W.J.M.K. Senden en A.J.M. Jansen, 1997. *verdrogingsbestrijding WCL-gebied Winterswijk. Hydrologische verkenning naar kansrijke locaties an anti-verdrogingsmaatregelen*. Kiwa, Nieuwegein, KOA 96.140.
- Baaijens, G.J., 1985. *Over grenzen*. De Levende Natuur 86(1985)3.
- Bloemendaal, S. en C.M.L. Cornelissen, 1985. *Grondwaterkaart van Nederland; Aalten-Oost; Kaartblad 41 Oost*. Delft/Oosterwolde, dienst grondwaterverkenning TNO, Rapport GWK 40.
- Boer, Tj. de, M.J.D. Hack-ten Broeke, I.G.A.M. Noij en A.K. van der Werf, 1997. *Multifunctioneel landgebruik en waterconservering*. In: H.F.M. Aarts en O.C.H. de Kuijer(red.). *Duurzaam landgebruik; van voorbeeldsystemen naar systeemonderzoek*. Delft, DTO. Werkdocument VD-5. pp. 51-75.
- De Wit, A.J.W., Th. G.C. van der Heijden en H.A.M. Thunnissen, 1999. *Vervaardiging en nauwkeurigheid van het LGN3-grondgebruiksbestand. Achtergrondinformatie bij gebruik van het bestand*. Wageningen, SC.
- Feddes, R.A., 1987. *Crop factors in relation to Makkink reference crop evapotranspiration*. The Hague, Comm. Hydrol. Res. TNO, Proc. and Inf. 39: 33-44.
- Kleijer, H. en J.A.M. Ten Cate, 1998. *De bodemgesteldheid van het herinrichtingsgebied Winterswijk-Oost; Resultaten van een bodemgeografisch onderzoek*. Wageningen, SC-DLO, Rapport 603.
- Kuijer, O.C.H. de, H.F.M. Aarts, J.T.J. Beeren, H.J. de Graaf, D. Jansen, R. Kwak, A.B.W.M. van der Pas en J.W.B. Tiggeloven, 1997. *Resultaten project duurzaam landgebruik. Resultaten fase B/C*. Delft, DTO. Werkdocument VD-7.
- Korevaar, 1999. *Programma Meervoudig Duurzaam Landgebruik Winterswijk; Ontwerp multifunctioneel grasland*. Wageningen, AB-DLO, Nota153.
- Meijer, W.J.M. en J.J. Schröder, 1998. *Programma Meervoudig Duurzaam Landgebruik Winterswijk; Ontwerp multifunctioneel bouwland*. Wageningen, AB-DLO, Nota146.
- Meuleman, A.F.M., C.M. van Hemel-Gommer, W. Pik en M.H. Jalink, 1998. *M.e.r. Grondwaterwinning Flevoland. Ecologische effectvoorspelling grondwaterafhankelijke terrestrische natuur*. Kiwa Nieuwegein, KOA 98.093.

Meuleman, A.F.M., R.A. Kloosterman, W. Koerselman, M. den Besten en A.J.M. Jansen, 1996. *NICHE®: een nieuw instrument voor ecohydrologische effectvoorspelling*. H2O 5/96:137-139.

Schroder, R. en J. Stronks, 1999. *Beschrijving natuurwaarden stroomgebied Stortelersbeek*. Biologisch Station Zwillbrock.

Veldhuizen, A.A., A. Poelman, L.C.P.M. Stuyt, E.P. Querner, 1998. *Software documentation for SIMGRO V3.0; Regional water management simulator*. Wageningen, SC-DLO, Technical Document 50.

Veldhuizen, A.A., F.J.E. van der Bolt en J. Huygen, 1999. *Regionale toepassing van SWAP gebruik makend van SIMGRO in- en uitvoer*. Wageningen, SC-DLO, Rapport 652 (in prep.).

Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum, 1988. *Cultuurtechnisch vademecum*. Utrecht, Cultuurtechnische vereniging, ISBN 90-9002366-6.

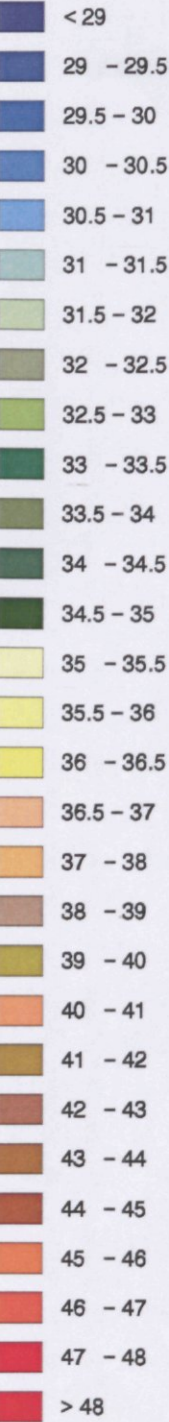
Wesseling, J.G., 1991. *CAPSEV- Steady state moisture flow theory; Program description; User Manual*. Wageningen, SC-DLO, Report 37.

Wösten, J.H.M, G.J. Veerman and J. Stolte, 1994. *Water retention and hydraulic conductivity characteristics of top- and sub-soils in the Netherlands: the Staring series*. Wageningen, SC-DLO, Technical Document 18.

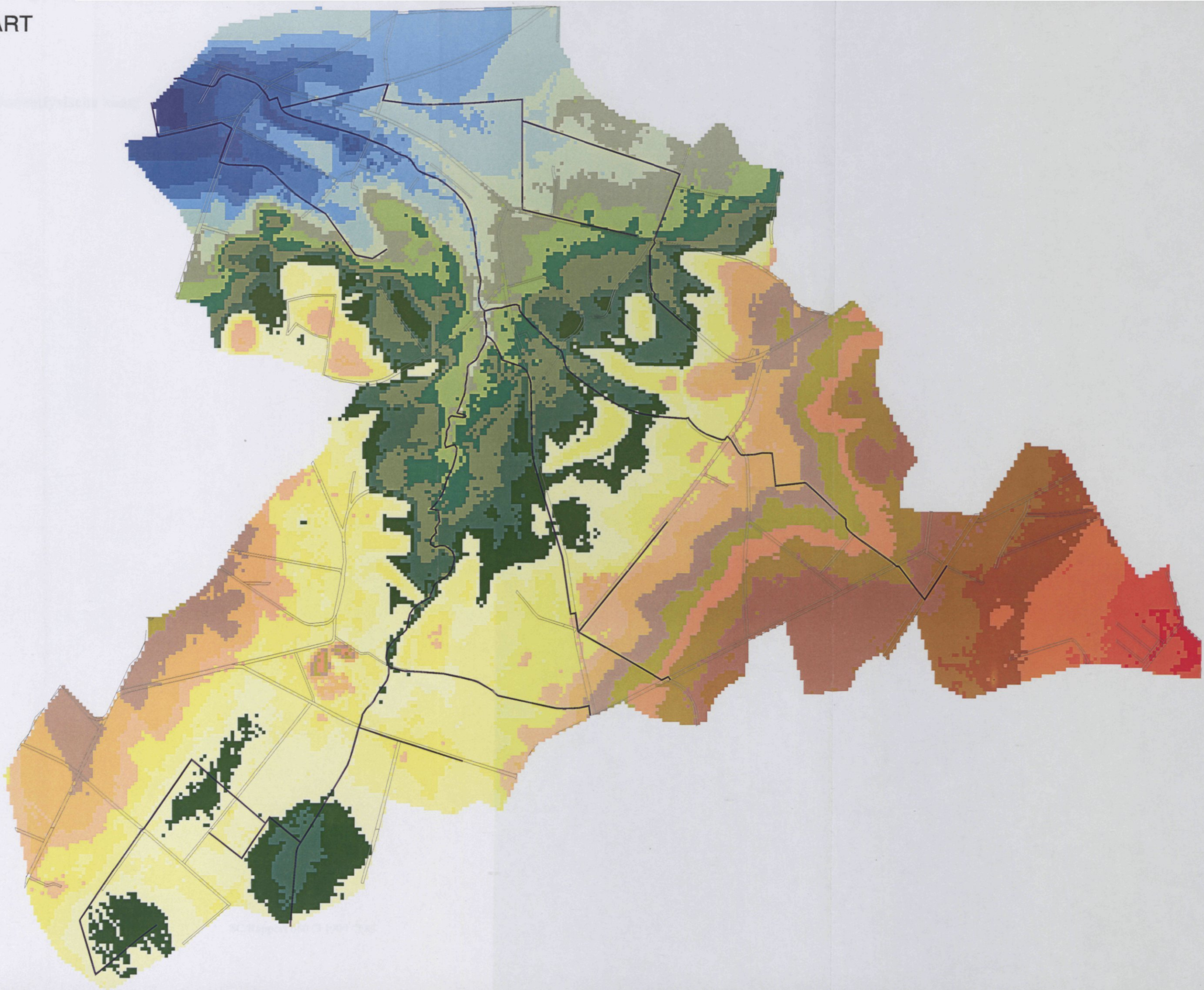
Aanhangsel 1 Maaiveldshoogtekaart

HOOGTEKAART

Hoogte in m t.o.v. NAP



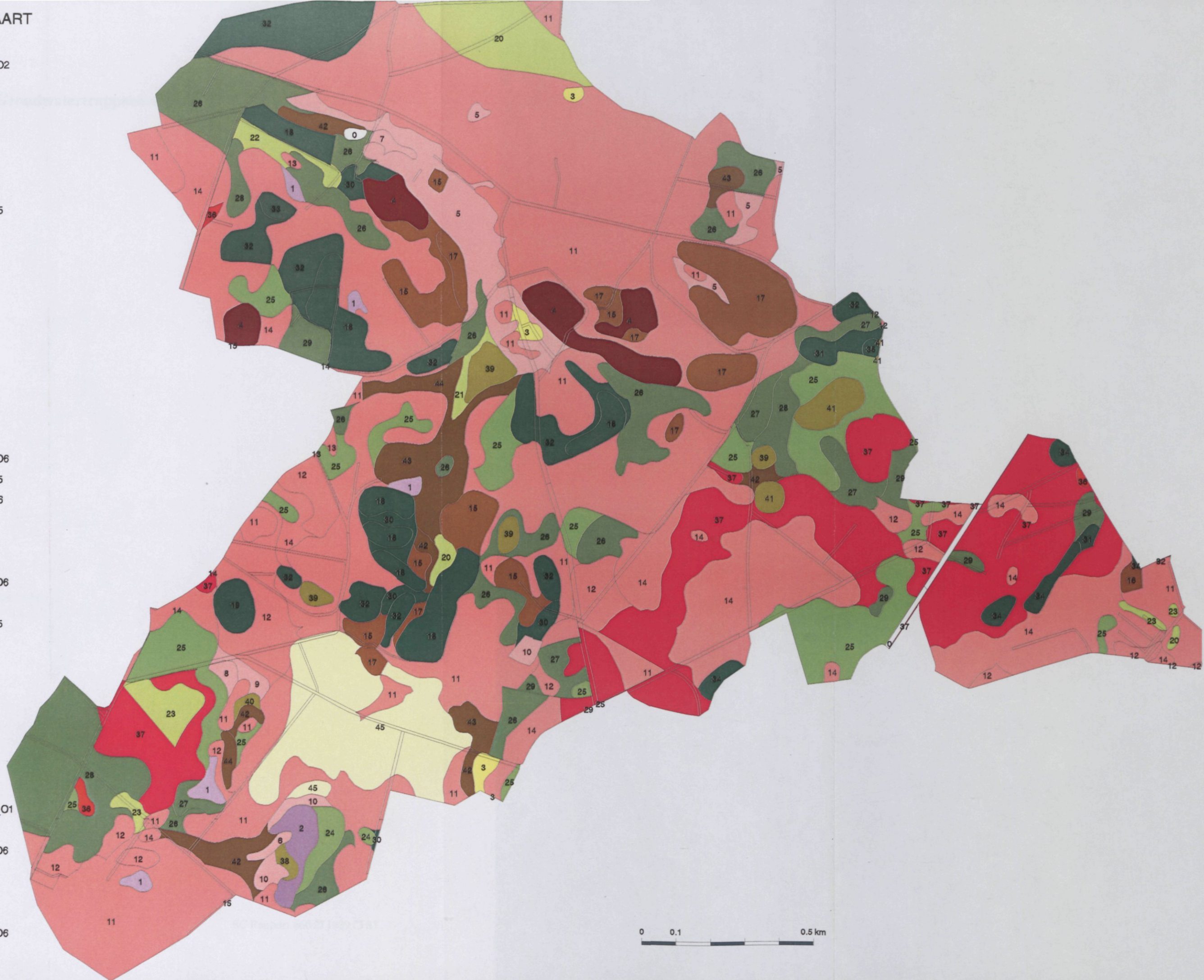
Watergang



Aanhangsel 2 Bodemfysische kaart

BODEMFYSISCHЕ KAAТ

- 1 B15_20_O2
- 2 B18_20_O17_50_O3_60_O2
- 3 B1_20_O1
- 4 B2_100_O2
- 5 B2_10_O2
- 6 B2_10_O2_110_O6
- 7 B2_10_O2_70_O5
- 8 B2_10_O2_70_O6
- 9 B2_10_O2_70_O6_120_O5
- 10 B2_20_O18_45_O1
- 11 B2_25_O2
- 12 B2_25_O2_110_O6
- 13 B2_25_O2_60_O5
- 14 B2_25_O2_60_O6
- 15 B2_45_O2
- 16 B2_45_O2_70_O6
- 17 B2_70_O2
- 18 B3_100_O2
- 19 B3_100_O2_120_O5
- 20 B3_10_O3_40_O2
- 21 B3_10_O3_40_O2_110_O6
- 22 B3_10_O3_40_O2_70_O5
- 23 B3_10_O3_40_O2_70_O6
- 24 B3_20_O18_100_O1
- 25 B3_20_O6
- 26 B3_25_O3_50_O2
- 27 B3_25_O3_50_O2_120_O6
- 28 B3_25_O3_50_O6
- 29 B3_25_O3_50_O6_70_O5
- 30 B3_40_O2
- 31 B3_40_O2_60_O6
- 32 B3_70_O2
- 33 B3_70_O2_110_O5
- 34 B3_70_O2_110_O6
- 35 B3_70_O6
- 36 B5_20_O5
- 37 B6_30_O6
- 38 B7_25_O18_45_O15_70_O1
- 39 B7_30_O8_70_O2
- 40 B7_30_O8_70_O2_100_O6
- 41 B7_30_O8_70_O6
- 42 B8_25_O2
- 43 B8_25_O3_60_O2
- 44 B8_25_O3_60_O2_120_O6
- 45 O1_55_B2_70_O1

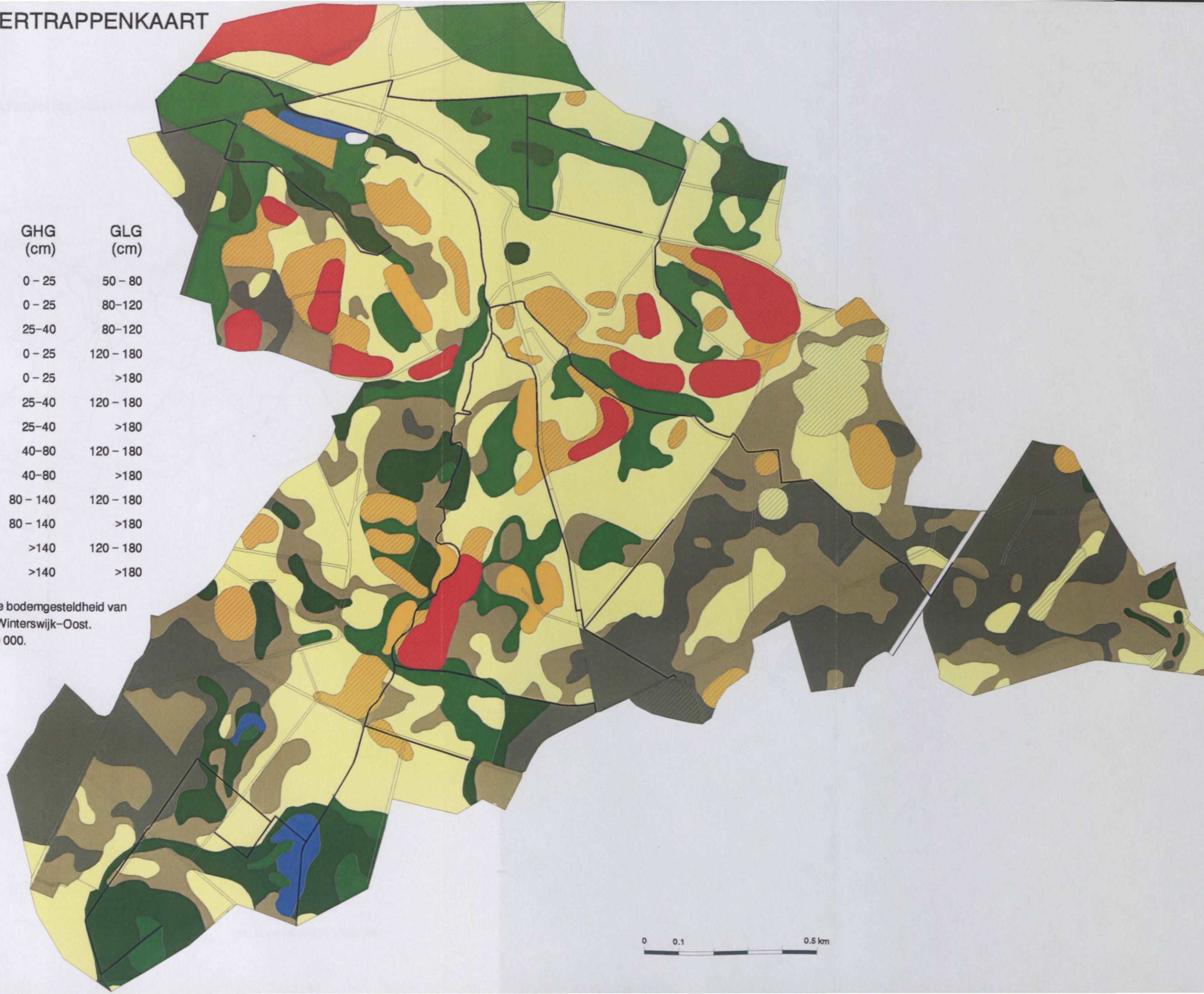


Aanhangsel 3 Grondwatertrappenkaart

GRONDWATERTRAPPENKAART

	Gt	GHG (cm)	GLG (cm)
	IIa	0 - 25	50 - 80
	IIIa	0 - 25	80 - 120
	IIIb	25 - 40	80 - 120
	Vao	0 - 25	120 - 180
	Vad	0 - 25	>180
	Vbo	25 - 40	120 - 180
	Vbd	25 - 40	>180
	Vlo	40 - 80	120 - 180
	Vld	40 - 80	>180
	Vllo	80 - 140	120 - 180
	Vlld	80 - 140	>180
	Vlllo	>140	120 - 180
	Vllld	>140	>180

Bron: Kleijer, H., 1998. De bodemgesteldheid van het herinrichtingsgebied Winterswijk-Oost. Bodemkaart schaal 1 : 10 000.



0 0.1 0.5 km

Aanhangsel 4 Afwateringsstructuur

