

ALTERRA

Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

ICW Nota 1712
april 1986.

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen.

INDICATIEVE BEREKENINGEN VAN DE KWANTITATIEVE
EFFECTEN VAN WATERAANVOER EN WATERWINNING
IN HET GEBIED ROND ZUNDERT(N-Br) MET HET
NUMERIEK REKENMODEL G E L G A M.

ir. M.R. Dijkema

Nota's van het instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publicaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het
onderzoek nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het
Instituut in aanmerking.

1. INLEIDING	1
2. BESCHRIJVING VAN HET MODELGEBIED	
2.1. De bestaande situatie	
2.1.1. Algemeen	4
2.1.2. Hydrogeologische schematisatie	6
2.1.3. Beschrijving van de bodems	8
2.1.4. Grondgebruik en bedrijfsvoering	9
2.1.5. De huidige watervoorziening en grondwaterbeheer	10
2.2. Toekomstige ontwikkelingen	
2.2.1. Ontwikkelingen in de landbouw	12
2.2.2. Consequenties van wateraanvoer	13
2.2.3. Waterwinningsmogelijkheden	16
2.2.4. Te berekenen scenario's	16
3. BESCHRIJVING VAN HET MODEL GELGAM	
3.1. Herkomst	19
3.2. Toepassing en mogelijkheden	19
3.3. Het verzadigd modelgedeelte	20
3.4. Het onverzadigd modelgedeelte	24
3.5. De verdamping in het model GELGAM	24
3.6. Aanpassingen	24
4. CALIBRATIE EN VERIFICATIE VAN HET MODEL	
4.1. Invoergegevens	
4.1.1. Algemeen	29
4.1.2. Gebiedsschematisering en knooppuntennetwerk	29
4.1.3. De tijdsonafhankelijke invoergegevens	31
4.1.4. De tijdsafhankelijke invoergegevens	36
4.1.5. De beginvoorwaarden	38
4.2. Model-ijking en aanpassing	
4.2.1. Calibratie van geohydrologie en oppervlakte- watersysteem	39
4.2.2. Enige problemen in de onverzadigde zone	41
4.3. De resultaten	
4.3.1. De gemeten en berekende grondwaterstanden	47
4.3.2. Het afvoerverloop	54

5. DE REKENRESULTATEN	
5.1. Algemeen	57
5.2. De invoergegevens	
5.2.1. De situatie na ruilverkaveling	59
5.2.2. De berekening	59
5.2.3. Wateraanvoer	60
5.2.4. De beleidsoptie met maximale beperking van de berekening uit het grondwater	61
5.2.5. De waterwinning	62
5.3. De resultaten	
5.3.1. Algemeen	63
5.3.2. Uitbreiding van de berekening	65
5.3.3. Effecten van conservering en wateraanvoer	68
5.3.4. De maximale beperking van berekening uit het grondwater	76
5.3.5. De effecten van waterwinning	77
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	84

LITERATUUR

VOORWOORD

Dit rapport is het verslag van een modelstudie van een deel van het stroomgebied van de Aa of Weerij, uitgevoerd op het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Wageningen in opdracht van de Provinciale Waterstaat Noord-Brabant.

Binnen het kader van de Werkgroep Landbouwwatervoorziening Zoommeer (WLZ) bestond behoefte aan een gedetailleerd onderzoek naar de waterbehoefte in het westelijk zandgebied van Noord-Brabant, alsmede naar de effecten van eventuele wateraanvoer. Omdat de Provincie Noord-Brabant eveneens behoefte had aan dergelijke kennis in verband met het te voeren (grond)waterbeheer, heeft zij het I.C.W. de opdracht verstrekt een studie te doen in het gebied rondom het plaatsje Zundert. Dit gebied was binnen WLZ-verband al naar voren gekomen als het wat betreft wateraanvoermogelijkheden het meest belovende.

Het onderzoek bij het I.C.W. vond plaats in samenspraak met de WLZ-subwerkgroep "hydrologie". In de feitelijke uitvoeringsperiode van deze modelstudie waren met name de volgende personen actief, in alfabetische volgorde :

- | | |
|----------------------------|---------------------------------|
| - dr. ir. P.J.T. van Bakel | I.C.W., |
| - ir. M.R. Dijkema | I.C.W., |
| - ir. J.M. Geraedts | Landinrichtingsdienst/Cogrowa, |
| - ir. J.F. de Jong | Prov. Waterstaat Noord-Brabant, |
| - ing. W. van der Meer | Landinrichtingsdienst N.-Br., |
| - ing. H. Pinkse | Prov. Waterstaat Noord-Brabant, |
| - ir. H.A.M. Thunnissen | R.I.V.M., |
| - ir. L. Scholma | Hoogheemraadschap West Brabant. |

Voorafgaand aan de eigenlijke modelstudie is veel van het voorbereidende werk uitgevoerd door ir. D. Pereboom. Tijdens de uitvoering van de modelberekeningen kwamen op diverse punten tekortkomingen van het rekenmodel, danwel onvolkomenheden in de beschikbare gegevens naar voren. Gaandeweg werd duidelijk dat de absolute waarden van de resultaten met de benodigde voorzichtigheid gehanteerd moesten worden, hetgeen onder andere resulteerde in de toevoeging van de term "indicatief" in de titel van dit verslag.

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

1. INLEIDING

De Werkgroep Landbouwwatervoorziening vanuit het Zoommeer (WLZ) is eind 1981 ingesteld door de provinciale besturen van Zeeland en Noord-Brabant. Aanleiding was dat, als gevolg van de Oosterschelde-werken, naar verwachting vanaf het jaar 1987, het Zoommeer zoet zou zijn. Het doel is te onderzoeken of het water uit het Zoommeer op rendabele wijze naar de omliggende gebieden te voeren is. Hierbij zijn zowel de landbouwkundige watervoorziening als het in de toekomst in deze regio te voeren grondwaterbeheer van belang.

In een vooronderzoek, verricht door de Landinrichtingsdienst, is behalve het direct aan het Zoommeer grenzende gebied ook het zandgebied van westelijk Noord-Brabant onderzocht op de mogelijkheden voor wateraanvoer (LANDINRICHTINGSDIENST NOORD-BRABANT, 1985a en VAN BOHEEMEN, 1983).

Slechts een beperkt deel van het zandgebied zal in meer of mindere mate perspectieven bieden voor externe wateraanvoer. Het gaat hierbij om de volgende regio's, in volgorde van afnemende mogelijkheden :

- 1) Zundert/Rijsbergen,
- 2) Rucphen, en
- 3) Bergen op Zoom/Wouw.

De meeste perspectieven biedt het gebied rond Zundert en Rijsbergen, binnen het stroomgebied van de Aa of Weerijs. Er is daarom een proefgebied gekozen met een grootte van 7300 ha. Een belangrijk punt bij de keuze van dit gebied is dat het grotendeels samenvalt met de ruilverkaveling "Zundert", die per december 1985 in uitvoering is. Hierdoor zijn veel basisgegevens op eenvoudige wijze ter beschikking gekomen.

In het zandgebied van Noord-Brabant zijn weinig mogelijkheden om de gewassen vanuit het oppervlakte-water aanvullend van water te voorzien. Er wordt daarom in toenemende mate beregend vanuit het grondwater. Hoewel beregening uit het grondwater doorgaans duurder is dan beregening uit het oppervlaktewater, is het desondanks aantrekkelijk, omdat de zekerheid van een goede watervoorziening een

belangrijke risicovermindering voor de bedrijfsvoering betekent. De belangrijkste voordelen van wateraanvoer zijn :

- lagere beregeningskosten voor de boeren omdat bij een verzekerde beschikbaarheid van oppervlaktewater een groter aandeel van de beregening uit het oppervlaktewater kan plaatsvinden.
- een verhoging van het oppervlaktewaterpeil heeft een hogere grondwaterstand, en daarmee een vermindering van het vochttekort tot gevolg.
- aanvulling en conservering van het grondwater bieden betere mogelijkheden tot eventuele grondwaterwinning in de toekomst (VAN BOHEEMEN, 1983).

De watervoorziening zal plaats moeten vinden door middel van het oppompen van water via de Aa of Weerij en een nog aan te leggen distributiekanaal tot bovenstrooms van het huidige afvoerstelsel. Verder transport binnen het stroomgebied moet plaats vinden via het bestaande leidingennet en enkele nog te graven koppelleidingen. De haalbaarheid van wateraanvoer zal voor een deel aan de hand van dit rapport beoordeeld moeten worden. In de drie genoemde regio's zou wateraanvoer op een totale bruto-oppervlakte van 16.000 ha toegepast kunnen worden. Het al eerder genoemde proefgebied in het stroomgebied van de Aa of Weerij beslaat in totaal 7300 ha, waarvan 5500 ha cultuurgrond. Inclusief de mogelijke uitbreidingen van het modelgebied zou de wateraanvoer in totaal voor zo'n 10.000 ha cultuurgrond gaan spelen.

Vooralsnog zal eerst regio nr.1 (Zundert/Rijsbergen) op zijn mogelijkheden getoetst worden. De resultaten van dit onderzoek zullen vervolgens naar de andere gebieden geëxtrapoleerd kunnen worden. Bovendien kan gebruik gemaakt worden van de resultaten van een globaal modelonderzoek dat is uitgevoerd voor het gebied rond Rucphen.

Als instrument van onderzoek is gekozen voor het rekenmodel GELGAM (VAN BOHEEMEN, 1983). GELGAM (Gelderland Groundwater Analysis Model) is een regionaal grondwaterstromingsmodel dat is ontwikkeld in het kader van een uitvoerig onderzoek naar de waterhuishouding van de provincie Gelderland (DE LAAT en AWATER, 1980).

De verzadigde grondwaterstroming wordt in het model niet-stationair berekend, het onverzadigde deel wordt quasi-stationair berekend. De wateronttrekking ten behoeve van beregening heeft een sterk niet-stationair karakter en deze eigenschap heeft sterk bijgedragen tot de keuze van dit model. Het gekoppeld berekenen van de verzadigde en de onverzadigde zone heeft bovendien grote voordelen ten opzichte van de rekenwijze met niet-gekoppelde modellen (VAN BOHEEMEN, 1983).

Hoofdstuk 2 geeft een gebiedsbeschrijving en gaat in op de al genoemde probleemstellingen ten aanzien van het grondwaterbeheer en de toekomstige ontwikkeling van de beregening. De ontwikkelingen die het meest waarschijnlijk geacht worden, zullen uitgewerkt worden tot enkele te berekenen scenario's.

In hoofdstuk 3 wordt het GELGAM model besproken. Er wordt tevens aandacht besteed aan enige aanpassingen en veranderingen in het model (beregening, de onverzadigde doorlatendheid en verdamping). Deze zijn aangebracht omdat de beschikbare invoergegevens niet geheel vergelijkbaar waren met de standaardinvoergegevens van GELGAM (DIV, 1981) of omdat een bepaalde toepassing niet in de standaardversie van GELGAM plaats kon vinden (beregening).

De modelcalibratie is beschreven in hoofdstuk 4 aan de hand van de bestaande situatie in het modelgebied. De invoergegevens werden zodanig bewerkt dat de rekenresultaten overeenkwamen met een aantal bekende meetreeksen. Hiervoor zijn grondwaterstandsmetingen van de peilbuizen van de Dienst Grondwaterverkenning-TNO gebruikt.

In hoofdstuk 5 wordt beschreven hoe het aldus geijkte model gebruikt is om de reeds in hoofdstuk 2 aangegeven ontwikkelingen te simuleren. De conclusies en aanbevelingen volgen in hoofdstuk 6.

2. BESCHRIJVING VAN HET MODELGEBIED

2.1. De bestaande situatie.

2.1.1. Algemeen.

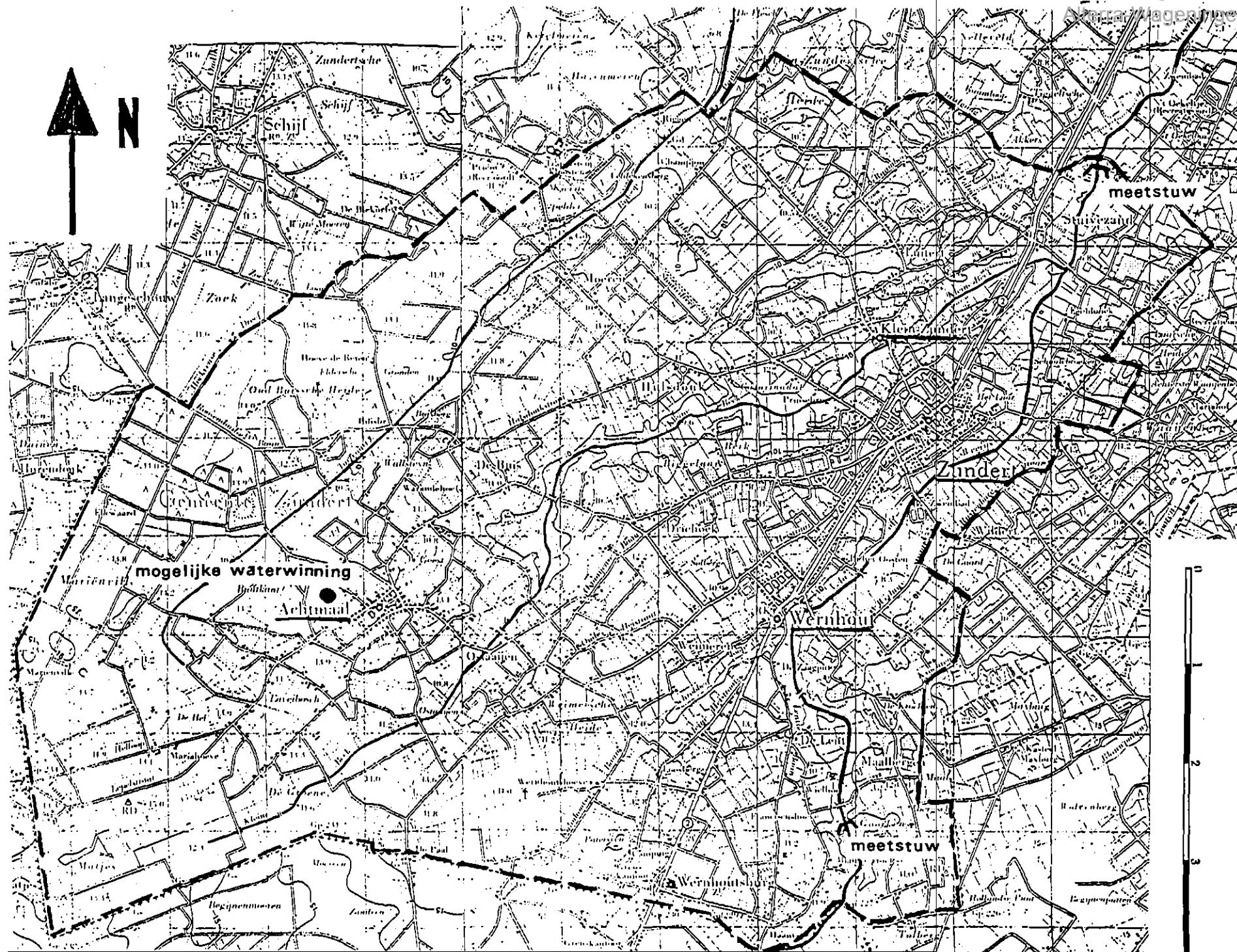
Het proefgebied is een typisch voorbeeld van een beekdallandschap. Het is een licht glooiend dekzandlandschap dat vanuit het zuidwesten naar het noordoosten is doorsneden door een stelsel van beken. Het verschil in hoogte tussen het "plateau" en de ingesneden dalen varieert van 3 tot 5 m.

Vroeger kwamen op de hoger gelegen plateaus vennetjes voor, omgeven door zandgordels. Deze venontwikkeling en de veenvorming in sommige van de nattere beekdalen hebben in de achttiende en negentiende eeuw in dit deel van het land een vrij sterke vervening tot gevolg gehad. Nu nog zijn er enkele waterlopen met de naam "Turfvaart".

De hoogteligging van het gebied varieert van 14-15 m +NAP in het zuiden aan de grens met België tot 6-7 m +NAP in de omgeving van Zundert en Rijsbergen. Het gekozen proefgebied ligt in het stroomgebied van een van de ingesneden beken, de Aa of Weerijs, ten zuidwesten van Breda, en betreft het gedeelte dat gelegen is grofweg tussen de grens en de meetstuw Stuivezand (zie fig.2.1.). De Aa of Weerijs heeft zijn oorsprong in België en stroomt via Zundert en Rijsbergen bij Breda in de Mark. Via Mark en Dintel vindt afvoer plaats naar het toekomstige Zoommeer. Naast de Aa of Weerijs zijn de belangrijkste waterlopen in het modelgebied de Kleine Beek en de Turfvaart. De belangrijkste dorpen zijn Zundert, Klein-Zundert, Achtmaal en Wernhout (fig.2.1.).

Het gebied is 7900 ha groot. Vanwege enige modelleringsproblemen die zich voordeden is de begrenzing verlegd, waardoor de oppervlakte iets groter is geworden dan het oorspronkelijk door de Landinrichtingsdienst aangewezen gebied (7300 ha). De begrenzing van het gebied zoals dat nu bekeken is, valt aan oost- en zuidzijde, alsmede in het zuidwesten vrijwel samen met de Rijksgrens met België. In het westen loopt de begrenzing dicht langs de Turfvaart. In het noorden is de grens van het te beschouwen gebied gelegd bij de meetstuw Stuivezand.

Fig 2.1. De ligging en de begrenzing van het modelgebied.



Het gebied valt voor een groot deel samen met de ruilverkaveling "Zundert" waardoor veel veld- en meetgegevens beschikbaar zijn. De hoofdwaterlopen en zijbeken zijn in het kader van de gesubsidieerde waterschapswerken (A2-werken) verbeterd en van stuwen voorzien.

2.1.2. Geohydrologische schematisatie.

In 1982 is door IWACO B.V. in het gebied "ten zuiden van Breda" een hydrogeologische inventarisatie afgerond ten behoeve van de "Adhoc Commissie Grondwaterwinning in westelijk Noord-Brabant", welke werd ingesteld door de Gedeputeerde Staten van Noord-Brabant. Door deze inventarisatie, maar ook door eerder R.I.V.M.-onderzoek is de geologie van het gebied goed bekend. Voor de geohydrologie van het gebied zijn alleen die lagen van belang die afgezet zijn in en na het Tertiair. De bovenste lagen van de Formatie van Rupel (Midden-oligoceen; zie fig.2.2.), ook wel bekend als de "klei van Boom" kunnen in dit gebied als ondoorlatende basis worden beschouwd. Het is een glauconiethoudende, zeer slecht doorlatende klei, die in het gehele westelijk deel van Noord-Brabant gevonden wordt. De bovenkant van deze laag ligt op 150-200 m -NAP.

Ons land bevond zich indertijd in een omvangrijk dalingsgebied dat fungeerde als sedimentatiebekken. Breukzones zijn in dit deel van West-Brabant niet bekend: Het onderzoeksgebied is stratigrafisch gezien zeer rustig van aard en de lagen die in en na het Boven-Krijt zijn afgezet, hellen geleidelijk van het zuid-oosten af in noord-westelijke richting. De lagen worden ook in die richting dikker.

Boven de "klei van Boom" ligt een 100-150 m dik "diep" watervoerend pakket, dat van groengrijs (glauconiet-houdend) fijn zand en zandige klei overgaat in matig grof zand (Formaties van Breda en Oosterhout). De top van de Formatie van Oosterhout bestaat uit kleien en slibhoudende fijnkorrelige zanden (zanden van Kallo); deze vormen een "diepe" weerstand biedende laag (c2), en zijn 10-20 m dik. De Formatie van Maassluis bevat de vroegste Pleistocene lagen en

bestaat uit matig grof tot grof schelphoudend zand. Samen met de Formatie van Tegelen, die in grote lijnen dezelfde eigenschappen bezit, vormt de Formatie van Maassluis het middeldiep watervoerende pakket. Dit pakket is ter plaatse ongeveer 30 m dik.

Bovenin Tegelen komen kleilagen voor op een diepte variërend van enkele meters tot 15 m beneden maaiveld : Deze kleilagen vormen de ondiepe weerstandbiedende c1-laag. De Formatie van Kedichem ontbreekt (zie fig.2.2.).

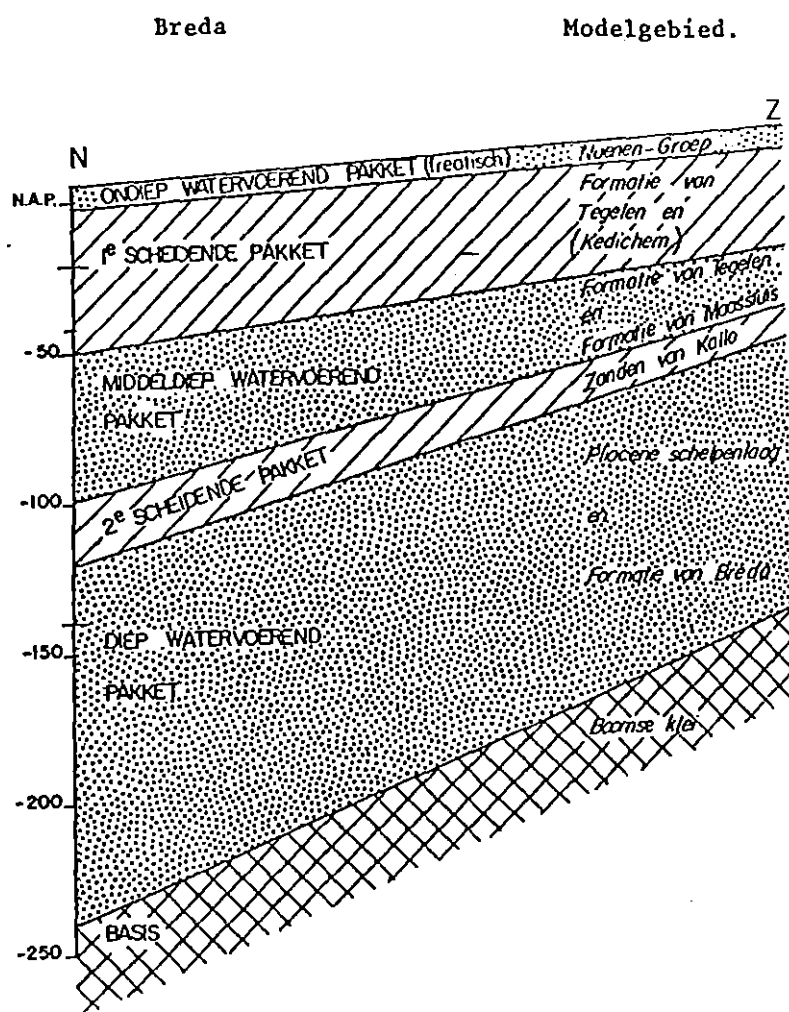


Fig.2.2. Geohydrologische schematisatie van het gebied "ten zuiden van Breda" (naar Iwaco B.V., 1982). De ligging van het modelgebied is aangegeven.

De top van het profiel bestaat uit een sterk in dikte wisselend pakket van oude en jonge dekzanden. Het oude dekzand is een fijn leemhoudend zand, terwijl de jonge dekzanden iets grover en leemarm zijn. Hier en daar zijn wat veen- en kleilaagjes tussengeschied. De dekzanden vormen de Nuenen-groep, en samen met de fluviatiele afzettingen in de beekdalen vormen deze dekzanden het freatisch pakket. De tussenliggende klei- en veenlaagjes vormen een ondiepe weerstandbiedende laag die bij de modellering van het gebied is verdisconteerd in de drainageweerstanden van het topsysteem. Deze weerstanden variëren van 50-150 dagen lager gelegen beekdalen en lopen op tot circa 1000 dagen op de hoger gelegen gronden.

2.1.3. Beschrijving van de bodems.

Op de hogere delen van het dekzand ontstonden onder heidebegroeiingen voornamelijk podzolen. In de vochtiger beekdalen was een weelderiger begroeiing de reden dat hier een wat humeuze dek ontstond en plaatselijk zelfs veengroei optrad. Momenteel komen daar nu voornamelijk beekerdgronden voor. Door antropogene invloeden zijn langs de beekdalen ook de enkerdgronden ontstaan.

In de beekdalen is (ook nu nog) een zekere mate van kwel van belang. De vroegere veengronden zijn nu grotendeels uitgeveend en vervolgens ontgonnen. De ondergronden zijn in het algemeen sterk wisselend van textuur, al naar gelang deze bestaan uit het fijne leemhoudende oude dekzand dan wel het grovere, leemarme jonge dekzand (LEENDERS, BEEKMAN EN WIJNEN, 1982).

De textuur van de ondergrond is een belangrijk gegeven voor de waterhuishouding van de gewassen in verband met de capillaire naleveringsmogelijkheden.

Bijna 90 % van de oppervlakte binnen het proefgebied bestaat uit zandgronden, ongeveer 10 % rekent men tot de veen- en moerige gronden. De belangrijkste bodemtypes zijn de humuspodzolen en in iets mindere mate de enkerdgronden (LEENDERS, BEEKMAN EN WIJNEN, 1982).

2.1.4. Grondgebruik en bedrijfsvoering.

Aan het eind van de negentiende eeuw zijn de boomkwekerij en de tuinderij (aardbeien!) als intensieve teelt sterk tot ontwikkeling gekomen. Eerst beperkten deze zich tot de betere gronden, later kon (door het mogelijk worden van beregening etc.) dit grondgebruik zich ook naar minder goede gronden uitbreiden.

Ook nu nog nemen tuinderijen en boomkwekerijen een aanzienlijk deel van de totale oppervlakte cultuurgrond in beslag. Het resterende oppervlak cultuurgrond wordt vrijwel geheel door de veehouderij (inclusief de verbouw van mais) ingenomen. De verdeling van het proefgebied (7900 ha) naar de verschillende typen grondgebruik is weergegeven in tabel 2.1.. Voor de genoemde oppervlakte van 7300 ha was een netto-oppervlakte van 5500 ha cultuurgrond berekend; die oppervlakte is ook bij de verdere beschouwing aangehouden.

Tabel 2.1.

Aantal ha's en % oppervlakte per type grondgebruik in het proefgebied Zundert (naar LD-Noord-Brabant).

	ha	% van T	% van C
Totale oppervlakte = T	7900	100	-
Netto oppervlakte			
cultuurgrond = C	5500	70	100
Veehouderij (grasland			
en mais)	4100	52	75
Boomkwekerij en			
tuinderij	1400	18	25

Zoals eerder reeds verduidelijkt is, vindt er nogal wat beregening plaats binnen het proefgebied. Blijkens de metelling van 1983 werd ongeveer 35 % van de cultuurgrond in de gemeente Zundert beregend, waarvan weer ca. 20 % uit het oppervlaktewater (LANDINRICHTINGSDIENST NOORD-BRABANT, 1985b).

Uit cultuurtechnische inventarisaties uitgevoerd in de ruilverkavelingen Zundert (1978) en Weerij (1983) bleek een soortgelijk cijfer. Het percentage van de totale oppervlakte cultuurgrond die beregend wordt uit het grondwater kan dus op 30 % (4/5 deel van 35 %) gesteld worden. Voor deze situatie is een verdeling van beregend oppervlak per type grondgebruik gemaakt (tabel 2.2.).

Tabel 2.2.

Aantal ha en % beregend oppervlak per type grondgebruik in het proefgebied Zundert (naar LD-Noord-Brabant).

	ha cult.grond	ha beregend	% beregend
Netto cultuurgrond	5500	1900	35
Veehouderij	4100	1050	25
Boomkwekerijen en tuinderij	1400	850	60

De in uitvoering genomen ruilverkaveling "Zundert" voorziet in beperkte zin in betere conserveringsmogelijkheden aan het begin van het groeiseizoen. Door in het afwateringssysteem enkele nieuwe beweegbare stuwen bij te plaatsen, krijgt men verbeterde mogelijkheden om in het voorjaar, zodra de grondwaterstand tot een niveau gezakt is waarop het geen overlast meer kan veroorzaken, het peil van het oppervlaktewater te verhogen. Bij dit ingestelde hogere peil van het open water zal de afvoer afnemen en het grondwater zal (gedeeltelijk) geconserveerd kunnen worden.

Te hoge grondwaterstanden moeten daarentegen vermeden worden omdat deze schade kunnen veroorzaken. De schade als gevolg van dergelijke wateroverlast wordt in deze studie echter niet berekend.

2.1.5. De huidige watervoorziening en het grondwaterbeheer.

Het water voor beregening wordt veelal aan het grondwater onttrokken. De periodieke onttrekking van grondwater ten behoeve van beregening heeft een sterk niet-stationair karakter en kan in beperkte mate een uitstralingseffect hebben naar lager gelegen gronden, welke gedeeltelijk op capillaire opstijging zijn aangewezen (VAN LANEN, 1983).

In de huidige, bestaande situatie moet een verdere uitbreiding van de beregening uit het oppervlaktewater als onmogelijk worden beschouwd, en zal in toenemende mate op het gebruik van grondwater moeten worden teruggevalen.

Met het oog op het te voeren grondwaterbeheer is het van belang onderzoek te doen naar de effecten van beregening uit het grondwater. Tevens dient nagegaan te worden in hoeverre nadelige effecten van beregening uit het grondwater gecompenseerd kunnen worden door wateraanvoer en in hoeverre de beregening uit het grondwater kan worden vervangen door beregening uit het oppervlaktewater.

2.2. Toekomstige ontwikkelingen.

2.2.1. Ontwikkelingen in de landbouw.

Een van de belangrijkste gebeurtenissen voor de landbouw in dit gebied zal de uitvoering van de al eerder genoemde ruilverkaveling zijn. Door onder andere een verbetering van de detailwaterhuishouding en de verkavelingssituatie zullen de mogelijkheden voor een rendabele bedrijfsvoering verbeterd worden. Als gevolg van een ruilverkaveling komt men dikwijls tot schaalvergroting en intensivering : Te denken valt onder andere dat door verbetering van de verkavelingssituatie de aanschaf van een beregeningsinstallatie aantrekkelijker wordt en het gebruik ervan efficiënter; hetgeen zal resulteren in een toename van het beregende oppervlak.

Een algehele verbetering van de waterhuishouding geeft in het algemeen weliswaar een geringe toename van het vochttekort door de ontwatering in het vroege voorjaar, maar door opheffing van de wateroverlast, zal er per saldo van een afname van de opbrengstdepressie sprake zijn. Bovendien kan men door verbetering van de infrastructuur een verschuiving in het grondgebruik verwachten in de richting van meer kapitaal-intensieve gewassen. Omdat een grote verschuiving van die aard in dit gebied niet aannemelijk is, beperken we ons tot de gevolgen van een verbeterde detailwater-huishouding en vergroting van de wateraanvoermogelijkheden.

Bij deze modelstudie is daarom een belangrijke aanname geweest dat per saldo het grondgebruik in de toekomst gelijk blijft aan het huidige. Moderne beregeningsapparatuur brengt hoge aanschaf kosten met zich mee, maar is weinig arbeidsintensief. Bij de kapitaalintensieve teelten, zoals de boomkwekerijen en de tuinderijen, zal het kosten-aspect niet van zo'n groot belang zijn omdat hier al voor het grootste deel beregening toegepast wordt. Bij het beregenen van grasland en enkele akkerbouwgewassen (in deze studie samengevat onder de noemer snijmais en vallend onder de veehouderij!) is de investering wel van essentieel belang, en gaan de al eerder genoemde bedrijfsgrootte en verkavelingsituatie een belangrijke rol spelen.

Binnen de Werkgroep WLZ bestond aanvankelijk de verwachting dat in de toekomst de beregening door de veehouderij zou toenemen tot 50 % van

het gebruikte oppervlak. In de intensieve teelten zoals de tuinbouw en de boomkwekerij zou de berekening toenemen tot 90 % van de gronden. Over het gehele proefgebied zou aldus 60 % van de cultuurgronden berekend gaan worden.

Naar aanleiding van een onderzoek naar de rendabiliteit van berekening in de veehouderij door de Provincie Gelderland (PROVINCIE GELDERLAND, DIENST WATERBEHEER, 1985) zijn deze cijfers iets bijgesteld. De minder gunstige kosten-baten verhouding van berekening zoals die in dit rapport berekend zijn, waren de reden om de verwachte uitbreiding van de berekening te beperken tot 35 % van het areaal grasland/mais (1435 ha). Tuinbouw en kwekerijen werden geacht wel het gestelde percentage van 90 % te halen (1260 ha). Naar nu verwacht zal in de toekomst 50 % van de totale oppervlakte cultuurgrond berekend worden (2695 ha).

2.2.2. Consequenties van wateraanvoer.

Allerlei relevante factoren in aanmerking genomen heeft het modelgebied samen met de rest van het stroomgebied van de Aa of Weerij de meest reële mogelijkheden voor wateraanvoer binnen het west-brabants zandgebied. Het water zal voor zover de afvoer van de Aa of Weerij niet toereikend is additioneel aan de Mark en Dintel onttrokken moeten worden en via de Aa of Weerij opgepompt tot aan de grens met België. Het water moet worden opgevoerd van ongeveer 0 NAP bij Breda tot ongeveer 13 m +NAP bij de landsgrens. Hiervoor dienen bij de reeds bestaande stuwen opmaalinstallaties geplaatst te worden. Via een langs de grens te graven koppelleiding van circa 12 km lengte kan het bestaande afvoersysteem bovenstrooms worden gevoed. Met enkele aanvullende voorzieningen zoals koppelleidingen, stuwen en enkele kleine opmaalinstallaties zal de waterdistributie in het gebied geoptimaliseerd moeten worden.

Het afvoerstelsel in het zandgebied functioneert in het algemeen goed, maar zal bij de uitvoering van de ruilverkaveling nog iets verbeterd worden. Tevens zullen de reeds aanwezige conserveringsmiddelen

verbeterd en uitgebreid worden.

Een van de doelen van wateraanvoer is om tot een verantwoord grondwaterbeheer te komen. Door wateraanvoer zullen eveneens verbeteringen in de bedrijfsvoering mogelijk gemaakt worden. Meer bedrijven zullen op eenvoudige wijze toegang krijgen tot beregening uit het oppervlaktewater.

Ook zal bij wateraanvoer, voor de overheid de mogelijkheid ontstaan om door middel van een meer terughoudend vergunningenbeleid de onttrekking van grondwater te sturen.

De wateraanvoerplannen worden beschreven in het verslag van de subgroep infrastructuur Noord-Brabant (LANDINRICHTINGSDIENST NOORD-BRABANT, 1985a) :

- De waterlopen en andere aanvoermiddelen zijn gedimensioneerd op de totale oppervlakte voor water bereikbaar gebied. Deze is afhankelijk van het op te zetten peil. Het maximale stuwpeil is het streefpeil gedurende het groeiseizoen en is gelijk gesteld aan de hoog-water-lijn of iets daarboven.
- Bij de ontworpen streefpeilen (zie bijlage 4 van het bovengenoemde rapport) is de totale oppervlakte "voor wateraanvoer bereikbaar gebied" op bruto-basis 4800 ha, dit is inclusief wegen en sloten etc.. Door de plaatsing van stuwen, gemalen en koppelleidingen wordt 3100 ha van deze bruto-oppervlakte direct bereikbaar (dit zijn de gronden die tot maximaal 1 m boven het stuwpeil liggen en die optimaal zullen kunnen profiteren van een toename van de capillaire nalevering ten gevolge van de hogere grondwaterstand). De resterende 1700 ha van de bruto-oppervlakte is een additionele strook gronden tot maximaal 300 m breed, die met behulp van een haspelautomaat vanuit de kavelsloten bereikt kan worden. Het voor wateraanvoer niet-bereikbare oppervlak is 3100 ha. Omgerekend naar netto-oppervlakten cultuurgrond zijn de "bereikbare" en de "niet-bereikbare" oppervlakten respectievelijk 3850 ha en 1650 ha groot. Rekening houdend met de toename van beregening zoals beschreven in hoofdstuk 2.2.1. is bij toekomstige wateraanvoer tot een verdeling gekomen over "bereikbare" en beregende oppervlakten zoals weergegeven in tabel 2.3..

Tabel 2.3.

Totale bruto-oppervlakten, oppervlakten cultuurgrond (in ha en %), en het beregende oppervlak cultuurgrond (in ha en %) bij de meest waarschijnlijke ontwikkeling van de berekening, voor de bij wateraanvoer bereikbare en niet-bereikbare gebieden.

	Bruto-oppervl.		Cultuurgrond		Beregende oppervl.	
	ha		ha	%	ha	%
Bereikbaar bij wateraanvoer	4800		3850	70	1685	30
Niet-bereikbaar bij wateraanvoer	3100		1650	30	1010	20
Totaal	7900		5500	100	2695	50

- Hoewel bij de voorlopige dimensionering van externe aanvoermiddelen naar het studiegebied toe een uniforme aanvoerfactor aangehouden is van 0.3 l/s/ha, is binnen het zandgebied tot een wat genuanceerder beeld gekomen door middel van een tweetal aannamen : De beekdalen omvatten in het algemeen minder droogtegevoelige gronden en hebben daardoor een lagere aanvoerbehoefte, terwijl de berekening op de hogergelegen gronden ook in de toekomst voor een groot deel uit het grondwater zal blijven plaats vinden, zodat ook daar een lagere behoefte zal zijn.

Voor de opmaalcapaciteit in het zandgebied is uitgegaan van een aanvoerfactor van 0.15 l/s/ha bereikbaar gebied. Voor het totale bereikbare oppervlak levert dit een aanvoer van 0.75 m³/s op.

De maatgevende aanvoer van 0.15 l/s/ha stemt overeen met wat is gevonden voor de oostbrabantse zandgebieden (Waterschap van de Aa) en bestaat uit twee delen : de infiltratiebehoefte en de gemiddelde waterbehoefte voor berekening, resp. (0.065 l/s/ha en 0.085 l/s/ha, (LANDINRICHTINGSDIENST NOORD-BRABANT, 1985b).

- In verband met een eventuele uitbreiding van het aanvoergebied tot 10.000 ha is in het ontwerp (LANDINRICHTINGSDIENST NOORD-BRABANT, 1985a) ook rekening gehouden met leiding- en gemaaldimensies van 1.5 m³/s .

- Bij de uitvoering van de ruilverkaveling wordt het slotenstelsel aangepast. Dit gebeurt ook als er geen water aangevoerd zal worden. Indien wel wateraanvoer plaats zal vinden moet dit stelsel op enkele plaatsen nog eens extra uitgediept worden : Voor berekening uit een waterloop is een minimale waterdiepte van 50 cm nodig.

2.2.3. Waterwinningsmogelijkheden.

In het grondwaterplan van de provincie Noord-Brabant is aangegeven dat de ruimte voor uitbreiding van de drinkwaterwinningsmogelijkheden vooral in het gebied ten zuiden van de lijn Roosendaal-Breda-Gilze gezocht moet worden. Met het oog op de mogelijkheden voor het toekomstig grondwaterbeheer zal bij dit onderzoek ook aandacht besteed worden aan een grote waterwinning. Met name in combinatie met wateraanvoer zou waterwinning aantrekkelijk kunnen zijn. Nagegaan zal worden in hoeverre de onttrekking zou door wateraanvoer gecompenseerd zou kunnen worden. Hiertoe is een mogelijke winplaats nabij Achtmaal aangewezen (zie fig.2.1.). In de diverse opties zal met een winning van 5 miljoen m³ per jaar worden gerekend.

2.2.4. Te berekenen scenario's

De in dit hoofdstuk geschetste ontwikkelingen zijn in een aantal te berekenen scenario's omgezet. De verschillen tussen deze scenario's worden onder andere beperkt door de eerdere aanname dat het gewaspatroon niet verandert. Uitgaande van de bestaande situatie (nr.1 in tabel 2.4.) zijn enkele min of meer op zichzelf staande ontwikkelingen aan te geven (zie ook hoofdstuk 2.2.1.) :

- De ruilverkaveling is recentelijk in uitvoering genomen. De gegevens zijn ter hand gesteld door de Landinrichtingsdienst. De situatie na ruilverkaveling (nr.2) zal worden beschouwd als het referentiekader; de huidige situatie dient alleen als ijkings van

het rekenmodel (zie hoofdstuk 4.).

- Er is reeds een tendens naar meer beregening. Na ruilverkaveling zal deze zich ten gevolge van een verbeterde verkavelingssituatie nog verder uitbreiden.
- Ook wordt steeds meer beregeningswater aan het grondwater onttrokken. Met het oog op het grondwaterbeheer is men in het algemeen van mening dat dit geen goede zaak is.
- De mogelijkheden van wateraanvoer worden bekeken. Het effect van wateraanvoer zal allereerst bestaan uit een hogere grondwater-spiegel waardoor de beregening mogelijk minder toeneemt dan in het geval zonder wateraanvoer. Tevens zal bij een verzekerde aanvoer van water via het oppervlaktewaterstelsel om financiële redenen eerder gekozen worden om de keuze aantrekkelijker worden om uit het oppervlaktewater te gaan beregenen.
- Ten behoeve van het toekomstig grondwaterbeheer wordt het effect van een grote waterwinning bestudeerd. Dit maakt deel uit van een streven over ruimere mogelijkheden voor drinkwaterwinning te beschikken.

Van bovengenoemde zaken blijft de belangrijkste keuze het al dan niet aan voeren van water. Indien geen wateraanvoer wordt toegepast zal de beregening uit het oppervlaktewater zich niet kunnen uitbreiden : Het zal dan bij de 200 ha blijven die nu ook al vanuit het oppervlakte-water beregend worden. Als wel water wordt aangevoerd, dan wordt verondersteld dat 1/3 deel van de beregende oppervlakte in het voor wateraanvoer bereikbare gebied uit het oppervlaktewater beregend zal worden.

De belangrijkste te berekenen opties zijn de toekomstige situaties na ruilverkaveling, met de meest waarschijnlijke ontwikkeling van de beregening. De verschillen tussen de resultaten van de berekeningen met en zonder wateraanvoer zullen moeten uitwijzen of wateraanvoer inderdaad overwogen dient te worden (zie tabel 2.4., nrs.5 en 7). In het geval van wateraanvoer is tevens de situatie doorgerekend met een maximaal geachte beregening uit het oppervlaktewater (zie tabel 2.4., nr.9).

De berekeningen met een extra waterwinning zijn voor alle opties gedaan (scenario's 3,4,6,8 en 10).

De benodigde berekeningen zijn in tabel 2.4. schematisch weergegeven.

De verschillende beregende oppervlakten bij de diverse opties zijn uitgewerkt in het hoofdstuk over de modelsimulaties (hoofdstuk 5.).

De invoergegevens voor de genoemde opties verschillen in de meeste gevallen niet veel van elkaar. De verschillen komen met name voort uit de schematisatie van het topsysteem en de toepassing van berekening. Bovendien veranderen de openwater-peilen onder invloed van de wateraanvoer.

Tabel 2.4.

Matrix met nummers van de te berekenen scenario's.

SCENARIO'S	ZONDER WATERAANVOER		MET WATERAANVOER
	zonder	met	met
	ruilverk.	ruilverk.	ruilverk.
huidige situatie.	1	2	-
idem,			
met waterwinning.	3	4	-
meest waarschijnlijke			
ontwikkeling berekening.	-	5	7
idem,			
met waterwinning.	-	6	8
maximale beperking berekening			
uit het grondwater.	-	-	9
idem,			
met waterwinnig.	-	-	10

3. BESCHRIJVING VAN HET MODEL GELGAM

3.1. Herkomst.

Vanuit de wens tot een beter kwalitatief beheer van het beschikbare grond- en oppervlaktewater te komen heeft de Provincie Gelderland in 1970 de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland ingesteld. Een van de studies die in opdracht van deze commissie werd verricht had het model GELGAM (Gelderland Groundwater Analysis Model) als resultaat. Met dit model kunnen de kwantitatieve aspecten van de regionale waterhuishouding integraal worden berekend (DE LAAT en AWATER, 1980).

Het model GELGAM is momenteel in beheer bij Rijkswaterstaat, Dienst Informatie Verwerking. In de loop van 1983 is een versie van GELGAM door het ICW op een VAX-computer geïmplementeerd (PEREBOOM en THUNNISSEN, 1984). Deze versie is voor dit onderzoek gebruikt.

3.2. Toepassing en mogelijkheden.

GELGAM is een quasi-drie-dimensionaal model, dat de volgende drie processen simuleert :

- grondwaterstroming in de verzadigde zone
- vochttransport in de onverzadigde zone
- verdamping van bodem en gewas

In GELGAM worden de verzadigde en de onverzadigde zones gekoppeld berekend. De stroming in de verzadigde zone wordt niet-stationair berekend, terwijl de waterbeweging in de onverzadigde zone op een pseudo-stationaire wijze wordt benaderd : Dit betekent dat er een opeenvolging van stationaire situaties wordt berekend waarbij de bergingsveranderingen in het profiel een grote rol spelen.

Het rekenen met een model waarin de verzadigde en de onverzadigde zones gekoppeld berekend worden, heeft voordelen boven het gebruik van losse modellen. In dat laatste geval moeten de stromingen in de

verzadigde en de onverzadigde zones los van elkaar worden gezien, en moeten de twee deelsystemen (eventueel) meerdere keren naast elkaar doorgerekend worden in een iteratief proces. Het meest logisch is dit uitsluitend voor enkele stationaire situaties te doen.

Onttrekking ten behoeve van berekening heeft echter in sterke mate een niet-stationaire stroming tot gevolg en juist daarom is de niet-stationaire berekeningswijze in GELGAM juist een belangrijk punt van overweging geweest bij de modelkeuze.

Het model rekent met tijdstappen van 10 dagen. Uit berekeningen is gebleken dat dit een redelijk compromis vormt tussen enerzijds een langere periode met als oogmerk een kortere totale rekentijd, en anderzijds een kortere periode waardoor de niet-stationaire effecten beter naar voren zouden komen (DE LAAT, 1985).

Ondanks de positieve kanten zijn er ook bezwaren ten aanzien van het model GELGAM op te noemen: Hydrologisch gezien is het jammer dat er geen kwantitatieve interactie mogelijk is tussen het oppervlaktewater en het grondwatersysteem. Bovendien bestaat in GELGAM het oppervlaktewatersysteem slechts via de opgegeven peilen van het open water. Het model is daarnaast ondoorzichtig en gecompliceerd van opbouw. Het is niet eenvoudig toegankelijk, en men zal voor de niet-ingewijde gebruiker een ruime inwerkperiode moeten rekenen.

3.3. Het verzadigd modelgedeelte.

De horizontale stroming in het verzadigd deel van het profiel laat zich per knooppunt met behulp van de wet van Darcy en het continuïteitsprincipe als volgt beschrijven:

$$\frac{\delta}{\delta x} \left(KD \frac{\delta h}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(KD \frac{\delta h}{\delta y} \right) = q_b - q_o \quad (3.1)$$

KD is hierin de horizontale doorlatendheid van de betreffende laag en q_b en q_o zijn respectievelijk de fluxen aan de bovenzijde en aan de onderzijde van de laag. Deze formule is geldig voor alle 'confined' aquifers en lagen met vrije waterspiegel waarvoor de Dupuit-Forcheimer

aannamen gelden. In GELGAM wordt het stelsel van vergelijkingen opgelost met een eindige elementen methode (VAN DEN AKKER, 1972).

In het GELGAM-model dient het modelgebied ingedeeld te worden in een rechthoekig knooppunten-netwerk en alle invoergegevens dienen per knooppunt aangeleverd te worden. Bij de eindige elementen methode wordt het water- en vochttransport steeds in de knooppunten geconcentreerd verondersteld, zodat de stromingen hier dus geïntegreerde fluxen voorstellen van de zogenaamde invloedsoppervlakken rondom de knooppunten.

In het verticale vlak kan het model rekenen met maximaal twee watervoerende pakketten met afsluitende lagen (zie ook hoofdstuk 2.1.2), en een freatisch pakket. In de watervoerende lagen wordt alleen een horizontale stroming verondersteld, terwijl in de weerstandbiedende lagen slechts verticale stroming van belang is. Zo nodig kunnen onttrekkingen en injecties per knooppunt ingevoerd worden.

Om de verzadigde stroming op te kunnen lossen, moeten langs de rand van het modelgebied voor iedere tijdstap ofwel de stijghoogten, ofwel de fluxen over de rand bekend zijn (dit zijn de randvoorwaarden). Tevens moeten bij het begin van de berekening startwaarden opgegeven worden voor de fluxen tussen de verzadigde en de onverzadigde zone.

Het oppervlaktewaterstelsel wordt eveneens in het model gebracht via de knooppunten. Voor de knooppunten die als primaire of secundaire waterloop zijn gedefinieerd moet per tijdstap een waterpeil worden opgegeven. Waterlopen die in het model als primair of secundair worden ingebracht snijden in tot het eerste watervoerende pakket. Het primaire waterlopenstelsel onderscheidt zich van het secundaire door het ontbreken van een weerstand tussen de in het model gehanteerde stijghoogte van het grondwater en het rivierpeil.

Het slotenstelsel, dit is het stelsel van tertiaire waterlopen, is niet per knooppunt gedefinieerd, maar er wordt wel per knooppunt een slootpeil en een bodemhoogte vastgesteld.

De drainageweerstand is in wezen een continue variabele, afhankelijk van de grondwaterstand, het bodemtype en het peilverschil tussen het grondwater en het peil in de open waterlopen. In dit onderzoek is deze weerstand per knooppunt als afhankelijke van de 'slootafstand'

ingevoerd. Om de grondwaterstand-afvoerrelatie vast te leggen is de volgende uitdrukking voor het drainagedebiet q_d gebruikt :

$$q_d = (h_f - h_o) / W \quad (3.2)$$

waarin : h_f = grondwaterstand tussen de sloten of waterlopen,
 h_o = peil in waterlopenstelsel,
 W = drainageweerstand.

Het effect van een slotenstelsel of van buizendrainage is in te voeren door middel van een gecombineerde afvoerrelatie (zie fig.3.1.a) :

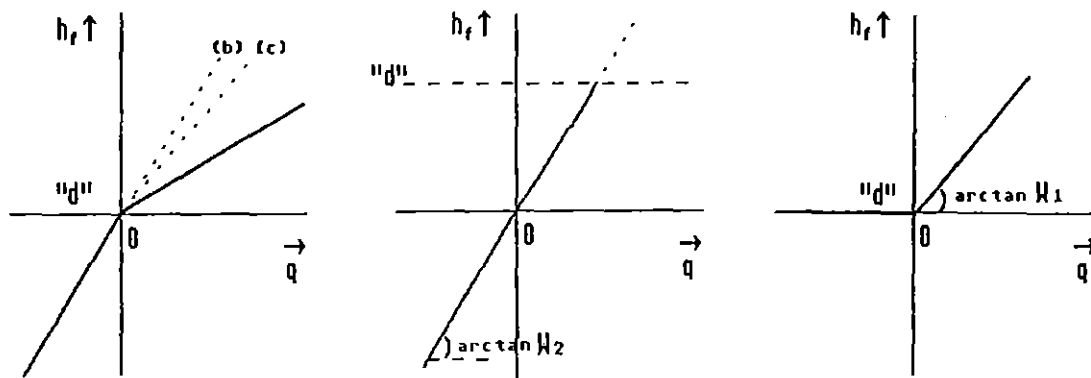


Fig.3.1. De grondwaterstands-afvoerrelatie :
 a) gecombineerd,
 b) onder het drainniveau "d",
 c) boven het drainniveau "d".

De afvoerrelatie is in twee delen gesplitst : Een deel voor de diepere laag die afvoert naar de hoofdwaterlopen (fig.3.1.b.); en een deel voor de ondiepere laag (fig.3.1.c.). Als het freatisch vlak boven de slootbodem of het drainniveau ("d") stijgt, dan zal als gevolg van de kleiner wordende afstand "L" tussen de watervoerende drainagemiddelen een lagere drainageweerstand in werking treden (zie fig.3.2.).

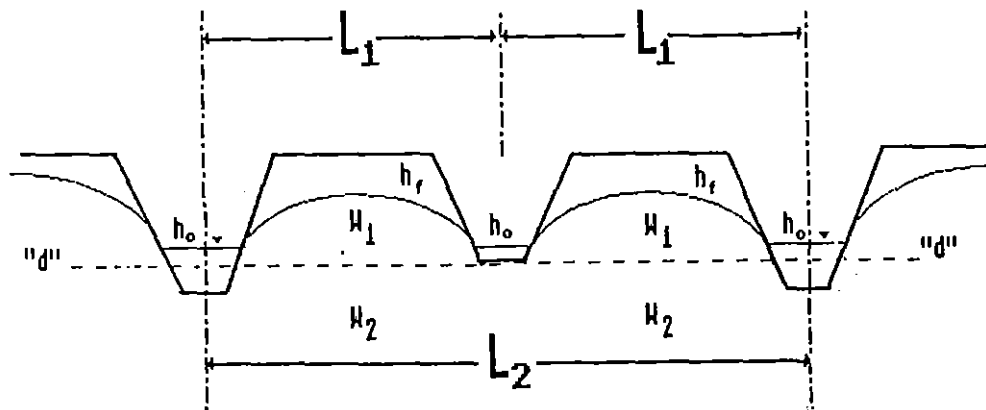


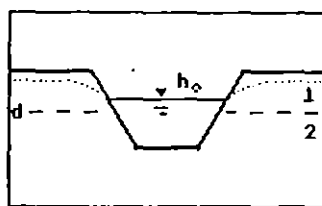
Fig.3.2. Doorsnede door het drainagesysteem. De hoofdwaterlopen snijden in tot onder het niveau "d", terwijl de tertiaire waterloop maximaal tot een diepte "d" komt.

Infiltratie kan optreden indien het open waterpeil boven de grondwaterstand. Een aanname hierbij is dat infiltratie alleen vanuit de diepere (altijd watervoerende) waterlopen mogelijk is. De kleinere waterlopen, met een diepte kleiner of gelijk aan "d" geven hieraan dus geen bijdrage. De volgende situaties kunnen zich voordoen (zie ook fig.3.3.) :

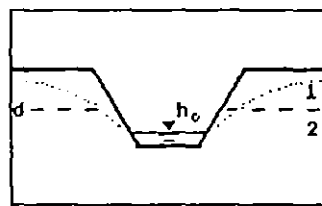
$$h_f > h_o > "d" \quad q_d = (h_f - h_o) / W_2 + (h_f - h_o) / W_1 \quad (3.3)$$

$$h_f > "d" > h_o \quad q_d = (h_f - h_o) / W_2 + (h_f - "d") / W_1$$

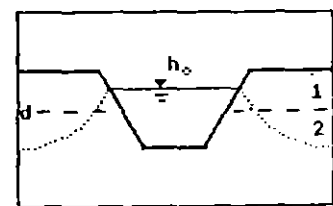
$$h_f < h_o \quad q_d = (h_o - h_f) / W_2$$



$h_f > h_o > "d"$



$h_f > "d" > h_o$



$h_o > h_f$

Fig.3.3. De drie mogelijke drainagetoestanden :

- a) $h_f > h_o > "d"$
- b) $h_f > "d" > h_o$
- c) $h_o > h_f$

3.4 Het onverzadigd modelgedeelte.

Het transport in het onverzadigde deel van de bodem wordt in principe berekend volgens het concept Rijtema-de Laat (DE LAAT, 1982). Omdat in het verdampingsdeel van het model enkele essentiële wijzigingen aangebracht zijn (AD HOC GROEP VERDAMPING, 1984 en PEREBOOM en THUNNISSEN, 1984b), zal de verdamping in een aparte paragraaf behandeld worden.

Het onverzadigde deel van het profiel is verdeeld in een wortelzone en een ondergrond, met per knooppunt voor de omgeving representatief veronderstelde eigenschappen. De wortelzone wordt beschouwd als een reservoir met een berging die wordt bepaald door zijn dikte en de vochtkarakteristiek (pF-curve) van het bodemmateriaal.

Voor berekening van het onverzadigd vochttransport door de ondergrond dienen de vochtkarakteristiek (pF-curve) en de relatie voor de onverzadigde doorlatendheid (K-h relatie) van de in de ondergrond onderscheiden bodemlagen bekend te zijn.

3.5 De verdamping in het model GELGAM.

De berekening van de verdamping wordt in principe gedaan op basis van een weerstandsconcept, maar voor enkele gewassen waar niet voldoende gegevens over bekend zijn is een eenvoudiger berekening volgens Penman aangehouden. Met behulp van de openwaterverdamping volgens Penman kan een potentiële verdamping berekend worden :

$$E_{\text{pot}} = f * E_{\text{pen}} \quad (\text{mm/dag}) \quad (3.4)$$

f is hier een factor < 1, afhankelijk van het gewas en het seizoen. De Penman-verdamping wordt in dit onderzoek gebruikt voor de teelt van aardbeien en groenten, en voor de boomkwekerijen. De gebruikte f-waarden zijn :

- 0.7 voor de periode tot 1 mei,
- 0.8 na 1 mei.

Inclusief de belangrijkste wijzigingen zoals voorgesteld door de "AD-HOC GROEP VERDAMPING" (1984) kan het verdampingsmodel in GELGAM als volgt worden samengevat :

- De neerslag kan voor een deel in een interceptiereservoir opgevangen worden. De maximale capaciteit van dit reservoir is afhankelijk van de bodembedekking en de gewaseigenschappen. Zolang er water in het interceptie reservoir aanwezig is wordt de gewasverdamping gelijkgesteld aan die van een nat gewas. In de berekening van de waterbalans wordt gebruik gemaakt van een netto-neerslag : de bruto-neerslag minus de interceptie.
- Rekening houdend met de bodembedekkingsgraad S_c wordt de actuele verdamping van een gewas berekend volgens de formule van Monteith-Rijtema :

$$T = \frac{s + \gamma}{s + \gamma \cdot (1 + r_c / r_a)} (E_{wet} - E_i) \cdot S_c \quad (\text{mm/dag}) \quad (3.5)$$

met :

- s = de helling van de verzadigde dampspanningscurve (mbar/K)
- γ = psychrometer constante (mbar/K)
- r_c = (variabele) gewasweerstand (s/m)
- r_a = aerodynamische weerstand (s/m)
- E_{wet} = verdamping van een nat gewas (mm/dag)
- E_i = verdamping interceptiewater (mm/dag)

- De gewasweerstand r_c is een functie van de bladwaterpotentiaal ψ_l met een basisweerstand r_b als minimum-waarde en een weerstand r_m als maximum :

$$\begin{aligned} r_c &= r_b && \text{voor } \psi_l > p_1 \\ r_c &= r_b - (r_b - r_m) * (p_1 - \psi_l) / (p_1 - p_2) && \text{voor } p_1 > \psi_l > p_2 \\ r_c &= r_m && \text{voor } \psi_l < p_2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

In tabel 3.1. zijn de gewasafhankelijke weerstanden r_b en r_m en de empirische constanten p_1 en p_2 voor enkele gewassen vermeld. De

beschreven werkwijze wordt gebruikt voor de gewassen gras en mais.
Voor bos is een vaste gewas-weerstand (r_b) aangenomen.

Tabel 3.1.

Enkele waarden voor de basisgewasweerstand r_b en de maximum
weerstand r_m (in s/m), de coëfficiënten p_1 en p_2 (in mbar), de
plantweerstand R_{pl} (in dagen), alsook de reflectiecoëfficiënt r
(naar AD HOC GROEP VERDAMPING, 1984).

gewas	r_b	r_m	p_1	p_2	R_{pl}	r
gras	65	500	-15000	-25000	10000	0.24
mais	80	350	-15000	-25000	10000	0.24
loofbos	80	-	-	-	-	0.20
naaldbos	80	-	-	-	-	0.12

- De bladwaterpotentiaal ψ volgt uit :

$$\psi_l = \psi_s - 3 T (R_{pl} + b/Sk) \rho g / 10^4 / Sc \quad (\text{mbar}) \quad (3.7)$$

Hierin zijn :

ψ_s = drukhoogte aan de onderzijde van de wortelzone (mbar)

R_{pl} = (constante) plantweerstand voor vochttransport,
gesommeerd voor wortel, stengel en blad (dag)

b = wortelgeometriefactor (cm)

Sk = onverzadigde doorlatendheid (cm/dag)

ρ = dichtheid van water (kg/m³)

g = versnelling zwaartekracht (m/s²)

De factor "3" is een arbitraire factor die is toegevoegd om met
momentane waarden van de bladwaterpotentiaal te kunnen rekenen.
De aanname is dat de verdampingssnelheid midden over dag ongeveer
3 maal zo groot is als het daggemiddelde (AD HOC GROEP VERDAMPING,
1984). De simultane berekening van de actuele verdamping T en de
bladwater-potentiaal geschiedt vervolgens iteratief.

- Naast de gewasverdamping is ook de kale grond verdamping van belang. Deze is een functie van de openwaterverdamping E_o volgens Penman, met Sc de bodembedekking (AD HOC GROEP VERDAMPING, 1984) :

$$E_s(\text{act}) = \alpha_s \cdot E_o \cdot (1 - Sc) \quad (3.8)$$

met : $\alpha_s = 1 - \log(1 - \psi_s) / 4.2$

en ψ_s is de potentiaal in de wortelzone.

3.6. Aanpassingen.

- In de basisconfiguratie houdt GELGAM geen rekening met beregening. Daarom is deze optie in het model ingehouwd (PEREBOOM, 1984). Uitgangspunt is dat binnen de rekentijdstap van 10 dagen maximaal twee keer een beregeningsgift van 20 mm gegeven kan worden. Het criterium voor beregening is het overschrijden van een zekere gewas-afhankelijke pF-waarde aan de onderzijde van de wortelzone.

Tabel 3.2.

pF-beregeningscriterium voor enige gewassen in GELGAM.

gewas	gras	boomkwekerij	aardbeien	mais	groenten
pF	2.7	2.7	2.4	2.7	2.4

Bij vooraf te bepalen knooppunten wordt beregening mogelijk gemaakt. Hierbij wordt tevens aangegeven of het benodigde water onttrokken wordt uit het oppervlaktewater dan wel uit een watervoerend pakket. Er is een beregeningsverlies van 5 % aangenomen. Dit verlies verdampt tijdens de gift of komt buiten het modelgebied terecht. Hoe langer een tijdstap is, des te lager zal de intensiteit van de beregening zijn. Dit zou de watervoorziening van het gewas ten goede komen, waardoor rekening gehouden moet worden met een lichte onderschatting van de beregeningsgift. Bij tijdstappen van 10 dagen wordt daarom een

iets hogere berekeningsefficiency berekend dan in kortere tijdstappen.

- De originele versie van GELGAM werkt met een K-h relatie volgens RIJTEMA (1969). Deze luidt :

$$\begin{aligned} K(h) &= K(0) & ; h \leq h_a & & (3.9) \\ K(h) &= K(0) * e^{-(h-h_a)} & ; h_a < h \leq h_{max} \\ K(h) &= a h^{-1.4} & ; h > h_{max} \end{aligned}$$

met : $K(0)$ = verzadigde doorlatendheid (cm/dag),
 h_a = luchtintreewaarde (cm),
 h = drukhoogte (cm),
 h_{max} = maximale waarde geldigheid (cm).

Voor het model gebied zijn de gegevens met betrekking tot de K-h relatie echter bepaald volgens de methode BLOEMEN (1980) :

$$\begin{aligned} K(h) &= K_e & ; h \leq h_\omega & & (3.10) \\ K(h) &= K_e * (h/h_\omega)^{-n_s} & ; h > h_\omega \end{aligned}$$

met : K_e = effect. doorlatendheid, en $K_e = 0.5 * K(0)$ (cm/dag),
 h_ω = luchtintreewaarde (cm),
 h = drukhoogte (cm),
 n_s = constante exponent (-).

Het model is geschikt gemaakt om een keuze te maken uit deze twee verschillende rekenmethoden.

- In het weerstandsconcept kan met de gebruikte gegevens bij kleine vochttekorten al een forse bodemweerstand optreden, en daardoor (te) grote verdampingsreducties. Dit komt enerzijds doordat de "K-Bloemen" de onverzadigde doorlatendheid van zandgronden onderschat (bij een humeuze bodem vindt overschatting plaats), anderzijds omdat GELGAM de K-h relatie van de ondergrond ook voor de wortelzone gebruikt! Om toch goede waarden te kunnen berekenen is daarom het SWATRE-concept (BELMANS, WESSELING and FEDDES, 1983) geïntroduceerd. Het nadeel is dat het typische weerstandsconcept is verlaten, als voordeel staat daar echter tegenover dat SWATRE een zeer beproefd concept is (zie ook hoofdstuk 4.2.3.).

4. CALIBRATIE EN VERIFICATIE VAN HET MODEL

4.1. Invoergegevens.

4.1.1. Algemeen.

Het model wordt aan de hand van de bestaande situatie gecalibreerd voor de periode lopend van 1 oktober 1981 tot en met 3 april 1983. Deze berekeningen zullen slechts voor de ijking van het model gebruikt worden; voor vergelijking met de diverse alternatieven zal uitgegaan worden van de "0-situatie" zoals die zal zijn na ruilverkaveling. De ruilverkaveling kan gezien worden als een autonome ontwikkeling. De berekeningen zijn gemaakt met een tijdstaplengthte van 10 dagen.

De invoergegevens voor de GELGAM-berekeningen kunnen in twee hoofdgroepen verdeeld worden : De tijdsafhankelijke invoergegevens en de tijdsonafhankelijke gegevens.

De tijdsonafhankelijke gegevens zijn de gegevens die gebiedseigen zijn. Een aantal van deze gegevens leggen de gebiedsschematisatie vast en deze zullen in een aparte paragraaf behandeld worden.

De tijdsafhankelijke gegevens omvatten de meteorologische data en andere in de tijd veranderende gegevens zoals grondwateronttrekkingen en de peilen van het oppervlaktewater. De invoergegevens worden beknopt behandeld en waar ze reeds besproken zijn zal naar de relevante delen van de tekst verwezen worden. De invoergegevens worden in principe per knooppunt ingevoerd.

4.1.2. Gebiedsschematisering en knooppuntennetwerk.

In het horizontale vlak is het modelgebied verdeeld in elementen van 500 x 500 m, de hoofdas onder een hoek van 45 graden met de N-Z as (zie fig. 4.1). De lengte van het gebied is 13.5 km, de breedte is 10.5 km. Het model rekent in principe met een rechthoekig gebied, maar kan in geval van een niet-rechthoekige begrenzing onderscheid maken tussen een effectief en een ineffectief modelgebied.

Voor de begrenzing van het effectieve modelgebied wordt zoveel mogelijk de waterscheiding gevolgd. Het stelsel van belangrijke waterlopen is vastgelegd via de knooppunten. Om dit patroon zo goed mogelijk met de werkelijkheid overeen te laten komen is tweemaal een elementbreedte van 250 m aangehouden in plaats van de gebruikelijke 500 m.

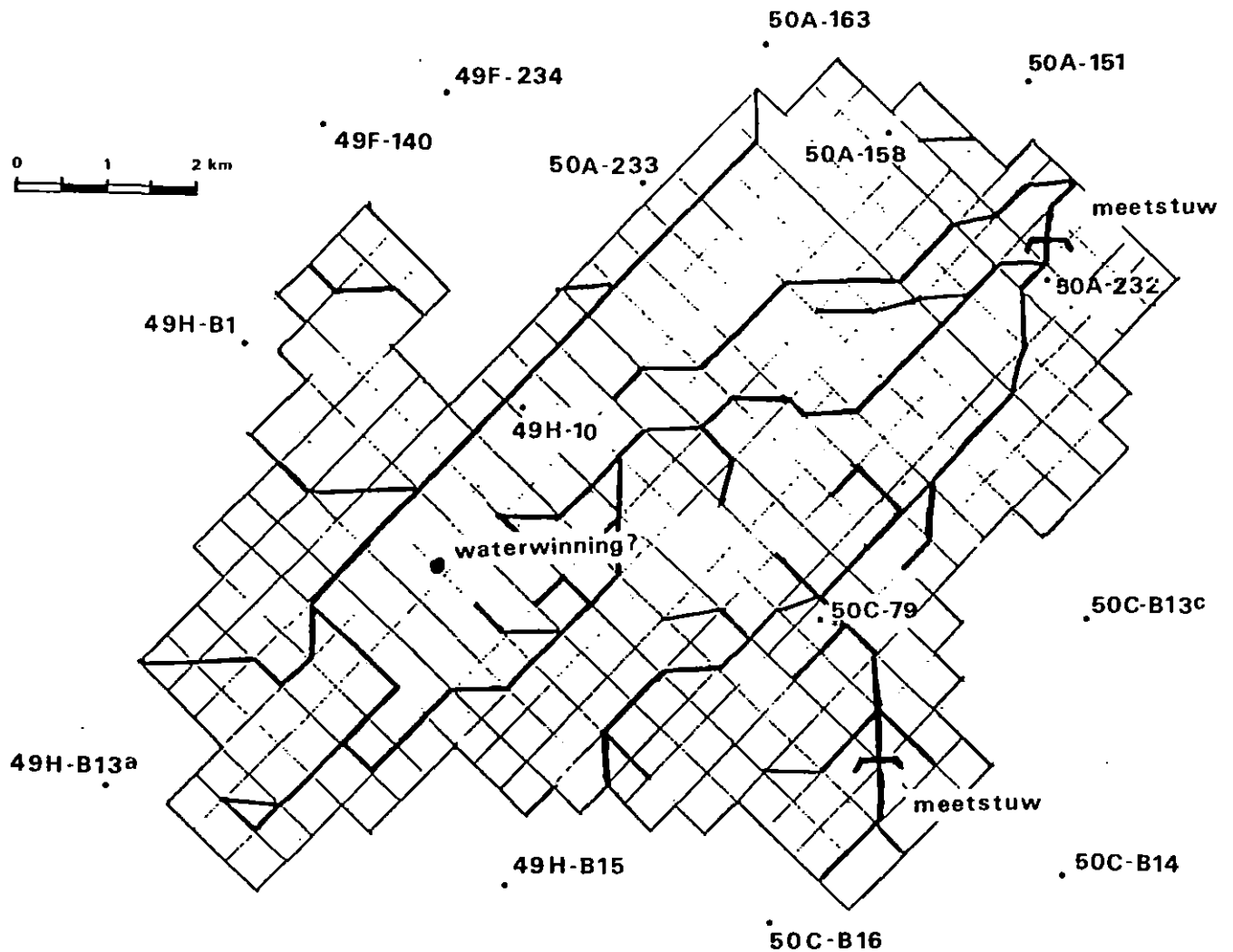


Fig.4.1. Schematisatie van het modelgebied met de belangrijkste waterlopen, meetstuwen en de mogelijke waterwinplaats. De aangegeven TNO-meetbuizen zijn gebruikt om de stijghoogten langs de randen te bepalen.

Een moeilijkheid is dat een waterloop niet op de rand van het modelgebied geschematiseerd kan worden. Om die reden is aan de westgrens van het gebied langs de Turfvaart een strook extra knooppunten ingevoerd.

Voor de schematisatie in het verticale vlak is gebruik gemaakt van de mogelijkheid die GELGAM biedt te rekenen met twee watervoerende lagen plus een afzonderlijk topsysteem (zie hoofdstuk 2.1.1.). Een overzicht van knooppunten en oppervlakten wordt gegeven in tabel 4.1..

Tabel 4.1.

Oppervlakte en aantal knooppunten in het modelgebied.

	Knooppunten	Oppervlakte	
Oppervlak netwerk	(10,5 *13,5)	141.75 km ²	= 14175 ha
Aantal Knooppunten	644		
Aantal ineffectief	255		
Aantal effectief	389		
Oppervl.ineff.modelgebied		62.75 km ²	= 6275 ha
Oppervl.eff.modelgebied		79 km ²	= 7900 ha

4.1.3. De tijdsafhankelijke invoergegevens.

- De maaiveldshoogte en het grondgebruik zijn ontleend aan de kaarten opgesteld ten behoeve van de ruilverkaveling. Uitgaande van de cultuurkaart "Ruilverkaveling Zundert" (HEIDEMIJ, 1981) is het overheersende bodemgebruik per knooppunt vastgelegd.

In principe is het bodemgebruik een tijdsafhankelijk gegeven, maar in deze studie is aangenomen dat het grondgebruik in de tijd niet verandert. In deze studie zijn de volgende grondgebruiksvormen mogelijk :

- grasland, inclusief erven, begraafplaats en woeste grond ;
- boomkwekerij ;
- aardbeien ;
- bos bestaand uit loofhout ;
- bos bestaand uit naaldhout ;
- mais ;
- bladgroenten en tuinderij ;
- stedelijke bebouwing .

Na de eerste toewijzing van het overheersend grondgebruik per knooppunt is een correctie toegepast om de totale oppervlakten per grondgebruik beter overeen te laten komen met de werkelijkheid : In tabel 4.2. worden de oppervlakten met een bepaalde gebruiksvorm gegeven als een percentage van de totale bruto-oppervlakte. Tevens zijn de percentages weergegeven zoals die voortgekomen zijn uit het concept-voorontwerp ruilverkaveling Zundert (LD) en van de metelling '81 (CBS).

Tabel 4.2.

Verdeling oppervlak per grondgebruik in %, GELGAM, voorontwerp LD en metelling '81.

	% Toegewezen	%(LD)	%(CBS'81)
Grasland(incl.wegen, waterlopen etc.)	60	51	66
Stad,wegen e.d.	2	9	-
Tuinbouw en akkerbouw	17	19	20
Boomkwekerij	12	10	14
Bos	9	11	-

- Aan de hand van bijlage 9 van het rapport "Bodemfysische indeling van de Zeeuwse eilanden en West-Noord-Brabant" (LANDINRICHTINGSDIENST-ZEELAND, 1984) is per knooppunt een representatief bodemprofiel gekozen (zie tabel 4.3.). De gronden in de beekdalen omvatten veen- en moerige gronden (Vs), vlakvaagronden (S) en beekkeerdgronden (Sl). De codering van de bodems in het genoemde rapport is aangehouden.

Tabel 4.3.

Toedeling bodemtypen in % in GELGAM en in voorontwerp LD.

	% toedeling	% voorontw.LD	code bodemtype
enkeerdgronden	34	30	E1,E3
laarpodzol	)	6	P3
humuspodzol	51)	50	P.,Pl..
beekdalgronden	15	15	Vs.,S.,Sl..

De fysische eigenschappen van wortelzones en ondergronden kunnen sterk verschillen, zelfs binnen eenzelfde profieltype. Met name in de ondergrond kunnen de eigenschappen sterk variëren ten gevolge van bijvoorbeeld een afwijkende laag. Bij de bepaling van de fysische eigenschappen van de bodem is rekening gehouden met hysteresis. De voor de GELGAM-berekening benodigde fysische eigenschappen zijn :

- de vochtkarakteristiek en de dikte van de wortelzone ;
- de vochtkarakteristiek en de K-h relatie van ondergrond, alsmede de dikte van de te onderscheiden lagen.

Deze bodemeigenschappen zijn voor het gehele Zoommeer-studiegebied bepaald door de Landinrichtingsdienst-Zeeland (1984), en vastgelegd in het eerder genoemde rapport.

De dikte van de wortelzone is afhankelijk van het bodemtype en het grondgebruik. Er is vanuit gegaan dat het grondwaterpeil zo diep is dat deze geen invloed uit kan oefenen op de bewortelingsdiepte. Voor de verschillende profielen en bodemgebruiken zijn de bewortelings-

Voor grasland is de dikte van de humeuze bovenlaag aangehouden, terwijl voor de aardbeien- en groenteteelt een (maximale) bewortelingsdiepte van 40 cm is genomen. In de praktijk zal deze waarschijnlijk beter benaderd worden door een diepte van 20-30 cm, zodat rekening moet worden gehouden met een lichte onderschatting van het vochttekort in dit rapport.

Tabel 4.4.

Bewortelingsdiepten per bodemtype per grondgebruik in cm .

Bodemprofiel	Bodemgebruik						
	gras	boomkw.	mais	aardbei	groenten	naald- hout	loof- hout
Vs1 (broekeerd)	30				40		
P3 (haarpodsol)		20				30	
E1 (enkeerd)	40	80	80	40	40		80
S4 (vlakvaag)	30						
Pl1 (veldpodsol)	30		40	40	40	40	
P4 (" ")	30	40	40	40	40	40	
P5 (" ")	30	40	60	40	40	60	
E3 (enkeerd)	40	60	60	40	40	60	
Sl1 (beekeerd)	30	40	40	40	40	40	40
Pl2 (veldpodsol)	30	80	80	40	40		
S3 (vlakvaag)	30					40	
Vs4 (veen)	30						
Vs3 (moerig)						40	
Pl2/Sl1	30		60	40	40		

- De bodemhoogte van de hoofdwaterlopen is ontleend aan onderzoek van de Landinrichtingsdienst. Geen van deze hoofd waterlopen snijdt in tot het eerste watervoerende pakket zodat alle onderdelen van het oppervlaktewatersysteem als tertiaire waterlopen binnen het topsysteem te modelleren zijn. De bodem van het slotenstelsel (de kleine waterlopen, die verondersteld worden in de zomer droog

te vallen) is op instigatie van de Landinrichtingsdienst op ongeveer 1 m beneden maaiveld gesteld.

De drainageweerstand zijn bepaald in relatie tot de slootafstanden. De Provinciale Waterstaat Noord-Brabant had, gebaseerd op het model van Bruggeman (PROV.NOORD-BRABANT, 1984), voor het gebied ten zuiden van Breda de drainageweerstand bepaald. Een analyse van de diverse relaties toonde een overheersende invloed van de slootafstand. Vervolgens is een gebiedsgemiddelde bepaald voor het verband tussen de drainageweerstand en de slootafstand (fig.4.2.).

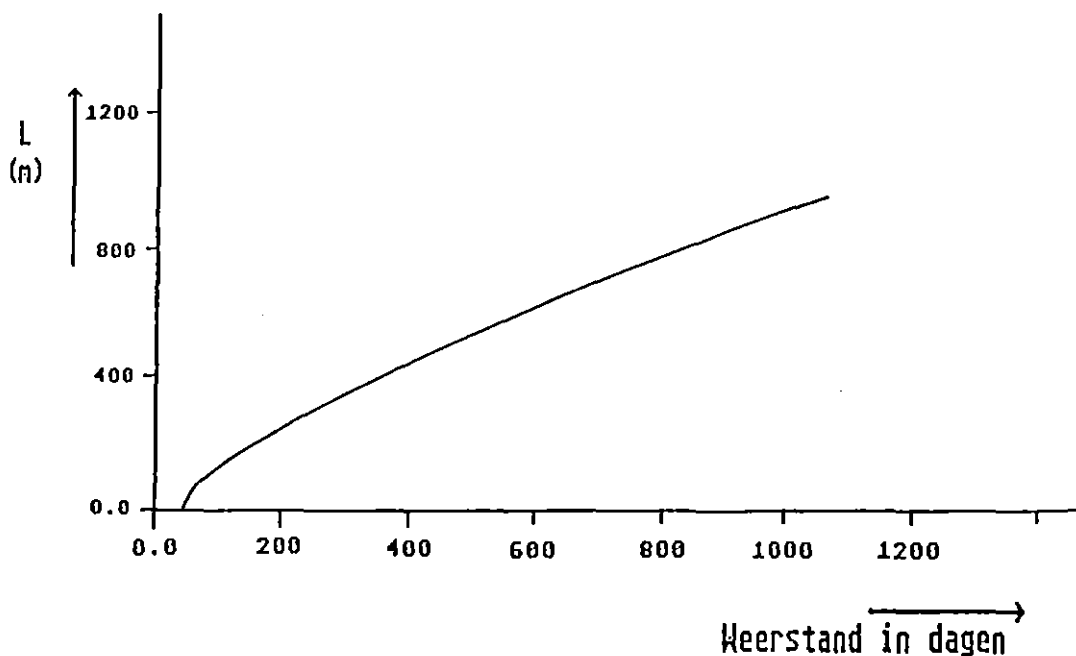


Fig.4.2. De relatie tussen de slootafstand en de drainageweerstand zoals die gebruikt is om de drainageweerstand te bepalen.

Met de oorspronkelijk aangeleverde slootafstanden zijn zeer hoge drainageweerstand gevonden. De indruk bestond dat vooral in de winter, de gebruikte slootafstanden te groot waren. In een heronderzoek is, met behulp van een nieuwe, door de landinrichtingsdienst aangeleverde, set slootafstanden en dezelfde relatie als die is weergegeven in figuur 4.2., tot een acceptabel resultaat gekomen.

Bij de calibratie van het model is voor de winterperiode nog een factor 0.8 aan de drainageweerstand toegevoegd om met name in nattere perioden het topsysteem wat sneller te kunnen laten reageren (fig.4.2).

- De geohydrologische gegevens van het gebied zijn afkomstig van het onderzoek "ten zuiden van Breda" (IWACO, 1982) : De hiervan gebruikte gegevens zijn :

- Een doorlatend vermogen van het diepe watervoerende pakket met een variatie van 1000 tot 2000 m²/dag. De doorlatendheid neemt vanuit het zuiden in noordelijke richting toe.
- Een weerstand voor de diepe weerstandbiedende laag van 500-2000 dagen.
- Een doorlatend vermogen van het ondiepe watervoerende pakket van ongeveer 500 m²/dag.
- De weerstand van de ondiepe weerstandbiedende laag was oorspronkelijk bepaald op 500-1500 dagen. De waarden voor de cl-laag zijn bij de calibratie voor een groot deel verhoogd en varieerden uiteindelijk van 500 tot 5000 dagen. Het is gebleken dat de waarde van de cl-laag, samen met de ingevoerde drainageweerstand bepalende factoren zijn.

4.1.4. De tijdsafhankelijke invoergegevens.

- De belangrijkste tijdsafhankelijke gegevens zijn de meteorologische data. Om de potentiële verdamping te berekenen zijn voor de periode lopend van 1 oktober 1981 tot en met 3 april 1983 de volgende (gebiedsgemiddelde) gegevens ingevoerd :

- De neerslagcijfers gemeten op het meteostation Zundert ;
- De temperatuur gemeten op het meteo-station Oudenbosch, op een hoogte van 1.5 m ;
- De relatieve vochtigheid eveneens gemeten in Oudenbosch ;
- De zonneschijnduur is wanneer beschikbaar die van Bergen op Zoom. Voor een periode waarvoor deze gegevens ontbraken

zijn de cijfers van het vliegveld Gilze-Rijen gebruikt ;

- De windsnelheid gemeten in Gilze-Rijen op een hoogte van 10 m. Deze is omgerekend naar een hoogte van 2 m.

- De peilen van de Aa of Weerijis zijn bepaald uitgaande van bekende meetreeksen (meetstuwen Wernhout en Stuivezand). Voor de tussenliggende peilvakken zijn slechts enkele metingen beschikbaar. De overige open waterpeilen zijn gegenereerd op basis van peil- en afvoermetingen van de Kleine Beek.

De metingen van de Aa of Weerijis zijn voor dit doel minder geschikt omdat het stroomgebied veel groter is dan het modelgebied. Daardoor zal het afvoerverloop van de Aa of Weerijis niet representatief kunnen zijn voor het modelgebied en de geheel binnen het modelgebied liggende waterlopen. Het vanggebied en de afvoer van de Kleine Beek zijn daarentegen wel van een zelfde orde van grootte. Daarom is het beter om voor de generatie van de waterpeilen in de overige waterlopen de metingen van de Kleine Beek te gebruiken.

- De grondwaterstanden worden door het model berekend. In de eerste rekenstap moet een benadering van de beginsituatie worden gegeven, vervolgens wordt het peil berekend met behulp van de relatie zoals die gegeven is in hoofdstuk 3.3..

- Onttrekkingen vinden in de ijkingssituatie plaats ten behoeve van beregening en ten behoeve van een conservenindustrie in Zundert. Deze industrie onttrekt grondwater aan het diepe watervoerende pakket. De onttrokken hoeveelheden variëren van 300 tot 1000 m³/dag. Onttrekking vindt met name plaats in de oogsttijd. De onttrekkingen ten behoeve van beregening vinden plaats vanuit het eerste watervoerende pakket. Deze onttrekkingen kunnen in de praktijk niet of moeilijk geïnventariseerd worden en daarom is de procedure gebruikt die besproken is in hoofdstuk 3.3.: Beregening dient plaats te vinden als een bepaalde graad van uitdroging in de bodem bereikt wordt. De onttrekkingen en de beregening worden net als de andere invoergegevens geconcentreerd in een knooppunt verondersteld.

- De randvoorwaarden voor het 1e en het 2e watervoerende pakket zijn ingevoerd als vaste stijghoogten. Aan de hand van de bekende stijghoogteverlopen van nabij gelegen peil-buizen van de Dienst Grondwaterverkenning-TNO zijn deze stijghoogten langs de randen van het effectieve modelgebied geïnterpoleerd. De voor de interpolatie gebruikte buizen worden representatief geacht voor de omgeving waar ze staan. Een belangrijk punt is dat de randvoorwaarden bij het berekenen van de simulaties in hoofdstuk 5 niet veranderen, maar de waarden van de "huidige situatie" behouden.

- Als gewasparameters zijn belangrijk de gewashoogte en de bodembedekking. Voor veel gewassen is bekend hoe de parameters voor een gemiddeld jaar verlopen. Deze zijn standaard opgenomen in het verdampingsgedeelte van het model (AD HOC GROEP VERDAMPING, 1984).

4.1.5. Beginvoorwaarden.

Voor de berekening van de stationaire beginsituatie zijn behalve al de tijdsafhankelijke invoergegevens ook de tijdsafhankelijke gegevens voor de eerste tijdstap nodig. Bovendien is ook de flux tussen het verzadigde en het onverzadigde stromingsmodel nodig. Hier zal een schatting voor ingevoerd moeten worden.

Voor de voorjaarssituatie (gemiddeld een nuttige neerslag groter dan 0.0 mm/dag) wordt geadviseerd een waarde van -1.0 mm/dag aan te houden (de LAAT en AWATER, 1978). In het model wordt voor de neerwaartse stroming(en) een negatieve waarde aangehouden.

In het najaar (1 oktober) is het hydrologisch systeem ongeveer in evenwicht en lijkt het verstandig om voor de nuttige neerslag een waarde van 0.0 mm/dag te nemen. De invloed van de gekozen flux zal overigens na circa 10 rekenstappen uitgedempt zijn (mondelinge mededeling AWATER).

4.2. Model-ijking en aanpassingen.

4.2.1. Calibratie van geohydrologie en oppervlaktewatersysteem.

De afstemming van het model op de bestaande situatie vond plaats met behulp van een aantal bekende stijghoogte-verlopen van meetbuizen van de Dienst Grondwaterverkenning-TND. Enkele geohydrologische grootheden moesten fors aangepast worden, alvorens de gemeten en de berekende reeksen overal goed met elkaar overeen kwamen. Voor de calibratie is gebruik gemaakt van :

- 5 meetbuizen in het tweede (diepe) watervoerende pakket.
- 15 meetbuizen in het eerste (ondiepe) watervoerende pakket.
- 15 meetbuizen in het freatisch pakket.

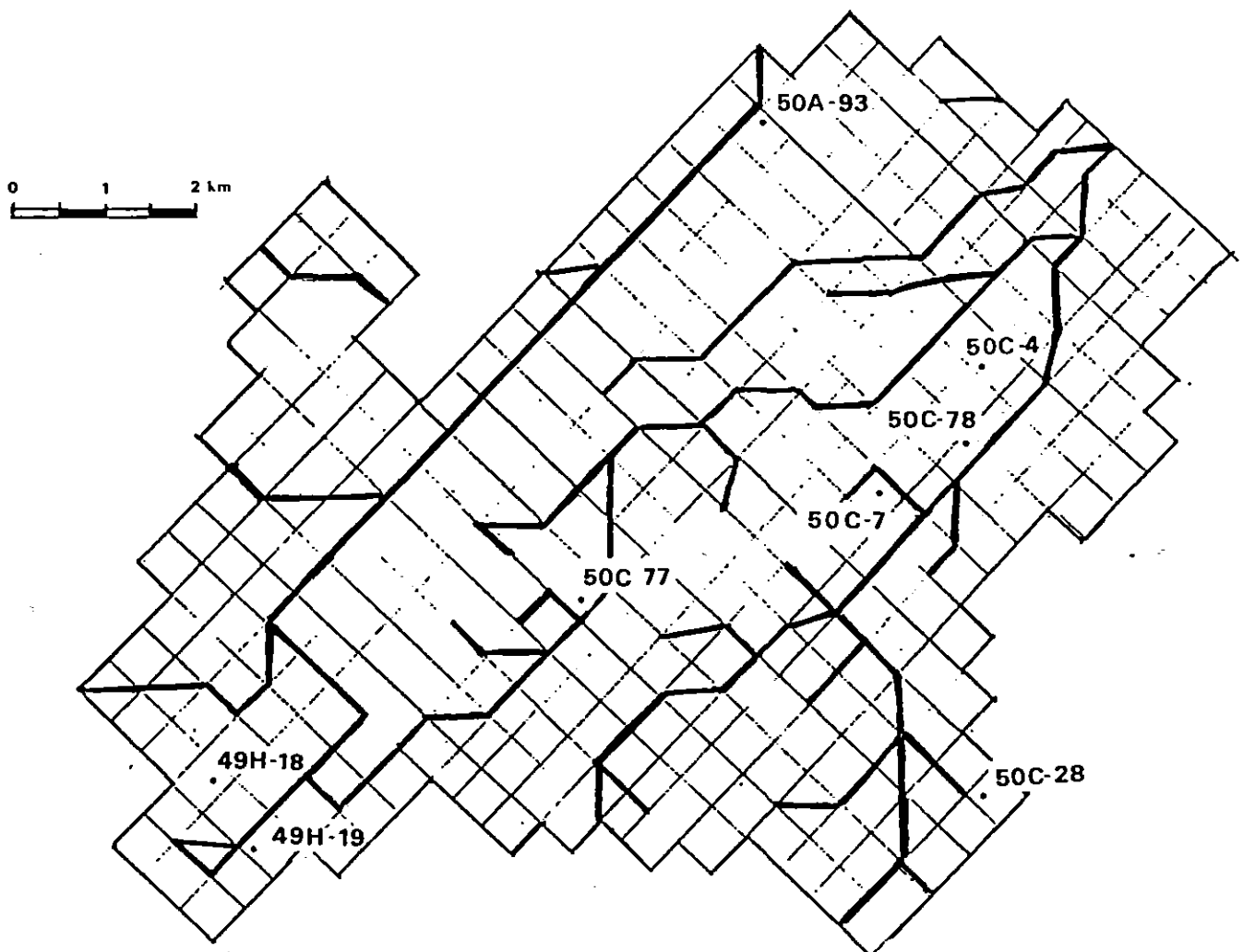


Fig.4.3. Overzicht en ligging van TND-peilbuizen in het modelgebied.

Hierbij zijn de buizen inbegrepen die gebruikt zijn om de randstijghoogten in de twee watervoerende pakketten vast te stellen, en die tevens binnen het modelgebied liggen (zie fig.4.1.). Beoordeling van de berekende stijghoogten aan de hand van deze buizen zal echter weinig zin hebben (zie ook hoofdstuk 4.3.1.).

Bij de controle van de in het model berekende grondwaterstandsverlopen zijn bij alle buizen zo goed mogelijk de overeenkomende knooppunten geselecteerd, zodat een zinvolle vergelijking plaats kon vinden. Zie voor de situering figuur 4.3.. De eerste fase van de calibratie beperkte zich tot de twee watervoerende pakketten. Afwijkingen in de stijghoogten konden met name gecorrigeerd door de weerstand in de afdekkende laag boven het eerste watervoerende pakket (c1) aan te passen. De scheidende laag tussen het eerste en het tweede watervoerende pakket (c2) behoefde slechts enkele kleine aanpassingen. Via een "trial and error" procedure is uiteindelijk voor de bestaande situatie tot een redelijke overeenkomst gekomen. De originele waarden van c1 zijn over het gehele gebied met een factor vermenigvuldigd variërend van 2-5. De c1-waarden waarmee uiteindelijk gerekend is lopen uiteen van 500 tot 5000 dagen (zie ook hoofdstuk 4.1.3). Problemen met meting en/of schatting van deze c-waarden zijn waarschijnlijk veroorzaakt door het sterk wisselende karakter van de kleilagen in de top van de Formatie van Tegelen en in de Nuenen-groep (hoofdstuk 2.1.2.).

Bij de calibratie van de freatische grondwaterstanden zijn vooral de peilen van de open waterlopen en de drainageweerstand van belang. De peilen in de open waterlopen zijn opgehangen aan peil- en afvoermetingen in de Kleine Beek :

- Allereerst is uitgegaan van een maatgevende afvoer van 0.9 l/s/ha. Rekening houdend met de ontwerpnorm is de waterstand bij deze maatgevende afvoer gelijk verondersteld aan de zogenaamde hoog-water-lijn.
- Een tweede veronderstelling is dat het afvoerpatroon in de belangrijkste (niet-gestuwde) waterlopen niet veel verschilt van dat van de Kleine Beek. Op grond hiervan zijn gelijksoortige Q-h relaties verondersteld.

- De gemeten afvoeren van de Kleine Beek zijn vertaald naar percentages van de maatgevende afvoer. Via de aldus bekend veronderstelde Q-h relaties en het te ontwateren areaal is per waterloopknooppunt dit percentage van de maatgevende afvoer eerst omgezet in een afvoer en vervolgens in een waterdiepte.

Bij lage afvoeren zullen door deze procedure de waterpeilen in de bovenlopen iets worden overschat. Met de gebruikte methode zullen ook in droge tijden met zeer lage afvoeren in de Kleine Beek nog peilen worden gegenereerd voor de bovenlopen. Deze bovenlopen zouden normaalgesproken in dergelijke omstandigheden droog moeten vallen.

4.2.2. Enige problemen in de onverzadigde zone.

In paragraaf 3.6. is reeds de invoering van het Bloemen-concept voor de beschrijving van de fysische eigenschappen van de bodem besproken :

$$\begin{aligned} K(h) &= K_e & ; h \leq h_\omega \\ K(h) &= K_e * (h/h_\omega)^{n_s} & ; h > h_\omega \end{aligned} \quad (4.1)$$

met : K_e = effectieve doorlatendheid (cm/dag) ,
 h_ω = luchtintreewaarde (cm) ,
 h = drukhoogte (cm) ,
 n_s = constante exponent (-) .

Het grote verschil tussen de benaderingen van RIJTEMA en BLOEMEN zit aan de droge kant van de K-h relatie, waar $h > h_\omega$. RIJTEMA werkt in dat deel van de relatie ($h > h_{max}$) altijd met een constante exponent 1.4, terwijl BLOEMEN ($h > h_\omega$) " n_s " gebruikt. " n_s " is afhankelijk van het bodemtype. Tabel 4.5. geeft enkele waarden voor bodems die in het modelgebied liggen (LANDINRICHTINGSDIENST-ZEELAND, 1984).

Tabel 4.5.

Waarden van grootheden die het capillair geleidingsvermogen van de grondsoorten in het studiegebied karakteriseren.

materiaal	% humus	Ke	h_{ω}	n_s
zwak lemig fijn zand	0.1	148.1	5.3	2.78
leemarm fijn zand	0.1	136.1	7.0	4.50
" " "	1.0	136.1	7.0	3.21
sterk lemig fijn zand	0.1	108.6	5.7	2.34
zandige leem	0.1	25.9	15.4	2.16
veen		2.0	9.3	1.90

Het gebruik van de Bloemen-relatie kan behoorlijke problemen opleveren. Bodems met een relatief hoge waarde " n_s " in relatie tot de factor 1.4 die RIJTEMA gebruikt, zullen bij een gelijk vochtgehalte lagere waarden voor $K(h)$ opleveren.

Bij het rekenen met de K-Bloemen zal bij een afnemend vochtgehalte de doorlatendheid sterker afnemen dan bij het gebruik van de K-Rijtema. Bij grofzandige en/of leemarme gronden zal dit verschijnsel zich het sterkst doen gelden. Het hierdoor berekende, bij lage vochtgehalten sterk verminderde, vochttransport zou in extreme gevallen ernstige gevolgen hebben voor de vochtvoorziening van een gewas. Ten gevolge van de (berekende) sterke afname van de capillaire opstijging wordt eveneens een forse verdampingsreductie berekend.

In het model GELGAM kunnen zich extreme situaties zoals ze hierboven beschreven zijn voordoen omdat voor de wortelzone de K-h relatie van de ondergrond gebruikt wordt (zie 3.1.4.). Deze voorstelling is in veel gevallen ongunstiger dan de situatie in werkelijkheid is. De meeste wortelzones zijn namelijk toch enigszins humeus en hebben daardoor, zeker in vergelijking tot leemarme niet-humeuze ondergronden betere capillaire eigenschappen dan de ondergrond.

Concluderend kan gezegd worden dat als gevolg van het gebruik van de K-h relatie van de ondergrond in de wortelzone (veel) te forse verdampingsreducties berekend kunnen worden.

Als voorbeeld dient een berekening van de verdamping op 2 bodemtypes voor de periode van 18 tot 27 juli 1982. De meteorologische gegevens zijn hetzelfde, en het grondgebruik is in beide gevallen grasland :

Meteorologische gegevens

Temp = 17.2 °C,
 Neerslag = 0.0 mm (interceptie = 0.0 mm),
 Windsnelheid = 3.8 m/s op 10 m hoogte,
 γ = 0.67 mbar/K (psychrometerconstante),
 s = 1.2355 mbar/K (helling dampspanningscurve),
 E_{wet} = 4.53 cm/10 dagen.

Gewaseigenschappen (zie tabel 3.1.) :

R_{pl} = 10000 dagen (plantweerstand),
 b = 10 cm (geometrische factor),
 r_a = 50.3 s/m (aerodynamische weerstand),
 S_c = 1.0 (-) (bodembedekkingsgraad).

- De potentiële verdamping van gras wordt iteratief berekend (zie hoofdstuk 3.5) en is uiteraard voor alle bodemtypes gelijk. Omdat de potentiële verdamping bodemonafhankelijk is en in geval van van potentiële verdamping de vochtvoorziening optimaal is, moet aangenomen worden dat de bodemweerstand b/S_c gelijk aan 0 dagen is.

$$T = \frac{s + \gamma}{s + \gamma \cdot (1 + r_c / r_a)} (E_{wet} - E_i) \cdot S_c \quad (3.5)$$

$$\psi_l = \psi_s - 3 T (R_{pl} + b/S_c) \rho g / 10 / S_c \quad (3.7)$$

De beginwaarde van T is $E_{wet} = 4.43$ cm/10 dagen. Uit (3.7) volgt dan $\psi_l = -13418$ cm, zodat $r_c = 134$ s/m (formule 3.6.).

Ingevuld in (3.5) levert dit $T = 3.11$ cm/10 dagen. T wordt vervolgens in (3.7) ingevuld etc.. De potentiële verdamping E_{pot} wordt aldus berekend op 3.11 cm/10 dagen.

- voorb. 1) Knooppuntnr.17, podsol met een Bloemen-relatie voor de ondergrond die als volgt getypeerd wordt :

$$K_e = 136.1 \text{ cm/dag,}$$

$$h_{\omega} = 7.0 \text{ cm,}$$

$$n_s = 4.5.$$

De berekening van de actuele verdamping E_{act} geschiedt vergelijkbaar aan E met de formules (3.5) en (3.7), ditmaal zonder de aanname $b/S_k = 0$. Voor S_k wordt de waarde ingevuld die bekend is uit de K-h relatie. De pF aan de onderzijde van de wortelzone is reeds door het model berekend.

Voor een pF = 2.2 volgt dat $b/S_k = 95882$ dagen.

Uit formule (3.7) blijkt dus $\psi_1 = -141115$ cm en $r_c = 500$ s/m.

Formule (3.5) geeft vervolgens $T = 1.007$ cm/10 dagen,

zodat $\psi_1 = -31447$ cm en (weer) $r_c = 500$ s/m.

Het blijkt dat de gewasverdamping ook na meerder iteraties niet meer wijzigt : $T = 1.007$ cm/10 dagen.

Bij een pF=2.2 wordt op deze bodem dus een verdampingsreductie gevonden van $(3.11 - 1.007) / 3.11 * 100 \% = 68 \% !!$

- voorb. 2) Knoopnt.179, enkeerdgrond met een ondergrond identiek aan de ondergrond van knooppunt 17. Hier blijkt onmiddellijk het probleem indien de wortelzone getypeerd wordt door de K(h)-relatie van de ondergrond : Ondanks het totaal verschillende karakter van podsolen en enkeerdgronden worden exacte dezelfde resultaten berekend. Op een enkeerdgrond wordt eveneens een, bij pF = 2.2 onmogelijke, verdampingsreductie van 68 % berekend !!

Het voorbeeld maakt duidelijk dat in GELGAM ten gevolge van het gebruiken van de "K(h)" van de ondergrond in de wortelzone forse fouten optreden. Dit principieel foute concept werd des te duidelijker door de extreme eigenschappen die de ondergrond van het

Bloemen-concept meekreeg.

De meest voor de hand liggende oplossing was alsnog een $K(h)$ -relatie voor de wortelzone in te voeren. Dit is voor deze berekening met GELGAM niet gedaan omdat er geen gegevens over de wortelzone(s) beschikbaar waren. Tevens zouden nog de nodige extra veranderingen en aanpassingen in het model aangebracht moeten worden. Vanwege de eenvoudige toepasbaarheid viel de keuze op het "SWATRE"-concept (BELMANS, WESSELING AND FEDDES, 1983).

Het gebruik van "SWATRE" heeft enkele belangrijke voordelen :

- Er zijn slechts geringe aanpassing in het programma nodig,
- Het is een beproefde methode,
- Eventuele wateroverlast is eenvoudig in te voeren.

Het nadeel dat daar tegenover staat is :

- Het weerstandsconcept in de berekening van de actuele verdamping (typisch voor GELGAM) is verlaten.

De werking van het "SWATRE"-concept is als volgt in het kort samen te vatten (zie ook fig.4.4.):

- De berekening van " E_{pot} " geschiedt op "normale" wijze; hier dus volgens het GELGAM-weerstandsconcept.
- De optredende verdampingsreductie wordt berekend met een "sink"-term die uitsluitend pF -afhankelijk is :

$$E_{act} = \alpha * E_{pot} \quad \text{met } \alpha \leq 1 ,$$

Bij grasland begint bij de maximale verdampingsvraag (onder de Nederlandse omstandigheden is deze gesteld op 5 mm/dag) reeds een reductie op te treden bij $pF = 2.3$. Bij de minimale verdampingsvraag (1 mm/dag) treedt reductie op vanaf $pF = 2.9$.

- Reductie wordt lineair met de pF berekend (zie figuur 4.4.) :
Indien $E_{pot} \leq 1$ mm, dan wordt de reductie berekend volgens lijn "1" met $pF_1 = 2.9$, en indien $E_{pot} \geq 5$ mm, dan wordt de reductie berekend volgens lijn "5" met $pF_1 = 2.3$.
- Als de verdampingsvraag tussen de 1 en de 5 mm/dag ligt, geldt onder voorwaarde dat $\alpha \leq 1.0$ de volgende relatie :

$$pF_1 = [(5 - E_{pot}) / (5 - 1) * 0.6] + 2.3 \quad (4.3)$$

- De factor "a" kan dan als volgt benaderd worden :

$$a = (4.2 - \ln(h)) / (4.2 - pF1) * 1.0 \quad ; \quad a \leq 1.0 \quad (4.4)$$

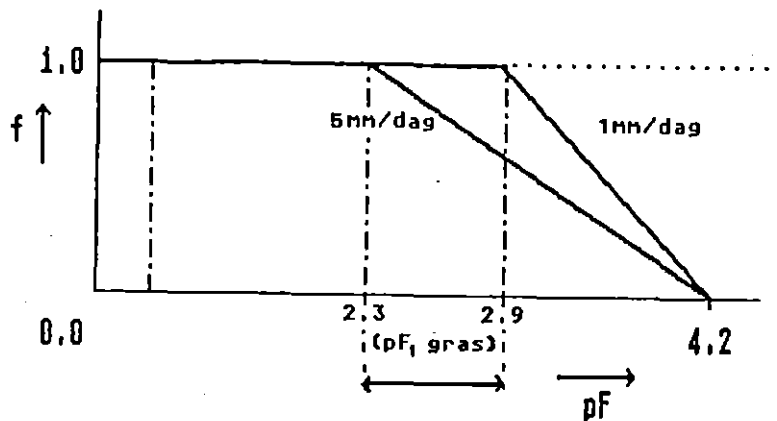


Fig.4.4. Het SWATRE-concept met "reductie-traject" van gras. De factor $a \leq 1.0$, en uitdroging treedt op van af het punt $pF1$ tot $pF = 4.2$.

- Het pF -traject waarover reductie kan optreden verschilt per gewas en verschuift al naar gelang de uitdroging ($pF1$, fig.4.4). In het modelgebied geldt voor de belangrijkste gewassen :

	$pF1$ -min	$pF1$ -max
Gras	2.3	2.9
Mais	2.7	3.0

Als SWATRE wordt toegepast op de (eerdere) voorbeelden dan wordt geen reductie berekend. De actuele gewasverdamping blijkt dan gelijk aan de potentiële verdamping te zijn. Volgens SWATRE zal bij een $pF = 2.2$ dus geen reductie optreden.

Voor gras geldt dat reductie kan optreden vanaf de waarde $pF1$ (4.3):

$$pF1 = [(5.0 - 3.11) / 4.0 * 0.6] + 2.3 = 2.58$$

4.3. De resultaten

4.3.1. De gemeten en de berekende grondwaterstanden.

De calibratie van het model is grotendeels gebeurd door afstemming op metingen van peilbuizen. Deze afstemming betrof de stijghoogten in de twee watervoerende pakketten, alsmede die in het freatisch pakket.

Voor de ligging van de buizen, zie figuur 4.3..

De stijgbuizen die gebruikt zijn voor de interpolatie van de stijghoogten langs de rand van het gebied en ook binnen het modelgebied liggen (zie fig.4.1.), mogen in principe niet ook nog gebruikt worden voor de calibratie van het model. Omdat er in totaal slechts 5 meetbuizen beschikbaar waren met filters in het tweede (= diepe) watervoerende pakket is dit voor het tweede watervoerende pakket toch gedaan. De verlopen van de stijghoogten zoals die na calibratie berekend zijn, zijn voor het 2^e (diepe) en het 1^e (ondiepe) pakket gegeven in resp. de figuren 4.5 en 4.6..

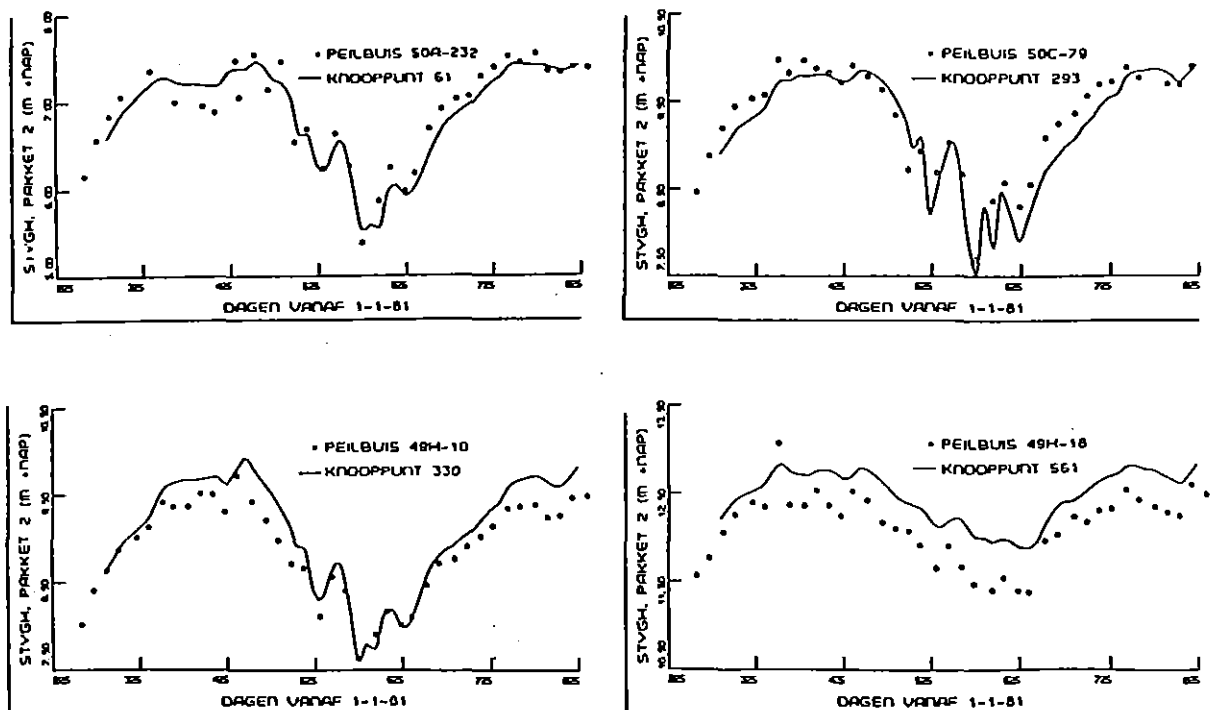


Fig.4.5. De berekende en de gemeten verlopen van de stijghoogtelijnen in het 2^e (= diepe) watervoerende pakket.
Voor de ligging van de meetbuizen zie figuur 4.1..

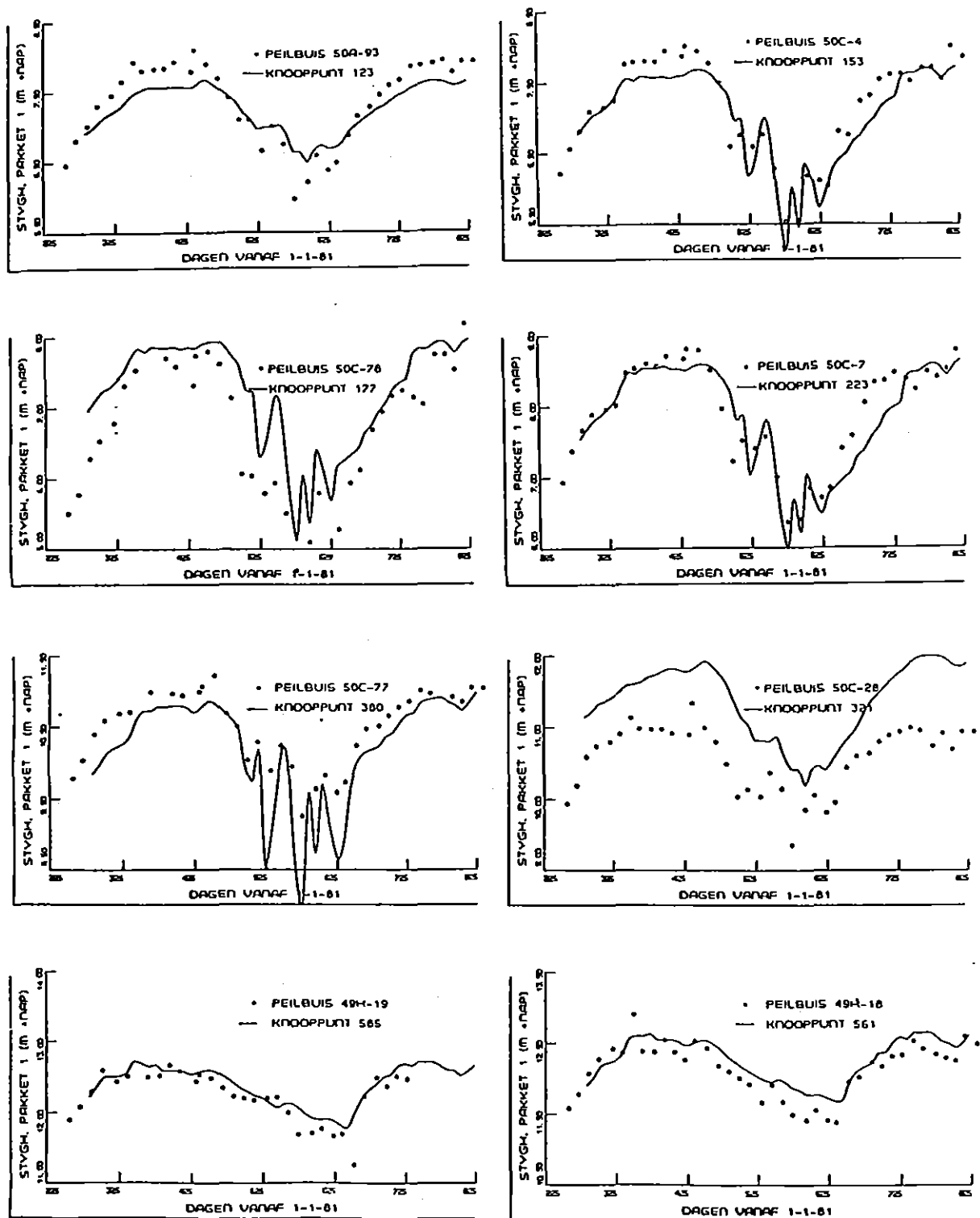


Fig.4.6. De berekende en de gemeten verlopen van de stijghoogte-
lijnen in het 1^e (= middeldiepe) watervoerende pakket.
Voor de ligging van de meetbuizen zie figuur 4.3..

Bij de figuren kunnen enkele opmerkingen gemaakt worden :

- Omdat de gemeten stijghoogteverlopen in het tweede pakket allemaal gebruikt zijn voor de bepaling van de randvoorwaarden, heeft vergelijking van berekende reeksen met gemeten reeksen slechts een geringe betekenis. Omdat geen alternatieve toetsing voor handen is, zijn de vergelijkingen toch gegeven (fig.4.5.). Voor het eerste pakket zijn de ^ebtreffende buizen achetwege gelaten omdat er voldoende alternatieven aanwezig waren.
- In het algemeen is de overeenkomst tussen de gemeten en berekende stijghoogten in de twee diepere watervoerende pakketten redelijk. Het verloop komt steeds min of meer overeen en slechts in enkele gevallen zijn duidelijke afwijkingen te zien wat betreft de absolute hoogteligging (bijvoorbeeld : buis 49H-18 in het tweede pakket, ten gevolge van een sterke beïnvloeding door de rand).
- Voor knooppunt 380 (vgl. buis 50C-77) worden in het eerste watervoerende pakket gedurende het groeiseizoen (fig.4.6.) enkele korte, maar sterke verlagingen berekend. Dit wordt veroorzaakt door de berekening (met een onttrekking aan pakket 1) die ter plaatse door het model is ingevoerd. Omdat bij de berekening de onttrekking in het meetpunt geconcentreerd is verondersteld, wordt hier een grotere verlaging berekend dan zich in werkelijkheid voordoet.
- Knooppunt 177 (vgl. buis 50C-78) ligt pal naast de onttrekking van de conservenindustrie in Zundert (knooppunt 200). Dat voor dit punt een te hoge grondwaterstand wordt berekend, is op de volgende wijze te verklaren : De GELGAM-berekening gaat uit van een lineair stijghoogteverloop tussen de knooppunten en berekent vervolgens per knooppunt een gemiddelde grondwaterstand voor het gehele invloedsoppervlak. Bij de sterke stromingen die zich bij deze grote winning voor zullen doen, zal de gebruikte knooppuntsafstand van 500 m te groot zijn om lineariteit te kunnen veronderstellen. Daarnaast speelt dat als in werkelijkheid buis 50C-78 dichterbij de onttrekking ligt dan de in de berekening veronderstelde 500 m, de werkelijke grondwaterstandsverlaging aanmerkelijk groter zal zijn dan zoals nu berekend. Een andere verklaring voor een consequent te hoog berekende grondwaterstand kan liggen in een te grote bergingscapaciteit die in het model gebruikt is, waardoor een

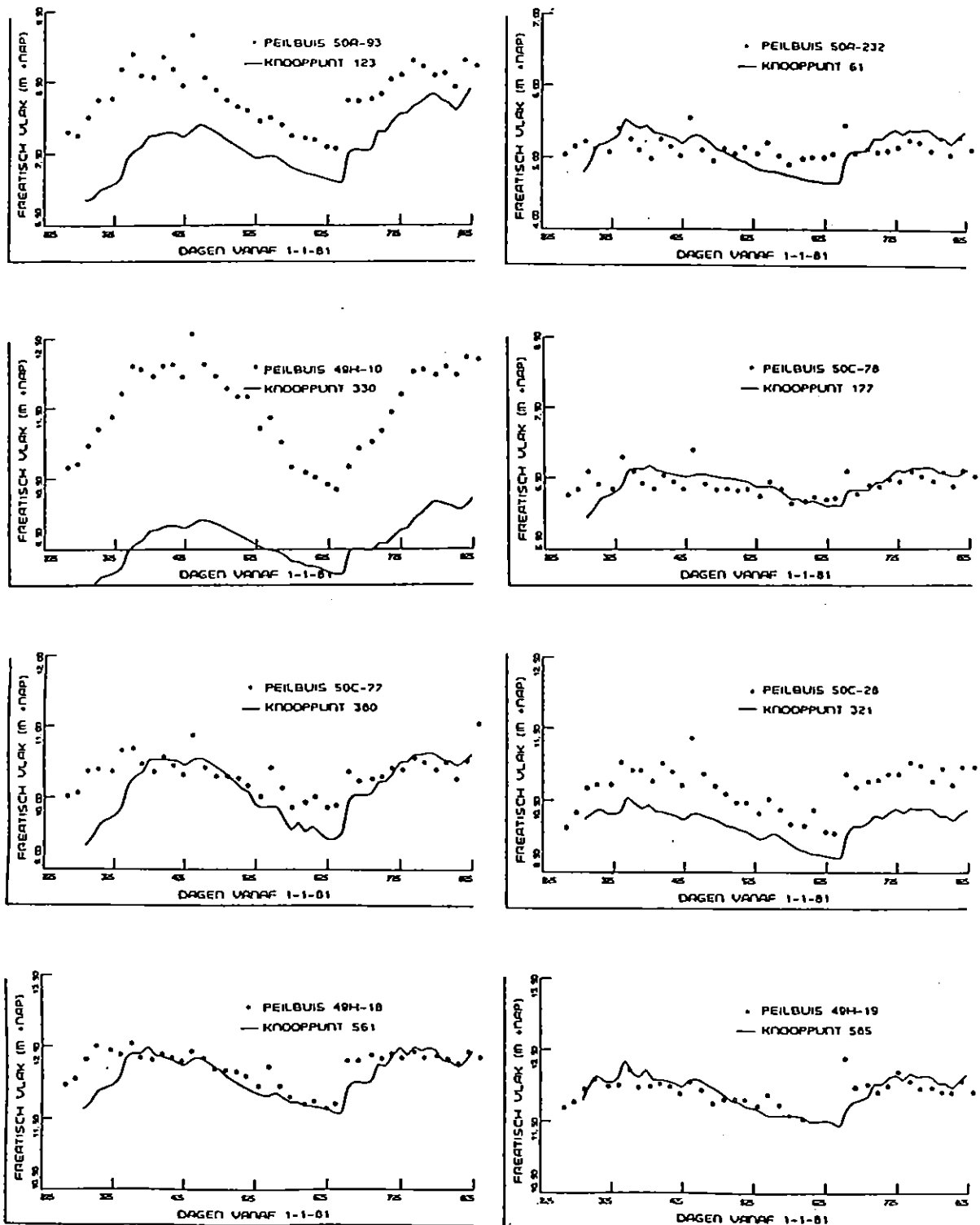


Fig.4.7. De berekende en de gemeten verlopen van de stijghoogtelijnen in het freatisch pakket. Voor de ligging van de meetbuizen zie figuur 4.1. en 4.3..

- onttrekking altijd te kleine verlagingen tot gevolg zal hebben.
- Knooppunt 321 geeft een beeld van de gemeten waarden dat qua verloop goed is, maar dat qua absolute hoogteligging consequent een afwijking van ongeveer 1 m geeft. De reden hiervan ligt waarschijnlijk in het feit dat het punt zeer dichtbij de rand van het modelgebied ligt en daarom sterk aan de randvoorwaarde hangt.

Omdat het peil in het freatisch pakket niet van belang is voor het opstellen van de randvoorwaarden, is het stijghoogteverloop in het freatisch pakket van alle peilbuizen zonder meer bruikbaar geweest voor gebruik ter calibratie.

Het grondwaterpeil in het freatisch pakket is een van de belangrijkste door het model te berekenen onbekenden. Dit peil is namelijk de onderrandvoorwaarde voor het verdampingsgedeelte in het model. Door middel van capillaire opstijging heeft het een directe invloed op de vochtvoorraad in het onverzadigde deel van de bodem, en daarmee op de (gewas)verdamping. In figuur 4.7. zijn enkele van de karakteristieke verlopen weergegeven. De ligging van de buizen is aangegeven in de figuren 4.1. en 4.3.. De resultaten zijn, rekening houdend met de volgende punten, redelijk :

- Met name het verloop van de berekende grondwaterstand is belangrijk. De absolute hoogteligging is moeilijker te beoordelen en kan vrij veel afwijken. Enerzijds wordt per berekend knooppunt een gemiddelde maaiveldshoogte gebruikt die niet geheel representatief behoeft te zijn voor de plaats van de meetbuis. Anderzijds is het mogelijk dat de plaats van een buis niet overeenkomt met een knooppunt, en dat de gebruikte maaiveldshoogte daardoor iets afwijkt. Het effect is te zien bij de stijghoogtelijnen van de buizen 50A-93 en 50C-28. Opvallend echter is hoedan ook de gelijkenis van het verloop van de grondwaterstand.
- In de eerste 10 rekenstappen zijn afwijkingen mogelijk ten gevolge van de ingevoerde flux tussen de verzadigde en de onverzadigde zone (zie hoofdstuk 4.1.5.). Dit effect speelt uiteraard alleen in het freatisch pakket. Voorbeelden zijn de buizen 49H-18, 50A-232 en 50C-77.

- Buis 49H-10 is een bijzonder geval. Hier wordt in het freatisch pakket steeds een grondwaterstand berekend die circa 2 m lager is dan de gemeten waarde ; in de twee diepe pakketten is daarentegen een goed overeenkomende diepte berekend. De stijghoogtelijnen van het tweede pakket zijn te zien in figuur 4.5. ; die voor het eerste pakket zijn gegeven in figuur 4.8.. In beide gevallen is gebruik gemaakt van de gemeten waarden om de randvoorwaarden op te stellen. Omdat de berekende stijghoogte in het freatisch pakket veel groter is dan in de twee watervoerende pakketten, en uit de berekende overeenkomsten in de twee watervoerende pakketten een goede randvoorwaarde blijkt, ligt het voor de hand de oorzaak van het stijghoogteverschil te zoeken in het freatisch pakket. Enerzijds kan uit het iets te veel afgevlakte, berekende verloop de conclusie getrokken worden dat de gebruikte bodemeigenschappen niet geheel goed zijn, anderzijds moet eraan gedacht worden dat in dit gebied langs de Turfvaart in de werkelijkheid sprake is van een schijngrondwaterspiegel. Dit laatste zou verklaard moeten worden door het venige en natte karakter van het gebied.

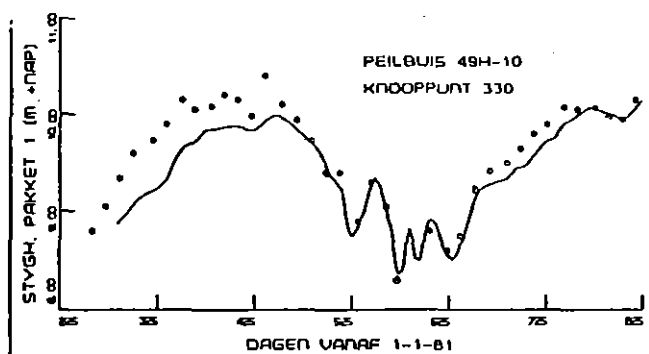
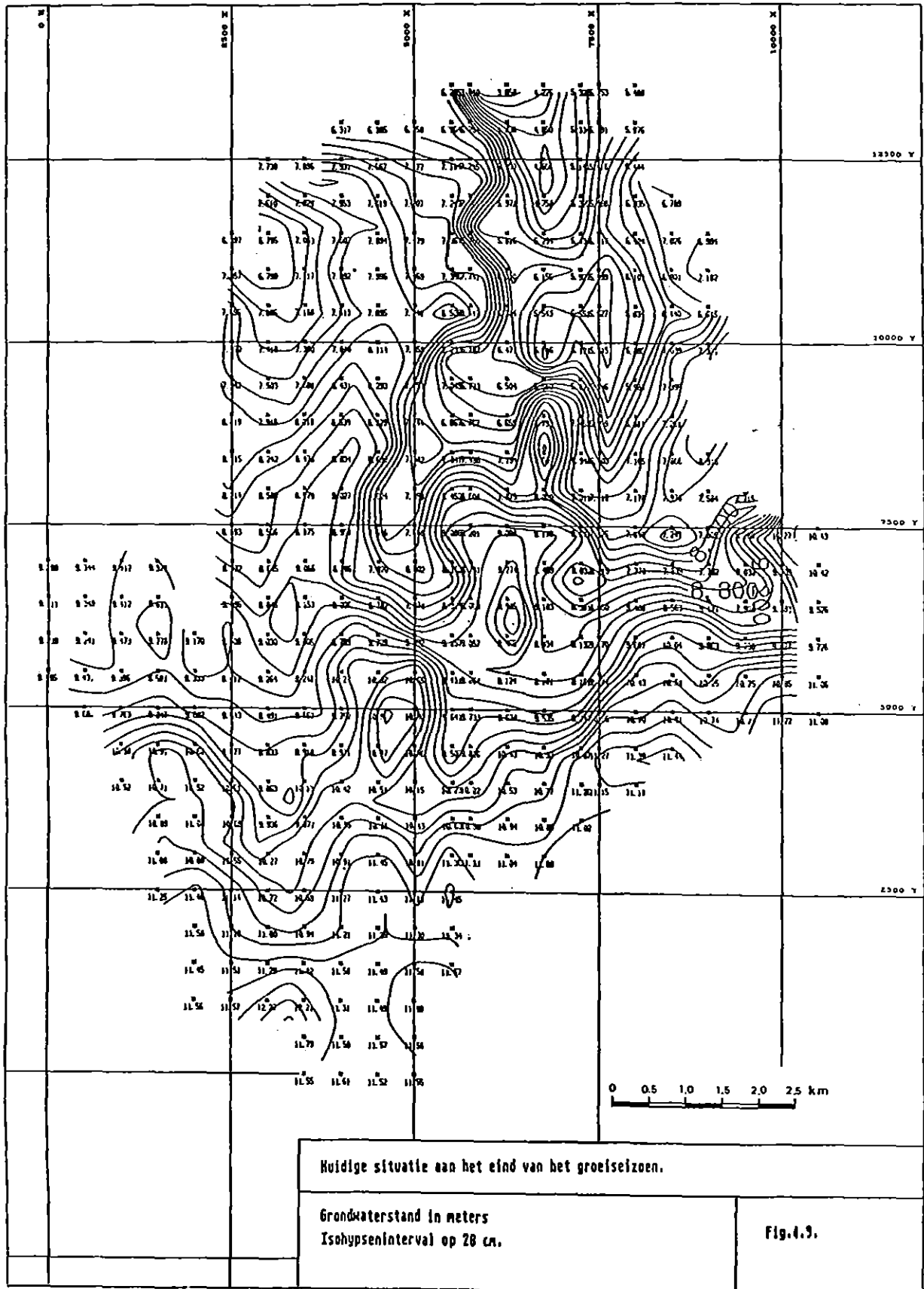


Fig.4.8. De gemeten en de berekende stijghoogtelijnen in het 1^e watervoerende pakket voor peilbuis 49H-10 (zie tekst).

De afvoer van het oppervlaktewater is sterk afhankelijk van het grondwaterpeil middels de grondwaterstands-afvoerrelatie zoals die is beschreven in hoofdstuk 3.3..

In figuur 4.9. is voor de "huidige" situatie het berekende (freatisch) isohypsenpatroon van het modelgebied weergegeven. Het tijdstip van berekening is het eind van het groeiseizoen (30-09-'82).

Het hoofd-drainagepatroon is eenvoudig uit het isohypsenpatroon te halen (zie ook fig.4.1.).



4.3.2. Het afvoerverloop.

Naast vergelijking van de berekende grondwaterstanden met enkele gemeten grondwaterstanden zou een verificatie van het model (en de invoergegevens) plaats kunnen vinden door vergelijking van het gemeten en het berekende afvoerverloop.

Indien deze verificatie op verantwoorde wijze plaats zou kunnen vinden, is een belangrijke controle op de juistheid van het model beschikbaar. Dikwijls, en ook in dit geval, zijn bij modelstudies hiervoor echter onvoldoende afvoergegevens beschikbaar.

In het algemeen geldt dat voordat een modelstudie wordt uitgevoerd de beschikbaarheid van voldoende gegevens moet worden nagegaan. Naast de invoergegevens en de calibratiemiddelen moet ook nog voldoende materiaal ter verificatie (!) beschikbaar zijn. Doorgaans wordt aan dit punt te weinig aandacht besteed, zeker gezien het feit dat de berekende verdampingscijfers vrijwel nooit geverificeerd kunnen worden.

Bij deze studie rijst het probleem dat slechts voor een deel van het modelgebied afvoercijfers bekend zijn. Het Hoogheemraadschap West-Brabant beschikt in het modelgebied over belangrijke meetpunten bij de stuwen "Wernhout" en "Stuyvezand", maar registreert hiermee slechts een gedeelte van de afvoer uit het modelgebied. Het gehele modelgebied bestrijkt een oppervlakte van 7900 ha, terwijl het afwaterend oppervlak tussen de twee meetstuwen naar opgave 4280 ha bedraagt :

De berekende afvoer is een netto-afvoer ; eventuele infiltratie die binnen het modelgebied optreedt is van de afvoer afgetrokken. Met name in de omgeving van de Turfvaart kan in het zomerseizoen sprake van infiltratie zijn. Tevens wordt het peil in het zuidwesten van het modelgebied kunstmatig hoog gehouden vanwege natuurwaarden, waardoor ook hier dus enige voeding van het grondwater plaats zal vinden.

In de hierboven geschetste situatie zou voor dit gebied gedurende het gehele jaar een relatief lage afvoer verklaarbaar zijn.

Indien als ruwe schatting aangenomen kan worden dat de afvoer hier ongeveer half zo groot is als in het drainagegebied van de Aa of Weerij (in het dal van de Aa of Weerij vindt een intensieve

ontwatering plaats, tevens treedt er kwel op), dan kan de berekende afvoer voor het gehele modelgebied als volgt met de "gemeten" waarden vergeleken worden :

Als rekening gehouden wordt met een factor .5 in de afvoer van het gebied waar geen continue afvoeren voor bekend zijn, dan moet de berekende afvoer (7900 ha) vergeleken worden met de gemeten afvoer (4280 ha) vermenigvuldigd met de volgende factor :

$$.5 * (7900 - 4280) / 4280 + 1. = 1.42.$$

De door het Hoogheemraadschap gemeten afvoer, en de door het model berekende afvoeren ha) zijn in figuur 4.10. weergegeven per decade voor het hydrologisch jaar lopend van 1 oktober 1981 tot 5 oktober 1982. Tevens zijn de afvoeren cumulatief weergegeven, maar dan in beide gevallen voor de totale oppervlakte van 7900 ha.

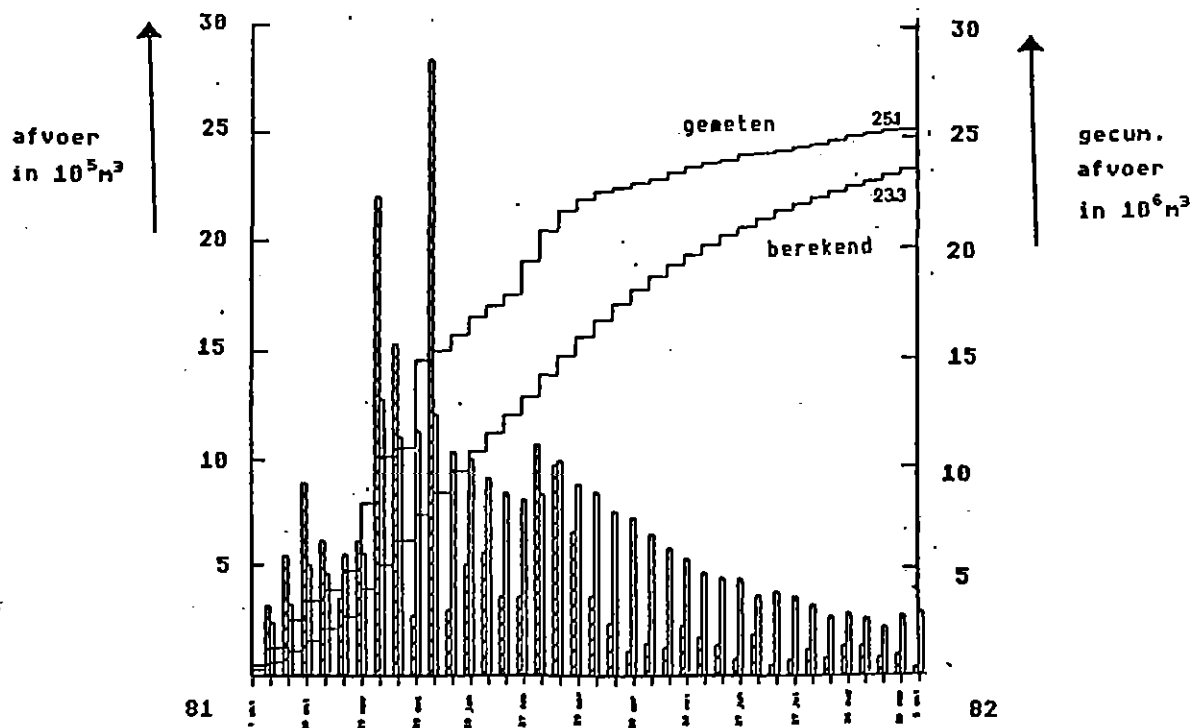


Fig.4.10. De berekende en gemeten (gearceerd) afvoeren per decade, en de gemeten en berekende gecumuleerde afvoeren voor het hydrologisch jaar lopend van 1 okt. '81 tot 5 okt. '82. Zie ook de tekst.

In tabel 4.6. zijn de gebruikte afvoercijfers weergegeven, gesommeerd per 5 decaden.

Het lijkt erop dat met de grove benadering van de "gemeten" afvoer zoals die is toegepast een redelijk aannemelijke overeenkomst gevonden is tussen het model en de werkelijkheid. Gezien de werkwijze dienen de resultaten echter wel met de nodige voorzichtigheid bekeken te worden.

- Omdat het model rekent met tijdstappen van 10 dagen wordt het berekende afvoerverloop sterk afgevlakt : Het model krijgt een zekere "traagheid". Bovendien worden de neerslagen ingevoerd als decade-gemiddelden waardoor de neerslag in het model beter geborgen kan worden en er een geleidelijker afvoer volgt. Het resultaat is (altijd) een iets afgevlakt, naljend afvoerverloop. Het is daarom moeilijk om slechts een korte periode te vergelijken, beter is dit voor een geheel jaar te doen.
- De cumulatieve afvoeren verschillen circa 7 % ($23.27 \times 10^6 \text{ m}^3$ en $25.10 \times 10^6 \text{ m}^3$). Normaal gesproken zou dit een vrij redelijke overeenkomst betekenen, maar in dit geval is er met een te grove benadering gerekend om harde conclusies te trekken met betrekking tot de gemodelleerde afvoer. Hoogstens kan gezegd worden dat in samenhang met andere resultaten de totaal berekende afvoer aannemelijk is.

Tabel 4.6.

Periode lopend		Berekende afvoer	Gemeten afvoer
van	tot	(m^3)	(m^3)
1/10/81 - 19/11/81		2120471	3918693
20/11/81 - 8/ 1/82		5286971	10602119
9/ 1/81 - 27/ 2/82		4617238	2989821
28/ 2/82 -1 8/ 4/82		4323280	4707443
19/ 4/82 - 7/ 6/82		2979766	1131343
8/ 6/82 - 27/ 7/82		2005871	741125
28/ 7/82 -1 5/ 9/82		1371550	811976
totaal		23274483	25096698

5. DE REKENRESULTATEN

5.1. Algemeen

In tabel 5.1. zijn de scenario's aangegeven welke in hoofdstuk 2.2.4. van belang werden geacht. De huidige situatie ("1") dient ter ijking van het model en is reeds in hoofdstuk 4.3. aan de orde geweest. Zoals werd vermeld fungeert de situatie na ruilverkaveling ("2") als referentie voor de vergelijking van de diverse opties. De ruilverkaveling is een vaststaande gegeven en kan beschouwd worden als een autonome ontwikkeling.

Tabel 5.1.

Matrix met nummers van de berekende scenario's.

SCENARIO'S	ZONDER WATERAANVOER		MET WATERAANVOER
	zonder	met	met
	ruilverk.	ruilverk.	ruilverk.

huidige situatie.	1	2	-
idem,			
met waterwinning.	3	4	-
meest waarschijnlijke			
ontwikkeling berekening.	-	5	7
idem,			
met waterwinning.	-	6	8
maximale beperking berekening			
uit het grondwater.	-	-	9
idem,			
met waterwinnig.	-	-	10

Eerst zullen de resultaten bekeken worden van de situatie na ruilverkaveling. Met betrekking tot de waterhuishouding gaat het dan uitsluitend om de verbetering van de detailontwatering. De grote

waterlopen zijn al eerder binnen A2-plan verband verbeterd.

De randvoorwaarden en open waterpeilen zijn alleen bepaald voor de "huidige" situatie. De consequentie hiervan is dat veranderingen in de plaatselijke situatie na ruilverkaveling (bijvoorbeeld stuwtjes voor conservering) niet in de berekeningen zijn meegenomen.

Na de ruilverkaveling zal allereerst gekeken worden naar de effecten van de uitbreiding van beregening. In de berekende situaties zal deze op 50 % van het netto-oppervlak cultuurgrond plaats gaan vinden (zie hoofdstuk 2.2.1.).

Vervolgens komt de situatie met wateraanvoer ter sprake. In het geval van wateraanvoer zal behalve naar de meest waarschijnlijke ontwikkeling, ook gekeken worden naar de mogelijkheden de beregening zoveel mogelijk plaats te laten vinden vanuit het oppervlaktewater. Uit de resultaten van die berekening is op te maken wat de effecten zijn van een "minimale onttrekking uit het grondwater". Indien deze maximale beperking gunstige vooruitzichten biedt ten aanzien van het beheer van het grondwater zou het aanleiding kunnen geven beregening vanuit het grondwater aan vergunningen te binden, althans indien als alternatief oppervlaktewater beschikbaar is.

Het te beregenen areaal, alsook de toewijzingen van het grondgebruik, zal in de berekeningen met en zonder wateraanvoer identiek zijn.

In alle genoemde gevallen zal de waterwinning ingevoerd worden, zodat het effect hiervan in alle situaties bekend zal zijn.

De invoergegevens en de gevolgen zullen per ingreep besproken worden. Om een goed overzicht te krijgen zullen de rekenresultaten ook in een aparte effectentabel worden weergegeven.

In de ijkingsfase is gebruik gemaakt van de beschikbare gegevens met betrekking tot een periode lopend van 1 oktober '81 tot 4 april '83.

Als wij ons echter beperken tot de landbouwkundige effecten van de diverse ingrepen, dan heeft het geen zin om te kijken naar deze lange periode : De vergelijking van de verschillende effecten is daarom beperkt gebleven tot het groeiseizoen van 1982 (1 april - 1 oktober).

5.2. De invoergegevens.

5.2.1. De situatie na ruilverkaveling.

Na ruilverkaveling ontstaat een situatie met enkele verbeteringen op waterhuishoudkundig gebied, die vooral gericht zijn op een betere drooglegging in het voorjaar. Dit wordt bereikt door de "natte" plaatsen iets intensiever te ontwateren. Met name in het winterseizoen resulteert dit in kleinere slootafstanden. Op enkele droge, hoger gelegen gronden daarentegen wordt de slootafstand juist groter gemaakt in verband met een na te streven grotere perceelsoppervlakte. Wat betreft de invoergegevens hoeft alleen de set drainageweerstand wat aangepast te worden (vergelijk fig.4.2.).

5.2.2. De berekening.

In de toekomst zal naar men verwacht de berekening blijven toenemen. Het meest waarschijnlijk geachte scenario is dat op den duur ca. 50 % van het totale areaal cultuurgrond berekend zal worden.

In tabel 2.3. is dit percentage vertaald naar een oppervlakte van 2695 ha. Bij de berekeningen is in de situaties zowel zonder als met wateraanvoer een dergelijke oppervlakte aangehouden. De verdeling van berekening over de gewassen en tussen het 'bereikbaar' en het 'niet-bereikbaar' gebied is zoveel mogelijk gelijk gebleven. Alleen in het geval van de maximale beperking van de berekening uit het grondwater is om praktische redenen een afwijkende verdeling aangehouden. Omdat er van uit is gegaan dat in de huidige situatie reeds maximale berekening vanuit het oppervlaktewater plaats vindt, zal uitbreiding van de berekening in het geval zonder wateraanvoer geheel uit het grondwater moeten komen.

Als wel water wordt aangevoerd wordt verondersteld dat de berekening in het voor wateraanvoer 'bereikbare' oppervlak voor circa 1/3 deel zal plaats vinden vanuit het oppervlaktewater (zie tabel 5.2.). De wateraanvoer wordt verondersteld geen invloed te hebben op de berekening in het niet-bereikbare gebied.

5.2.3. Wateraanvoer.

De meest essentiële veranderingen die bij wateraanvoer plaats vinden liggen op het vlak van de open-waterpeilen. De bestaande waterlopen worden uitgediept zodat ze beter geschikt zijn om water aan te kunnen voeren en te infiltreren. Het gevolg voor de modellering is dat door de gemiddeld iets diepere waterlopen de afstand "L" tussen de watervoerende sloten, als functie van de diepte iets kleiner wordt. De drainageweerstand wordt hierdoor tevens nog iets lager dan in de situatie na ruilverkaveling zonder wateraanvoer.

De aanleg van diverse nieuwe leidingen verandert en verdicht het infiltratie/drainagepatroon. In de waterlopen worden de peilen opgezet door stuwen. Het opzetten van de peilen heeft in eerste instantie een conservering tot gevolg, hetgeen opzichzelf al een gunstig effect heeft.

Een moeilijk punt is dat de effecten van waterconservering en aanvoer moeilijk te scheiden zijn. Dit komt omdat er geen gegevens over eventuele conservering beschikbaar zijn. In hoofdstuk 5.3.3. zal echter toch een poging gedaan worden deze effecten te scheiden zodat bij een bedrijfseconomische analyse de baten aan de juiste ingreep kunnen worden toegekend.

De ontworpen peilen zijn uitgezet op kaartbijlage 4 van het verslag van de sub-groep infrastructuur Noord-Brabant (LANDINRICHTINGSDIENST NOORD-BRABANT, 1985a). Het peil wordt op sommige plaatsen tot meer dan 1 m opgezet, hetgeen resulteert in een plaatselijk soms sterke infiltratie. De periode gedurende welke het peil wordt opgezet valt samen met het groeiseizoen, dus van 1 april tot 1 oktober.

Het peilverschil wordt zowel aan het begin als het eind van het groeiseizoen in een keer gerealiseerd. Dit is een wat simpele voorstelling van zaken en zou qua watergebruik weinig efficiënt zijn. Zowel aan het begin als het eind van het groeiseizoen wordt in de optie met wateraanvoer een relatief grote hoeveelheid aangevoerd water berekend, hetgeen een veel minder gunstig beeld geeft dan bij een berekening met optimaal peilbeheer mogelijk zou zijn (VAN BAKEL, 1986).

5.2.4. De beleidsoptie met maximale beperking van de berekening uit het grondwater.

Tijdens het onderzoek is tevens de mogelijkheid naar voren gekomen het oppervlak dat mogelijk vanuit het oppervlaktewater te beregenen zou zijn te maximaliseren. Vanuit het beleid gezien is het interessant om het effect van minimale onttrekking uit het grondwater te kennen.

Deze kennis kan belangrijk zijn bij de beleidsvorming over het toekomstig gebruik van grondwater.

Het is niet realistisch een volledig verbod op te leggen op het onttrekken van grondwater (met name in het niet-bereikbare deel van het modelgebied), maar de beperking wordt in het model zo gesteld dat slechts het voor wateraanvoer 'bereikbare' 'bereikbaar' geheel vanuit het oppervlaktewater beregend dient te worden.

Tabel 5.2.

Oppervlakten berekening (in ha) gebruikt in modellering van de toekomstige situaties die het meest waarschijnlijk geacht worden.

scenario	"Bereikbaar" gebied		"Onbereikbaar"	Totaal
	(grondwater)	(opp.water)	(grondwater)	
huidige situatie	840	205	870	1915
zonder wateraanvoer	1610	205	870	2685
met wateraanvoer	1270	545	870	2685
met wateraanvoer en max.beperking	-	1760	925	2685

In het kader van de uitbreiding van de waterwinningsmogelijkheden in dit deel van Noord-Brabant is een mogelijke waterwinning in het gebied geprojecteerd. De plaats is gekozen nabij het plaatsje Achtmaal (zie fig.4.1., knooppunt 424). De onttrekking bedraagt 5 miljoen m³ per jaar, hetgeen neer komt op 137.000 m³/decade. Op alle eerder genoemde opties is tevens deze waterwinning toegepast (zie tabel 5.1).

Er dient aparte aandacht besteed te worden aan het feit dat een dergelijke onttrekking een stationair karakter heeft en daardoor met name in het droge seizoen een sterke verlaging kan veroorzaken.

Indien bij de berekening de stijghoogten de randvoorwaarden zijn (Dirichlet condities), dan zal er in de watervoerende pakketten langs de rand van het modelgebied geen peilverlaging plaats kunnen vinden waardoor in het freatisch pakket te kleine peilverlagingen berekend zullen worden ("minimaal effect").

Als nu in de ijkingsfase eerst de randstromingen (randfluxen) berekend worden en deze fluxen vervolgens als randvoorwaarden in het model ingevoerd worden (Neumann condities), dan worden de stijghoogten te berekenen onbekenden.

Als een situatie met een winning en met vaste randfluxen, op deze wijze berekend wordt, zal via deze randstromingen onvoldoende water het gebied in kunnen stromen om het grondwater op peil te houden. De verlaging die bij berekening met vaste fluxen in het freatisch pakket berekend wordt, zal in dat geval dus te groot zijn (het "maximaal effect").

In hoofdstuk 5.3.5. zal een poging gedaan worden om met de beschikbare gegevens en resultaten tot een schatting van het werkelijke effect te komen.

5.3. De resultaten.

5.3.1. Algemeen.

Gezien de grote hoeveelheid berekeningen en resultaten blijft de bespreking beperkt tot de algemene resultaten voor het gehele modelgebied, details zullen achterwege gelaten worden. Bovendien zal de bespreking in dit rapport tot het groeiseizoen 1982 beperkt blijven. Oorspronkelijk is verondersteld dat 1982 een 10 % droog jaar was, en de berekende effecten dus representatief zouden zijn voor een droog jaar. Later is op basis van de optredende vochttekorten in de bodem berekend dat het een 23 % droog jaar betrof, en de berekende effecten dus wat gunstiger zullen zijn dan in een langjarig gemiddeld jaar (50 % droog). In tabel 5.3. worden van alle berekende opties de belangrijkste waterbalanstermen als seizoensommen weergegeven. Volledigheidshalve zijn ook de resultaten van de ijkingsrun en de situatie na ruilverkaveling opgenomen. De nummering van de berekende scenario's is gegeven in tabel 5.1.. Omdat het model met een netto-neerslag rekent, moet de interceptie van de bruto-neerslag afgetrokken worden om tot een sluitende balans te komen. De neerslag gedurende het groeiseizoen van 1982 was 267 mm. De interceptie varieerde van 32 tot 34 mm al naar gelang de hoeveelheid berekening.

De berekeningen met de waterwinning in tabel 5.3. geven de resultaten behorende bij de minimale verlagingen. De maximale verlaging en het effect dat de waterwinning in werkelijkheid voortbrengt komt ter sprake in hoofdstuk 5.3.5.. In tabel 5.4. worden de effecten van de diverse ingrepen gegeven voor het groeiseizoen 1982, uitgezonderd het effect van de waterwinning.

Wat opvalt is dat de ingrepen afzonderlijk niet of nauwelijks door elkaar of door andere delen van het systeem beïnvloed worden. Het effect van een ingreep blijft onder verschillende omstandigheden vrijwel hetzelfde. Op zich is dat een gunstige eigenschap voor een systeem omdat dan bij een combinatie van ingrepen de afzonderlijke effecten eenvoudigweg opgeteld kunnen worden.

Tabel 5.3.

De voornaamste termen van de waterbalans (in mm waterschijf) voor de diverse alternatieven (groeiseizoen 1982). De resultaten van de opties met waterwinning zijn "minimum effecten". De interceptie is de interceptie van de natuurlijke neerslag plus die van de beregening. De natuurlijke neerslag is in alle gevallen 267 mm. De onttrekkingen aan het eerste pakket zijn enkel ten behoeve van de beregening, de onttrekkingen aan het tweede pakket zijn de grote(re) drinkwater- en industrielewinningen.

Alle positieve termen stellen waterhoeveelheden voor die op seizoensbasis het model in gaan, negatieve termen gaan het model uit.

Alle posten opgeteld (inclusief de 267 mm neerslag) geven als som de verandering van de berging binnen het modelgebied.

Optie	Beregend (bruto)	Inter- ceptie	Eact	Afvoer opp.	Onttrekking 1e	2e	Randstroming 1e	2e	Toename berging
1	39.2	-33.0	-372.0	-104.3	-37.5	-11.0	41.1	12.1	-198.4
2	39.2	-33.0	-371.7	-106.7	-37.5	-11.0	41.5	12.3	-200.0
3	39.5	-33.0	-370.5	-94.2	-37.9	-42.2	43.8	29.3	-198.1
4	39.4	-33.0	-370.0	-96.7	-37.8	-42.2	44.2	29.5	-199.6
5	56.4	-34.1	-382.2	-104.3	-54.8	-11.0	47.1	17.0	-198.9
6	57.0	-34.1	-380.9	-94.2	-55.4	-42.2	49.9	34.2	-198.6
7	51.5	-34.0	-393.0	36.8	-43.7	-11.0	31.5	9.1	-85.9
8	52.4	-34.1	-392.0	48.9	-44.5	-42.2	33.9	25.7	-85.1
9	51.2	-34.0	-393.7	31.1	-20.2	-11.0	25.0	2.2	-82.6
10	51.5	-34.1	-392.8	43.3	-20.6	-42.2	27.2	18.7	-82.0

Tabel 5.4.

Effecten van enkele verschillende ingrepen in de waterhuishouding voor het groeiseizoen 1982 (in mm waterschijf), uitgezonderd de waterwinning. Per ingreep is ook het gemiddelde (gem.) gegeven. Ook in deze tabel zijn de positieve posten hoeveelheden die het model in gaan, de negatieve posten gaan er uit.

	Beregend (bruto)	Inter- ceptie	Eact	Afvoer opp.	Onttrekking 1e	2e	Randstroming 1e	2e	Toename berging

Effect r.v.k.									
(2-1)	0.0	0.0	0.3	-2.4	0.0	0.0	0.4	0.2	-1.6
(4-3)	-0.1	0.0	0.5	-2.5	0.1	0.0	0.4	0.2	-1.5
gem.	-0.1	0.0	0.4	-2.5	0.1	0.0	0.4	0.2	-1.5
Effect toename berekening									
(5-2)	17.2	-1.1	-10.5	2.4	-17.3	0.0	5.6	4.7	1.1
(6-4)	17.6	-1.1	-10.9	2.5	-17.6	0.0	5.7	4.7	1.0
gem.	17.4	-1.1	-10.7	2.5	-17.5	0.0	5.7	4.7	1.1
Effect wateraanvoer									
(7-5)	-4.9	0.1	-10.8	141.1	11.1	0.0	-15.6	-7.9	113.0
(8-6)	-4.6	0.0	-11.1	143.1	10.9	0.0	-16.0	-8.5	113.5
gem.	-4.8	0.1	-11.0	142.1	11.0	0.0	-15.8	-8.2	113.5
Effect beperking berekening uit het grondwater bij wateraanvoer									
(9-7)	-0.3	0.0	-0.7	-5.7	23.5	0.0	-6.5	-6.9	3.3
(10-8)	-0.9	0.0	-0.8	-5.6	23.9	0.0	-6.7	-7.0	3.1
gem.	-0.6	0.0	-0.8	-5.7	23.7	0.0	-6.6	-7.0	3.2

5.3.2. Uitbreiding van de berekening.

Uitgaande van de situatie na ruilverkaveling (optie 2) met 1900 ha berekening, zal een uitbreiding plaats vinden (zonder wateraanvoer, optie 5) naar 2685 ha (45 - 50 % van het totale cultuuroppervlak). Vervolgens kan doorgegaan worden naar de situatie met uitbreiding van de berekening uit het oppervlaktewater met wateraanvoer, overeenkomstig tabel 5.2..

Voor de uitbreiding van de berekening (gemiddeld 17.4 mm, tabel 5.4.) wordt 17.5 mm extra onttrokken aan het eerste watervoerende pakket. De verdamping gedurende het groeiseizoen neemt gemiddeld met 10.7 mm toe. Voor het totale modelgebied geldt dus voor de berekeningstoename een efficiency van :

$$10.7 \text{ mm} / 17.5 \text{ mm} * 100 \% = 61 \% .$$

Als er vanuit wordt gegaan dat bij berekening het vochttekort in het profiel voor de volle 100 % wordt opgeheven, is op het nieuw te beregenen oppervlak gedurende het groeiseizoen de gemiddelde relatieve toename van de verdamping 22.5 % : In tabel 5.5. is te zien dat deze toename van 22.5-% overeenkomt met een absolute toename van de verdamping van 116 mm. Omdat in de genoemde 10.7 mm de afname van verdamping op de niet-beregende gronden is verdisconteerd, zal de beregenings-efficiency in werkelijkheid iets hoger liggen. De benodigde extra onttrekking op basis van het nieuw te beregenen oppervlak (770 ha, zie tabel 5.2.) is :

$$17.5 \text{ mm} * (7900 / 770) = 180.0 \text{ mm} .$$

zodat op deze wijze een efficiency berekend wordt van :

$$116.0 \text{ mm} / 180.0 \text{ mm} * 100 \% = 64 \% .$$

Zoals al eerder door VAN LANEN (1983) werdesignaleerd, heeft berekening slechts een beperkt uitstralingseffect op de niet-beregende gronden. Waar het voorkomt, daar gaat het om lager gelegen gronden die het vooral moeten hebben van capillaire opstijging, en tengevolge daarvan de meeste last zullen ondervinden van een grondwaterstands-daling. Ter illustratie wordt dit uitstralingseffect berekend voor de uitbreiding van de berekening :

Toename verdamping op het

beregend gebied	:	770 ha * 116 mm = 89320 ha*mm
Toename over totale oppervlak :		7900 ha * 10.7 mm = 84530 ha*mm -
Afname verdamping		-----
niet-beregend oppervlak	:	4790 ha*mm

Indien, zoals verondersteld wordt, op het beregende oppervlak het verdampingstekort voor de volle 100 % wordt opgeheven, dan treedt op het niet-beregende oppervlak ($7900 - 2685 = 5215$ ha) als gevolg van de uitbreiding van de berekening dus een gemiddelde verdampingsreductie op van :

$$4790 \text{ ha*mm} / 5215 \text{ ha} = 0.9 \text{ mm.}$$

Omdat van het niet-beregende oppervlak slechts 2815 ha cultuurgrond is ($5500 - 2685 = 2815$ ha), staat tegen een toename van de gewasverdamping van ongeveer 89320 ha*mm een afname op de niet-beregende cultuurgronden van slechts :

$$2815 * 0.9 = 2535 \text{ ha*mm.}$$

Deze afname op de niet beregende gronden is slechts 3 % van de toename op de nieuw te beregende gronden en illustreert duidelijk de geringe gevolgen van berekening voor de omliggende gronden.

Tabel 5.5.

Gewasverdamping in het groeiseizoen uitgesplitst naar gewas voor de situaties zonder (optie 2), en met uitbreiding van berekening (5), alsmede het gemiddelde effect per gewas op gebiedsbasis.

Gewas	Dorspronkelijk beregende ha's	Epot (mm)	Toename ber.ha's	Toename Eact (mm)	Toename Eact (% Epot)	Gebieds-gemidd.
Gras	832	483.3	306	110.2	22.8	4.3
Boomkwekerij	563	553.0	263	127.8	23.1	4.2
Aardbeien	206	561.1	44	220.5	39.3	1.2
Mais	232	441.7	75	53.9	12.2	0.5
Groenten	82	490.1	82	100.0	20.4	0.2
Gemiddeld				116.0	22.5	
Totaal	1915		770			10.4

5.3.3. Effecten van conservering en wateraanvoer.

De effecten van conservering en wateraanvoer zijn aanzienlijk; er wordt o.a. een verschuiving veroorzaakt van de onttrekking uit het grondwater naar onttrekking uit het oppervlaktewater (zie hiervoor hoofdstuk 2.2.4.).

Bij de berekening van de situatie met wateraanvoer is een toename van de beregening uit het oppervlaktewater van 205 naar 545 ha aangehouden (dit is ongeveer 1/3 deel van het 'bereikbare' oppervlak dat beregend wordt), zie hoofdstuk 5.2.2. en tabel 5.2.).

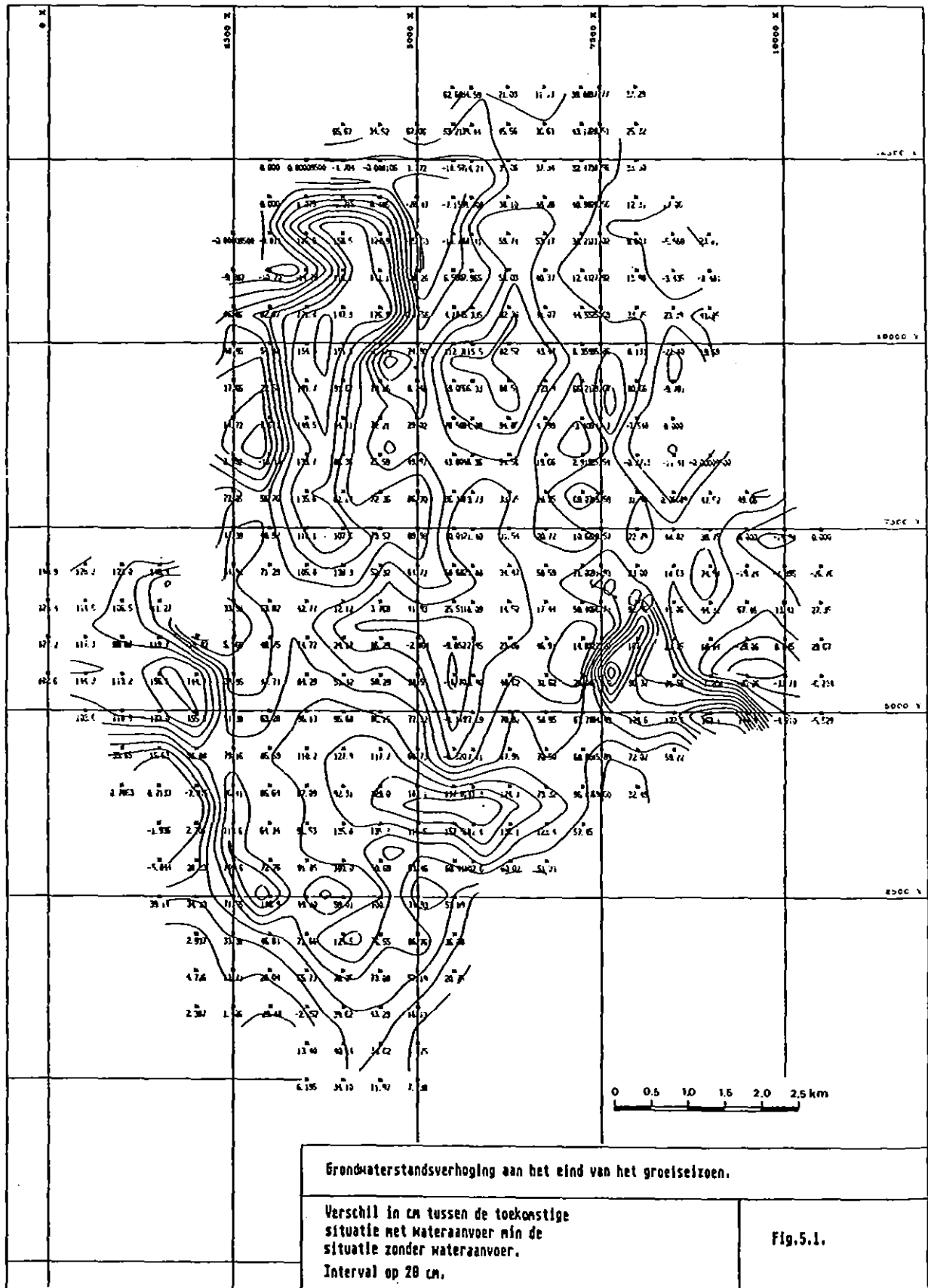
De toename van beregening uit het oppervlaktewater verklaart de vermindering van de onttrekking uit het grondwater (zie tabel 5.4.). Bovendien blijft als gevolg van de opgezette peilen de grondwaterstand relatief hoog, en door conservering en infiltratie vindt ten opzichte van de situatie zonder wateraanvoer een gemiddelde toename in de berging plaats van 113.3 mm. Door de hogere grondwaterstanden en de grotere vochtberging zal vergeleken met de situatie zonder wateraanvoer ondanks de iets mindere beregening (4.8 mm minder), een 11.0 mm hogere verdamping optreden.

Door het verhoogde peil binnen het gebied bij wateraanvoer zal ook de randstroming afnemen die van buitenaf het gebied binnenkomt.

Gemiddeld bedraagt deze afname $15.8 + 8.2 = 24.0$ mm (resp. de pakketten 1 en 2). Met deze veranderingen in de randstromingen ten gevolge van wateraanvoer dient terdege rekening gehouden te worden bij de beschouwing van de effecten van de waterwinning (zie hoofdstuk 5.3.5.), en zal ook enige positieve effecten buiten het modelgebied tot gevolg hebben.

Figuur 5.1. geeft voor de toekomstige situatie met uitbreiding van de beregening het berekende beeld van de grondwaterstandsverhoging als gevolg van wateraanvoer, aan het eind van het groeiseizoen. De figuur laat zien dat in het bovenstroomse deel van het modelgebied als gevolg van conservering en wateraanvoer het grondwaterpeil 1.0 - 1.5 m hoger zal worden. In de rest van het gebied zal de gemiddelde verhoging tussen de 20 en 50 cm variëren.

In het model wordt de afvoer van oppervlaktewater verondersteld elders in het modelgebied weer voor infiltratie aangewend te worden. De



werkelijke afvoer uit het gebied zal dan waarschijnlijk ook iets hoger zijn dan de berekende, omdat met name uit het benedenstroomse deel van het modelgebied een gedeelte van de afvoer verloren zal gaan.

Bij de berekeningen wordt aan het begin van het seizoen een overdreven (grote) infiltratiebehoefte (negatieve afvoer) berekend omdat aangenomen wordt dat het grote peilverschil in een keer wordt opgezet (zie tabel 5.6.). Een zuiniger peilbeheer zou middels het geleidelijk opzetten van het peil een veel minder grote infiltratiebehoefte tot gevolg hebben.

Omdat de afvoer uit het modelgebied voor het leeuwedeel terecht komt in de Aa of Weerijs, welke ook als aanvoerkanaal gebruikt zal worden, is een 'rondpomp'-gedachte mogelijk. Daarom is de infiltratiebehoefte (het op gebiedsbasis berekende tekort) dus een belangrijk gegeven om het externe aanvoerstelsel te dimensioneren.

Bij de dimensionering van het aanvoerstelsel is de aanvoerfactor maatgevend; deze is afhankelijk van enerzijds de berekende maximale infiltratiebehoefte, anderzijds van de hoeveelheid aan het oppervlaktewater te onttrekken beregeningswater. Vanwege de hoge kosten van het aanvoerstelsel is deze aanvoerfactor in sterke mate kostenbepalend.

In tabel 5.6. is het berekende seizoensverloop van de afvoer c.q. infiltratiebehoefte weergegeven voor de meest waarschijnlijk geachte ontwikkelingen.

Als gesteld wordt dat de infiltratiebehoefte van de situatie met de waterwinning (hoogste infiltratiebehoefte) aangehouden moet worden, dan kan de periode van 19 juli tot en met de 17 augustus beschouwd worden als die met het grootste tekort : ca. $3.0 * 10^5 \text{ m}^3/\text{decade}$. Behalve deze $3.0 * 10^5 \text{ m}^3$ wordt ook de afvoer die in de betreffende periode nog plaats vindt opnieuw gebruikt voor infiltratiedoeleinden (interne conservering).

Dat de onevenredig grote infiltratiebehoefte in het begin van het groeiseizoen niet als maatgevend beschouwd hoeft te worden is al eerder besproken. Ook een eventuele zeer hoge vraag aan het eind van het seizoen kan genegeerd worden. De praktijk leerts immers dat als men rekening houdt met oogst- en nat-schade, men er vanuit dat oogpunt

verstandig aan doet al voor het eind van het groeiseizoen het peil geleidelijk te verlagen. Met de hoeveelheid van $3.0 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{decade}$ zit men dus aan de ruime kant.

Tabel 5.6.

Berekende afvoeren (negatief = gebied uit) en infiltratiebehoeften (positief = gebied in) in m^3 , tijdens het groeiseizoen in de situaties met uitbreiding van de berekening, zonder wateraanvoer (5 en 6) en met wateraanvoer (7 en 8). De toevoeging "ww" betekent dat ook de waterwinning meegerekend is (6 en 8). De maatgevende periode wordt aangegeven door "*".

Berekende afvoeren in m^3 voor enkele opties :

Periode	5	6"ww"	7	8"ww"
31/3- 9/4/82	-851363.8	-810343.1	362494.7	373076.3
10/4-19/4/82	-777667.2	-739341.9	149582.2	184845.0
20/4-29/4/82	-738800.0	-701988.8	148334.4	181394.7
30/4- 9/5/82	-658336.9	-622024.1	74898.4	114347.8
10/5-19/5/82	-594498.1	-557552.6	106586.9	150015.3
20/5-29/5/82	-544132.5	-506235.3	79252.2	126635.0
30/5- 8/6/82	-466951.6	-427836.9	156607.8	211737.5
9/6-18/6/82	-445893.5	-405429.1	158125.6	215122.5
19/6-28/6/82	-447824.7	-410754.1	95003.1	147157.5
29/6- 8/7/82	-375619.7	-338780.6	55739.4	107000.6
9/7-18/7/82	-379807.5	-343159.4	116271.9	175935.3
19/7-28/7/82 *	-355715.0	-327337.2	196624.7	245800.0 *
29/7- 7/8/82 *	-328652.8	-290293.8	206449.7	266510.3 *
8/8-17/8/82 *	-265012.5	-224346.6	242448.4	307739.7 *
18/8-27/8/82	-290552.5	-252899.4	196294.7	255545.0
28/8- 6/9/82	-262853.8	-222539.1	190939.0	249127.5
7/9-16/9/82	-218665.0	-177561.6	230466.3	298257.2
17/9-26/9/82	-275676.3	-252382.5	199899.1	250493.1
Totaal	: -8278024.0	-7610805.5	2966018.5	3860740.8

Bij een totaal bereikbaar oppervlak van 4800 ha kan deze maximale infiltratiebehoefte voor het bereikbare gebied als volgt omgerekend worden :

$$3.0 * 10^5 * 10^3 / (10 * 86400 * 4800) = 0.072 \text{ l/s/ha}$$

De aan te voeren hoeveelheid beregeningswater zal maximaal zijn indien op alle 545 ha die uit het oppervlaktewater beregend moeten worden (zie tabel 5.2.) per decade twee maal 20 mm wordt beregend. De berekening uit het oppervlaktewater is dan :

$$545 * 2 * 20 * 10^{-3} * 10^4 = 2.18 * 10^5 \text{ m}^3/\text{decade}.$$

Omgerekend per ha 'bereikbaar' gebied wordt deze beregeningsbehoefte :

$$2.18 * 10^5 * 10^3 / (10 * 86400 * 4800) = 0.053 \text{ l/s/ha}$$

Het aanvoersysteem zal derhalve berekend moeten zijn op infiltratie en berekening vanuit de waterlopen van :

$$0.072 + 0.053 = 0.13 \text{ l/s/ha (bereikbaar gebied)}.$$

Deze cijfers komen goed overeen met ervaringen opgedaan in de Oost-Brabantse zandgebieden (0,15 l/s/ha). Voor de bereikbare oppervlakte van 4800 ha zouden de aanvoermiddelen dus gedimensioneerd moeten worden op minimaal $0.63 \text{ m}^3/\text{s}$, hetgeen redelijk overeenkomt met de voorgestelde $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$ (LANDINRICHTINGSDIENST NOORD-BRABANT, 1985a).

De efficiency van wateraanvoer volgt uit de toename van de verdamping en het verschil in 'afvoer'. Deze laatste grootte bestaat uit de berekende infiltratiebehoefte plus de berekende afvoer in situatie zonder wateraanvoer (zie het effect op de oppervlakte- waterafvoer in de effectentabel, tabel 5.4.). De toename van de verdamping is 11.0 mm ; de afvoer (dit is dus inclusief de toename van berging door conservering) neemt met 142.1 mm af.

De efficiency van wateraanvoer is dus het effect gedeeld door de totale hoeveelheid infiltratie plus conservering :

$$(11.0 \text{ mm} / 142.1 \text{ mm}) * 100 \% = 8 \%$$

Slechts 8 % van de totale hoeveelheid water die wordt geconserveerd of aangevoerd komt ten goede aan de gewasverdamping. De rest wordt in de bodem opgeslagen. Verdampingstoenamen buiten het modelgebied (randstroming naar buiten neemt per saldo toe!) zijn, hoewel ze ook bijdragen tot de baten, buiten beschouwing gelaten. De randstroming bedraagt ongeveer 15 % van de totale aanvoerhoeveelheid. Het effect voor de buiten het modelgebied liggende gebieden zal daarom beperkt zijn.

Tabel 5.7.

De gemiddelde relatieve verdamping (tevens opbrengst) in % van de potentiële verdamping voor onberegende gewassen, alsmede het effect van wateraanvoer, in resp. het bereikbare en het niet-bereikbare gebied.

Wateraanvoer naar : Gewas	Bereikbare gebied			Onbereikbare gebied		
	zonder	met	effect	zonder	met	effect
Gras	77	82	5	74	76	2
Boomkwekerij	81	87	6	70	70	0
Aardbeien	76	81	5	69	72	3
Mais	89	90	1	85	85	0
Groenten	72	74	2	72	76	4

Het berekende aanvoereffect op de verdamping slaat in zijn geheel op de niet-beregende gronden. In tabel 5.7. is het effect voor de verschillende gewassen uitgesplitst naar het bereikbare- en het niet-bereikbare gebied.

Ten behoeve van de batenberekening zijn de verdampingscijfers weer-gegeven in procenten van de potentiële verdamping. Duidelijk is het verschil tussen de opbrengstverhogingen tussen het bereikbare- en

het niet-bereikbare gebied, hoewel het 'niet-bereikbare' gebied toch ook enig voordeel heeft van wateraanvoer. Het berekende effect van wateraanvoer bij groenten is op het onbereikbare gebied hoger berekend dan op het bereikbare gebied. Dit kan, gezien het geringe aantal knooppunten waar het in dit geval om gaat, te wijten zijn aan een ongelukkige keus met betrekking tot toekenning van gebruik en berekening etc..

Zoals reeds in hoofdstuk 5.2.3. beargumenteerd werd, moet het totale effect van wateraanvoer zoals dat nu berekend is, opgedeeld worden in een effect ten gevolge van conservering en een effect ten gevolge van wateraanvoer. Wordt dit niet gedaan, dan zullen te veel baten aan wateraanvoer toegekend worden.

In geval van volledige waterconservering zonder wateraanvoer, zou er tijdens het groeiseizoen geen afvoer naar buiten het gebied zijn (zie tabel 5.6., de scenario's 5 en 6). Globaal zou er dan in het gehele groeiseizoen circa $8 \times 10^6 \text{ m}^3$ geconserveerd kunnen worden (zie de totaalafvoer in de situatie zonder aanvoer, tabel 5.6.). Omgerekend naar de voor wateraanvoer bereikbare gebiedsoppervlakte is dat circa 101.0 mm.

Van de eerder berekende verdampingstoename van 11 mm (tabel 5.4.) zou in dat geval de volgende hoeveelheid het resultaat zijn van conservering :

$$101.0 / 142.6 \times 11.0 \text{ mm} = 7.8 \text{ mm (70 \%)}.$$

Volledige conservering is wellicht niet erg reeel, zeker niet gezien het hellende karakter van het gebied en de hoge kosten die ermee gemoeid zouden zijn. Bovendien wordt in situaties zonder wateraanvoer met name in het voorjaar een grote afvoer berekend (tabel 5.6.), terwijl er dan nog geen grote waterbehoefte bestaat in de hoger gelegen delen van de beken! Kleine voorzieningen ten behoeve van conservering die in het kader van de ruilverkaveling kunnen worden aangebracht zijn nauwelijks interessant, en voor een redelijke conservering zullen grote investeringen gedaan moeten worden (qua kosten in de orde van grootte van de benodigde interne voorzieningen bij aanvoer). Om een beter inzicht te geven in het conserverings-

effect wordt ook het geval "50 %-conservering" berekend. Dan is de helft van de berekende 7.8 mm (het 100% effect) te danken aan conservering. Als deze 50 % conservering inderdaad bereikt zou kunnen worden, dan is het effect van conservering op de verdamping :

$$0.35 * 11.0 \text{ mm} = 3.9 \text{ mm.}$$

Het effect van wateraanvoer op de verdamping is dan 7.1 mm.

Om het exacte effect aan te geven zal het noodzakelijk zijn nader onderzoek te doen met een model dat rekening kan houden met peilbeheer.

De genoemde 50 % conservering zal naar verwachting echter niet gehaald kunnen worden vanwege het hellende karakter van het gebied.

De relatieve verdampingscijfers in tabel 5.7. kunnen op soortgelijke wijze gesplitst worden in een effect ten gevolge van conservering en een effect ten gevolge van wateraanvoer. Hoewel met dit soort resultaten uiteraard voorzichtig dient te worden omgegaan worden in deze uitgesplitste waarden voor 50 % conservering en wateraanvoer in tabel 5.8 gegeven.

Tabel 5.8.

De toename van de gemiddelde relatieve verdamping, tevens opbrengst (in %), van de onberegende gewassen in het bereikbare resp. het niet-bereikbare gebied, zonder en met wateraanvoer, opgeplitst naar de effecten van 50 % conservering (con.) en wateraanvoer(aanv.).

Wateraanvoer naar : Gewas	Bereikbare gebied			Onbereikbare gebied		
	totaal conserv. aanv.			totaal conserv. aanv.		
Gras	5	2	3	2	1	1
Boomkwekerij	6	2	4	0	0	0
Aardbeien	5	2	3	3	1	2
Mais	1	0	1	0	0	0
Groenten	2	1	1	4	1	3

5.3.4. De maximale beperking van de beregening uit het grondwater.

Als water wordt aangevoerd moet het in pincipe mogelijk zijn om alle beregening in het 'bereikbare' gebied vanuit het oppervlaktewater te laten plaats vinden. Het effect van deze strategie is berekend met behulp van de opties nr. 7 en 9, en geeft het effect ten opzichte van de normaal te verwachten ontwikkeling.

Hoewel de beregeningsintensiteit bij volledige beregening vanuit het oppervlaktewater iets afneemt (0.6 mm gerekend over het gehele oppervlak), treedt een lichte toename op van de verdamping (0.8 mm) die geheel voor rekening komt van de niet-beregende gronden. Deze gronden trekken profijt van de mindere daling van de grondwaterspiegel door de lagere onttrekkingen uit het grondwater ten behoeve van de beregening.

De toename van de vochtberging t.o.v. de 'normale' situatie (3.2.mm), zie tabel 5.4.) is te danken aan de toename van de onttrekking van beregenings-water uit het oppervlaktewater in plaats van aan het grondwater zoals dat voor 1215 ha (1760 ha - 545 ha) extra is ingevoerd (zie tabel 5.2.).

Het blijkt dat de vermindering van de onttrekking van grondwater op gebiedsbasis een veralging van de infiltratiebehoefte veroorzaakt van (5.7 mm) en dat de door wateraanvoer verminderde randstromingen in de watervoerende pakketten nog meer afnemen (resp. 6.6. en 7.0 mm). De beregeningsbehoefte zal echter wel tot een grotere aanvoer noodzaken. Tegen de berekende voordelen van beregening uit het oppervlaktewater staan dus enkele grote nadelen : Namelijk een vergroting van de dimensies van de waterlopen, en een mogelijke aantasting van de waterkwaliteit door een versterkte aanvoer van elders.

Aannemend dat het verloop van de infiltratiebehoeften in de situaties met beregening uit het oppervlaktewater en het uit grondwater min of meer vergelijkbaar zijn, kan met behulp van de totale seizoensbehoeften (resp. 36.8 en 31.1 mm, tabel 5.3.) een schatting van de maximale infiltratiebehoefte gemaakt worden.

Deze wordt $31.1/36.8 * 3.0 * 10^5 \text{ m}^3/\text{decade} = \text{ca. } 2.5 * 10^5 \text{ m}^3/\text{decade}$.
Omerekend levert dit per hectare 'bereikbaar' gebied een infiltratiefactor van :

$$2.5 * 10^5 * 10^3 / (10 * 86400 * 4800) = 0.06 \text{ l/s/ha.}$$

Met in totaal 1760 ha berekening uit het oppervlaktewater wordt de maximale beregeningsbehoefte :

$$1760 * 2 * 20 * 10^3 * 10^4 = 7.04 * 10^5 \text{ m}^3/\text{decade.}$$

Omgerekend naar l/s/ha is dat :

$$7.04 * 10^5 * 10^3 / (10 * 86400 * 4800) = 0.17 \text{ l/s/ha.}$$

De resulterende aanvoerfactor wordt dus $0.06 + 0.17 = 0.23 \text{ l/s/ha}$. Met een bereikbaar gebied van 4800 ha zou het aanvoerstelsel dus op minimaal $1.1 \text{ m}^3/\text{s}$ gedimensioneerd moeten worden. Naast het nadeel van de toenemende dimensies bestaat in het algemeen het gevaar dat door verdere vermindering van de regionale kwel (afname van de berekende randstroming) en een grotere aanvoer van water van elders de kwaliteit van het (grond)water en daarmee de aanwezige natuurwaarden worden aangetast (DIJKEMA et al., 1985).

Het lijkt niet erg waarschijnlijk dat het geringe positieve effect op de verdamping (0.8 mm) de hoge kosten van een vergroting van de leidingdimensies van 0.75 naar $1.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (zie hoofdstuk 5.3.3.) en een verdere aantasting van de waterkwaliteit zal kunnen rechtvaardigen.

5.3.5. De effecten van waterwinning.

Een waterwinning is een ingreep met een typisch eigen effect. De winning heeft onder verschillende omstandigheden echter steeds vrijwel dezelfde gevolgen.

Het is niet eenvoudig om de exacte effecten van een waterwinning vast te stellen. Zoals reeds in hoofdstuk 5.2.5. is gesteld speelt bij de berekening een zogenaamd "minimaal" effect en een "maximaal" effect, indien gerekend wordt met respectievelijk stijghoogten als randvoorwaarden of met fluxen als randvoorwaarden. Ook zal er mogelijk een gedeeltelijke compensatie van de waterwinning door wateraanvoer plaats vinden.

De moeilijkheid die zich voordoet is dat de ingevoerde randvoorwaarden afgeleid zijn van de "huidige situatie". Dit houdt in dat bij de

berekening geen rekening gehouden wordt met (rand)effecten van veranderingen die zich later zouden hebben voorgedaan, zoals de toename van de berekening en de aanvoer van water. Beiden hebben echter wel degelijk een effect op de optredende randstromingen (zie tabel 5.4.). Bij de beschouwing van de "minimale" effecten van de waterwinning komen geen problemen kijken, omdat ook in het geval van de uitbreiding van de berekening en de toepassing van wateraanvoer dezelfde stijghoogten van de "huidige" situatie als randvoorwaarden zijn gebruikt. Deze situaties en de berekende effecten zijn dus volkomen vergelijkbaar. De maximale effecten zijn uitsluitend berekend voor de meest waarschijnlijke situaties, dus met uitbreiding van de berekening, met en zonder wateraanvoer.

De figuren 5.2. en 5.3. geven respectievelijk het berekende minimale effect en het berekende (ongecorrigeerde) maximale effect van de waterwinning op de grondwaterspiegel in de situatie zonder wateraanvoer. De situatie die zich in werkelijkheid zal voordoen, zal er ergens tussen liggen.

Uit tabel 5.4. is te halen dat de veranderingen in de randstromingen zijn ten gevolge van de toename van de berekening en van wateraanvoer. Met deze veranderingen is bij berekening in eerste instantie geen rekening gehouden (zie tabel 5.9.). Om de resultaten van deze berekening toch bruikbaar te maken, moesten de effecten van berekening en wateraanvoer voor de "maximum"-situatie geschat moeten worden.

Het blijkt dat indien de ongecorrigeerde resultaten van deze "maximale" berekeningen vergeleken worden met de "minimum" berekeningen, alleen de randstromingen, de oppervlaktewaterafvoer en in iets mindere mate de vochtberging essentieel verschillen. Hieruit is de conclusie getrokken dat een correctie van de berekende resultaten alleen op die onderdelen van de waterbalans van toepassing moet zijn.

Aangenomen is dat de afvoer relatief weinig door de rand beïnvloed wordt en deze daarom pas bij het sluitend maken van de waterbalans (eventueel) gewijzigd behoeft te worden. De afvoer mag echter nooit groter worden dan de berekende afvoer bij het "minimum-effect", en nooit kleiner dan de afvoer van het "maximum-effect".

Als de randeffecten van berekening en wateraanvoer bij de gebruikte randstromingen worden opgeteld, en de waterbalans in eerste instantie door middel van de berging en vervolgens met de afvoer sluitend is gemaakt, lijkt het resultaat redelijk (tabel 5.9.).

Tabel 5.9.

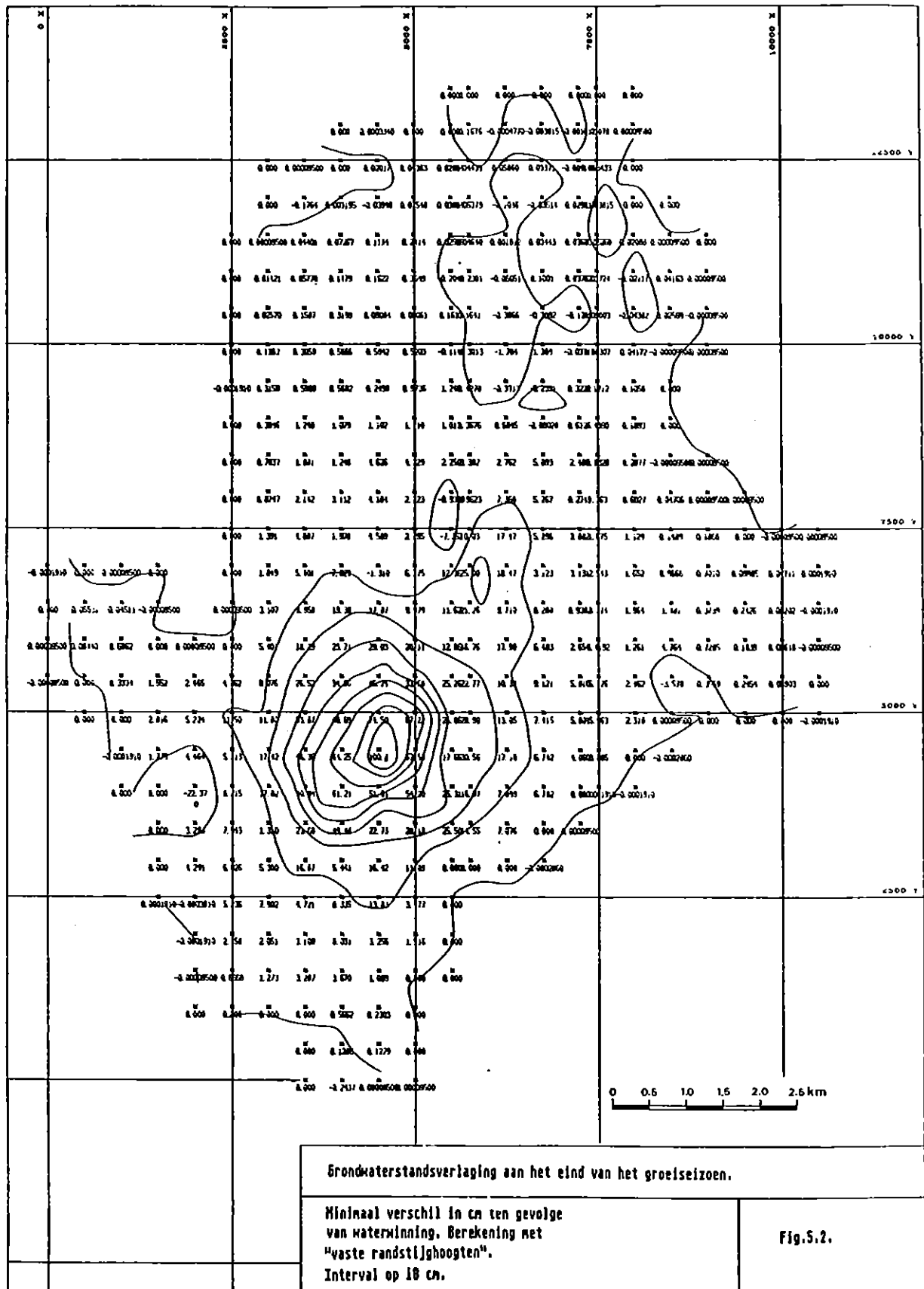
Resultaten van berekening van de "minimal" en de "maximale" situaties, de toegepaste correcties voor de maximale situaties, en de gecorrigeerde berekeningsresultaten.

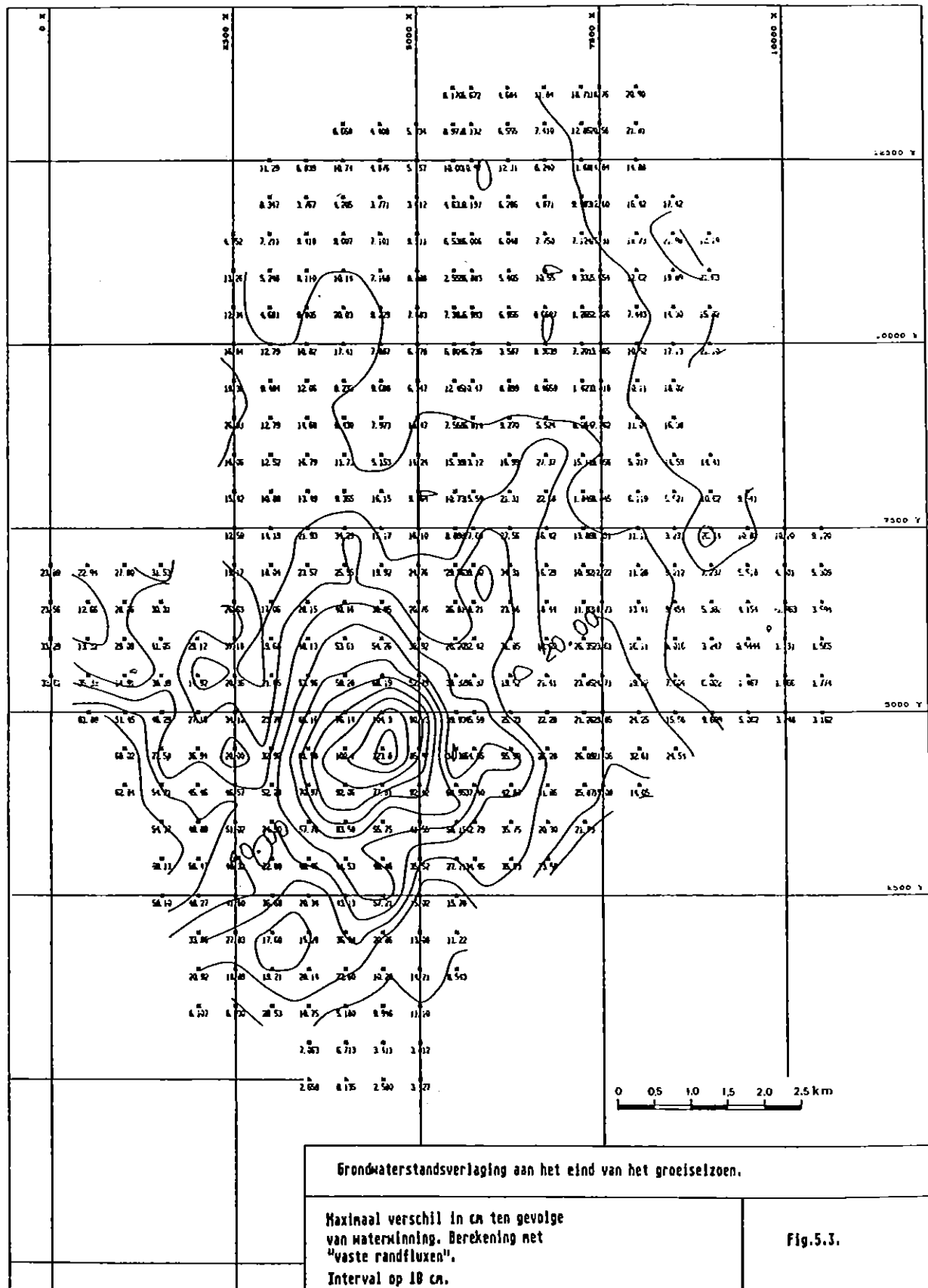
Optie	Beregend (bruto)	Inter- ceptie	Eact	Afvoer opp.	Onttrekking		Randstroming		Toename berging
					1e	2e	1e	2e	
6min	57.0	-34.1	-380.9	-94.2	-55.4	-42.2	49.9	34.2	-198.6
6max	57.9	-34.2	-378.2	-72.5	-56.2	-42.2	41.1	12.1	-205.0
gem.effect berekening				*			5.7	4.7	*
aanpassing :									
6max-cor	57.9	-34.2	-378.2	-75.6	-56.2	-42.2	46.8	16.8	-198.9

Optie	Beregend (bruto)	Inter- ceptie	Eact	Afvoer opp.	Onttrekking		Randstroming		Toename berging
					1e	2e	1e	2e	
8min	52,4	-4.1	-392.0	48.9	-44.5	-42.2	33.9	25.7	-85.1
8max	52.9	-34.1	-391.6	62.0	-44.9	-42.2	41.1	12.1	-77.5
gem.effect berekening				*			5.7	4.7	*
gem.effect wateraanvoer				*			-15.8	- 8.2	*
aanpassing :									
8max-cor	52.9	-34.1	-391.6	62.0	-44.9	-42.2	31.0	8.6	-91.3

Uitgaande van eerdere opmerkingen met betrekking tot gelijke effecten van ingrepen onder verschillende omstandigheden, lijkt omdat nu ook voor het maximale effect van de waterwinning een eenduidig resultaat wordt gevonden (zie tabel 5.10.), de correctie met betrekking tot de randen goed bruikbaar.

Als de berekende "gemiddelde" effecten ongeveer gelijk zijn aan de effecten die zich in werkelijkheid zullen voordoen, dan is opvallend dat in de situatie zonder wateraanvoer een vermindering zou optreden van de verdamping met 2.6 mm, terwijl deze vermindering in het geval





van wateraanvoer slechts 1.2 mm zou zijn. Deze negatieve effecten van de waterwinning bedragen respectievelijk 8 % en 4 % van de onttrekking (31.2 mm).

Tabel 5.10.

Berekende effecten van de waterwinning (zie ook tabel 5.3. en 5.9.).

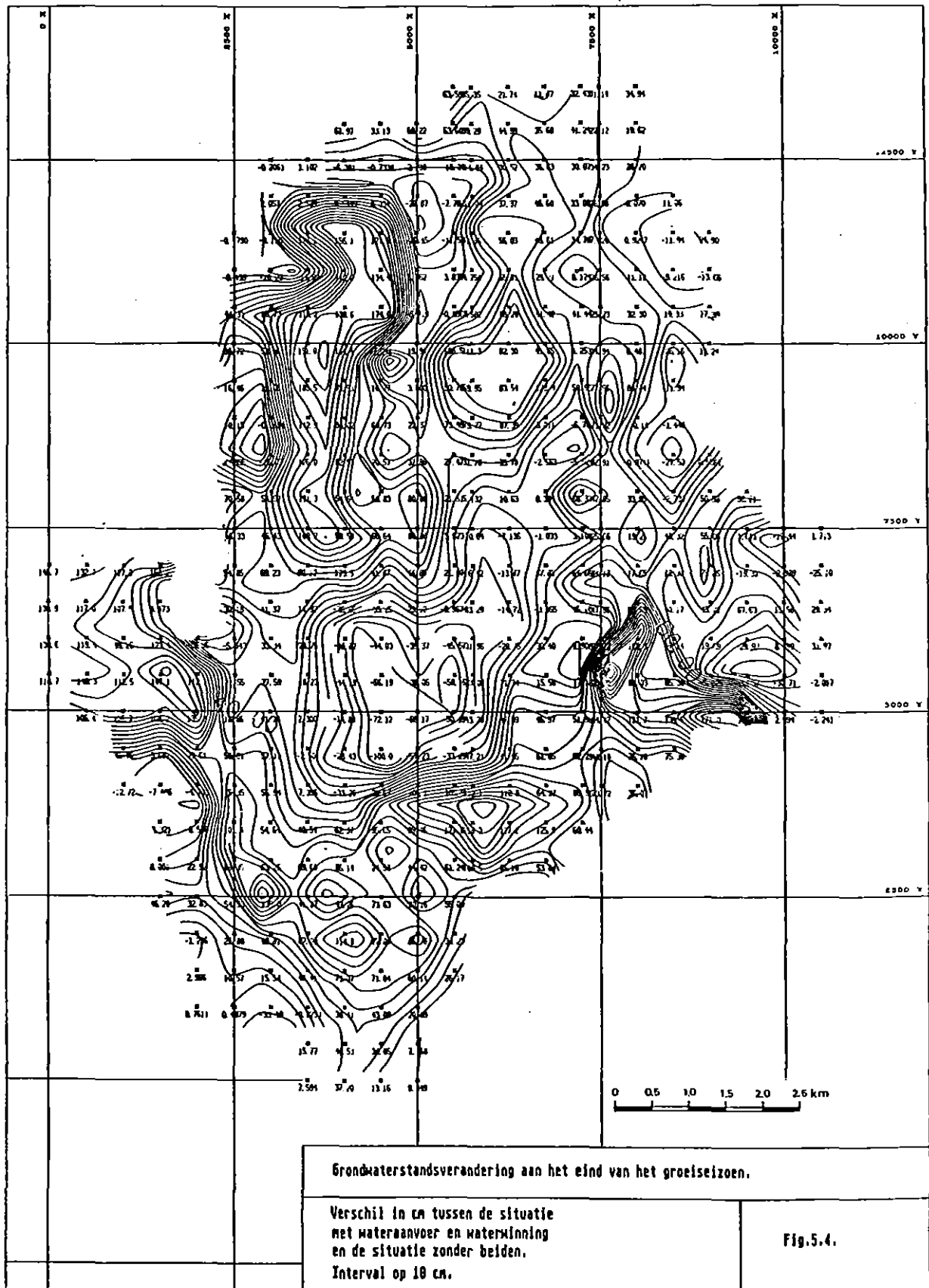
	Beregend (bruto)	Inter- ceptie	Eact	Afvoer opp.	Onttrekking 1e	2e	Randstroming 1e	2e	Toename berging
Minimaal effect waterwinning									
(3-1)	0.3	0.0	1.5	10.1	-0.2	-31.2	2.7	17.2	-0.3
(4-2)	0.2	0.0	1.7	10.1	-0.3	-31.2	2.7	17.2	-0.4
(6-5)	0.6	0.0	1.3	10.1	-0.6	-31.2	2.8	17.2	-0.3
(8-7)	0.9	0.0	1.0	12.1	-0.8	-31.2	2.4	16.6	-0.8
(10-9)	0.3	0.0	0.9	12.2	-0.4	-31.2	2.2	16.5	-0.6
(gem)	0.5	0.0	1.3	10.9	-0.5	-31.2	2.6	16.9	-0.5
Maximaal effect waterwinning									
(6cor-5)	0.5	-0.1	4.0	28.7	-1.4	-31.2	-0.3	-0.2	0.0
(8cor-7)	1.4	-0.1	1.4	25.2	-1.2	-31.2	-0.5	-0.5	-5.4
(gem)	1.0	-0.1	2.7	27.0	-1.3	-31.2	-0.4	-0.4	-2.7
Gemiddeld effect waterwinning									
(6-5)	0.6	0.0	2.6	19.4	-1.0	-31.2	1.2	8.5	-0.1
(8-7)	1.1	-0.1	1.2	18.6	-1.0	-31.2	0.9	8.0	-2.2
(gem)	0.8	0.0	1.9	19.0	-1.0	-31.2	1.0	8.3	-1.2

In het geval van wateraanvoer moet bij waterwinning meer water aangevoerd worden dan in het geval zonder waterwinning :

verschil 8gem - 7 :

$$(62.0 + 48.9)/2 - 36.8 = 18.6 \text{ mm.}$$

Dit is $18.6/31.2 = 60 \%$ van de waterwinning ! De in hoofdstuk 5.3.3. berekende aanvoerbehoefte en de erbij behorende dimensionering zijn gebaseerd op de aanwezigheid van een waterwinning, dus het hierboven



berekende gunstige effect zou geen extra kosten meer met zich mee brengen.

De hoogte van de grondwaterspiegel in de situatie met wateraanvoer en een waterwinning is in figuur 5.4. gegeven voor de situatie met de vaste randstijghoogten. Deze maximale effect-situatie is weliswaar niet geheel waarheidsgetrouw, maar geeft een goede indicatie.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.

Dit hoofdstuk bestaat uit twee onderdelen. Eerst wordt ingegaan op de ervaringen met het model GELGAM en modelberekeningen in het algemeen, vervolgens wordt aandacht besteed aan de gevonden resultaten van deze studie.

Hoewel in dit rapport negatieve aspecten van GELGAM belicht zijn, is het niet juist om op grond daarvan de keuze die indertijd is gedaan om met het model GELGAM te rekenen, volledig te veroordelen. Op het moment dat die keuze gedaan werd was nauwelijks een alternatief voorhanden en de redenen waarom het model gekozen is, zouden nog steeds gelden :

- het model berekent de verzadigde en onverzadigde zones gekoppeld,
- de verzadigde zone wordt niet-stationair berekend, en de onverzadigde zone wordt berekend met een pseudo-stationaire benadering.

Bovendien blijken de gevonden resultaten heel redelijk te zijn, en ze geven ook een goed regionaal inzicht. Het typische aspect van GELGAM waardoor het zich conceptueel onderscheidt van andere modellen is het weerstandsconcept dat in het onverzadigde deel wordt toegepast. Dit concept is in deze studie alleen voor de berekening van de potentiële verdamping toegepast. Omdat de combinatie "K-h Bloemen" met gebruik van de K-h van de ondergrond ook in de wortelzone extreme resultaten te zien gaf, is voor de berekening van de actuele verdamping het SWATRE-concept ingevoerd.

Enkele punten in het GELGAM-model die voor verbetering in aanmerking zouden komen zijn de volgende :

- De modelstructuur kan sterk verbeterd worden door de koppeling tussen de verzadigde en de onverzadigde modellen doorzichtiger te maken en een aantal versnellende rekentruucs achterwege te laten. De hiermee beoogde winst in rekentijd wordt vanwege het gebruik van steeds snellere computers minder belangrijk.
- Bij de calibratie zou een hoop werktijd bespaard kunnen worden als het model geschikt gemaakt werd om ook ontkoppeld te kunnen

rekenen. Door in eerste instantie alleen met het verzadigde deel te rekenen ontstaat de mogelijkheid sneller tot resultaten en tot een beter inzicht in de gebiedsstructuur te komen.

- Het verdampingsgedeelte van het model zou vervangen moeten worden door het model MUST (de LAAT, 1982), dat in grote lijnen hetzelfde doet als het verdampingsgedeelte dat nu in het model zit, maar programma-technisch wat "netter" is en bovendien wat meer mogelijkheden biedt (o.a. in de keuze van de randvoorwaarden).
- Een (kwantitatieve) interactie met het open water zou gewenst zijn. Nu is er in het geval van bijvoorbeeld wateraanvoer geen directe mogelijkheid om geïnfiltreerde hoeveelheden en daaruit de totale aanvoer te berekenen. Deze moeten nu afgeleid worden van de berekende (negatieve) afvoeren. Ook is het een nadeel dat de waterpeilen als vaste waarden ingevoerd moeten worden, en dat ze niet berekend worden al naar gelang de drainagetoestand en het grondwaterpeil.
- De wortelzone heeft geen eigen K-h relatie. De relatie die wordt gebruikt is die welke is bepaald voor de ondergrond; de ondergrond kan echter sterk verschillen met de bovengrond. De veronderstelling dat deze werkwijze zonder problemen gevolgd zou kunnen worden, is principieel fout. In deze studie is dit extra duidelijk naar voren gekomen door het gebruik van de K-h relatie volgens BLOEMEN (1980).
Om het probleem op te lossen is voor de verdamping de wortelzone als een laag beschouwd, waarna het SWATRE-concept hierop is toegepast.

Naast de hierboven genoemde problemen zijn er ook enige moeilijkheden geweest met enkele van de invoergegevens. Deze moeilijkheden blijken algemeen te zijn en spelen vrij vaak bij modelstudies. De conclusie hieruit volgend luidt dat aan deze punten de nodige aandacht besteed moet worden :

- Dikwijls is er onvoldoende kennis aanwezig over met name drainage-weerstanden om een goede grondwaterstand-afvoerrelatie op te stellen. Meestal blijkt het niet eenvoudig om hier een bevredigende oplossing voor te vinden : In dit geval is een

relatie gebruikt tussen de slootafstand en de drainageweerstand, die echter een verre van sluitend beeld geeft.

- Bij gebrek aan beter is aangenomen dat de stromingsrichting in de bodem geen invloed heeft op de weerstand, met andere woorden dat de infiltratieweerstand gelijk gesteld is aan de drainageweerstand.
- Er dienen voldoende meetgegevens te zijn om behalve een calibratie van het model ook een verificatie uit te voeren. Achteraf blijken deze gegevens dikwijls onvoldoende aanwezig te zijn.
- Het gebrek aan meetgegevens met betrekking tot het oppervlaktewater kan fouten veroorzaken. Dit nadeel zou moeten worden opgelost door middel van een model dat rekent met interacties tussen het grondwater en het oppervlaktewater.

Wat de berekende resultaten betreft, dient allereerst aangetekend te worden dat de effecten van de diverse ingrepen alleen kwantitatief zijn beschouwd. Het kwalitatieve aspect zoals dat onder ander bij wateraanvoer als negatief naar voren zou kunnen komen is nadrukkelijk niet aan de orde gekomen. Bij eventuele beslissingen op dit gebied moet daar echter zondermeer aandacht aan besteed worden. De volgende opmerkingen zijn te maken :

- De juistheid van de berekende resultaten is uiteraard volkomen afhankelijk van de juistheid van de ingevoerde gegevens. Op de ingevoerde gegevens zijn echter geen gevoeligheidsanalyses uitgevoerd zodat een absoluut oordeel over de betrouwbaarheid van de diverse resultaten moeilijk is. In zekere zin is echter tijdens de calibratie door aanpassingen van de invoergegevens een optimalisatie uitgevoerd. De berekende resultaten liggen allemaal binnen het redelijke, en zeker ook gezien de calibratieresultaten zijn ze dus aannemelijk.
- Een belangrijker punt met betrekking tot de berekende resultaten is het volgende :
Hoewel de calibratie naar tevredenheid is afgerond, kan met betrekking tot de andere berekende situaties geen zekerheid bestaan over de juistheid van de resultaten. De berekening kan namelijk niet geverifieerd worden aan bestaande gegevens. Dit is een vrij algemeen euvel bij modelstudies.

- De berekende efficiency voor de ingevoerde berekening ligt iets boven de 60 %. Dit is een cijfer dat in meer studies is gevonden, en daarom is het als reeel te beschouwen.
- De berekende efficiency van wateraanvoer is inclusief het effect van conservering circa 8 %. Dit lijkt op zich niet veel, maar is desondanks op gebiedsbasis goed voor een toename van de verdamping van 11.0 mm. Of wateraanvoer inderdaad rendabel kan zijn, hangt af van de kosten-baten verhouding die ontstaat bij aanvoer. De kosten voor wateraanvoer zullen vooral gemaakt worden buiten het modelgebied (externe aanvoerleidingen) en in het voor wateraanvoer bereikbare gebied. Door het hellende karakter van het gebied kunnen de kosten wel eens flink op lopen, hetgeen ook de oorzaak is dat naar verwachting de kosten van de voorzieningen ten behoeve van enkel conservering en de te maken kosten voor wateraanvoer elkaar niet veel zullen ontlopen.
De baten komen behalve in het bereikbare gebied, ook voor een deel ten goede aan het niet-bereikbare gebied (verhoging van de grondwaterstand).
- Het is moeilijk om vast te stellen welk aandeel van het aanvoereffect veroorzaakt wordt door conservering. Alvorens eventueel een positieve beslissing te nemen ten aanzien van wateraanvoer is het noodzakelijk om het zuivere effect van conservering te berekenen middels een model waarin een zeker peilbeheer kan worden ingevoerd. Met GELGAM is dat vanwege de opgelegde open waterpeilen niet mogelijk geweest.
- Met behulp van de "maximum" en de "minimum" effecten is gepoogd een redelijk schatting te maken van het effect van een waterwinning. Het blijkt dat gemiddeld een kwart tot een derde deel van de hoeveelheid te winnen water aangevoerd wordt door een toename van de stromingen over de rand van het modelgebied. Dit zal negatieve effecten geven buiten het modelgebied waar in deze studie echter geen rekening mee is gehouden. Bij een verdere evaluatie van een waterwinning zou dit wel moeten gebeuren. Naast bovengenoemde effecten blijkt dat in het geval van wateraanvoer 60 % van de totale winning gecompenseerd wordt door extra aanvoer. Dit is relatief gezien zeer gunstig.

Het indicatieve aspect van de berekende resultaten is al eerder naar

voren gekomen. Er dient dan ook terdege rekening mee gehouden te worden dat alvorens tot wateraanvoer dan wel tot waterwinning kan worden besloten, er nog aanvullend onderzoek nodig zal zijn. Zo is bijvoorbeeld de mogelijke aantasting van de waterkwaliteit ten gevolge van aanvoer van (opper)vlaktewater een van de zaken die nog onderzocht zou moeten worden. Verder zullen de infiltratiehoeveelheden etc. nog eens berekend moeten worden met een meer op de problematiek toegesneden model.

LITERATUUR

AD HOC GROEP VERDAMPING, 1984.

Rapport van de Ad Hoc groep verdamping : Herziening van de
gewasverdamping in het hydrologisch model GELGAM.

Provincie Gelderland, Dienst Waterbeheer.

VAN DEN AKKER, C., 1972.

Een mathematisch model voor de berekening van de gevolgen
van een grondwateronttrekking in het geval van twee
watervoerende pakketten gescheiden door een semi-permeabele
laag. Univ. of Delft, Dept. of civil engineering.

VAN BAKEL, P.J.T., 1986.

Planning, design and operation of surface water management
systems. Thesis Agricultural University, Wageningen.

BELMANS, C., J.G.WESSELING and R.A.FEDDES, 1983.

Simulation Model of the Water Balance of a Cropped Soil :
SWATRE. J.Hydrol. 63, 3/4: 271-286. Techn.Bull. 21 ICW,
Wageningen.

BLOEMEN, G.W., 1980.

Calculation of capillary conductivity of soils from texture
and organic matter content. Zeitschr.Pflanzenernaehr.Bodenkd.
143,5: 581-605. Techn.Bull. 120 ICW, Wageningen.

VAN BOHEEMEN, P.J.M., 1983.

Programma van onderzoek naar de behoefte en effecten
van wateraanvoer naar het zandgebied in westelijk
Noord-Brabant. ICW-nota 1448.

DIJKEMA, M.R., R.D.W.HIJdra, L.VAN DER MEULEN, J.PH.WITTE en
G.VAN WIRDUM, 1985.

Ecohydrologische beschrijvingen en vergelijkingen van een
tiental natuurgebieden. Studiecommissie Waterbeheer Natuur,
Bos en Landschap rapport 1b. Uitgevoerd door R.I.N.-Leersum.

IWACO B.V., 1982.

Rapportage over fase 1 van het onderzoek betreffende het
gebied "ten zuiden van Breda", in opdracht van de Provinciale
Waterstaat Noord-Brabant.

DIV (o.a. A.KERPERSHOEK), 1981.

Voorlopige gebruikershandleiding GELGAM. Dienst Informatie-
verwerking Rijkswaterstaat (DIV).

VAN LANEN, H.A.J., 1983.

Berekening uit het grondwater op hogere gronden en het
effect daarvan op lagere gronden.

H2O 1983 (16) : 369-375.

DE LAAT, P.J.M., 1985.

Simulatie van verdamping en berekening met MUST.

H2O 1985 (17) : 363-367.

DE LAAT, P.J.M., en R.H.C.M. AWATER, 1978.

Groundwaterflow and evapotranspiration. A simulation model.

Part 1. Theory. Basisrapport ten behoeve van de Commissie

Bestudering Waterhuishouding Gelderland, Arnhem. 63 pp.

LANDINRICHTINGSDIENST NOORD-BRABANT, 1985.

WERK GROEP LANDBOUWWATERVOORZIENING VANAF HET ZOOMMEER,

Verslag van de sub-groep infrastructuur Noord-Brabant.

LANDINRICHTINGSDIENST NOORD-BRABANT, 1985.

WERK GROEP LANDBOUWWATERVOORZIENING VANAF HET ZOOMMEER,

De watervoorziening van het zandgebied van West Noord-Brabant.

LANDINRICHTINGSDIENST ZEELAND, AFDELING ONDERZOEK, 1984.

Bodemfysische indeling van de Zeeuwse eilanden en west

Noord-Brabant.

LEENDERS, W.H., A.G. BEEKMAN en A.M. WIJNEN, 1982.

Ruilverkaveling Zundert, bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid.

STIBOKA rapportnr. 1452.

PEREBOOM, D., 1984.

Gelderland Groundwater Analysis Model (GELGAM), berekenings-

procedures: Automatisering van berekening op grond van de

uitdrogingsgraad van de wortelzone in GELGAM. ICW-nota 1581.

PEREBOOM, D., en H.A.M. THUNNISSEN, 1984.

Implementatie Gelderland Groundwater Analysis Model (GELGAM)

op de VAX-computer, Staringgebouw Wageningen (STAVAX).

ICW-nota 1576.

PEREBOOM, D., en H.A.M. THUNNISSEN, 1984.

Nieuwe verdampingsversie Gelderland Groundwater Analysis

Model (GELGAM).

ICW-nota 1577.

PROVINCIALE WATERSTAAT NOORD-BRABANT, 1984.

Inventarisatie drainage weerstanden (intern).

PROVINCIE GELDERLAND, DIENST WATERBEHEER, en de STICHTING PROEFSTATION

VOOR DE RUNDVEEHOUDERIJ, 1985. Rendabiliteit van berekening op

melkveebedrijven en waterbehoefte van Gelderse landbouwgronden.

RIJTEMA, P.E., 1969.

Soil moisture forecasting. ICW-nota 513.

THUNNISSEN, H.A.M., 1984.

Hydrologisch onderzoek. Toepassing van hydrologische

modellen en remote sensing. Remote Sensing studieproject

Oost Gelderland, deelrapport 4. ICW-nota 1542.