

Vol Bolt 223

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



ONDERZOEK NAAR DE EFFECTEN VAN WATERAANVOER EN PEILVERANDERINGEN  
IN AGRARISCHE GEBIEDEN OP DE WATERKWALITEIT IN NATUURGEBIEDEN

Deel 10: Berekeningen van de regionale grondwaterstroming in het  
gebied rondom de Tondense heide met behulp van het model  
SIMGRO

ir. R.F.A. Hendriks

nota

instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding . wageningen

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-  
middelen, dus geen officiële publikaties.

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

NOTA 1876

## INHOUD

|                                                          | blz. |
|----------------------------------------------------------|------|
| SAMENVATTING EN CONCLUSIES                               | 1    |
| 1. INLEIDING                                             | 4    |
| 2. BESCHRIJVING VAN HET MODELGEBIED                      | 6    |
| 2.1. Algemeen                                            | 6    |
| 2.2. Geohydrologische schematisatie                      | 7    |
| 2.3. Bodemkundige situatie                               | 9    |
| 2.4. Waterbeheersing en landbouw                         | 10   |
| 3. MODELBESCHRIJVING                                     | 11   |
| 3.1. Modelkeuze                                          | 11   |
| 3.2. Korte beschrijving van SIMGRO                       | 12   |
| 3.2.1. Algemeen                                          | 12   |
| 3.2.2. Verzadigde zone                                   | 14   |
| 3.2.3. Onverzadigde zone                                 | 15   |
| 3.2.4. Oppervlaktewater                                  | 15   |
| 4. INVOERGEGEVENS                                        | 18   |
| 4.1. Geohydrologische parameters                         | 18   |
| 4.1.1. Modelnetwerk                                      | 19   |
| 4.1.2. Maaiveldshoogte                                   | 20   |
| 4.1.3. Drainageweerstand secundair stelsel               | 21   |
| 4.1.4. Drainageweerstand en bodemhoogte tertiair stelsel | 21   |
| 4.1.5. Greppelweerstand                                  | 22   |
| 4.1.6. Kanaalsysteem                                     | 22   |
| 4.1.7. Aantal lagen en kode per laag                     | 22   |
| 4.1.8. Dikte per laag                                    | 23   |
| 4.1.9. c- en kD-waarden                                  | 23   |
| 4.1.10. Bergingscoëfficiënten                            | 24   |
| 4.2. Contactpunten en startwaarden                       | 24   |
| 4.3. Invoer voor FEMSATS                                 | 25   |
| 4.4. Invoer voor SIMGRO                                  | 25   |

Nota 1876

| vervolg INHOUD                                                       | blz. |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| 4.4.1. Tijdstap, begin- en eindtijd                                  | 26   |
| 4.4.2. Wegingsparameter teta                                         | 26   |
| 4.4.3. Bodemfysische eigenschappen en grondgebruik                   | 27   |
| 4.4.4. Berekening                                                    | 28   |
| 4.4.5. Relatie van het oppervlaktewaterpeil<br>met berging en afvoer | 29   |
| 4.4.6. Neerslag en verdamping                                        | 29   |
| 4.4.7. Grondwateronttrekkingen                                       | 30   |
| 4.5. Randvoorwaarden                                                 | 30   |
| 5. CALIBRATIE EN VERIFICATIE MET FEMSATS EN SIMGRO                   | 32   |
| 5.1. Calibratie met FEMSATS                                          | 32   |
| 5.1.1. Proces van calibratie                                         | 32   |
| 5.1.2. Resultaten                                                    | 35   |
| 5.2. Verificatie met SIMGRO                                          | 41   |
| 5.2.1. Proces van verificatie                                        | 41   |
| 5.2.2. Resultaten                                                    | 43   |
| 6. RESULTATEN VAN DE BEREKENINGEN MET SIMGRO                         | 45   |
| 6.1. Scenario-1: de historische situatie van vóór 1960               | 45   |
| 6.1.1. Doel/omschrijving                                             | 45   |
| 6.1.2. Aanpassing parameterwaarden                                   | 46   |
| 6.1.3. Resultaten                                                    | 47   |
| 6.2. Scenario-2: berekeningsscenario                                 | 47   |
| 6.2.1. Doel/omschrijving                                             | 47   |
| 6.2.2. Aanpassing parameterwaarden                                   | 47   |
| 6.2.3. Resultaten                                                    | 48   |
| 6.3. Scenario-3: toename van de grondwateronttrekkingen              | 49   |
| 6.3.1. Doel/omschrijving                                             | 49   |
| 6.3.2. Aanpassing parameterwaarden                                   | 49   |
| 6.3.3. Resultaten                                                    | 50   |
| 6.4. Scenario-4: waterconservering                                   | 51   |
| 6.4.1. Doel/omschrijving                                             | 51   |
| 6.4.2. Aanpassing parameterwaarden                                   | 51   |
| 6.4.3. Resultaten                                                    | 52   |

NOTA 1876

| vervolg INHOUD                                                                                    | blz. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 6.5. Scenario-5: wateraanvoer t.b.v. de landbouw                                                  | 55   |
| 6.5.1. Doel/omschrijving                                                                          | 55   |
| 6.5.2. Aanpassing parameterwaarden                                                                | 57   |
| 6.5.3. Resultaten                                                                                 | 57   |
| 6.6. Scenario-6: wateraanvoer t.b.v. de Tondense heide                                            | 61   |
| 6.6.1. Doel/omschrijving                                                                          | 61   |
| 6.6.2. Aanpassing parameterwaarden                                                                | 61   |
| 6.6.3. Resultaten                                                                                 | 62   |
| 6.7. Invoer voor STRELIN                                                                          | 64   |
| LITERATUUR                                                                                        | 66   |
| BIJLAGEN 1. STIJGHOOGTEVERLOOP VAN DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S                                    |      |
| 2. WATERBALANSEN VAN HET GEHELE MODELGEBIED                                                       |      |
| 3. VERANDERING VAN HET FREATISCH VLAK TENGEVOLGE<br>VAN VERANDERINGEN IN DE GRONDWATERONTTREKKING |      |
| 4. VOCHTHUISHOUDING VAN DE WORTELZONE IN RELATIE<br>TOT VERDAMPINGS- EN BEREKENINGSREDUCTIE       |      |

## SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In het kader van de Studiecommissie Waterbeheer, Natuur, Bos en Landschap (SWNBL) heeft het ICW onderzoek verricht naar de effecten van wateraanvoer en peilveranderingen in agrarische gebieden op de waterkwaliteit in natuurgebieden. Een onderdeel van dit onderzoek vormt de in dit verslag beschreven berekening van de regionale grondwaterstroming in het landbouwgebied rondom het SWNBL-proefgebied de Tondense heide in de ruilverkaveling Brummen-Voorst, met behulp van het regionale grondwaterstromingsmodel SIMGRO. Het doel van deze berekening is tweeledig:

- 1) het nagaan van de effecten van gesimuleerde ingrepen in de waterhuishouding van het modelgebied of delen hiervan op de grondwaterstand in de Tondense heide
- 2) het verkrijgen van invoergegevens in de vorm van nettofluxen voor het stroomlijnenmodel STRELIN.

SIMGRO is gekozen omdat het met dit model mogelijk is het oppervlaktewaterpeilbeheer te koppelen aan de grondwaterstand en omdat in het model het oppervlaktewatersysteem aan het maaiveld is gerelateerd.

De ondergrond van het modelgebied is in deze studie geschematiseerd in drie lagen, twee watervoerende pakketten die zijn gescheiden door een weerstandbiedende laag Eemklei. Het eerste watervoerende pakket behoort tot de Formatie van Twenthe (fijn- tot matig fijnzandig) en het tweede watervoerende pakket tot de Formatie van Kreftenheye (grofzandig).

Om het model te kunnen laten rekenen moeten geohydrologische parameters, randvoorwaarden en modelafhankelijke gegevens worden ingevoerd. De methode van verzameling en invoer van deze gegevens is beschreven in hoofdstuk 4. Na het invoeren van gegevens is het model gecalibreerd en daarna geverifieerd (hoofdstuk 5). Het model is gecalibreerd met de stationaire versie FEMSATS. De belangrijkste parameter die hierbij is aangepast, is de tertiaire drainageweerstand. Het model is geverifieerd met de niet-stationaire versie SIMGRO. Hiervoor zijn de jaren 1985 en 1986 doorgerekend en zijn de resultaten vergeleken met peilbuis opnamen uit deze periode.

Nadat het model is gecalibreerd en geverifieerd, zijn de volgende scenario's gesimuleerd voor de meteorologische condities van de jaren 1985 en 1986 (hoofdstuk 6):

- scenario-0: huidige situatie zoals verkregen na verificatie van het model op basis van de gemeten grondwaterstanden van 1985 en 1986
- scenario-1: simulatie van de historische situatie van vóór 1960
- scenario-2: simulatie van de grondwaterstanden in het natuurterrein bij verminderde beregening in het omringende weidegebied
- scenario-3: toename van de grondwateronttrekking in Eerbeek
- scenario-4: waterconservering in een gebied ten zuidwesten van de Tondense heide door het opzetten van de peilen in de winter en het voorjaar, met als doel het voorjaars- en zomerpeil in het natuurterrein met behulp van het geconserveerde water te stuwen
- scenario-5: aanvoer van water vanuit het Apeldoorns kanaal naar een deelgebied ten behoeve van de landbouw
- scenario-6: aanvoer van water vanuit het Apeldoorns kanaal naar de Tondense heide en een buffergebied daaromheen, met als doel de grondwaterstand in het natuurterrein te verhogen.

De algemene conclusie die volgt uit de resultaten van calibratie en verificatie van en simulatie met het model luidt: de uitkomsten van de berekeningen met het gecalibreerde en geverifieerde model vormen een goede indicatie voor de verandering van het grondwaterregime als gevolg van hydrologische ingrepen, maar er moet enige voorzichtigheid worden betracht bij het toekennen van een absolute waarde aan de modeluitkomsten. In dit licht moeten ook de volgende conclusies betreffende de verschillende scenario's worden gezien:

- scenario-1: in de jaren '50-simulatie is de intensiteit van de lokale kwel in de Tondense heide groter dan in de 0-situatie.
- scenario-2: de beregeningsintensiteit in het weidegebied rondom de Tondense heide is van grote invloed op de grondwaterstand in het natuurterrein.
- scenario-3: een verhoging van de grondwateronttrekking te Eerbeek met 30% heeft geen gevolgen voor de grondwaterstand in de Tondense heide.

- scenario-4: het opzetten van peilen in het gebied ten zuidwesten van de Tondense heide leidt niet tot een mate van waterconservering die het mogelijk maakt in droge perioden water naar het natuurterrein te leiden en heeft geen directe invloed op de grondwaterstand in het natuurterrein.
- scenario-5: wateraanvoer naar, in combinatie met het opzetten van peilen in het betreffende deelgebied heeft een duidelijke stijging van de grondwaterstand in de Tondense heide tot gevolg.  
In deze optie is de intensiteit van de lokale kwel in het natuurterrein groter dan in de 0-situatie.
- scenario-6: het opzetten van peilen met behulp van aangevoerd water in de Tondense heide en een bufferzone daaromheen heeft een duidelijke stijging van de grondwaterstand in het natuurterrein tot gevolg, zij het dat deze stijging geringer is dan in scenario-5.  
In deze optie is de intensiteit van de lokale kwel in het natuurterrein kleiner dan in de 0-situatie.

## 1. INLEIDING

Ingrepen in de waterhuishouding van landbouwgebieden, met als doel het creëren van optimale voorwaarden voor het bedrijven van landbouw, kunnen grote gevolgen hebben voor de waterhuishouding van aangrenzende natuurgebieden. Deze gevolgen houden verband met eventuele veranderingen in grondwaterstanden en/of waterkwaliteit, waardoor actuele en potentiële natuurwaarden in natuurgebieden kunnen worden beïnvloed.

In het kader van de Studiecommissie Waterbeheer, Natuur, Bos en Landschap (SWNBL) heeft het ICW onderzoek verricht naar de effecten van wateraanvoer en peilveranderingen in agrarische gebieden op de waterkwaliteit in natuurgebieden. Dit onderzoek behelst een modellenstudie waarin simulatiemodellen zijn toegepast en ontwikkeld, die genoemde effecten kunnen voorspellen en evalueren. De toegepaste modellen, deels bestaande en deels binnen het onderzoek ontwikkelde, betreffen waterkwaliteits- en waterkwantiteitsmodellen. De berekeningen met de waterkwantiteitsmodellen vormen de basis van de waterkwaliteitsmodelberekeningen.

De in dit verslag beschreven studie vormt een onderdeel van het genoemde SWNBL-onderzoek. De studie betreft de berekening van de regionale grondwaterstroming in het landbouwgebied rondom het SWNBL-proefgebied de Tondense heide in de ruilverkaveling Brummen-Voorst, met behulp van het regionale grondwaterstromingsmodel SIMGRO (QUERNER, 1986). Het doel van deze berekening is tweeledig:

- 1) het nagaan van de effecten van gesimuleerde ingrepen in de waterhuishouding van het modelgebied of delen hiervan op de grondwaterstand in de Tondense heide
- 2) het verkrijgen van invoergegevens in de vorm van nettofluxen voor het stroomlijnenmodel STRELIN (GROENENDIJK, 1988a). Aan de hand van stroomlijnenfiguren kan worden bepaald of een gesimuleerde ingreep effect heeft op de herkomst van het kwelwater in de standplaats waarin dit kwelwater een rol speelt in de samenstelling van de vegetatie.

Waterhuishoudkundige ingrepen als peilbeheer, al dan niet in combinatie met wateraanvoer, hangen samen met de grote variatie in meteorologische omstan-



digheden in de loop van de tijd. Teneinde effecten van deze ingrepen op de grondwaterstand adequaat te kunnen bepalen, is dan ook een niet-stationaire benadering van de grondwaterstand vereist. Om die reden is in deze studie het model SIMGRO, dat de niet-stationaire stroming van het grondwater beschrijft, toegepast.

Met SIMGRO zijn de volgende scenario's doorgerekend:

- scenario-0: Verificatie van het model SIMGRO op basis van de gemeten grondwaterstanden van 1985 en 1986.
- scenario-1: Simulatie van de historische situatie van vóór 1960 met minder intensieve detailontwatering in het gebied rondom de Tondense heide.
- scenario-2: Simulatie van de grondwaterstanden in het natuurterrein en de grondwaterstroming bij verminderde beregening in het omringende weidegebied.
- scenario-3: Toename van de grondwateronttrekking ten behoeve van industrie en drinkwatervoorziening in de gemeente Eerbeek.
- scenario-4: Waterconservering in het gebied ten zuidwesten van de Tondense heide, dat hoger is gelegen, door het opzetten van de stuwpeilen in de winter en het voorjaar. Door in het voorjaar en de zomer het geconserveerde water af te laten stromen, zou in de zomer het peil in de omgeving van het natuurterrein kunnen worden gestuwd.
- scenario-5: Aanvoer van water vanuit het Apeldoorns kanaal naar een gebied dat als droogtegevoelig wordt gekenmerkt, met als doel het vochttekort in de betreffende landbouwgebieden te verminderen of op te heffen.
- scenario-6: Opzetten van peilen in het gebied direct rondom de Tondense heide met water dat wordt aangevoerd vanuit het Apeldoorns kanaal, met als doel het water in het natuurgebied op te stuwen.

In hoofdstuk 2 van dit verslag wordt de ligging en de geologische en bodemkundige opbouw van het modelgebied beschreven. Tevens wordt hier kort ingegaan op de waterbeheersing en de landbouwkundige situatie in het modelgebied. De verantwoording van de keuze voor het model SIMGRO en een korte beschrijving van dit model wordt gegeven in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 beschrijft de invoergegevens en de randvoorwaarden voor het model en in hoofdstuk 5 wordt de methode van calibratie met en de verificatie van die invoergegevens behandeld. In hoofdstuk 6 worden de verschillende scenario's beschreven en de resultaten van de berekeningen met SIMGRO betreffende deze scenario's gegeven.

## 2. BESCHRIJVING VAN HET MODELGEBIED

### 2.1. ALGEMEEN

Het modelgebied is gelegen in het zuidelijk deel van de IJsselvallei, in het overgangsgebied van het Veluwemassief naar de IJssel.

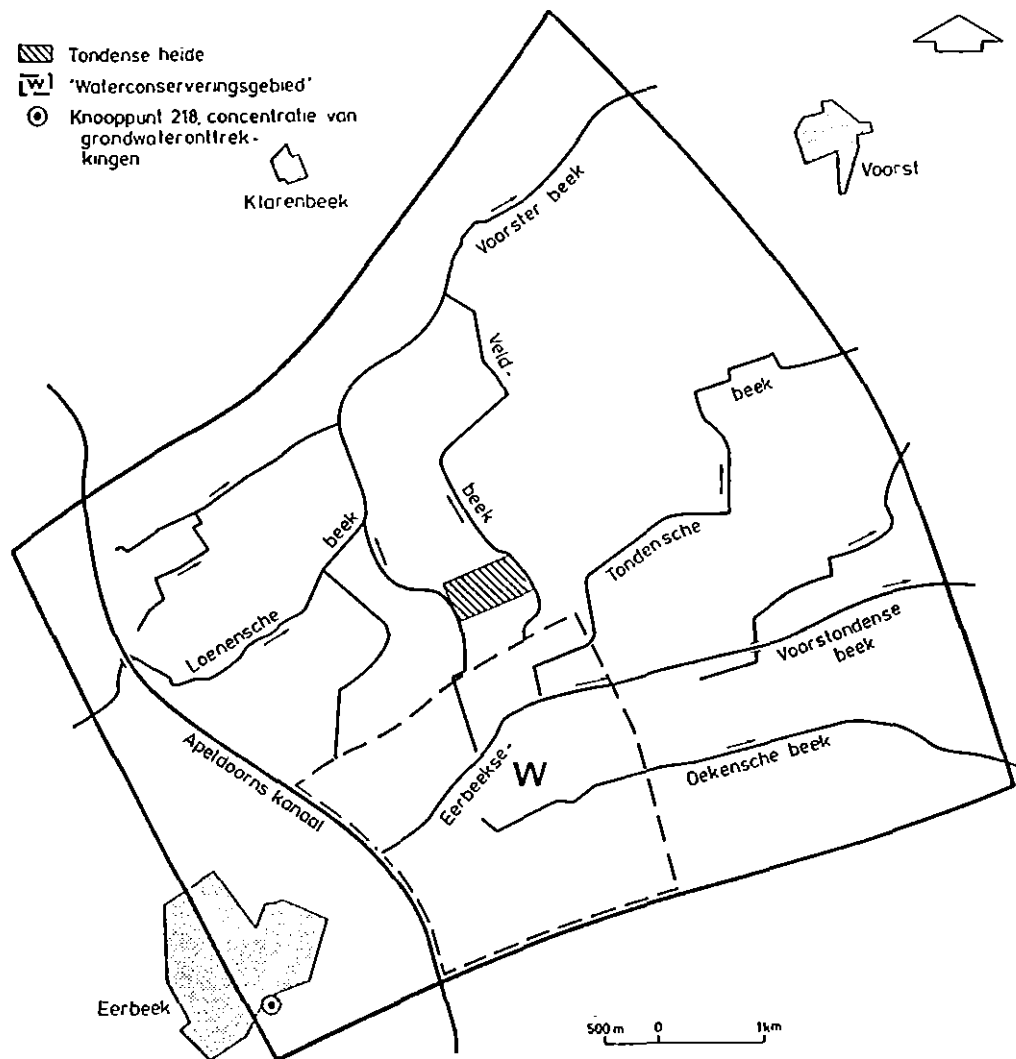


Fig. 1. Ligging van het modelgebied

Het maakt deel uit van de ruilverkaveling Brummen-Voorst en ligt binnen de grenzen van het waterschap Oost-Veluwe. Het gebied bestaat uit circa 5100 ha, gesitueerd rond het SWNBL-studiegebied de Tondense heide (ca. 25 ha groot). De west- en oostrand van het gebied lopen min of meer evenwijdig aan de regionale isohypsen. De noord- en zuidrand staan ongeveer loodrecht op deze isohypsen (zie 4.5). De westrand ligt net westelijk van het Apeldoorns kanaal, zodat dit kanaal in de studie betrokken kan worden. De zuidrand valt samen met de zuidrand van een deelgebied waar waterconservering door middel van het opzetten van slootpeilen ten behoeve van het natuurterrein de Tondense heide is voorgesteld. In de zuidwesthoek van het gebied komt een concentratie van grondwateronttrekkingen voor. De noord- en oostrand zijn zodanig gekozen dat de Tondense heide ongeveer in het midden van het gebied ligt (zie Fig. 1).

Het modelgebied helt in zijn totaliteit van het westen (ca. 15 m +N.A.P.) naar het oosten (ca. 7,5 m +N.A.P.); de gemiddelde helling bedraagt circa 1:1000. Als gevolg van de west-oost gerichte helling vindt de afwatering eveneens in deze richting plaats.

## 2.2. GEOHYDROLOGISCHE SCHEMATISATIE

De geohydrologische opbouw van het modelgebied is schematisch weergegeven in figuur 2.

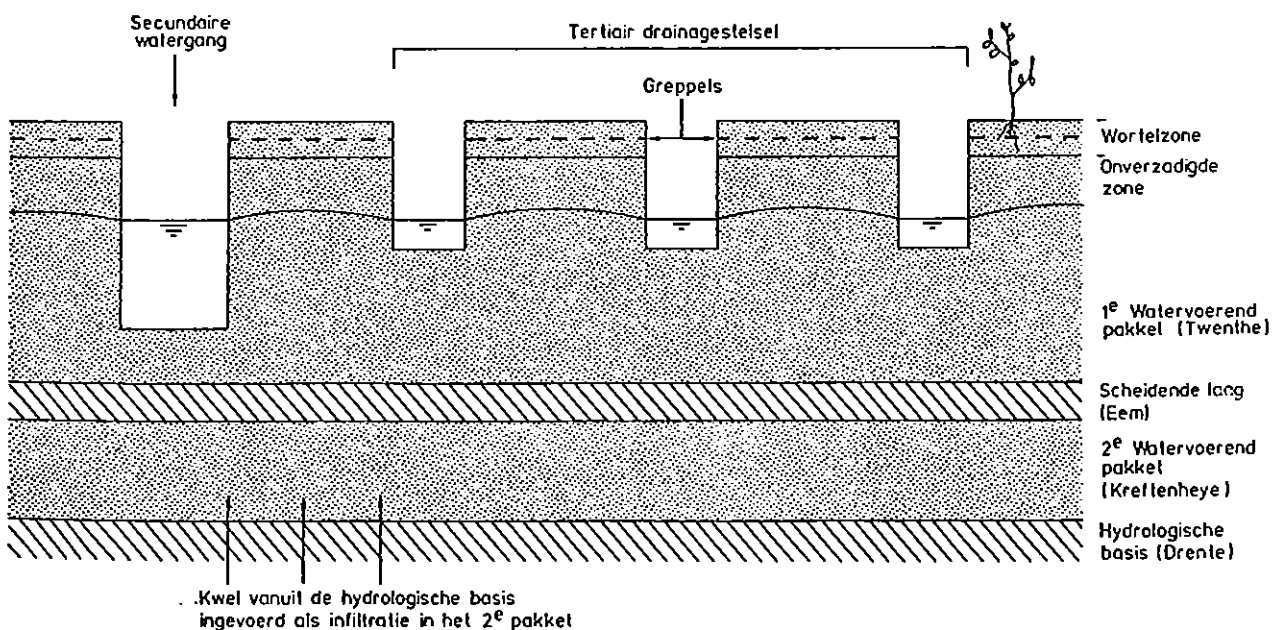


Fig. 2. Geohydrologische schematisatie van het modelgebied

Deze schematisatie is tot stand gekomen aan de hand van gegevens van AELMANS (1983), IWACO (1984) en TE LUGGENHORST (1980).

Het eerste watervoerende pakket bestaat uit fijn- tot matig fijnzandige afzettingen van de Formatie van Twenthe. De gemiddelde dikte van dit pakket bedraagt circa 12 m, de  $kD$ -waarde is gemiddeld circa  $200 \text{ m}^2/\text{d}$ . Het tweede watervoerende pakket wordt gevormd door de Formatie van Kreftenheye; grofzandige afzettingen met een gemiddelde dikte van circa 40 m en een gemiddelde  $kD$  van circa  $1500 \text{ m}^2/\text{d}$ . In het grootste deel van het gebied scheidt een laag Eemklei van circa 2-5 m dikte, het eerste watervoerende pakket van het tweede watervoerende pakket. De begrenzing van deze Eemklei, weergegeven in figuur 3, is ontleend aan AELMANS (1983) en is rond de Tondense heide bijgesteld aan de hand van gegevens van twee diepboringen in dit natuurterrein uitgevoerd door het ICW (HENDRIKS, 1986).

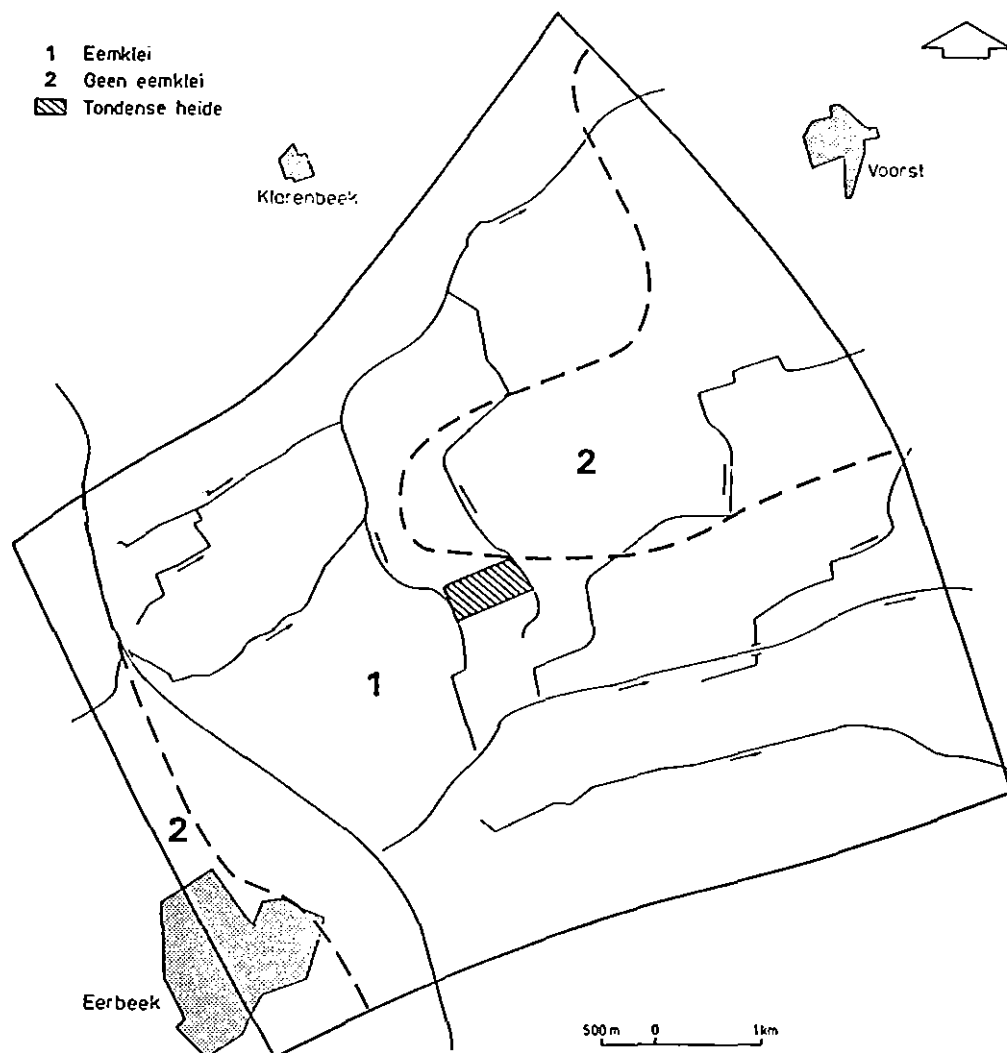


Fig. 3. Begrenzing van de Eemklei

Als hydrologische basis van de schematisatie is de Formatie van Drenthe (fijn zand, klei, keileem) genomen. Op grond van de dikte van 50 - 100 meter en de c-waarde van 15.000 - 95.000 dagen van deze formatie onder het modelgebied, is deze schematisatie verantwoord geacht. Wel vindt er volgens IWACO (1986) vanuit deze basis enige kwel plaats, in de orde van grootte van 0 tot 0,08 mm/d. Deze kwel, die nauwelijks fluctueert over de seizoenen, is in het model ingevoerd.

### 2.3. BODEMKUNDIGE SITUATIE

Het gebied bestaat bijna geheel uit zandgronden (ca. 90%). De kleigronden langs de oostrand beslaan slechts 8% van de oppervlakte. In het gehele gebied komen verspreid op kleine schaal moerige, lemige en venige gronden voor (ca. 2%).

De zandondergrond bestaat in het gehele modelgebied voornamelijk uit fijn- tot matig fijnzandig, soms grofzandig, en soms zwak lemig, materiaal dat goed doorlatend is. De voorkomende zandgronden kunnen worden onderverdeeld in podzolgronden, eerdgronden en vaaggronden.

- De podzolgronden (ca. 35% van de oppervlakte) komen vooral in het westelijk deel van het gebied voor. Ze worden gekenmerkt door een dun humeus dek (15-30 cm) en een duidelijke inspoelingslaag. Ze zijn overwegend als grasland in gebruik.
- De eerdgronden (ca. 40% van de oppervlakte) liggen in een brede, zuid-noord gerichte strook in het midden van het gebied. De breedte neemt in noordelijke richting toe. Ze worden gekenmerkt door een humeus dek van minimaal 30 cm en hebben geen duidelijk waarneembare inspoelingslaag. De eerdgronden zijn als gras- en bouwland in gebruik.
- De vaaggronden (ca. 15% van de oppervlakte) komen verspreid voor in het midden en oosten van het gebied. Deze gronden vertonen geen duidelijke kenmerken van bodenvorming. Ze worden gebruikt als grasland.

De rivierkleigronden komen voornamelijk voor in het oostelijk deel van het gebied langs een oude meander van de IJssel. Ze zijn in gebruik als bouwland en grasland.

De moerige, lemige en venige gronden liggen verspreid over het gehele gebied in zeer kleine eenheden. Deze gronden hebben door hun relatief lage ligging te kampen met wateroverlast en worden daarom alleen maar gebruikt als grasland.

De bodem van het natuurterrein de Tondense heide bestaat voornamelijk uit veldpodzolgrond op de hogere delen en uit beek- en broekeerdgronden in de lager gelegen delen (zie HENDRIKS, 1986).

#### 2.4. WATERBEHEERSING EN LANDBOUW

De hoofdafwatering van het modelgebied vindt plaats door middel van de west-oost gerichte hoofdwaterlopen de Voorsterbeek, de Eerbeekse Voorstondense beek, de Tondensche beek en de Oekensche beek (zie Fig. 1). Deze beken wateren af op de IJssel ten oosten van het gebied. De Eerbeekse Voorstondense beek is een zogenaamde opgeleide beek, met een verhoogde, nagenoeg ondoorlatend gemaakte bedding en een eigen peil. Een andere belangrijke waterloop met een eigen peil in het gebied is het Apeldoorns kanaal. Dit kanaal heeft echter geen functie voor de afwatering van landbouwgronden. Hoewel de doorlatendheid van de bedding vrij laag is, bestaat er een duidelijke interactie tussen het kanaalwater en het grondwater in de vorm van kwel en wegzijging (TE LUGGENHORST, 1980).

In de waterlopen binnen het gebied komen verscheidene stuwen voor, die het gebied in verschillende afwateringseenheden verdelen.

De detailontwatering van het gebied is plaatselijk sterk wisselend en stemt overeen met bodemsoort, grondwatertrap en grondgebruik. De meeste ontwateringssloten in de hoger gelegen zandgronden vallen in de zomer droog.

De cultuurgrond in het modelgebied is voor circa 95% in gebruik als grasland en voor 5% als bouwland, voornamelijk voor de teelt van snijmais.

### 3. MODELBESCHRIJVING

#### 3.1. MODELKEUZE

Simulatie van regionale hydrologische situaties kan geschieden met behulp van numerieke modellen. Een voordeel van het toepassen van een numeriek model boven analytische benaderingen is, dat bij een numeriek model een gedifferentieerde geologische opbouw kan worden ingevoerd, waardoor beter op de geometrie van het modelgebied kan worden ingespeeld.

De meeste hydrologische modellen werken met een netwerk van elementen met knooppunten. Dit elementennetwerk wordt over een gebied gelegd en geohydrologische parameters en andere gegevens worden per knooppunt of per element ingevoerd. Bij het rekenen wordt per knooppunt een waterbalans opgesteld, waarbij de stroming tussen de knooppunten wordt berekend met de wet van Darcy. Het model rekent (itereert) net zolang tot alle waterbalansen kloppend zijn.

Een bruikbaar model zal aan een aantal voorwaarden moeten voldoen, zoals:

- bestaande gegevens moeten zonder veel problemen en veel nader onderzoek in het model kunnen worden ingevoerd;
- het model moet met meerdere lagen kunnen rekenen;
- het model moet relatief gebruikersvriendelijk zijn en er moet een goede handleiding en/of begeleiding zijn;
- het model moet indien nodig, zonder al te veel problemen, aan het modelgebied aangepast kunnen worden (de gebruiker moet de beschikking hebben over de 'source file').

Essentieel voor dit onderzoek is de koppeling van de grondwaterstand aan het oppervlaktewaterpeilbeheer in verband met het opzetten van slootpeilen ten behoeve van waterconservering en infiltratie gedurende het groeiseizoen. Een andere belangrijke eis aan het model is daarom:

- de grondwaterstand moet te koppelen zijn aan het gevoerde peilbeheer en het oppervlaktewatersysteem moet gerelateerd zijn aan het maaiveld.

Een model dat aan de genoemde eisen voldoet, is het model SIMGRO (QUERNER, 1986), dat op het Instituut voor Cultuurtechniek en Water-huishouding is ontwikkeld. Dit model is voor het onderzoek toegepast.

### 3.2. KORTE BESCHRIJVING VAN SIMGRO

#### 3.2.1. Algemeen

SIMGRO is een afkorting van SIMulation of GROundwater flow and surface waterlevels. Het is de algemene naam voor het regionale grondwaterstromingsmodel FEMSATP (QUERNER en VAN BAKEL, 1984). Dit model is de, ten behoeve van het Peel-onderzoek van het ICW uitgebreide niet-stationaire versie van het model FEMSAT (Finite Element Model for SATurated groundwaterflow) (VAN BAKEL, 1978; QUERNER, 1984). FEMSATP bevat naast het verzadigde grondwatermodel FEMSAT ook een eenvoudig onverzadigd grondwatermodel en de mogelijkheid een betere beschrijving van het oppervlaktewaterstelsel in te voeren.

Met SIMGRO kan een aantal hydrologische parameters worden gesimuleerd, zoals stijghoogten van en debieten tussen lagen, knooppunten en/of subregio's, vochtinhoud van de onverzadigde zone en afvoer naar ontwateringsmidelen. Er kan zowel stationair (FEMSATS) als niet-stationair (SIMGRO) worden gerekend. Figuur 4 geeft een overzicht van de geschematiseerde waterhuishouding in een subgebied, zoals die binnen SIMGRO wordt beschouwd.

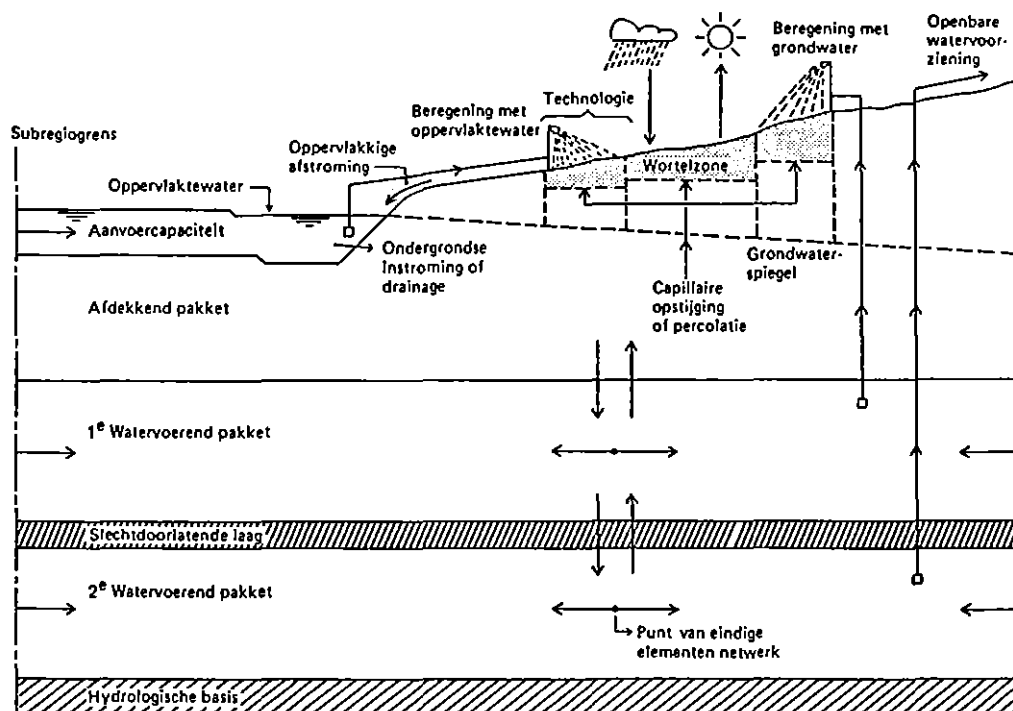


Fig. 4. Waterhuishouding in een subgebied schematisch weergegeven  
(bron: QUERNER en VAN BAKEL, 1984)



Het berekenen van de stijghoogte in een bepaalde laag van een knooppunt  $j$  op tijdstip  $t$ , gebeurt impliciet, volgens het principe van de Crank-Nicholson benadering. Dat wil zeggen dat voor de bepaling van de stijghoogte in een knooppunt  $j$  op tijdstip  $t$ , voor de berekening van de fluxen naar en van dat knooppunt in de beschouwde tijdstap, de stijghoogte van de vorige tijdstap en de al berekende stijghoogte van de omliggende knooppunten in de beschouwde tijdstap worden gebruikt. Waarbij als het ware een tussentijd wordt gecreëerd met de wegingsparameter  $\theta$  (zie Fig. 5; zie ook QUERNER, 1984).

Het voordeel hiervan is, dat de afstand tussen de knooppunten onderling en de grootte van de tijdstap niet afhankelijk zijn van elkaar. Hierdoor kan het knooppunten netwerk naar wens worden ingedeeld.

SIMGRO werkt met een netwerk van eindige elementen waarvan de hoekpunten de knooppunten vormen. Het invloedsoppervlak van een knooppunt wordt door het model zelf berekend. Eén of meer knooppunten kunnen een subregio vormen. Het voordeel van indeling van een modelgebied in subregio's is, dat de hoeveelheid output van het model aanzienlijk kan worden gereduceerd, waardoor resultaten overzichtelijker en duidelijker zijn. De indeling in subregio's kan bijvoorbeeld gebeuren naar bodemtype of -eenheid of naar hydrologische eenheid of naar beide.

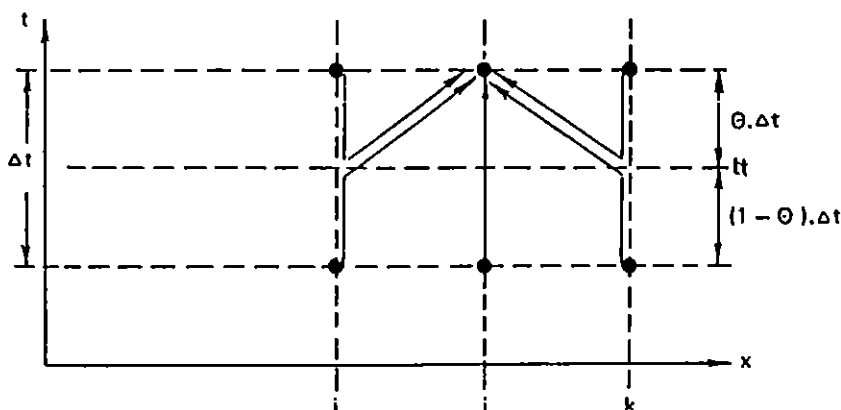


Fig. 5. Impliciet berekeningsschema  
(Bron: POST en VAN BAKEL, 1986)

$t$  = tijd  
 $\delta t$  = tijdstap  
 $tt$  = tussentijd  
 $\theta$  = wegingsparameter  
 $x$  = afstand

FEMSATS is de stationaire versie van het programmapakket. Hiermee kan de stationaire hydrologische situatie van een modelgebied worden berekend. Het model is in de stationaire voorjaarssituatie gecalibreerd.

SIMGRO, de uitgebreide niet-stationaire versie van het programmapakket, is gebruikt voor de verificatie van het model en het simuleren van een aantal scenario's.

### 3.2.2. Verzadigde zone

Voor het beschrijven van de grondwaterbeweging in de verzadigde zone wordt in het model een schematisatie toegepast in watervoerende en weerstandbiedende lagen. SIMGRO is een quasi drie-dimensionaal model, wat wil zeggen dat vanuit een knooppunt, per laag alleen horizontale en verticale fluxen worden berekend. Aangenomen wordt dat water in watervoerende lagen in een horizontale richting stroomt en in weerstandbiedende lagen alleen in verticale richting (zie Fig. 6).

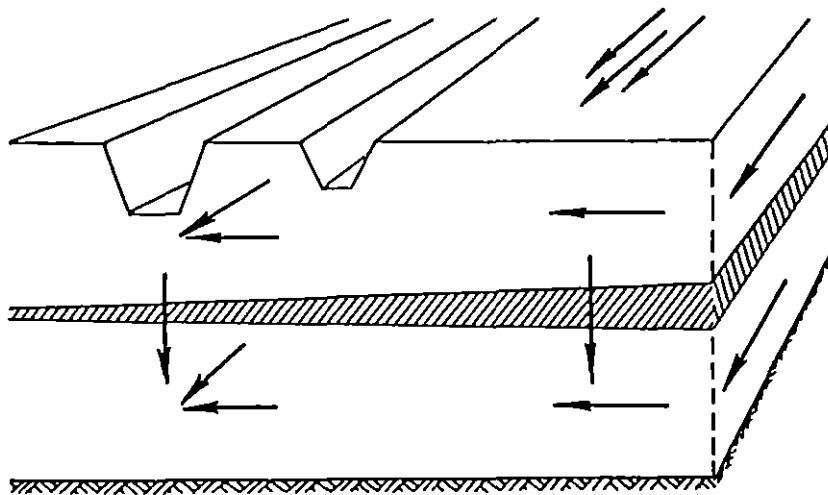


Fig. 6. Stroomrichtingen in een quasi drie-dimensionaal model  
(Bron: POST en VAN BAKEL, 1986)

### 3.2.3. Onverzadigde zone

Voor de berekening van het vochttransport in de onverzadigde zone worden in SIMGRO twee reservoirs beschouwd, één voor de wortelzone en één voor de ondergrond (profiel tussen wortelzone en freatisch vlak).

In het model wordt aangenomen dat vocht kan worden geborgen in de wortelzone tot een bepaald evenwicht is bereikt. De grootte van de vochtvoorraad behorende bij het evenwichtsprofiel wordt bepaald door de dikte van de wortelzone, de vochtkarakteristiek van het bodemmateriaal en de grondwaterstand. Wordt de evenwichtsvochtvoorraad overschreden, dan zal het overtollige water naar de ondergrond percoleren. Als de vochtvoorraad lager is dan de evenwichtsvochtvoorraad, kan er een capillaire flux vanuit de verzadigde zone optreden.

In het algemeen zal vochttransport naar de wortelzone plaatsvinden in de vorm van neerslag, beregening, infiltratie en capillaire flux en vochttransport uit deze zone in de vorm van evapotranspiratie en percolatie.

In de ondergrond wordt uit de waterbalans de hoogte van het freatisch vlak berekend middels een freatische bergingscoëfficiënt, waarvan de grootte afhankelijk is van de grondwaterstand.

Het vochttransport wordt zodoende op een pseudo-stationaire wijze benaderd, wat een opeenvolging van stationaire situaties inhoudt.

In deze benadering wordt per subgebied en per grondgebruiksvorm een specifieke onverzadigde zone beschouwd, die wordt gekenmerkt door de dikte van de wortelzone en de vochtkarakteristiek van het voorkomende bodemmateriaal.

### 3.2.4. Oppervlaktewater

Het oppervlaktewatersysteem wordt per subregio beschouwd als een reservoir met een stuw aan de uitstroomzijde. Voor elk reservoir wordt rekening gehouden met wateraan- of afvoer, drainage of infiltratie, oppervlakkige afstroming en onttrekking voor beregening. Er moet een stuwpell voor de winterperiode en een streefpell voor de zomerperiode worden opgegeven.

Afhankelijk van de grondwaterstand wordt in de zomer het peil opgezet vanuit de winterstand naar de zomerstand. Bij een afvoersituatie zal de waterstand afhankelijk van de afvoerrelatie (stuwkromme) boven het stuwpeil uitkomen. In een droge periode met infiltratie en onttrekking voor beregening, kan het water onder het stuwpeil zakken als de aanvoer niet voldoende is om het streefpeil te handhaven. In dat geval speelt de bergingscapaciteit van het systeem een rol bij de berekening van de waterstand.

Het oppervlaktewater is in model gebracht, door drie systemen te onderscheiden.

1. Secundair systeem; afwateringsstelsel, dit zijn waterlopen, die een belangrijke af- en aanvoer functie hebben en waarvan het peil over het algemeen beheersbaar is. De meeste van deze secundaire waterlopen zijn dan ook in beheer bij het waterschap.
2. Tertiair systeem; ontwateringsstelsel, dit zijn de sloten tussen de percelen, die voor de directe af- en aanvoer van water zorgen. Deze sloten zijn gemiddeld 0,70 m diep.
3. Greppel systeem; een in het model ingevoerd systeem met een drainagebasis op 0,20 m-mv. voor het gehele gebied.

Deze drie systemen worden in het model geschematiseerd middels drainageweerstand, die elk een deel vormen van de afvoerrelatie ( $q$ - $h$  relatie). De drainageweerstand vormen als het ware richtingscoëfficiënten van de raaklijnen aan de kromme, die eigenlijk de  $q$ - $h$  relatie vormt (zie Fig. 7).

Het secundaire systeem kan op een andere wijze dan in de vorm van drainageweerstand in het model worden ingevoerd. Per knooppunt kunnen de dimensies, de radiale en de intree-weerstand en het waterpeil van de betreffende waterlopen worden gegeven. Het model berekent uit deze gegevens zelf een drainageweerstand. In dit geval wordt het secundaire systeem aangeduid als 'kanaalsysteem'.

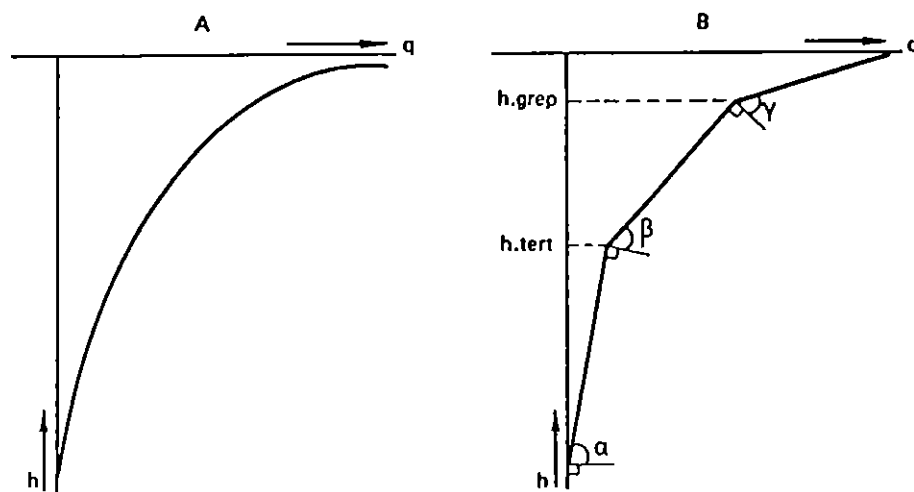


Fig. 7A. Geeft de vorm van de  $q$ - $h$  relatie weer, zoals die eigenlijk voorkomt

7B. Geeft weer hoe de drie verschillende systemen in het model geschematiseerd zijn

$\alpha$  = een maat voor de drainageweerstand van het secundaire systeem

$\beta$  = een maat voor de drainageweerstand van het tertiaire systeem

$\gamma$  = een maat voor de drainageweerstand van het greppel systeem

(Bron: POST en VAN BAKEL, 1986)

## 4 . INVOERGEGEVENS

De gegevens die in het model dienen te worden ingevoerd, zijn globaal samen te vatten in de volgende vijf hoofdgroepen:

- 1) Geohydrologische parameters
- 2) Contactpunten en startwaarden
- 3) Invoergegevens voor de stationaire versie FEMSATS
- 4) Invoergegevens voor de niet-stationaire versie SIMGRO
- 5) Randvoorwaarden.

De geohydrologische parameters en contactpunten zijn gelijk voor FEMSATS en SIMGRO. De eerste worden in 4.1 besproken en de tweede in 4.2, waarin tevens de startwaarden worden behandeld. De versie-afhankelijke gegevens en de randvoorwaarden zijn beschreven in 4.3 (FEMSATS), 4.4 (SIMGRO) en 4.5 (randvoorwaarden).

### 4.1. GEOHYDROLOGISCHE PARAMETERS

In SIMGRO worden geohydrologische parameters per knooppunt of per subregio ingevoerd. Daartoe wordt het modelgebied onderverdeeld in subregio's en wordt een knooppuntennetwerk over het gebied gelegd.

Een aantal (één of meer) knooppunten vormt een subregio. De knooppunten zijn de hoekpunten van drie- of vierhoekige elementen, die niet uniform van vorm of grootte behoeven te zijn.

Per knooppunt zijn de volgende waarden ingevoerd:

- knooppuntnummer en -coördinaat (vormen samen met de gegevens, die per element worden ingevoerd het modelnetwerk)
- maaiveldshoogte ten opzichte van N.A.P.
- drainageweerstand en bodemhoogte (t.o.v. N.A.P.) van het secundaire stelsel
- drainageweerstand en bodemhoogte (t.o.v. N.A.P.) van het tertiaire stelsel
- greppelweerstand
- (enkel voor de relevante knooppunten) kanaalsysteem
- aantal lagen en kode per laag.

Per subregio zijn de volgende waarden ingevoerd:

- nummers van de knooppunten, die binnen de subregio liggen
- dikte per laag
- kD-waarden voor watervoerende lagen
- c-waarden voor weerstandbiedende lagen
- specifieke bergingscoëfficiënt per laag.

Tenslotte zijn per element de knooppunten, die het element vormen ingevoerd.

#### 4.1.1. Modelnetwerk

Het modelgebied is onderverdeeld in 59 interne subregio's en 4 rand-subregio's. De indeling in interne subregio's is tot stand gekomen door uit te gaan van hydrologisch uniforme eenheden. Elke subregio wordt hierbij gekenmerkt door:

- 1) het behoren tot een bepaalde afwateringseenheid
- 2) het voorkomen van een bepaalde grondwatertrap
- 3) het wel of niet voorkomen van de Eemklei in de ondergrond.

Tevens is bij deze indeling gelet op uniformiteit ten aanzien van bodemtype.

De op deze wijze ontstane subregio's variëren in grootte van circa 5 ha tot circa 500 ha (zie Fig. 8). Rond en in de Tondense heide is voor relatief kleine subregio's gekozen, teneinde een gedetailleerd beeld van het natuurerrein en het omliggende gebied te verkrijgen. De Tondense heide is verdeeld in vier subregio's, die min of meer uniform zijn ten aanzien van grondwatertrap en bodemtype (zie HENDRIKS, 1986 en Fig. 11).

Over het modelgebied is een netwerk gelegd, dat 402 knooppunten bevat, waarvan 52 randknooppunten. De afstand tussen de knooppunten varieert van circa 100 m rond en in de Tondense heide, tot circa 500 m langs de randen van het gebied. Elk subgebied bevat twee of meer knooppunten, die zo gelijkmatig mogelijk zijn verdeeld rondom de grenzen van het modelgebied en de subregio's.

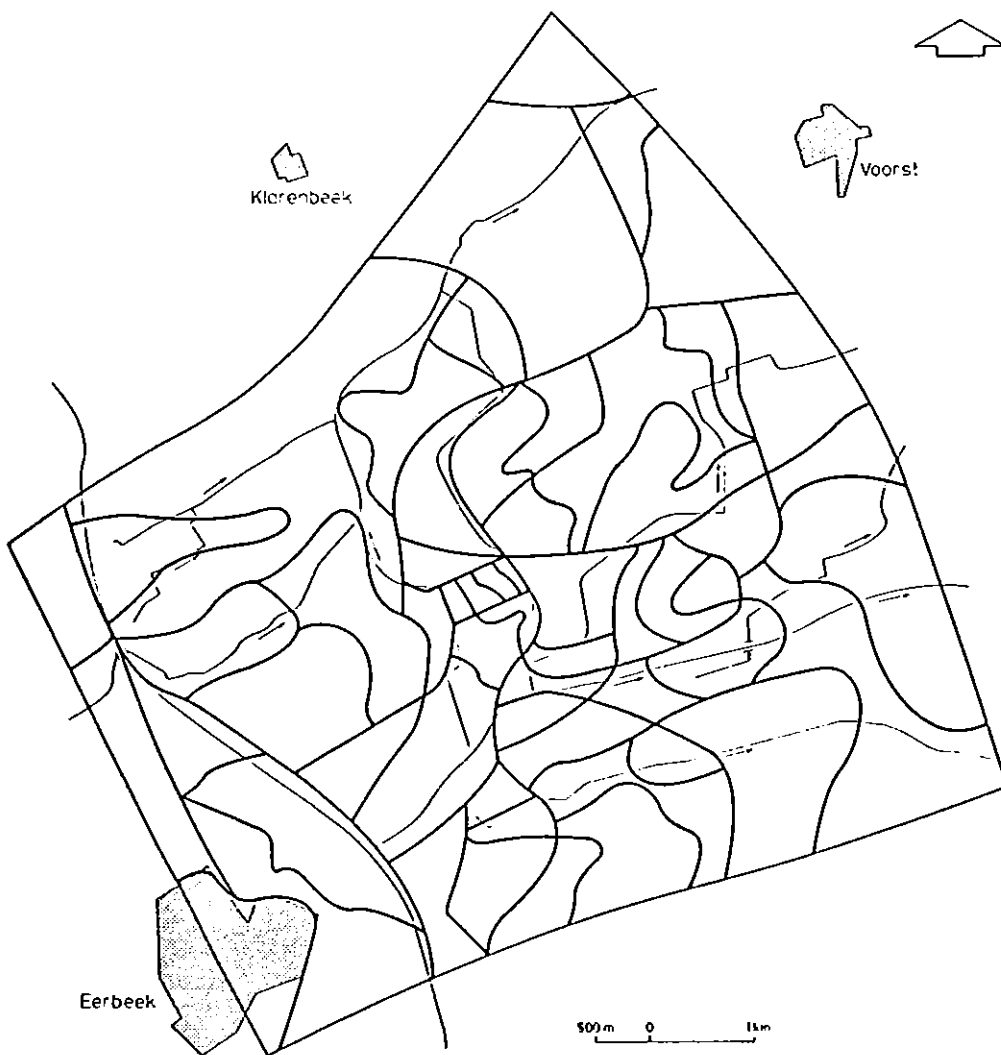


Fig. 8. Subgebiedsindeling van het modelgebied

#### 4.1.2. Maaiveldshoogte

De ingevoerde maaiveldshoogte per knooppunt is ontleend aan de hoogtepunttenkaart, schaal 1:10.000 van de Topografische Dienst (1973). De hoogte per knooppunt is zo gekozen, dat deze representatief is voor het invloedsoppervlak van het knooppunt. Het is belangrijk dat de maaiveldshoogte per knooppunt goed wordt ingevoerd, omdat in het model het oppervlaktewaterpeil per knooppunt aan het maaiveld is gerelateerd.



#### 4.1.3. Drainageweerstand secundair stelsel

Binnen deze studie is gebruik gemaakt van de mogelijkheid het secundaire stelsel in te voeren in de vorm van een kanaalsysteem. De reden hiervoor was, dat er slechts enkele grote waterlopen in het gebied voorkomen. De dimensies en weerstanden hiervan waren wel bekend (zie 4.1.6), terwijl een secundaire drainageweerstand per knooppunt niet bekend was. Teneinde een dubbele berekening van de afvoer door het secundaire stelsel te voorkomen, is voor de secundaire drainageweerstand per knooppunt een zeer hoge waarde ingevoerd (9999 dagen).

#### 4.1.4. Drainageweerstand en bodemhoogte tertiair stelsel

Voor het bepalen van de tertiaire drainageweerstand waren onvoldoende gegevens bekend over de dichtheid van het slotenstelsel en de verhouding grondwaterstand, oppervlaktewaterpeil en afvoer. Er is daarom in eerste instantie gebruik gemaakt van de tertiaire drainageweerstanden, die door IWACO (1986) zijn gegeven. Deze drainageweerstanden zijn afgeleid uit, aan de grondwatertrappen gerelateerde tertiaire afvoerrelaties ( $q$ - $h$  relaties) (zie Tabel 1).

Tijdens de calibratie zijn deze uitgangswaarden voor de tertiaire drainageweerstand bijgesteld.

Tabel 1. Relaties tussen voorkomende grondwatertrappen en tertiaire drainageweerstanden, volgens IWACO (1986)

| Grondsoort | Grondwatertrap | Tertiaire drainage-<br>weerstand in dagen |
|------------|----------------|-------------------------------------------|
| Zandgrond  | III            | 78                                        |
|            | V              | 608                                       |
|            | VI             | 329                                       |
|            | VII            | 476                                       |
| Kleigrond  | III            | 91                                        |
|            | VI             | 341                                       |

De bodemhoogte van het tertiaire stelsel geeft in het model aan, wanneer de tertiaire drainageweerstand in de q-h relatie in werking treedt, namelijk als het oppervlaktewaterpeil boven deze hoogte ligt (zie 3.2). Van de meeste waterlopen was de bodemhoogte bekend uit gegevens van IWACO en het waterschap Oost-Veluwe. Waar de bodemhoogte van de detailontwateringsmidelen niet bekend was, is een waarde van 0,50 m - maaiveld voor het gehele modelgebied aangehouden. Een uitzondering hierop vormt het relatief steile westelijk deel van het gebied (helling ca. 1:500); hier is een tertiaire bodemhoogte van 0,70 m - maaiveld aangenomen.

#### 4.1.5. Greppelweerstand

Het greppelsysteem heeft een drainagebasis voor het hele modelgebied van 0,20 m - maaiveld. De drainageweerstand hiervan is gesteld op 50 dagen.

#### 4.1.6. Kanaalsysteem

Bij 38 knooppunten bevindt zich binnen het invloedsoppervlak een grote waterloop. Voor deze knooppunten zijn de volgende gegevens betreffende deze waterloop ingevoerd:

- totale lengte binnen het invloedsoppervlak van het knooppunt
- radiale weerstand: Apeldoorns kanaal 2,0 d/m, overig 0,2 - 2,0 d/m
- intree weerstand: Apeldoorns kanaal 25,0 d, overig 2,0 - 20,0 d
- bodembreedte
- bodemhoogte
- waterpeil.

De betreffende gegevens zijn verkregen van IWACO en het waterschap Oost-Veluwe.

#### 4.1.7. Aantal lagen en kode per laag

Het aantal lagen is voor het gehele modelgebied gesteld op drie (zie 2.2). Daar waar de Eemklei ontbreekt, is een twee lagen situatie gesimuleerd door een zeer lage weerstand (11 dagen) en dikte (0,5 m) voor de c-laag in te voeren.

Het model onderscheidt twee soorten knooppunten:

kode 0 - knooppunten binnen de grenzen van het modelgebied, waarvan de stijghoogten per laag en het bijhorende openwaterpeil van de eerste laag worden bepaald;

kode 1 - knooppunten op de grens van het modelgebied. Bij de stationaire berekeningen kan voor deze knooppunten per laag een constante flux of een constante stijghoogte worden ingevoerd.

In het eerste geval berekent het model voor deze knooppunten per laag stijghoogten en in het tweede geval fluxen.

Bij de niet-stationaire berekeningen dienen voor deze knooppunten per laag fluxen te worden ingevoerd, die eventueel kunnen veranderen in de tijd. Het model berekent voor deze knooppunten per laag stijghoogten als functie van de tijd.

#### 4.1.8. Dikte per laag

Voor de dikten van de lagen in het modelgebied zijn de waarden aangehouden, zoals die zijn gegeven door AELMANS (1983). De waarden voor de Tondense heide zijn betrokken uit de gegevens van twee diepboringen in dit natuurtrein uitgevoerd door het ICW (HENDRIKS, 1986).

#### 4.1.9. c- en kD-waarden

De c- en kD-waarden voor de verschillende lagen in het modelgebied zijn in eerste instantie afgeleid uit het IJsselvallei onderzoek van IWACO (1984), aangezien deze studie de meest gedetailleerde informatie gaf over deze parameters. Na vergelijking met de sporadische gegevens van AELMANS (1983) en de waarden verkregen uit een pompproef, uitgevoerd door het ICW in de Tondense heide, leken de IWACO-waarden echter onwaarschijnlijk hoog, vaak tot ruim twee keer de waarden zoals gegeven door AELMANS. Naar aanleiding hiervan is besloten de c- en kD-waarden te bepalen door middel van calibratie van het model (zie 5.1).

Als startwaarden voor deze parameters zijn gemiddelden van de IWACO- en de AELMANS-waarden genomen. Deze startwaarden bedroegen:

- kD-waarde 1e watervoerende pakket: 150 tot 500 m<sup>2</sup>/dag;
- kD-waarde 2de watervoerende pakket: 1000 tot 3000 m<sup>2</sup>/dag;
- c-waarde Eemkleilaag: 100 tot 300 dagen.

De c- en kD-waarden voor de Tondense heide zijn betrokken uit de eerder genoemde pompproef. Ze bedragen:

- kD-waarde 1e watervoerende pakket: 120 m<sup>2</sup>/dag;
- kD-waarde 2de watervoerende pakket: 900 m<sup>2</sup>/dag;
- c-waarde Eemkleilaag: 70 dagen.

#### 4.1.10. Bergingscoëfficiënten

Omdat geen bergingscoëfficiënten van de in het modelgebied aanwezige pakketten bekend zijn, zijn hiervoor waarschijnlijke waarden ingevoerd. Bij SIMGRO wordt de freatische bergingscoëfficiënt ingevoerd onder de bodemfysische eigenschappen van de grond. Voor de elastische bergingscoëfficiënt van het tweede watervoerende pakket is, naar analogie van een studie in een vergelijkbaar gebied in Drenthe (POST en VAN BAKEL, 1986), een waarde van 0,001 aangehouden.

#### 4.2. CONTACTPUNTEN EN STARTWAARDEN

Het model berekent zelf de invloedsoppervlakte per knooppunt en fluxen van of naar een knooppunt. Hiervoor moet bekend zijn welke knooppunten aan een knooppunt grenzen, de zogenaamde contactpunten. De positie van een knooppunt is vastgelegd middels een coördinaat en de plaats van een knooppunt in een element (een knooppunt komt in meerdere elementen voor). Met het hulpprogramma FEMSIN wordt een file met contactpunten aangemaakt.

Het model vraagt bij de invoer om een beginpotentialaal per laag als startwaarde. Bij de stationaire berekeningen is in eerste instantie gebruik gemaakt van de mogelijkheid de startwaarden in te voeren als een, voor het gehele gebied gelijke grondwaterdiepte ten opzichte van maaiveld. Het model berekent hieruit zelf startpotentialen. Tijdens de calibratie van het model zijn steeds de tijdens de voorgaande berekening verkregen stijghoogten als startwaarden ingevoerd.

Bij de niet-stationaire berekeningen zijn als startwaarden de met behulp van FEMSATS, ten behoeve van de calibratie berekende stijghoogten voor 14-april-1986 genomen (zie 5.1).

#### 4.3. INVOER VOOR FEMSATS

Een aantal invoergegevens zijn specifiek voor de stationaire versie van het model en komen bij de niet-stationaire versie niet of in een andere vorm voor. Het betreft hier:

- netto neerslagoverschot;
- stationaire grondwateronttrekkingen.

Het netto neerslagoverschot is verkregen door het neerslagoverschot (gemiddelde van de maanden januari t/m half april) te verminderen met de potentiële evapotranspiratie. Dit is per subregio berekend en bedroeg, afhankelijk van het grondgebruik, voor 28-maart-1979 1,1 mm (stedelijk gebied) tot 2,0 mm (heidegebied Tondense heide) en voor 14-april-1986 1,0 mm tot 1,9 mm (zelfde gebieden). Voor de twee genoemde datums zijn stationaire berekeningen uitgevoerd (zie 5.1).

In de zuidwest hoek van het modelgebied bevindt zich een aantal grondwateronttrekkingen ten behoeve van de drinkwaterwinning en de industrie. In deze hoek ontbreekt de weerstandbiedende Eemkleilaag; het 1e watervoerende pakket en het 2de watervoerende pakket vormen hier één watervoerend pakket. De verschillende onttrekkingen zijn geconcentreerd gedacht in knooppunt 218 (zie Fig. 1). Aan de hand van gegevens van de Provincie Gelderland is een onttrekking ingevoerd van 16900 m<sup>3</sup>/d voor 28-maart-1979 en van 18100 m<sup>3</sup>/dag voor 14-april-1986.

#### 4.4. INVOER VOOR SIMGRO

Bij het rekenen met de niet-stationaire versie van het model, zijn een aantal specifieke invoergegevens nodig:

- tijdstap, begin- en eindtijd
- wegingsparameter teta
- bodemfysische eigenschappen en grondgebruik
- berekening
- oppervlaktewaterpeil - afvoerrelatie en oppervlaktewaterpeil - bergingsrelatie
- het verloop in de tijd van de neerslag en de potentiële verdamping
- het verloop in de tijd van grondwateronttrekkingen.

#### 4.4.1. Tijdstap, begin- en eindtijd

SIMGRO berekent stijghoogten en fluxen per tijdstap, waardoor het verloop van stijghoogten en fluxen over een bepaalde periode zichtbaar kan worden gemaakt. De tijdstap kan zonder restricties worden bepaald.

Wel brengt een kleinere tijdstap een langere rekentijd met zich mee.

Er is een tijdstap van 3 dagen aangehouden voor de grondwaterberekeningen en een tijdstap van 0,1 dag voor de oppervlaktewaterberekeningen. De tijdstap voor de oppervlaktewaterberekeningen is klein vanwege de geringe berging van het oppervlaktewatersysteem.

Er is besloten over een periode van twee jaar te rekenen. Hiervoor zijn de jaren 1985 en 1986 gekozen, voornamelijk op grond van praktische overwegingen: eind 1985 en gedurende het gehele jaar 1986 zijn door het ICW uitgebreide grondwaterstandsmetingen verricht in de Tondense heide (VAN DEN TOORN en PANKOW, 1987). De zomer van 1985 was vrij nat en die van 1986 was droog. Deze situatie is interessant in verband met het simuleren van waterconservering en -aanvoer ten behoeve van de Tondense heide. De periode waarover is gerekend, loopt van 1-april-1984 tot 31-december-1986. Het jaar 1984 is in deze periode ingelast om het model zich te kunnen laten instellen, zodat de verschillende parameters een juiste waarde kunnen krijgen.

#### 4.4.2. Wegingsparameter teta

Bij de impliciete rekenwijze volgens de Crank-Nicholson benadering, moet de wegingsparameter teta worden ingevoerd. Deze is in dit onderzoek gesteld op

0,55 (standaard waarde), waardoor de 'tussentijd' die wordt gebruikt bij deze berekeningswijze net buiten het midden van de tijdstap valt (zie ook 3.2 en QUERNER, 1984).

#### 4.4.3. Bodemfysische eigenschappen en grondgebruik

SIMGRO bevat naast een verzadigde grondwatermodel ook een eenvoudig onverzadigd model, waarmee fluxen van of naar de onverzadigde zone worden bepaald. Om deze fluxen te kunnen bepalen, is per bodemsoort een relatie nodig tussen:

- grondwaterstand en vochtinhoud
- grondwaterstand en capillair geleidingsvermogen
- grondwaterstand en berging in de onverzadigde zone.

Ook moet de bewortelingsdiepte per gewas en per bodemsoort bekend zijn.

Bovengenoemde relaties zijn voor het modelgebied gedeeltelijk berekend met behulp van het programma CAPSEV (WESSELING e.a., 1984) uit IWACO-gegevens (IWACO, 1986). Gedeeltelijk zijn ze overgenomen uit het ICW-onderzoek in de Peel (SMIDT, 1983), waarin bodems voorkomen die vergelijkbaar zijn met de bodems van het modelgebied. Voor de Tondense heide zijn de drie relaties berekend uit gegevens van HENDRIKS (1986), met behulp van het programma CAPSEV.

Het model onderscheidt per subregio verschillende soorten van grondgebruik (technologiën), die als percentage van de oppervlakte per subregio moeten worden ingevoerd. In deze studie worden vijf технологиën onderscheiden:

- 1) grasland, onberegend
- 2) grasland, beregend
- 3) bos
- 4) heide
- 5) stedelijk gebied.

Bouwland is niet als een aparte vorm van grondgebruik ingevoerd omdat dit slechts een klein deel van het gebied beslaat (ca. 5% van het areaal cultuurgrond) en omdat niet precies bekend was waar deze grondgebruiksvorm voorkomt.

#### 4.4.4. Berekening

Berekening is in het model ingevoerd middels een rotatieschema. Per grondgebruiksvorm wordt een gift van 25 mm gemiddeld over de lengte van het rotatieschema. Er wordt berekend zolang een, aan het produktieniveau gerelateerde drempel, in de vorm van de relatieve vochtvoorraad in de wortelzone, niet is overschreden. Een hoger produktieniveau betekent een hogere drempel en dus frequenter berekenen.

Deze studie kent slechts een grondgebruiksvorm waarvoor wordt berekend: berekend grasland. De berekeningsdrempel (relatieve vochtvoorraad) behorende bij deze grondgebruiksvorm is gesteld op 0,8 en de lengte van het rotatieschema op 7 dagen. De intensiteit van de berekening in een bepaald subgebied is gegeven door het percentage aan berekend grasland binnen dat subgebied.

De enige gegevens over berekening in het modelgebied, die bekend waren, zijn afkomstig uit de Landbouwtellingen betreffende het jaar 1985 van het Centraal Bureau voor de Statistiek. Het betrof hier slechts gegevens over het oppervlak berekend grasland en de herkomst van het gebruikte water; over de intensiteit van de berekeningen was niets bekend. Gemiddeld is in 1985 circa 25% van de cultuurgrond in het modelgebied berekend. Het benodigde water werd nagenoeg volledig uit het 1e watervoerende pakket betrokken.

De verwachting (gebaseerd op incidentele waarnemingen) was dat er in de droge zomer van 1986 intensief is berekend in het gebied rond de Tondense heide en dat dit gevolgen kan hebben gehad voor de grondwaterstand in het natuurterrein. Omdat hierover geen informatie beschikbaar was, is besloten de reële intensiteit van de berekening te schatten tijdens de verificatie van het model (zie 5.2) en in een 'berekenings-scenario' te trachten een relatie te vinden tussen de berekeningsintensiteit rond de Tondense heide en de grondwaterstand in dit terrein (zie 6.2).



#### 4.4.5. Relatie van het oppervlaktewaterpeil met berging en afvoer

Aangezien het oppervlaktewaterpeilbeheer een belangrijke plaats inneemt in dit onderzoek, is het van belang dat de relaties, die met dit peilbeheer samenhangen nauwkeurig worden ingevoerd. In SIMGRO moet per subregio een relatie worden ingevoerd tussen:

- het oppervlaktewaterpeil (m - m.v.) en de berging in het oppervlaktewatersysteem bij dat peil ( $m^3/ha$ )
- het oppervlaktewaterpeil (m - m.v.) en de afvoercapaciteit bij dat peil ( $m^3/s/ha$ ).

Tevens moet in deze relaties het zomer- en winterpeil worden aangegeven.

Omdat er over deze relaties geen enkele informatie beschikbaar was, zijn ze ruwweg berekend aan de hand van de summiere gegevens over het waterlopenstelsel in het gebied en geverifieerd aan de hand van bedoelde relaties voor vergelijkbare situaties, gebruikt in het Peel-onderzoek (QUERNER en VAN BAKEL, 1984).

Zomer- en winterpeilen zijn verkregen van IWACO. Voor sloten die 's zomers droogvallen, zijn de peilen gelijk gesteld aan de bodemhoogte.

#### 4.4.6. Neerslag en verdamping

Neerslag en verdamping kunnen in SIMGRO per tijdseenheid worden ingevoerd. Deze tijdseenheid hoeft niet gelijk te zijn aan de gebruikte tijdstap. Neerslag en potentiële verdamping zijn binnen dit onderzoek per dag ingevoerd.

De neerslagwaarnemingen zijn afkomstig van het KNMI neerslagstation te Eerbeek. De potentiële verdamping is berekend met behulp van het hulpprogramma FEMSIN uit gegevens van het KNMI hoofdstation te De Bilt over de gemiddelde relatieve vochtigheid, de gemiddelde temperatuur en de globale instraling.

#### 4.4.7. Grondwateronttrekkingen

Bij het rekenen met SIMGRO kunnen grondwateronttrekkingen of veranderingen daarin per tijdseenheid worden ingevoerd.

De grondwateronttrekkingen in het zuidwesten van het modelgebied, geconcentreerd gedacht in knooppunt 218, zijn ingevoerd per kwartaal aan de hand van gegevens van de Provincie Gelderland. De gemiddelde grondwateronttrekking bedroeg in 1985 16250 m<sup>3</sup>/dag en in 1986 17750 m<sup>3</sup>/dag.

#### 4.5. RANDVOORWAARDEN

Het modelgebied kent twee soorten randen:

- 1) randen evenwijdig aan de regionale isohypsen, waarover grondwater in of uit het gebied kan stromen;
- 2) randen langs stroomlijnen, die worden verondersteld ondoorlatend te zijn (er vindt geen waterstroming plaats over deze randen).

De west- en oostrand van het gebied zijn van de eerste soort; over de westrand stroomt grondwater vanuit het hoger gelegen Veluwemassief naar het gebied en over de oostrand stroomt grondwater vanuit het gebied naar de, oostelijk van het gebied gelegen IJssel. Tijdens de stationaire berekeningen zijn aan deze randen constante stijghoogten opgelegd, die gelijk zijn voor het 1e watervoerende pakket en het 2de watervoerende pakket vanwege het ontbreken van de Eemkleilaag langs deze randen (zie Fig. 3). De opgelegde stijghoogten zijn afgeleid uit een isohypsenpatroon van het grondwater voor 28-maart-1979 van IWACO (1986) (zie Fig. 10a). Voor de niet-stationaire berekeningen zijn aan deze randen regionale fluxen als functie van de tijd opgelegd die zijn verkregen uit stationaire berekeningen voor verschillende tijdstippen (zie ook 5.2).

De noord- en zuidrand van het gebied zijn van de tweede soort; over deze randen stroomt geen grondwater het gebied in of uit. Aan deze randen zijn geen stijghoogten of fluxen opgelegd. Een uitzondering hierop vormt het meest westelijk deel van de zuidrand (knooppunten 374 t/m 377).

Als gevolg van de concentratie van grondwateronttrekkingen even ten noorden van dit randdeel, stroomt grondwater over dit deel van de rand naar het gebied. Dit randdeel is verder op eenzelfde wijze benaderd als de westrand.

De ligging van de randen is gebaseerd op het bovengenoemde isohypsenpatroon voor 28-maart-1979 van IWACO.

## 5. CALIBRATIE EN VERIFICATIE MET FEMSATS EN SIMGRO

Een numeriek model waarin alle specifieke gegevens zijn ingevoerd, kan rekenen en resultaten geven. In hoeverre deze resultaten overeenstemmen met de werkelijkheid hangt voor een groot deel af van de juistheid van de voor de diverse parameters ingevoerde waarden. Door middel van calibratie kan het model op de werkelijkheid worden afgestemd. Dit gebeurt door relevante parameters zodanig bij te stellen, dat een vergelijking tussen berekende en gemeten waarden bevredigende resultaten geeft.

Na calibratie volgt meestal verificatie van het model, waarbij een andere periode wordt doorgerekend en, afhankelijk van de resultaten, eventueel opnieuw bijstelling van een aantal parameters plaatsvindt.

Er is besloten om het model te calibreren in de stationaire voorjaars situatie met behulp van de stationaire modelversie FEMSATS (5.1). Dit is de meest eenvoudige versie en bovendien kan het eenvoudigst en meest doeltreffend worden gec calibreerd in een stationaire situatie. De verificatie van het model is uitgevoerd voor een periode van twee jaar (1985-1986) met behulp van de niet-stationaire versie SIMGRO (5.2).

### 5.1. CALIBRATIE MET FEMSATS

Zoals in hoofdstuk 4 vermeld, waren de belangrijkste parameters waarover onzekerheid bestond betreffende de juistheid van de ingevoerde waarden en die konden worden bijgesteld in de stationaire versie, de tertiaire drainageweerstand en de c- en kD-waarden. Voor elk van deze parameters is een uiteindelijke waarde verkregen in een calibratie-proces van enkele stappen.

#### 5.1.1. Proces van calibratie

In elke calibratie-stap zijn de door het model berekende stijghoogten van relevante knooppunten vergeleken met de stijghoogten, gemeten in peilbuizen

van de Dienst Grondwater Verkenning van TNO. In het modelgebied waren 10 bruikbare peilbuizen aanwezig, waarvan 8 in het zuidelijk gebiedsdeel (zie Fig. 10). Van een dicht en regelmatig verdeeld meetpuntennet was dus geen sprake. Om die reden is besloten bij de vergelijking tussen berekende en gemeten waarden tevens gebruik te maken van een isohypsenpatroon van het grondwater voor 28-maart-1979 samengesteld door IWACO op grond van de metingen in een dertigtal peilbuizen, waarvan eveneens 10 in het modelgebied en de rest daar omheen (IWACO, 1986). Het beschikbaar zijn van dit isohypsenpatroon was de reden om de calibratie uit te voeren voor 28-maart-1979.

De in het modelgebied aanwezige peilbuizen reikten alle, op drie na (nr's 10, 100 en 101), slechts tot in het 1e watervoerende pakket. De drie die tot in het 2de watervoerende pakket reikten, stonden op een locatie waar de Eemkleilaag niet aanwezig is. De metingen in de peilbuizen geven dus enkel informatie over de stijghoogten in het 1e watervoerende pakket.

Tijdens de calibratie is gebruik gemaakt van de volgende fouten-functie (OLSTHOORN, 1982):

$$F = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_{g_i} - H_{b_i})^2}$$

waarin:

F = gemiddelde absolute afwijking tussen berekende en gemeten stijghoogten (m)

H<sub>g</sub> = gemeten stijghoogte (m)

H<sub>b</sub> = berekende stijghoogte (m)

n = aantal vergelijkingspunten.

De afwijking is berekend voor verschillende waarden van een parameter, waarna afwijkingen en parameterwaarden grafisch tegen elkaar zijn uitgezet. Door bij de minimale afwijking in de zo verkregen kromme de bijbehorende parameterwaarde te zoeken, kan de betreffende parameter worden geoptimaliseerd. Tevens is het verloop van de kromme een indicatie voor de gevoeligheid van het model voor veranderingen in de betreffende parameter. Hoe vlakker de kromme loopt, hoe kleiner de gevoeligheid van het model is ten aanzien van de beschouwde parameter.

Het calibratie-proces verliep in een vijftal stappen:

- 1) optimalisatie van de kD-waarden van het 1e watervoerende pakket (kD1)
- 2) optimalisatie van de kD-waarden van het 2de watervoerende pakket (kD2)
- 3) heroptimalisatie van de kD1-waarden
- 4) optimalisatie van de c-waarden van de Eemkleilaag
- 5) optimalisatie van de tertiaire drainageweerstanden.

Tijdens elke optimalisatie-stap zijn de in de voorgaande stap verkregen optimale parameterwaarden ingevoerd.

Bij het uitvoeren van de optimalisatie/gevoeligheidsanalyse is uitgegaan van de startwaarden, beschreven in 4.1.4 en 4.1.9. Deze waarden zijn steeds veranderd door vermenigvuldiging met een factor die constant was voor het gehele gebied. Uitzonderingen hierop vormen de c- en kD-waarden voor de Tondense heide; er is van uitgegaan dat de voor dit terrein ingevoerde waarden juist waren aangezien ze zijn verkregen uit een ter plekke uitgevoerde pompproef (zie ook 4.1.9). Ter bepaling van de waarden voor de aanliggende subgebieden zijn steeds waarschijnlijk lijkende gradiënten aangenomen.

De gevoeligheidsanalyse voor de tertiaire drainageweerstand is eveneens uitgevoerd door vermenigvuldiging met een voor het gehele gebied constante factor. Deze parameter is echter eerst geoptimaliseerd, waarna een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd met als uitgangswaarden de geoptimaliseerde waarden. Bij de optimalisatie is deze parameter in eerste instantie per grondwatertrap en later per subgebied bijgesteld.

Na optimalisatie van de parameters met behulp van de foutenfunctie, is een verdere optimalisatie toegepast door vergelijking van isohypsenpatronen op basis van berekende en op basis van gemeten stijghoogten. Deze methode is vooral van groot belang geweest voor de optimalisatie van de tertiaire drainageweerstand, omdat deze parameter op lokaal niveau is bijgesteld.

De bovenbeschreven calibratie is geverifieerd voor de stationaire situatie van 14-april-1986. Van deze datum waren grondwaterstandsmetingen in de Tondense heide bekend (VAN DEN TOORN en PANKOW, 1987).

### 5.1.2. Resultaten

De eerste keer rekenen met het model gaf een gemiddelde absolute afwijking (F-waarde) van 0,46 m. Het bleek dat de afwijkingen voor de drie peilbuizen nabij de grondwateronttrekking (nr's 10, 100 en 101) het hoogst waren. Omdat de grondwateronttrekking net in een hoek van het model is gelegen, is modellering ervan moeilijk: de randvoorwaarden zijn hier van groot belang, maar de stijghoogten op de randen van de hoek zijn niet precies bekend, ze zijn gebaseerd op een isohypsenpatroon waarvan het verloop rond de onttrekking nogal willekeurig is (het is gebaseerd op slechts vier relevante meetpunten). Om deze reden is besloten een tweede gemiddelde absolute afwijking  $F'$  te berekenen, waarin de genoemde drie peilbuizen niet zijn meegenomen. De eerste waarde van  $F'$  bedroeg 0,40 m.

Na deze eerste berekening zijn de parameters geoptimaliseerd met behulp van de foutenfunctie zoals beschreven in 5.1.1. De resultaten van de gevoeligheidsanalyses en optimalisatieprocedures zijn gegeven in Figuur 9a-d en Tabel 2.

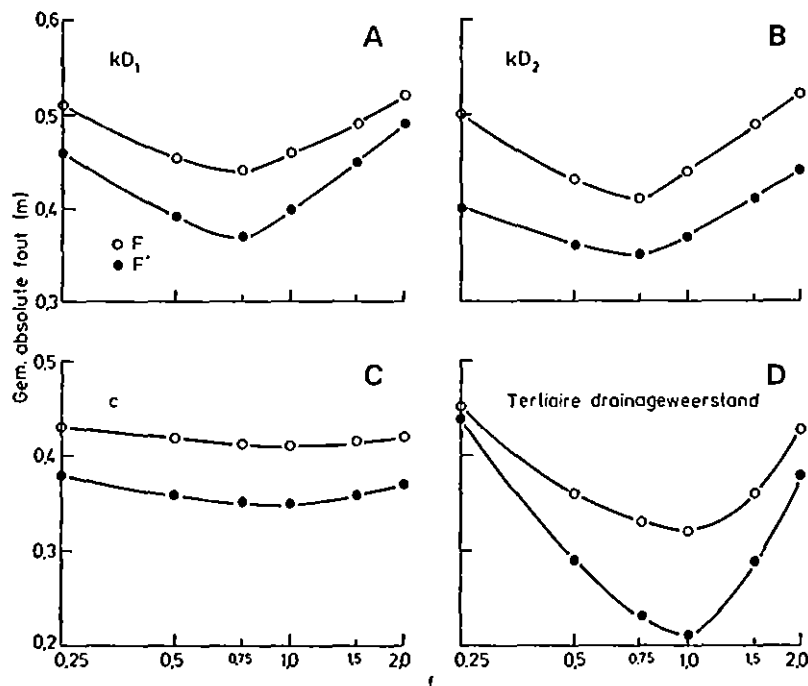


Fig. 9a t/m 9d. Resultaten van de gevoeligheidsanalyses

Tabel 2. Resultaten van de optimalisatie met behulp van de foutenfunctie

| Bijgestelde parameter | Na bijstelling: |         | Algemene aard bijstelling | Indicatieve parameterw.* |                              |
|-----------------------|-----------------|---------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|
|                       | F               | F'      |                           | Start                    | Optimaal                     |
| geen                  | 0,46            | 0,40(m) | n.v.t.                    | n.v.t.                   | n.v.t.                       |
| kD1                   | 0,44            | 0,37(m) | Regionaal, $f=0,75$       | 150- 500                 | 120- 375 (m <sup>2</sup> /d) |
| kD2                   | 0,41            | 0,35(m) | Regionaal, $f=0,75$       | 1200-3000                | 900-2000 (m <sup>2</sup> /d) |
| c                     | 0,41            | 0,35(m) | Regionaal, $f=1,0$        | 100- 300                 | 100- 300 (dgn)               |
| W                     | 0,32            | 0,21(m) | Lokaal, per subregio      | 78- 608                  | 78- 608 (dgn)                |

F = gemiddelde absolute afwijking na bijstelling van de betreffende parameter

F' = als F, maar gebaseerd op 7 meetpunten (zie tekst)

f = factor tussen start- en optimale waarden, constant voor gebied

W = tertiaire drainage weerstand

\*) Bij de c- en kD-waarden zijn niet betrokken de waarden van de Tondense heide, aangezien die niet aan optimalisatie onderhevig waren.

Uit de figuren en de tabel valt het volgende te lezen:

- 1) Hoewel in elke kromme een duidelijk minimum is te zien, lijkt het effect van veranderingen in de parameters erg klein: halveren van de parameter-waarden geeft een verschil in F-waarde van 0,05 - 0,10 m. Dit is vooral een gevolg van het feit dat het een gemiddelde van de absolute afwijkingen betreft; lokaal kan het effect vrij groot zijn. Dit geldt met name voor de tertiaire drainageweerstand, die dan ook op lokaal niveau is bijgesteld.
- 2) De kD-waarden zijn, evenals de c-waarde, gezien als regionale parameters en daarom op gebiedsniveau bijgesteld. Het effect van veranderingen in de kD-waarden is niet zo groot als gevolg van het geringe verhang van het grondwater (gemiddeld 1:1150) (Fig. 9a en b). Uit de wet van Darcy,  $Q = kD \cdot i$ , volgt dat bij gelijkblijvende randflux Q en verdubbeling van kD, de gradiënt i wordt gehalveerd. In absolute termen is het effect hiervan op de grondwaterstand geringer naarmate de gradiënt kleiner is. Bovendien zal bij een toenemende kD de randflux ook toenemen, waardoor de verandering van de gradiënt in feite kleiner is.  
De optimale kD1- en kD2-waarden bedragen circa 75% van de startwaarden. Deze optimale waarden komen sterk overeen met de AELMANS-waarden en zijn 1,5 tot 2 keer zo klein als de IWACO-waarden (zie ook 4.1.9). Heroptimalisatie van de kD1-waarden leverde geen nieuwe optimale waarden op.



- 3) De grootte van de c-waarden heeft zeer weinig effect op de F-waarde (Fig. 9c). Dit is waarschijnlijk het gevolg van het geringe verschil in stijghoogte tussen het 1e en 2e watervoerende pakket (gemiddeld ca. 0,15 m). Als optimale c-waarden zijn de startwaarden aangehouden.
- 4) Bij de optimalisatie van de tertiaire drainageweerstand per subgebied, is de relatie grondwatertrap - tertiaire drainageweerstand niet langer strikt aangehouden. De bijstelling van de tertiaire drainageweerstand bestond in grote lijnen uit:
- verhoging van 78 - 329 naar 200 - 450 dagen langs de noordelijke gebiedsrand en in en rond de Tondense heide (enkel voor de eerdgronden)
  - verlaging van 329 - 608 naar 80 - 400 dagen in het 'waterconserveringsgebied' (zie Fig. 1).

Het effect van bijstelling van de tertiaire drainageweerstand is in verhouding tot dat van de andere bijgestelde parameters vrij groot: 0,09 m voor F en 0,14 m voor F', respectievelijk circa 65% en circa 75% van het totale effect. In figuur 9d valt te zien dat het model relatief gezien gevoelig is voor veranderingen in deze parameter. Dit geldt in mindere mate voor de F-waarde dan voor de F'-waarde. Oorzaak hiervan is dat bijstelling van de tertiaire drainageweerstand vrijwel geen enkel effect heeft op de stijghoogten rond de grondwateronttrekking; het grondwater staat hier enkele meters onder maaiveld.

- 5) Het totale effect van de optimalisatie bedraagt voor F 0,14 m (30% van de aanvangs F) en voor F' 0,19 m (48% van de aanvangs F'). Het verschil is te wijten aan het lage effect van de bijstellingen van vooral de tertiaire drainageweerstand en in mindere mate de kD1-waarde rond de grondwateronttrekking.

De uiteindelijke F- en F'-waarden van 0,32 en 0,21 zijn respectievelijk acceptabel en zeer acceptabel (VAN BAKEL, mon. med.). Een mogelijke oorzaak voor de gevonden afwijkingen tussen gemeten en berekende waarden is het gegeven dat de gemeten waarden puntwaarnemingen betreffen en de berekende waarden gemiddelden zijn voor het invloedsoppervlak van elk knooppunt. De F'-waarde is als de meest representatieve waarde voor het gebied als geheel gezien, aangezien de grondwateronttrekking vanwege de ligging in een hoek

van het gebied met stedelijke bebouwing, een duidelijk onzekere factor in de modellering is.

De vergelijking tussen het 'gemeten' en het berekende isohypsenpatroon na optimalisatie, is in figuur 10a gegeven voor 28-maart-1979 en in figuur 10b voor 14-april-1986.

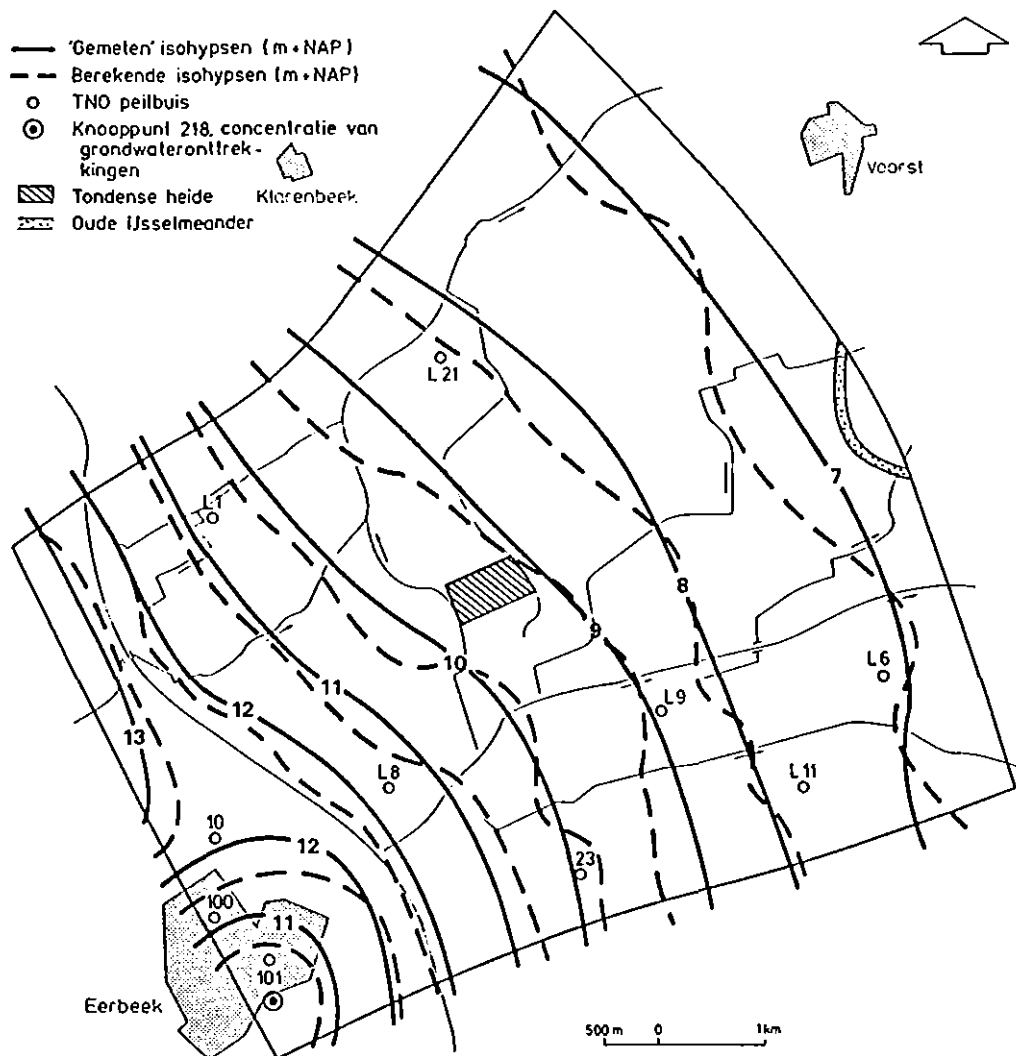


Fig. 10a. Vergelijking 'gemeten' en berekend isohypsenpatroon voor 28 maart 1979

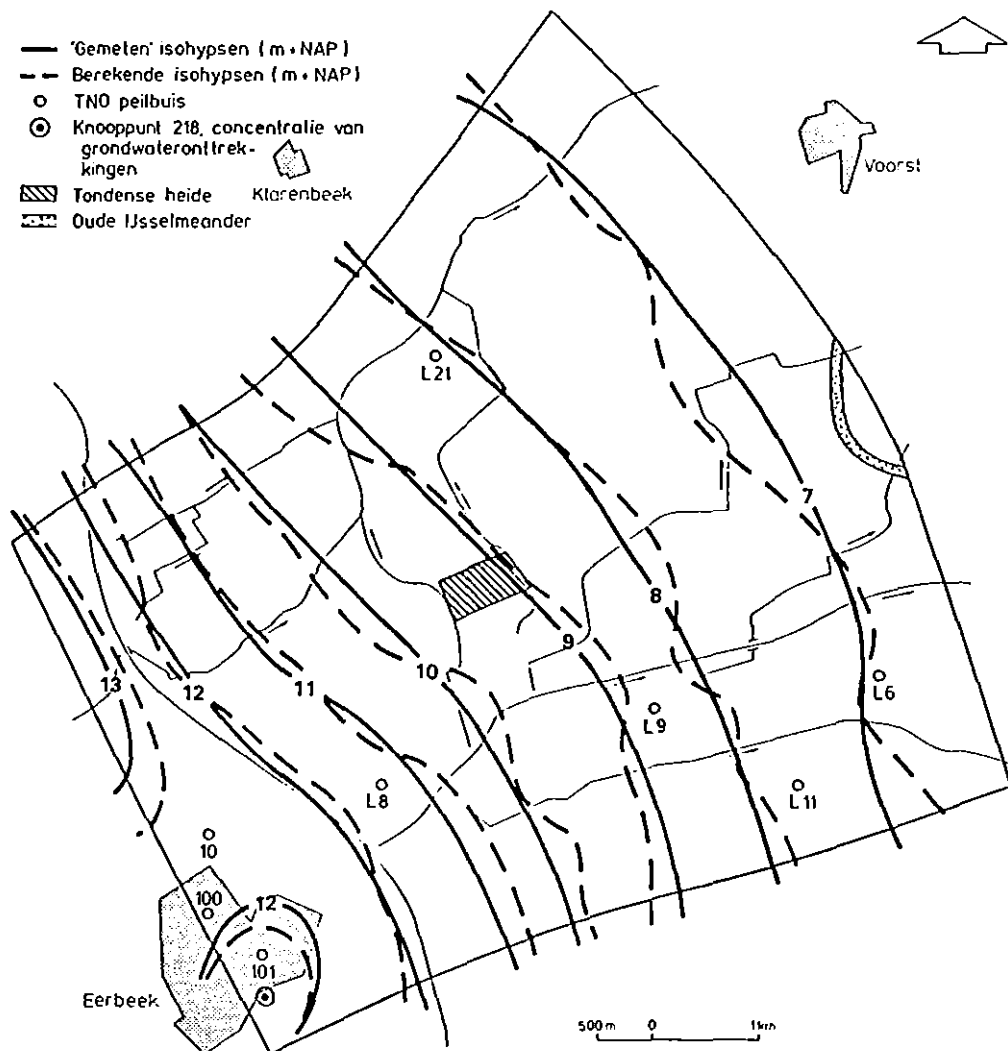


Fig. 10b. Vergelijking 'gemeten' en berekend isohypsenpatroon voor 14 april 1986

Het 'gemeten' isohypsenpatroon voor 14-april-1986 is gebaseerd op metingen in 17 TNO-peilbuizen, waarvan 8 in het modelgebied, en op het algemene verloop van het 'gemeten' isohypsenpatroon voor 28-maart-1979. In Tabel 3 is een vergelijking gegeven van gemeten met berekende stijghoogten in de Tondense heide voor 14-april-1986. De ligging van de betreffende subgebieden, knooppunten en meetpunten is aangegeven in Figuur 11.

Tabel 3. Gemeten en berekende stijghoogten in de Tondense heide,  
voor 14-april-1986

| Subgebied | Knooppunten | Meetpunten | Stijghoogten in m +NAP: |                    |      |
|-----------|-------------|------------|-------------------------|--------------------|------|
|           |             |            | Berekend                | Gemeten: $\bar{H}$ | s(H) |
| 17        | 120         | 21 t/m 23  | 9,56                    | 9,47               | 0,11 |
| 18        | 122-123     | 9 t/m 20   | 9,19                    | 9,18               | 0,10 |
| 19        | 125         | 5 t/m 8    | 9,16                    | 9,25               | 0,11 |
| 20        | 127         | 1 t/m 4    | 8,93                    | 8,89               | 0,15 |

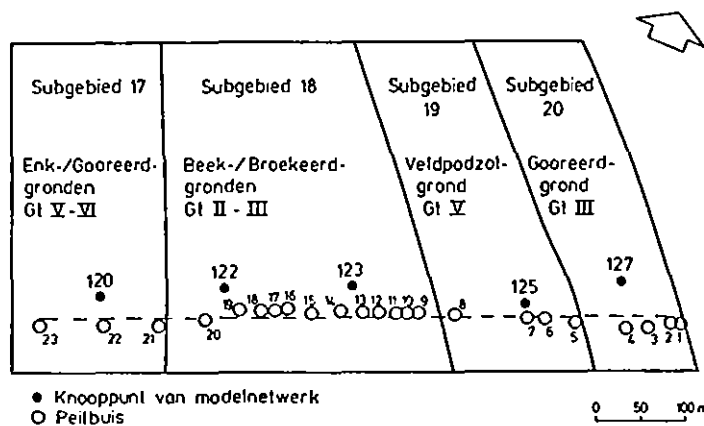


Fig. 11. Subgebiedsindeling Tondense heide  
(gebaseerd op HENDRIKS, 1986)

Een relativerende opmerking betreffende de absolute waarde van de calibratie-resultaten is hier op zijn plaats. Twee aspecten onderstrepen de betrekkelijkheid van de uiteindelijk in het model ingevoerde waarden:

- 1) een groot deel van de parameterwaarden was niet in detail bekend
- 2) de optimalisatie van onbekende parameterwaarden is gebaseerd op slechts weinig meetpunten en op een slechts in grote lijnen geschetst isohypsenpatroon.

Zo is het opvallend dat de berekende isohypsenpatronen gedetailleerder zijn dan de 'gemeten'. Een goed voorbeeld hiervan is de depressie in de berekende isohypsenpatronen nabij het midden van de oostelijke gebiedsrand, die waarschijnlijk het gevolg is van de drainerende werking van de oude IJssel-meander. In de 'gemeten' isohypsenpatronen ontbreekt dit detail, wat be-

grijpelijk is aangezien er van dit deelgebied geen meetgegevens voorhanden waren.

Concluderend kan worden gesteld dat de uitkomsten van de berekeningen met het gecalibreerde en geverifieerde model een goede indicatie vormen voor de verandering van het grondwaterregime als gevolg van hydrologische ingrepen, maar dat er enige voorzichtigheid moet worden betracht bij het toekennen van een absolute waarde aan de modeluitkomsten.

## 5.2. VERIFICATIE MET SIMGRO

Tijdens de verificatie met de niet-stationaire modelversie SIMGRO zijn de volgende parameters in de aangegeven volgorde bijgesteld:

- 1) de randfluxen
- 2) het capillaire geleidingsvermogen
- 3) de beregeningsintensiteit.

In het verificatieproces zijn uiteindelijke waarden voor deze parameters verkregen.

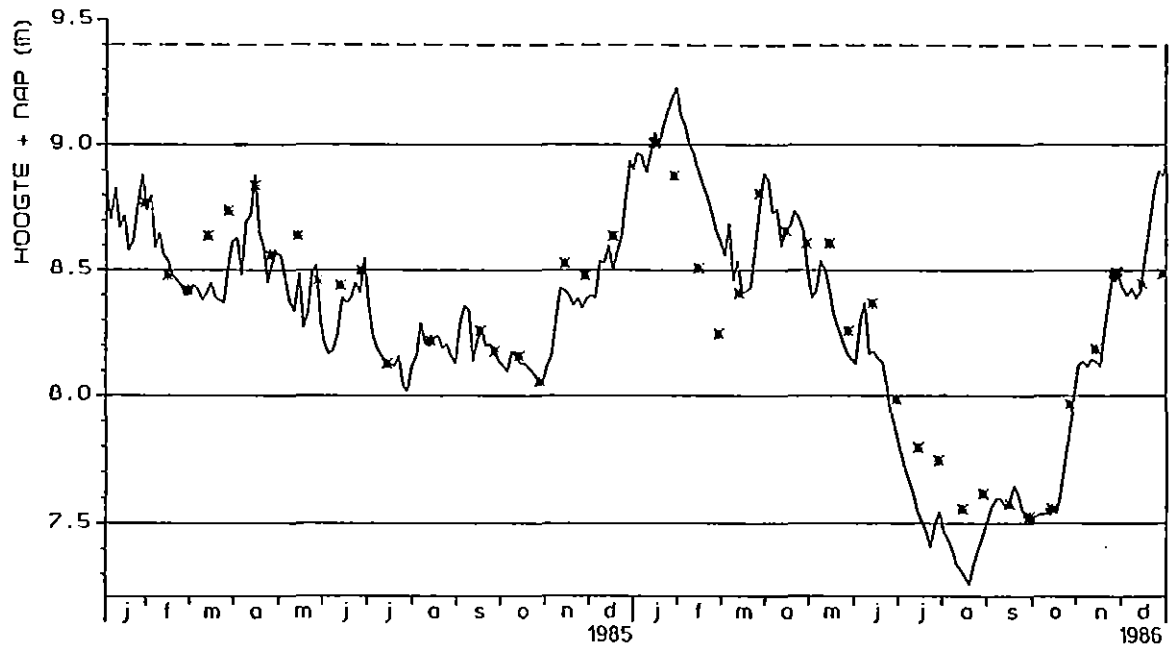
### 5.2.1. Proces van verificatie

Het model is geverifieerd door middel van het doorrekenen van de periode april 1984 tot en met december 1986. Zoals vermeld in 4.4.1 komt de keuze voor deze rekenperiode voort uit praktische overwegingen:

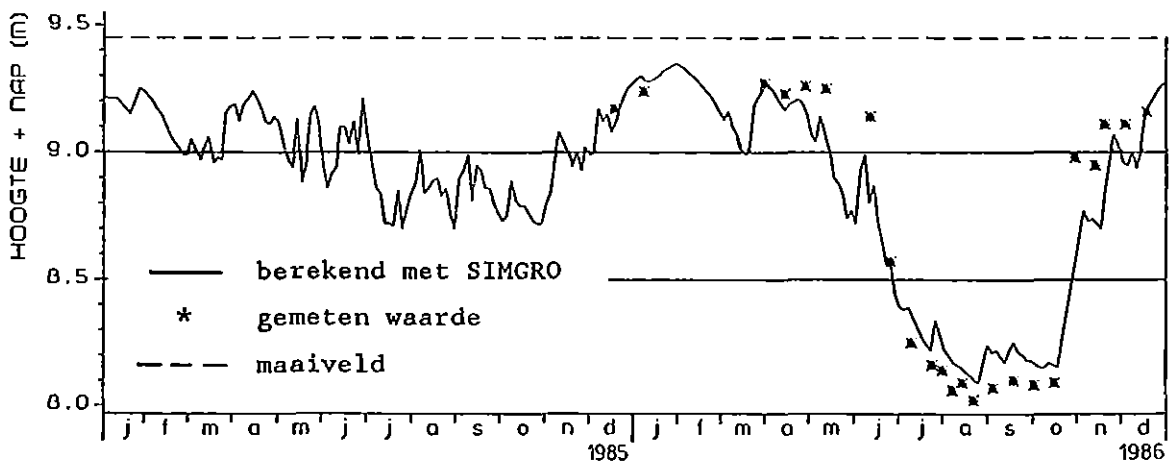
- het bestaan van meetgegevens betreffende de stijghoogten in de Tondense heide vanaf november 1985;
- het voorkomen van een vrij natte (1985) en een droge zomer (1986) binnen deze rekenperiode.

Tijdens de verificatie zijn de modeluitkomsten van een relevant knooppunt vergeleken met het gemeten stijghoogteverloop over de aangegeven periode in een bijpassende peilbuis. Dit is gedaan voor de 8 TNO-peilbuizen, aangegeven in figuur 10b, en voor de 5 knooppunten in de Tondense heide, aangegeven in figuur 11. De vergelijking is grafisch geschied: de berekende waarden zijn in een grafiek uitgezet tegen de tijd en de gemeten waarden zijn hierin als punten aangegeven. Na elke modelberekening is een parameter bij-

gesteld, waarna het model opnieuw is gedraaid en de nieuwe modeluitkomsten weer zijn vergeleken met de gemeten waarden. Op deze wijze is getracht zo optimaal mogelijke waarden voor de beschouwde parameters te vinden en is tevens een indruk verkregen van de gevoeligheid van het model voor veranderingen in deze parameters.



TNO-PEILBUIS L9



T. HEIDE, SUBREGIO 18-OOST

Fig. 12. Voorbeelden van een vergelijking van het berekende stijghoogteverloop van een knooppunt met het gemeten stijghoogteverloop van een bijbehorende peilbuis. Voor de ligging van de peilbuizen zie de figuren 10 en 11

### 5.2.2. Resultaten

De uiteindelijke resultaten van de verificatie zijn in grafiekvorm gegeven in bijlage 1. Figuur 12 is een voorbeeld van zo'n vergelijking tussen het gemeten en berekende stijghoogtenverloop.

Uit het resultaat van deze vergelijking en de grafieken van bijlage 1 is gebleken dat het geverifieerde model in voldoende mate met de werkelijkheid overeenstemt. Wel past ook hier de relativerende opmerking die vermeld is aan het eind van 5.1.2.

In bijlage 2 is de waterbalans over 2 jaar (1985 en 1986) van het gehele modelgebied, verkregen met het geverifieerde model (scenario-0), gegeven.

De implicaties van de verificatie voor de bijgestelde parameters staan hieronder in het kort aangegeven:

- 1) Randfluxen. De invloed van veranderingen in de randfluxen bleek niet heel erg groot te zijn. Daarom is besloten om per rekenjaar voor half april en voor begin september randfluxen te berekenen met behulp van het stationaire model FEMSATS. Deze fluxen, die per seizoen slechts weinig verschilden, zijn in het model ingevoerd. Een uitzondering hierop vormen de randfluxen van een negental knooppunten rond de grondwateronttrekking. Hiervoor zijn per kwartaal nieuwe waarden ingevoerd, aangezien de grootte van de grondwateronttrekking eveneens per kwartaal fluctueert. Deze waarden zijn verkregen via een 'trial and error' procedure, waarbij is gebleken dat de grootte van de randfluxen zeer bepalend is voor de juistheid van de simulatie van de grondwateronttrekking. Aangezien het verloop van de randfluxen in de tijd niet bekend was en dit lastig te optimaliseren viel (het betreft zeer veel gegevens), bevestigt dit gegeven nogmaals dat de grondwateronttrekking, wegens de ligging in een hoek van het gebied, een moeilijk te modelleren factor is. Een eenduidige relatie tussen de grootte van de grondwateronttrekking en die van de randfluxen, gebaseerd op het stijghoogteverloop rond de onttrekking, is niet gevonden, aangezien er te veel andere grootheden (neerslag, verdamping) een rol spelen.

- 2) Capillaire geleidingsvermogen. In eerste instantie berekende het model te hoge grondwaterstanden voor de zomer van 1986. Dit was onder andere het geval voor de Tondense heide waar het verschil tussen berekende en gemeten waarden in deze periode gemiddeld circa 0,20 m bedroeg. Verhoging van het capillaire geleidingsvermogen had hoegenaamd geen effect op dit verschil, waarschijnlijk als gevolg van de relatief lage grondwaterstanden (1 tot 2 m - maaiveld). Ook voor de rest van de rekenperiode had verandering van het capillaire geleidingsvermogen geen groot en geen positief effect op de modeluitkomsten. Om die reden is besloten om de in eerste instantie ingevoerde waarden voor het capillaire geleidingsvermogen aan te houden. De te hoge grondwaterstanden in de zomer van 1986 zijn toegeschreven aan te lage waarden voor de beregeningsintensiteit.
- 3) Beregeningsintensiteit. Zoals beschreven in 4.4.4 was de verwachting dat er in de zomer van 1986 intensief is beregend rond de Tondense heide. Aangezien geen informatie beschikbaar was over de intensiteit van de beregening in deze periode is getracht om tijdens de verificatie hiervoor een waarde te schatten. Deze geschatte waarde, een gemiddelde beregeningsintensiteit voor het gehele areaal cultuurgrond van het zogenaamde 'middengebied' rond de Tondense heide en voor de periode 'zomer 1986' (half juni t/m september), bedraagt 2,4 mm/dag en is circa vier keer zo groot als de waarde voor de zomer van 1985. Een beschrijving van de ligging van het 'middengebied' wordt gegeven in hoofdstuk 6 onder scenario 2 (6.2). In dit 'beregennings-scenario' is tevens een relatie gegeven tussen de beregeningsintensiteit rond de Tondense heide en de grondwaterstandsdeling in dit terrein.



## 6. RESULTATEN VAN DE BEREKENINGEN MET SIMGRO

In een aantal modelberekeningen met SIMGRO zijn de effecten van aangenomen ingrepen in de regionale waterhuishouding op de waterhuishouding van de Tondense heide gesimuleerd. De volgende scenario's zijn doorgerekend:

- Scenario-0: de huidige situatie zoals verkregen na verificatie van het model (5.2)
- Scenario-1: de historische situatie van vóór 1960 (6.1)
- Scenario-2: berekeningsscenario (6.2)
- Scenario-3: toename van de grondwateronttrekking (6.3)
- Scenario-4: waterconservering (6.4)
- Scenario-5: wateraanvoer ten behoeve van de landbouw (6.5)
- Scenario-6: wateraanvoer ten behoeve van de Tondense heide (6.6).

Enkele resultaten van deze berekeningen zijn gebruikt als invoergegevens voor het stroomlijnenmodel STRELIN (GROENENDIJK, 1988a), waarmee stroomlijnenpatronen van een west-oost gericht transect door de Tondense heide zijn gesimuleerd (GROENENDIJK, 1988b). In 6.7 wordt hier in het kort op in gegaan en worden de belangrijkste van deze resultaten gegeven.

### 6.1. SCENARIO-1: DE HISTORISCHE SITUATIE VAN VÓÓR 1960

#### 6.1.1. Doel/omschrijving

Doel: het simuleren van de historische hydrologische situatie van vóór 1960. Er is aangenomen dat de hydrologische situatie van vóór 1960 wordt gekenmerkt ten opzichte van de huidige situatie door:

- 1) hogere grondwaterstanden
- 2) hogere regionale fluxen
- 3) kleinere grondwateronttrekkingen
- 4) geen beregening
- 5) minder intensieve detailontwatering in het gehele gebied
- 6) een ongestuwde situatie: het oppervlaktewatersysteem fungeert enkel als drainage- en afvoersysteem.

Het criterium bij deze simulatie is geweest: de aanname dat de grondwaterstand in het modelgebied vóór 1960 circa 0,20 tot 0,30 m hoger was dan in de huidige situatie. Deze aanname is gebaseerd op een veronderstelling van BOTH en VAN WIRDUM (1981), dat de grondwaterstand in de Tondense heide rond 1950 circa 0,20 tot 0,30 m hoger was dan nu het geval is.

#### 6.1.2. Aanpassing parameterwaarden

Om de gewenste situatie te simuleren zijn de volgende parameters op de aangegeven wijze aangepast:

- De randfluxen zijn verhoogd. Met FEMSATS zijn waarden voor de randfluxen berekend, uitgaande van de situatie van 14-april-1986 maar met 0,30 m hogere stijghoogten op de randen.
- De grootte van de grondwateronttrekking is gereduceerd tot 50% van de huidige onttrekking. De randfluxen rond de onttrekking zijn aangepast door middel van een 'trial and error' procedure, waarbij als criteria golden:
  - \* een 1,0 tot 2 m hogere grondwaterstand dan de huidige nabij TNO-peilbuis 100
  - \* een 1,5 tot 2,5 m hogere grondwaterstand dan de huidige nabij TNO-peilbuis 101.

De wijze waarop deze criteria zijn verkregen is aangegeven in bijlage 3a.

- De beregeningsintensiteit is voor het gehele gebied op nul gesteld.
- De bodemhoogte van de grote waterlopen is met 0,20 m verhoogd en er zijn in deze waterlopen geen peilen opgezet. De parameters betreffende het Apeldoorns kanaal zijn ongewijzigd gebleven.
- Van de sloten die in de huidige situatie 0,70 m diep of dieper zijn, zijn de slootbodems met 0,20 m verhoogd. Van de ondiepere sloten zijn de slootbodems met 0,10 m verhoogd.
- Er is aangenomen dat de slootdichtheid in scenario-1 anderhalf tot twee keer zo laag is als in de huidige situatie. Hiervan uitgaande zijn de waarden voor de bergings- en afvoercapaciteiten van het slotenstelsel de helft genomen van de scenario-0-waarden.
- De tertiaire drainageweerstand is gezien als de belangrijkste aan te passen parameter, enerzijds omdat gebleken is dat het model nogal gevoelig

is voor veranderingen in deze parameter (zie 5.1), anderzijds omdat de gedachte was, uitgaande van de aanname vermeld onder het vorige gedachtenstreepje, dat de tertiaire drainageweerstand 30 jaar geleden veel hoger moet zijn geweest dan nu het geval is. De tertiaire drainageweerstand is bijgesteld in een 'trial and error' procedure, waarbij als criterium gold de 0,20 tot 0,30 m hogere grondwaterstand. De op deze wijze verkregen waarden bedroegen 150% van de scenario-0-waarden.

### 6.1.3. Resultaten

De resultaten van de scenario-1-berekeningen zijn in de vorm van het stijghoogteverloop in de verschillende meetpunten gegeven in bijlage 1. De ligging van de betreffende meetpunten is aangegeven in de figuren 10b en 11. In bijlage 2 is de waterbalans van het gehele modelgebied betreffende scenario-1 gegeven.

## 6.2. SCENARIO-2: BEREKENINGSSCENARIO

### 6.2.1. Doel/omschrijving

Doel: het vinden van een relatie tussen de beregeningsintensiteit in het gebied rondom de Tondense heide en de grondwaterstand in dit natuurterrein voor de droge zomer van 1986. De verwachting was dat in een droge zomer als die van 1986 de beregeningsintensiteit in het weidegebied rond de Tondense heide van invloed zou kunnen zijn op de grondwaterstand in dit terrein, aangezien het voor beregening benodigde water nagenoeg volledig uit het eerste watervoerende pakket wordt betrokken.

### 6.2.2. Aanpassing parameterwaarden

Er is uitgegaan van een deelgebied waarvan, op grond van gegevens uit de IWACO-studie (1986), is aangenomen dat het droogtegevoelig is. Dit deelgebied, in het vervolg aangeduid als 'middengebied', beslaat circa 40% van het oppervlak van het modelgebied (circa 1980 ha) en ligt ten oosten,

westen en zuiden van de Tondense heide (zie 6.5, Fig. 17). Gezien de droogtegevoeligheid van het middengebied is aangenomen dat hier de meest intensieve beregening zal plaatsvinden.

Voor het middengebied zijn de volgende beregeningsintensiteiten ingevoerd: 1) 2,4 mm/d (scenario-0 waarde), 2) 1,4 mm/d (60% scenario-0 waarde), 3) 0,6 mm/d (25% scenario-0 waarde) en 4) 0 mm/d. De waarden zijn gemiddelden voor het gehele middengebied en voor de periode 'zomer 1986' (half juni 1986 t/m september 1986).

### 6.2.3. Resultaten

De resultaten van de berekeningen betreffende scenario-2 zijn grafisch weergegeven in Figuur 13.

Uit deze grafiek is onderstaande relatie af te leiden:

$$Gd = 79 * Bi$$

waarin:

Gd = gemiddelde grondwaterstandsdaaling in de Tondense heide voor 'zomer 1986' (mm)

Bi = gemiddelde beregeningsintensiteit in middengebied voor 'zomer 1986' (mm/d).

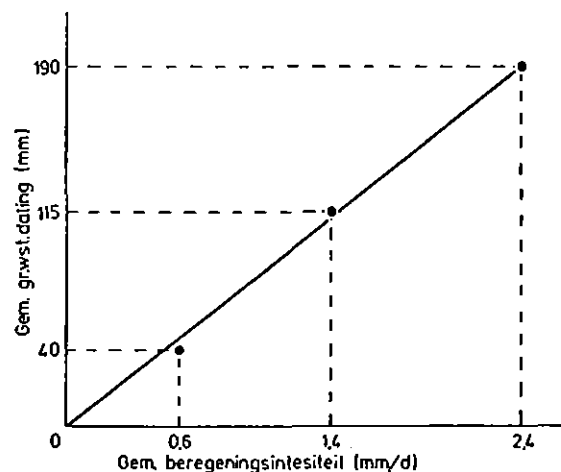


Fig. 13. Relatie tussen de gemiddelde grondwaterstandsdaaling in de Tondense heide en de gemiddelde beregeningsintensiteit in het middengebied voor 'zomer 1986'

De periode 'zomer 1986' betreft half juni 1986 tot en met september 1986, het deel van de hydrologische zomer 1986 waarin nagenoeg 100% van de berekening plaats vond in scenario-0.

In bijlage 2 zijn de waterbalansen van het modelgebied gegeven voor de beregeningsintensiteit zoals geschat tijdens de verificatie (scenario-0) en voor een beregeningsintensiteit van 25% van deze waarde (scenario-2).

Conclusie: de beregeningsintensiteit in het middengebied is van grote invloed op de grondwaterstand in de Tondense heide. De gevonden relatie is slechts illustratief voor de grootte van deze invloed en geldt enkel voor de beschouwde periode.

### 6.3. SCENARIO-3: TOENAME VAN DE GRONDWATERONTTREKKINGEN

#### 6.3.1. Doel/omschrijving

Doel: het nagaan van het effect van een toename van de grondwateronttrekkingen in het modelgebied op de grondwaterstand in de Tondense heide. Er is uitgegaan van een toename van de grondwateronttrekkingen ten behoeve van de industrie en drinkwaterwinning van 30%. Tevens is aangenomen dat de extra onttrekkingen plaatsvinden op dezelfde punten als in de huidige situatie, omdat alle benodigde faciliteiten op deze punten al aanwezig zijn. De totale onttrekking is gesteld op 23000 m<sup>3</sup>/d (8,4 mln m<sup>3</sup>/jaar) en is wederom geconcentreerd gedacht in knooppunt 218 (zie Fig. 14).

#### 6.3.2. Aanpassing parameterwaarden

De volgende aanpassingen van de parameterwaarden hebben plaatsgevonden:

- In knooppunt 218 is een onttrekking van 23000 m<sup>3</sup>/d ingevoerd, die constant is gehouden voor de gehele rekenperiode.
- De randfluxen rond de onttrekking zijn verhoogd. Deze randfluxen zijn berekend met FEMSATS voor 14-april-1986 en 28-september-1986, waarbij de verhoogde onttrekking en verlaagde stijghoogten voor de betreffende rand-

knooppunten zijn ingevoerd. De wijze waarop de verlagingen van de stijghoogten op de randen ten gevolge van de vergrote onttrekking zijn geschat, is aangegeven in bijlage 3b. De berekende verhogingen van de randfluxwaarden bedroegen circa 10% van de scenario-0-waarden voor het 1e watervoerende pakket en circa 15% van de scenario-0-waarden voor het 2de watervoerende pakket.

### 6.3.3. Resultaten

De figuren 14a en 14b zijn twee isohypsenkaarten voor respectievelijk 14-april-1986 en 28-september-1986. In beide kaarten is het isohypsenpatroon van de werkelijke situatie vergeleken met dat van de situatie met vergrote onttrekking.

De waterbalans over 1985 en 1986 van het gehele gebied voor scenario-3 is gegeven in bijlage 2.

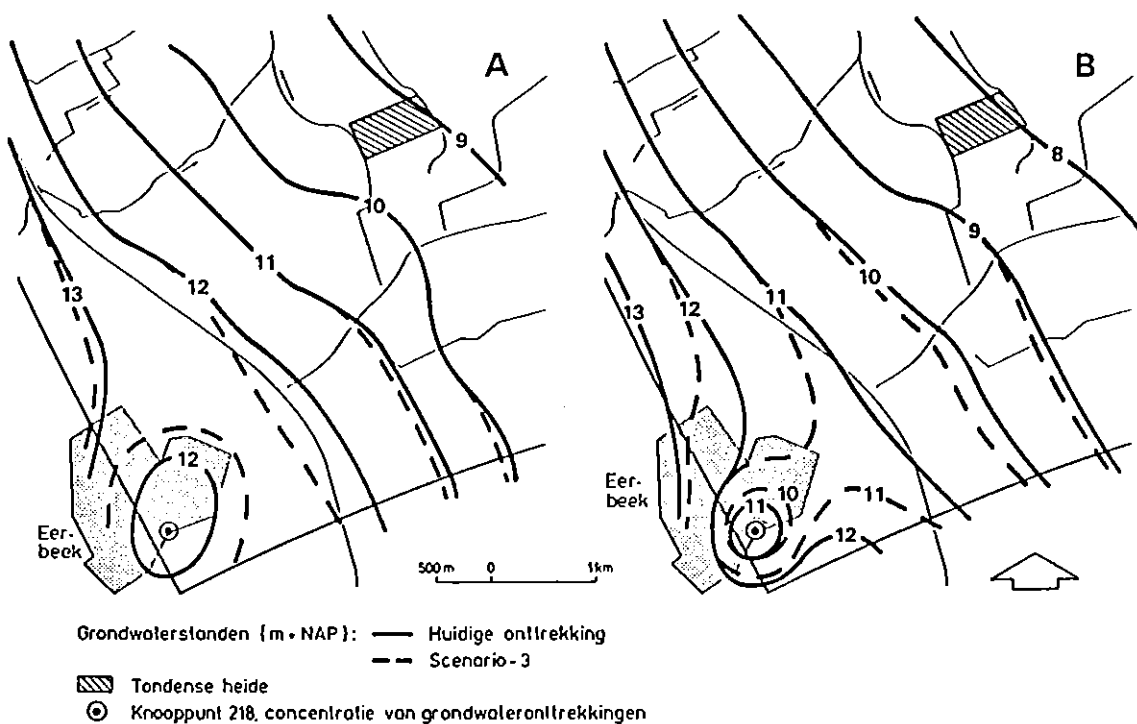


Fig. 14. Isohypsenkaarten grondwateronttrekkingen;  
A = 14-4-1986                      B = 28-9-1986

Conclusie: uit de resultaten mag worden geconcludeerd dat een extra ont-trekking in knooppunt 218 van 2 mln m<sup>3</sup>/jaar geen gevolgen heeft voor de grondwaterstand in de Tondense heide, daar dit terrein zich buiten de in-vloedsfeer van de waterwinning bevindt.

#### 6.4. SCENARIO-4: WATERCONSERVERING

##### 6.4.1. Doel/omschrijving

Doel: het nagaan of door middel van waterconservering in een stroomopwaarts van de Tondense heide gelegen gebied de grondwaterstand in dit natuurter-rein kan worden verhoogd.

Er is voorgesteld om in het kader van de ruilverkaveling water te conser-veren in een circa 700 hectare groot gebied ten zuidwesten van de Tondense heide, dat hoger is gelegen dan het natuurterrein. De ligging van dit 'wa-terconserveringsgebied' is aangegeven in figuur 1.

Het idee was door het opzetten van het peil van het oppervlaktewater de grondwaterstand in het gebied te verhogen en het op deze wijze geconser-veerde water in het voorjaar en de zomer naar de omgeving van de Tondense heide te leiden. Rond en in het natuurterrein zou dan het peil kunnen wor-den gestuwd en daardoor de infiltratie kunnen worden verhoogd.

##### 6.4.2. Aanpassing parameterwaarden

Scenario-4 is in twee fasen verdeeld:

Fase 1) het nagaan of het mogelijk is op bovenbeschreven wijze water te conserveren in het betreffende gebied

Fase 2) zo ja, het water naar de omgeving van de Tondense heide leiden en het daar opstuwen.

Enkel fase 1 is uitgevoerd omdat bleek dat de waterconservering in het be-treffende gebied te gering was om fase 2 uit te voeren (zie verder 6.4.3). De parameterwaarden betreffende het 'waterconserveringsgebied' zijn op de volgende wijze aangepast:

- Het zomerpeil is gesteld op 0,50 m - maaiveld.
- Het winterpeil is gesteld op 0,80 m - maaiveld.
- De afvoercapaciteit van het slotenstelsel is verkleind omdat bij een peil dat lager is dan het winterpeil geen afvoer meer plaatsvindt.

#### 6.4.3. Resultaten

Uit de berekeningen blijkt dat het opzetten van peilen in het 'waterconserveringsgebied' slechts een gering effect heeft op de grondwaterstand in dit gebied (een verhoging van gemiddeld ca. 0,05 m, zie Fig. 15) en geen enkel effect op de grondwaterstand in de Tondense heide.

In Figuur 16 is de gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van maaiveld in het 'waterconserveringsgebied' bij opgezette peilen over de jaren 1985 en 1986 weergegeven. Tevens is in deze figuur de gemiddelde slootdiepte in dit gebied (0,95 m) aangegeven.

Uit deze gegevens is af te leiden dat, gemiddeld gezien, het grootste deel van het jaar de grondwaterstand lager is dan de slootbodems, met andere woorden, dat de sloten slechts in een klein deel van het jaar, de natte periode, een drainerende werking hebben.

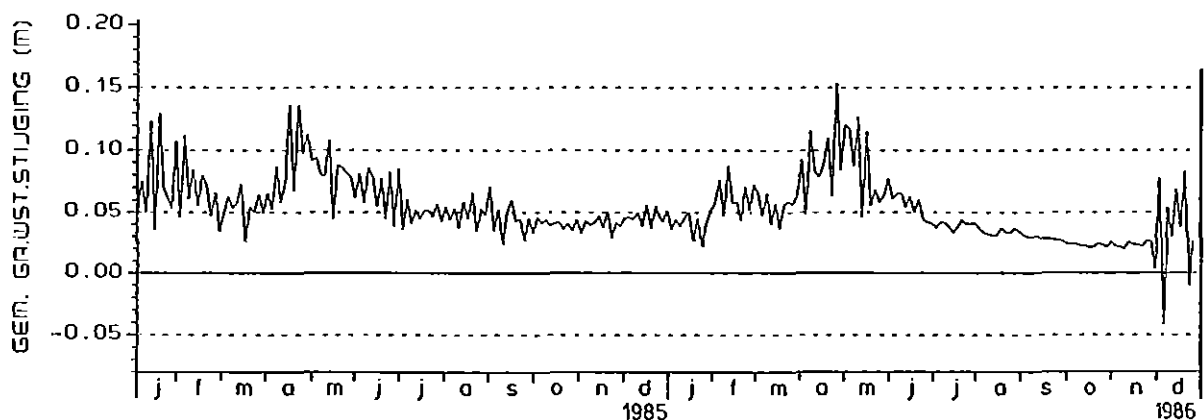


Fig. 15. Gemiddelde stijging van de grondwaterstand in het 'waterconserveringsgebied' bij opgezette peilen voor de periode 1 januari 1985 t/m 31 december 1986



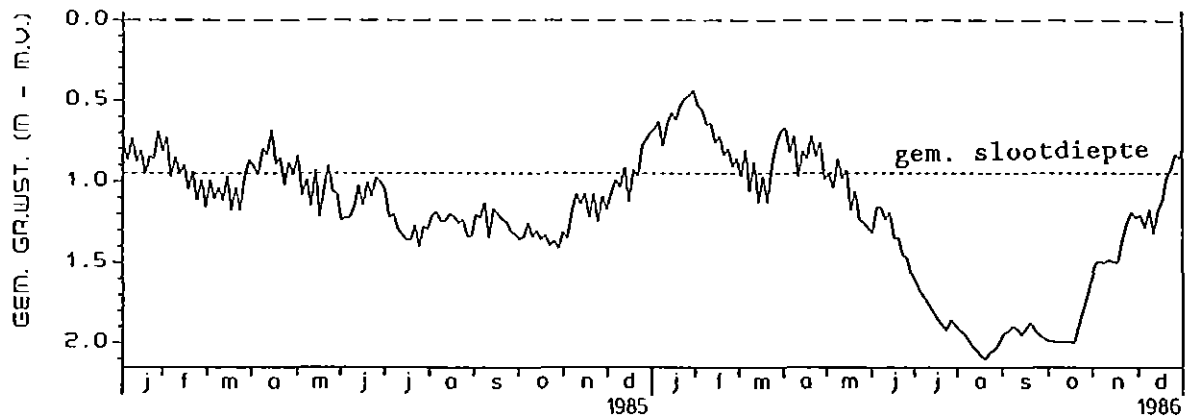


Fig. 16. Gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van maaiveld in het 'waterconserveringsgebied' bij opgezette peilen voor de periode 1 januari 1985 t/m 31 december 1986

In het voorjaar en in de zomer kan dus nagenoeg geen water naar de omgeving van de Tondense heide worden afgeleid; dit zou enkel in de natte periode kunnen gebeuren. Aangezien de grondwaterstand in het 'waterconserveringsgebied' ten gevolge van het opzetten van peilen slechts 0,05 m stijgt, zou het drainagewater uit dit gebied tijdens de natte periode beter direct, zonder eerst de peilen op te zetten, naar de Tondense heide kunnen worden afgeleid en daar ter plekke worden gestuwd door het opzetten van peilen in en rond het natuurterrein. Deze optie is op zich niet in deze studie betrokken. Wel vormt het opzetten van peilen in en direct rond de Tondense heide een onderdeel van scenario-6 (6.6).

In Tabel 4 zijn de verschuivingen in de waterbalans van het 'waterconserveringsgebied' tengevolge van het opzetten van peilen gegeven voor de hydrologische zomer (april t/m september) van 1985 en die van 1986.

Tabel 4. Verschuivingen in de waterbalans van het 'waterconserveringsgebied' tengevolge van het opzetten van slootpeilen, voor zomer 1985 en zomer 1986, in mm waterschijf

| Periode         | Zomer 1985 |      |       | Zomer 1986 |      |       |
|-----------------|------------|------|-------|------------|------|-------|
| Pot. verdamping | 407        |      |       | 453        |      |       |
| Scenario        | 0          | 4    | 4 - 0 | 0          | 4    | 4 - 0 |
| Verdamping      | -396       | -393 | +3    | -437       | -436 | +1    |
| Beregening      | +117       | +112 | -5    | +253       | +246 | -7    |
| Infiltratie     | +7         | +10  | +3    | +13        | +15  | +2    |
| Afvoer          | -94        | -86  | +8    | -54        | -51  | +3    |
| Onttrek. 1e     | -117       | -112 | +5    | -253       | -245 | +8    |
| waterv.pakket   |            |      |       |            |      |       |
| Randinstr. +    | -          | -    | -14   | -          | -    | -5    |
| bergingstoename |            |      |       |            |      |       |

+ = ingaand  
- = uitgaand

Uit deze tabel valt het volgende te lezen:

- 1) De verschuivingen in de waterbalans tengevolge van het opzetten van peilen zijn over het algemeen gering, zowel absoluut gezien als relatief gezien. Uitzondering hierop vormt de relatieve toename van de infiltratie; deze bedraagt in 'zomer 1985' ruim 40% en in 'zomer 1986' ruim 15%. In absolute termen betreft het hier echter eveneens geringe verschuivingen.
- 2) In scenario-4 is de verdamping iets geringer dan in de 0-situatie. Deze verdampingsreductie vindt in beide jaren volledig plaats in de maanden april en mei, als de grondwaterstand relatief gezien nog vrij hoog is, en is het gevolg van de hogere grondwaterstand in scenario-4. Tijdens perioden met hoge neerslag in combinatie met hoge grondwaterstanden kan het vochtgehalte in de wortelzone zo hoog worden, dat er verdampingsreductie optreedt (zie bijlage 4a). Een situatie die zich eerder zal voordoen naarmate de grondwaterstand hoger is. Hierbij moet worden aangetekend dat de modellering van wateroverlast in SIMGRO sterk is geschematiseerd. De berekende reductie heeft dan ook slechts een indicatieve waarde.

- 3) De berekening is in de situatie met opgezette peilen iets verminderd. Om vergelijking tussen de verschillende scenario's mogelijk te maken, is voor alle scenario's eenzelfde beregeningsdrempel ingevoerd. Het gevolg is dat in elke situatie een nagenoeg gelijke verdamping wordt berekend en dat effecten van het opzetten van slootpeilen of wateraanvoer tot uitdrukking komen in een vermindering van de berekening die kan worden gezien als een indirecte vorm van verdampingstoename. Als gevolg van de geringe stijging van het grondwater kan de capillaire opstijging iets toenemen. Deze lichte toename kan er toe leiden dat op bepaalde momenten waarop in de 0-situatie wordt berekend, in scenario-4 het relatieve vochtgehalte net zo hoog wordt dat er niet wordt berekend (zie bijlage 4b).
- 4) Het gevolg van het opzetten van slootpeilen is een toename van de infiltratie en een afname van de afvoer. Dit verschil is ten goede gekomen aan de lichte verhoging van de grondwaterstand en de indirecte verdampingstoename.

In bijlage 2 is de waterbalans van het gehele modelgebied betreffende scenario-4 gegeven.

Conclusie: het opzetten van slootpeilen in het 'waterconserveringsgebied' leidt tot waterconservering in de vorm van een lichte stijging van de grondwaterstand in dit gebied, maar heeft geen effect op de grondwaterstand in de Tondense heide. De waterconservering is niet voldoende om in droge perioden water naar (de omgeving van) de Tondense heide te leiden.

## 6.5. SCENARIO-5: WATERAANVOER TEN BEHOEVE VAN DE LANDBOUW

### 6.5.1. Doel/omschrijving

Doel: het nagaan van het effect van wateraanvoer naar en opzetten van slootpeilen in landbouwgebieden rondom de Tondense heide op de grondwaterstand in het natuurgebied.

In dit scenario wordt water aangevoerd vanuit het Apeldoorns kanaal via de Eerbeekse Voorstondense beek naar het middengebied (ca. 1980 ha groot) dat is gekenschetst als droogtegevoelig (zie ook 6.2.2). In Figuur 17 is de ligging van het middengebied met daarin de waterlopen en waterinlaatpunten gegeven. Het aangevoerde water is in de landbouwgebieden gestuwd door het opzetten van zomer- en winterpeilen.

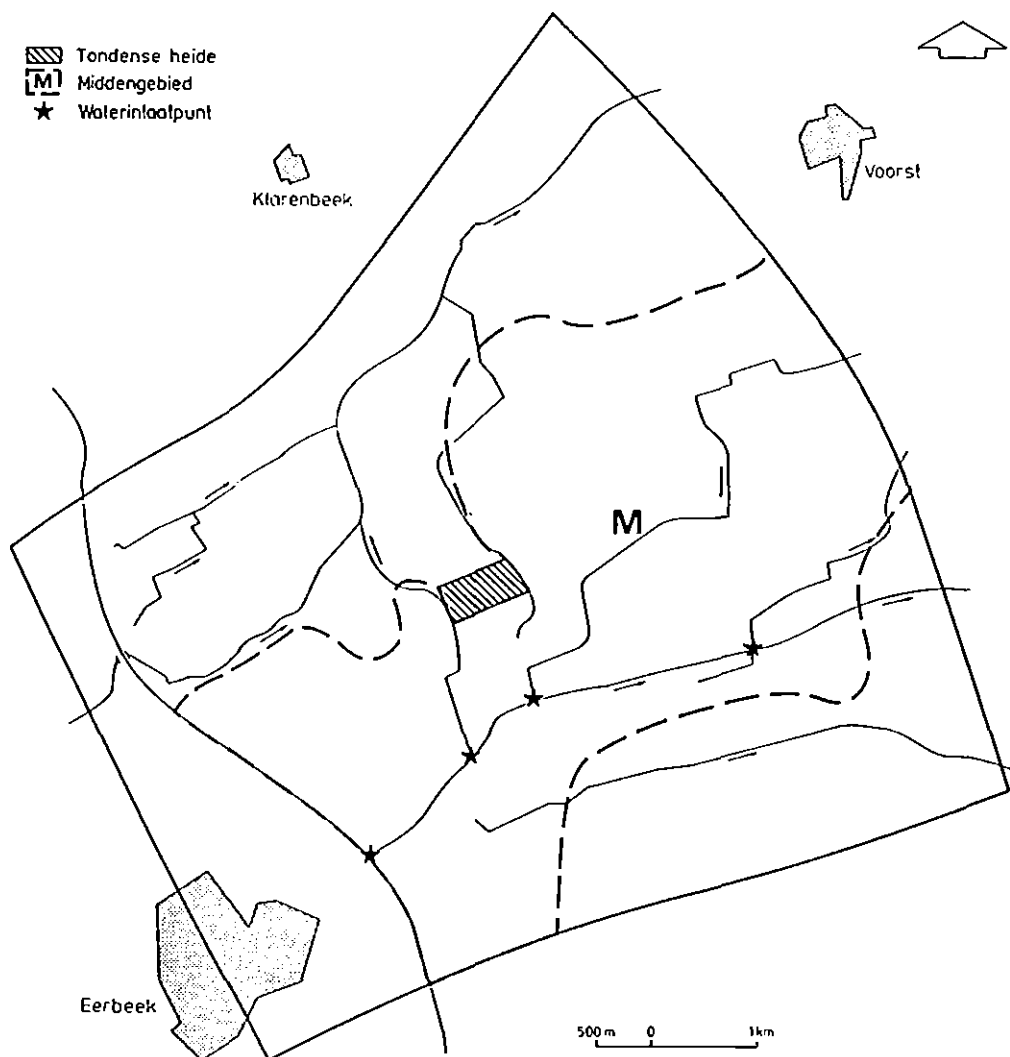


Fig. 17. Ligging van het middengebied met waterinlaatpunten

### 6.5.2. Aanpassing parameterwaarden

De relevante parameterwaarden zijn op onderstaande wijze aangepast:

- Dimensies, bergings- en afvoercapaciteit van de Eerbeekse Voorstondense beek zijn ingebracht. Deze beek speelt in de werkelijke situatie geen rol omdat het een opgeleide beek is waarin geen interactie bestaat tussen het beekwater en het grondwater.
- De slootpeilen zijn opgezet tot: zomerpeil 0,50 m - maaiveld  
winterpeil 0,80 m - maaiveld.

Als de grondwaterstand in de zomer hoger komt dan het zomerpeil wordt het winterpeil aangehouden.

- De maximale wateraanvoercapaciteit is voor het gehele middengebied gesteld op 0,86 mm/d (= 0,1 l/sec/ha) op grond van gegevens van IWACO (1986).

### 6.5.3. Resultaten

In bijlage 1 is het stijghoogteverloop van de meetpunten in het middengebied en in de Tondense heide voor scenario-5 gegeven. In Tabel 5 is het effect van de wateraanvoer op de zomergrondwaterstanden van de Tondense heide samengevat (zie ook Fig. 11).

Tabel 5. Gemiddelde zomergrondwaterstandsverhogingen (m)  
in de Tondense heide in scenario-5

| Subgebied | zomer 1985 | zomer 1986 |
|-----------|------------|------------|
| 17        | 0,18       | 0,16       |
| 18        | 0,15       | 0,17       |
| 19        | 0,22       | 0,19       |
| 20        | 0,19       | 0,20       |

zomer = april t/m september

Zie Figuur 11 voor de ligging van de subgebieden.

De gemiddelde grondwaterstandsstijging tengevolge van wateraanvoer en opzetten van slootpeilen in het middengebied is af te lezen uit Figuur 18 en bedraagt circa 0,40 m tot 0,50 m in 1985 en circa 0,30 m tot 0,40 m in 1986.

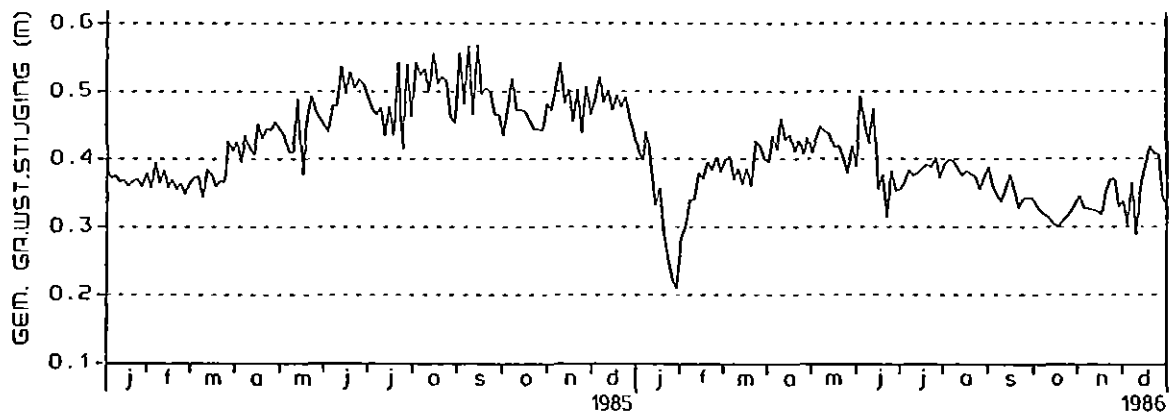


Fig. 18. Gemiddelde stijging van de grondwaterstand in het middengebied bij wateraanvoer en opzetten van peilen voor de periode 1 januari 1985 t/m 31 december 1986

In Tabel 6 zijn de verschuivingen in de waterbalans van het middengebied bij wateraanvoer voor de hydrologische zomer van 1985 en 1986 gegeven.

Tabel 6. Verschuivingen in de waterbalans van het middengebied tengevolge van wateraanvoer en het opzetten van slootpeilen, voor zomer 1985 en zomer 1986, in mm waterschijf

| Periode                      | zomer 1985 |      |       | zomer 1986 |      |       |
|------------------------------|------------|------|-------|------------|------|-------|
| Pot. verdamping              | 407        |      |       | 453        |      |       |
| Scenario                     | 0          | 5    | 5 - 0 | 0          | 5    | 5 - 0 |
| Verdamping                   | -404       | -382 | +22   | -448       | -441 | +7    |
| Berekening                   | +93        | +33  | -60   | +318       | +192 | -126  |
| Infiltratie                  | +3         | +16  | +13   | +15        | +30  | +15   |
| Afvoer                       | -143       | -135 | +8    | -84        | -76  | +8    |
| Onttrek. 1e waterv. pakket   | -92        | -33  | +59   | -314       | -189 | +125  |
| Randinstr. + bergingstoename | -          | -    | -42   | -          | -    | -29   |

+ = ingaand  
- = uitgaand

Uit Tabel 6 valt het volgende te lezen:

- 1) De effecten van het opzetten van slootpeilen met behulp van aangevoerd water zijn beduidend hoger dan de effecten van enkel het opzetten van peilen (scenario-4, Tabel 4).
- 2) Evenals in scenario-4 neemt de verdamping in scenario-5 in vergelijking tot de 0-situatie af. Deze reductie is het sterkst in de natte zomer van 1985 en dan met name in de maanden april/mei (58% van de totale reductie) en juni/juli (37% van de totale reductie) waarin de meeste neerslag valt en de grondwaterstanden het hoogst zijn. De verdampingsafname in de droge zomer van 1986 is beduidend minder en vindt voor 100% plaats in de maanden april en mei, bij een relatief hoge grondwaterstand en hoge neerslag. Uit deze gegevens kan worden geconcludeerd dat er in de perioden met verdampingsreductie sprake is van wateroverlast; blijkbaar zijn de peilen in deze perioden te hoog opgezet. Het ligt buiten het bestek van dit onderzoek om na te gaan wat voor deze perioden de meest optimale peilen in het middengebied zijn.

Een verklaring voor dit verschijnsel van verdampingsreductie als gevolg van te hoog opgezette peilen wordt gegeven in 6.4.3 (punt 2) en bijlage 4a. Zoals opgemerkt onder 6.4.3 (punt 2) heeft de berekende verdampingsreductie slechts een indicatieve waarde.

- 3) De berekening is in scenario-5 ten opzichte van de 0-situatie sterk verminderd. Relatief gezien is de beregeningsreductie groter in 1985 (65%) dan in 1986 (40%); in absolute termen is deze echter groter in de droge zomer van 1986. Zowel in 1985 als in 1986 is de vermindering van de berekening het sterkst in de maanden juni tot en met september (zie Fig. 19), wanneer de gewasverdamping het hoogst is en de grondwaterstanden relatief laag zijn. Een verklaring voor deze reductie wordt gegeven in bijlage 4b. Deze verklaring wordt onderstreept door de sterke toename van de capillaire opstijging in de maanden juni tot en met september (Fig. 19). De lichte afname van de capillaire opstijging in de periode april/mei illustreert de wateroverlast in deze maanden.

Ook hier geldt dat de vermindering van de berekening in de modelberekeningen kan worden gezien als een indirecte verdampingstoename (zie 6.4.3, punt 3). Hiervan uitgaand kan worden gesteld dat wateraanvoer in combinatie met het opzetten van peilen in het middengebied gedurende droge perioden een groot positief effect heeft op de verdamping.

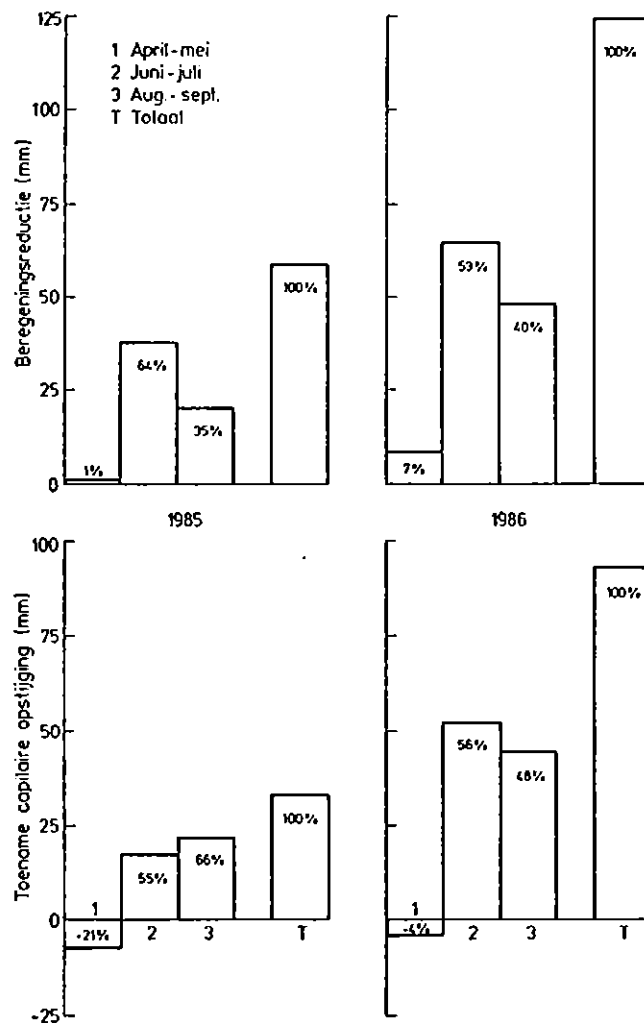


Fig. 19. Beregeningsreductie en toename capillaire opstijging als gevolg van wateraanvoer en opzetten van peilen in het middengebied

- 4) In de situatie met wateraanvoer en opgezette slootpeilen neemt de infiltratie relatief gezien sterk toe: ruim 400% in 'zomer 1985' en 100% in 'zomer 1986'. De afvoer neemt iets af. Het op deze wijze 'voor het gebied gewonnen' water komt ten goede aan de grondwaterstandsverhoging en de indirecte verdampingstoename.

De waterbalans van het gehele modelgebied over de periode 1985-1986 betreffende scenario-5 is gegeven in bijlage 2.



Conclusie: wateraanvoer naar, in combinatie met het opzetten van slootpeilen in het middengebied heeft een duidelijke stijging van de grondwaterstand in de Tondense heide tot gevolg.

## 6.6. SCENARIO-6: WATERAANVOER TEN BEHOEVE VAN DE TONDENSE HEIDE

### 6.6.1. Doel/omschrijving

Doel: het nagaan van het effect van het opzetten van peilen in een buffergebied rondom de Tondense heide en in het natuurterrein zelf, met behulp van aangevoerd water, op de grondwaterstand in het natuurterrein.

Het peil is opgezet in een circa 200 hectare groot buffergebied dat is gelegen ten westen (subgebieden 13 en 15), ten noorden (subgebied 16) en ten zuiden (subgebieden 21 en 22) van het natuurterrein, en in het natuurterrein zelf (subgebieden 17 t/m 20) (zie Figuur 20). Wateraanvoer vindt plaats direct uit het Apeldoorns kanaal en via de Eerbeekse Voorstondense beek naar waterlopen rondom de Tondense heide. Hiertoe is een aantal extra waterlopen 'aangelegd' (zie Fig. 20):

- 1) van het Apeldoorns kanaal naar subgebied 13
- 2) de verbinding tussen de Eerbeekse Voorstondense beek en de Veldbeek
- 3) een sloot ten noorden van de Tondense heide ter completering van de ringleiding rondom het natuurterrein.

De beek westelijk van het natuurterrein is 'uitgediept'.

### 6.6.2. Aanpassing parameterwaarden

Relevante parameterwaarden zijn op de volgende wijze aangepast:

- Dimensies, bergings- en afvoercapaciteit van de Eerbeekse Voorstondense beek en de 'aangelegde' waterlopen zijn ingebracht. De bodemhoogte van de sloot ten noorden van de Tondense heide is gehouden op 0,50 m - maaiveld; de westelijke beek is uitgediept tot 0,70 m - mv.
- De slootpeilen zijn opgezet tot:
  - + buffergebied
    - zomerpeil 0,50 m - maaiveld
    - winterpeil 0,70 m - maaiveld
  - + Tondense heide
    - zomerpeil 0,20 m - maaiveld
    - winterpeil 0,30 m - maaiveld.

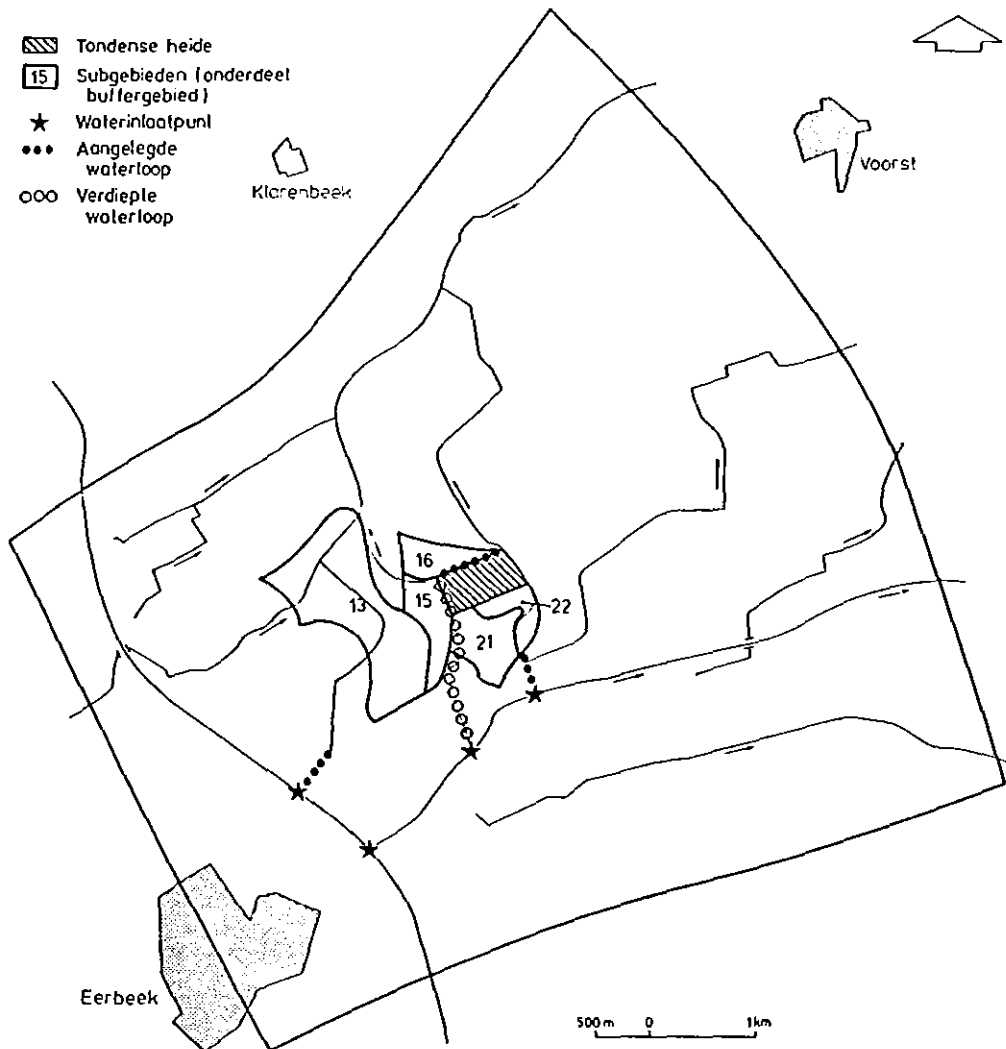


Fig. 20. Ligging van het buffergebied met waterinlaatpunten

- De maximale wateraanvoercapaciteit is gesteld op 1,0 mm/d.
- Er is gesteld dat in het buffergebied niet wordt beregend.

### 6.6.3. Resultaten

Het effect van het opzetten van peilen met behulp van aangevoerd water in de bufferzone en in de Tondense heide op de grondwaterstand in het natuurtrein is af te lezen uit het stijghoogteverloop in bijlage 1 en is samengevat in Tabel 7.

Tabel 7. Gemiddelde zomergrondwaterstandsverhogingen (m)  
 in de Tondense heide in scenario-6

| Subgebied | zomer 1985 | zomer 1986 |
|-----------|------------|------------|
| 17        | 0,18       | 0,20       |
| 18        | 0,18       | 0,19       |
| 19        | 0,12       | 0,13       |
| 20        | 0,06       | 0,08       |

zomer = april t/m september

Zie Figuur 11 voor de ligging van de subgebieden.

In de eerste plaats moet worden opgemerkt dat, aangezien het voor de berekening benodigde water nagenoeg volledig uit het eerste watervoerende pakket wordt betrokken, het effect van peilverhoging een gecombineerd effect is van zowel het opzetten van peilen als het stoppen van de berekening.

Opvallend is de in oostelijke richting aflopende gradient in de grondwaterstandsverhoging. Vanwege de west-oost gerichte helling van het gebied heeft de oostelijk van het natuurterrein gelegen Veldbeek ook in een situatie met opgezette peilen nog een duidelijk drainerend effect op de Tondense heide. Verder kan worden gesteld dat in het geheel genomen het effect van wateraanvoer naar en opzetten van peilen in de Tondense heide en een bufferzone rondom het natuurterrein geringer is dan het effect van het opzetten van peilen met aangevoerd water in het middengebied.

De gemiddelde stijging van de grondwaterstand in de bufferzone als gevolg van het aanvoeren van water naar en het opzetten van peilen in dit gebied is gegeven in Figuur 21.

De waterbalans van het gehele modelgebied over de periode 1985-1986 betreffende scenario-6 is gegeven in bijlage 2.

Conclusie: het opzetten van slootpeilen met behulp van aangevoerd water in de Tondense heide en een bufferzone daar omheen heeft een duidelijke stijging van de grondwaterstand in het natuurterrein tot gevolg, zij het dat deze stijging geringer is dan in een situatie met opgezette peilen in en wateraanvoer naar het middengebied (scenario-5).

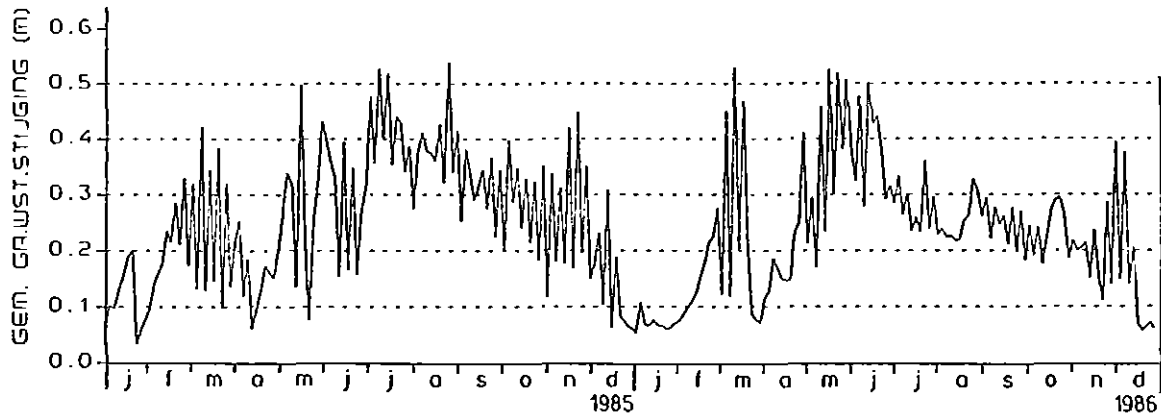


Fig. 21. Gemiddelde stijging van de grondwaterstand in de bufferzone bij wateraanvoer en het opzetten van peilen voor de periode 1 januari 1985 t/m 31 december 1986

#### 6.7. INVOER VOOR STRELIN

Uit de resultaten van de scenario-berekeningen zijn door GROENENDIJK (1988b) de invoergegevens samengesteld voor het stroomlijnenmodel STRELIN (GROENENDIJK, 1988a), waarmee stroomlijnenpatronen van een west-oost gericht transect door de Tondense heide zijn gesimuleerd.

In Tabel 8 zijn de belangrijkste van deze invoergegevens in de vorm van gemiddelde kwel/wegzijgings-intensiteiten voor de subgebieden van de Tondense heide gegeven, berekend over de jaren 1985 en 1986.

Tabel 8. Gemiddelde kwel-/wegzijgingsintensiteiten in de Tondense heide, berekend over de jaren 1985 en 1986, in mm/d

| subgebied | Scenario |       |       |       |       |       |       |
|-----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           | 0        | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
| 17        | 0,77     | 0,76  | 0,74  | 0,77  | 0,77  | 0,71  | 0,84  |
| 18        | -1,21    | -2,81 | -1,26 | -1,21 | -1,21 | -2,02 | -0,51 |
| 19        | 1,11     | 1,10  | 1,09  | 1,11  | 1,11  | 1,04  | 1,27  |
| 20        | 0,45     | -0,78 | 0,39  | 0,45  | 0,45  | -0,83 | 0,05  |

Zie Fig. 11 voor de ligging van de subgebieden

- = kwel

De aangegeven cijfers zijn per subgebied berekend als een restpost van verschillende waterbalanstermen. Uit deze cijfers is niet af te leiden of een eventuele kwelstroom de wortelzone bereikt.

Interessant voor een vergelijking zijn met name subgebied 18 en subgebied 19, aangezien het oostelijke deel van subgebied 18 een broekeerdgrond betreft en het daaraan grenzende subgebied 19 een veldpodzolgrond is. De belangrijkste punten van deze vergelijking zijn hieronder in het kort aangegeven:

- opvallend is dat zowel scenario-1 als 5 leiden tot een grotere kwelintensiteit in de broekeerdgrond. In beide scenario's is er sprake van een verhoogde grondwaterstand. Deze situatie heeft weinig effect op de wegzijgingsintensiteit in de veldpodzolgrond;
- in scenario-6 neemt de kwelintensiteit in de broekeerdgrond af, terwijl in deze situatie de zomergrondwaterstand wel hoger wordt. De verhoging wordt veroorzaakt door de lokale opstuwning van het water in het natuurgebied. Een eventuele kwelstroom vanuit de regio wordt teruggedrongen door het neerslagwater.

In Figuur 22 is het met STRELIN berekende stroomlijnenpatroon gegeven voor de uitgangssituatie (scenario-0). Deze presentatie dient zuiver ter illustratie; voor een beschrijving van de betekenis van de stroomlijnenpatronen wordt verwezen naar GROENENDIJK (1988b). De figuur heeft betrekking op een gemiddeld stationair hydrologisch beeld. Het betreft slechts een globale beschrijving van de grondwaterstroming; de detaillontwatering ontbreekt in dit beeld.

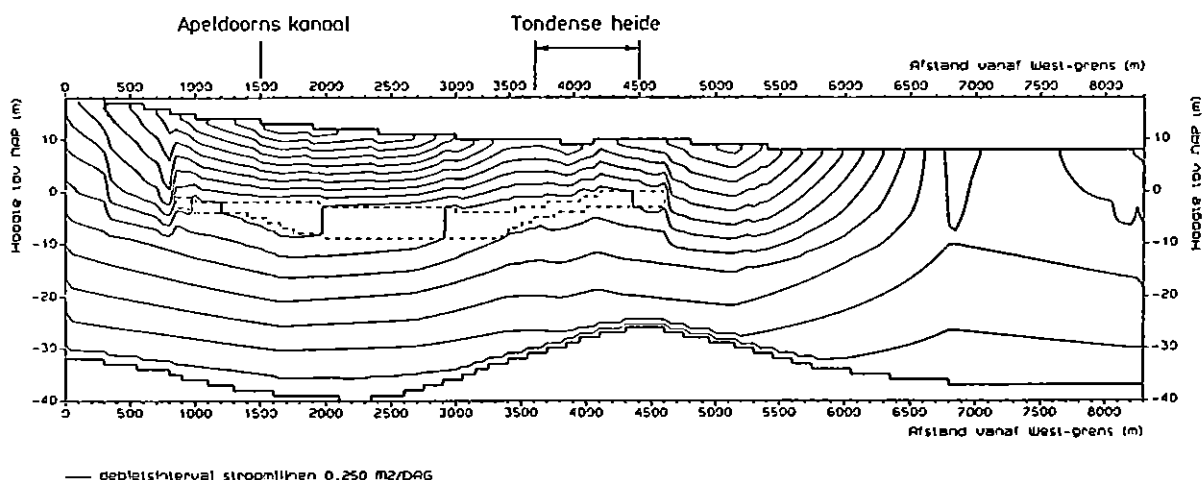


Fig. 22. Stroomlijnenpatroon van het gemiddelde hydrologisch beeld over 1985 en 1986 voor scenario-0 (Bron: GROENENDIJK, 1988b)

## L I T E R A T U U R

- AELMANS, F.G., 1983. Grondwaterkaart van Nederland; Apeldoorn-Oost.  
D.G.V.- T.N.O.
- BAKEL, P.J.T. VAN, 1978. A numerical model for non-stationary  
saturated groundwater flow in a multi-layerd system. ICW nota  
1077, ICW, Wageningen.
- , 1985. Planning, design and operation of surface water  
management systems. ICW report 13, ICW, Wageningen.
- BANNINK, J.F. en J.C. PAPE, 1979. Enige gegevens betreffende de  
bodemgesteldheid van de natuurterreinen Empese en Tondense  
heide, Koolmansdijk en Nijkampsheide. Rapport ten behoeve van  
de commissie bestudering Waterhuishouding Gelderland. Stiboka,  
Wageningen.
- BLOEMEN, G.W., 1980. Calculation of hydraulic conductivities from  
texture and organic matter content. Zeitschrift fur Pflanzen-  
ernaehrung und Bodenkunde, 143. Band, Heft 5, Seite 581-605.
- , 1982. Bodemfysische interpretatie van de bodemkundige  
gegevens van het zuidelijk Peelgebied. ICW nota 1374, ICW,  
Wageningen.
- BODEMKAART VAN NEDERLAND  
(schaal 1 : 50.000). Stiboka, Wageningen.
- BOTH, J.C. en G. VAN WIRDUM, 1981. Waterhuishouding, bodem en vegeta-  
tie van enkele Gelderse natuurgebieden. Basisrapport ten  
behoefte van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelder-  
land. RIN-rapport 81/18, RIN, Arnhem.
- CENTRALE CULTUURTECHNISCHE COMMISSIE, 1985. Rapport voor de ruilver-  
kaveling Brummen-Voorst. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- D.H.V., 1985. Onderzoek Waterhuishouding IJsselvallei III, Rapport  
fase 1; Verkenning.
- ERNST, L.F., 1971. Analysis of groundwater flow to deep wells in areas  
with a non-linear function for the subsurface drainage.  
Technical bulletin 75, ICW, Wageningen.
- GROENENDIJK, P., 1986. Onderzoek naar de effecten van wateraanvoer en  
peilveranderingen in agrarische gebieden op de waterkwaliteit  
in natuurgebieden. Deel 1, Gebiedsbeschrijving en onderzoeks-  
programma. ICW nota 1695, ICW, Wageningen.

- GROENENDIJK, P., 1988a. Onderzoek naar de effecten van wateraanvoer en peilveranderingen in agrarische gebieden op de waterkwaliteit in natuurgebieden. Deel 8, STRELIN, een computerprogramma voor de berekening van stroomlijnen, potentialen en verblijftijden. ICW nota 1810, ICW, Wageningen.
- , 1988b. Onderzoek naar de effecten van wateraanvoer en peilveranderingen in agrarische gebieden op de waterkwaliteit in natuurgebieden. Concept ICW en SWNBL rapport.  
ICW rapport ..., ICW, Wageningen.
- GROOT OBBINK, D.J., F. DE VRIES en G. RUTTEN, 1979. Ruilverkavelingsgebied Brummen-Voorst. De bodemgesteldheid, deel 1. Stiboka, Wageningen.
- HENDRIKS, R.F.A., 1986. Onderzoek naar de effecten van wateraanvoer en peilveranderingen in agrarische gebieden op de waterkwaliteit in natuurgebieden. Deel 4, Enkele hydrologische, bodemfysische en bodemchemische parameters uit twee SWNBL proefgebieden.  
ICW nota 1743, ICW, Wageningen.
- IWACO B.V., 1984. IJsselvallei-onderzoek. Rapportage 1e projectjaar: Invloed diepe grondwaterwinning. Rapport nr. 30.248, Boxtel.
- IWACO B.V., 1986. Infiltratie-onderzoek IJsselvallei. Eindrapport.  
Rapport nr. 30.278-3, Boxtel.
- JANSEN, P.C., 1986. De potentiële verdamping van (half-)natuurlijke vegetaties. ICW nota 1703, ICW, Wageningen.
- LUGGENHORST, E.J. TE 1980. De waterbalans van het 1e pand van het Apeldoornskanaal. Een studie van de waterbalans en de wegzijging. Nota 80.16; Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging. District Zuidoost.
- MOLEN, W.H. VAN DER, 1977. Beheer van grondwatervoorraden. Deel I: Tekst. Collegediktaat Vakgroep Cultuurtechniek, Landbouw Hogeschool, Wageningen.
- OLSTHOORN, T.N., 1982. Praktisch ijken van grondwatermodellen.  
Civile en bouwkundige techniek nr. 2, februari 1982, pag. 27-34.
- POST, H. EN P.J.T. VAN BAKEL, 1986. Onderzoek waterbeheer in de ruilverkaveling 'Ruinerwold-Koekange'. Mededelingen Landinrichtingsdienst 164, Landinrichtingsdienst, Utrecht.

- QUERNER, E.P., 1984. Program FEMSAT; 1. Calculation method for steady and unsteady groundwater flow. ICW nota 1557, ICW, Wageningen.
- , 1985. Program FEMSAT; 2. User-manual (version 1.1). ICW nota 1558, ICW, Wageningen.
- and P.J.T. VAN BAKEL, 1984. Description of second level water quantity model, including results. ICW nota 1586, ICW, Wageningen.
- , 1986. User's manual for groundwater model SIMGRO (FEMSATP). Draft. ICW nota 1745, ICW, Wageningen.
- SMIDT E.H., P.J.T. VAN BAKEL, S. KADEN, P.E.V. VAN WALSUM AND K.E. WIT, 1983. I: Hydrological models for the southern peel area: Collection of discussion papers prepared between march and september 1983. II: Explanation to the map of the subregions in the southern peel area. ICW nota 1420, ICW, Wageningen.
- T.N.O., 1964. Steady flow of ground water towards wells. Verslagen en mededelingen no. 10, commissie voor hydrologisch onderzoek T.N.O., Den Haag.
- TOORN, A VAN DEN EN J. PANKOW, 1987. Onderzoek naar de effecten van wateraanvoer en peilveranderingen in agrarische gebieden op de waterkwaliteit in natuurgebieden. Deel 6, In 1986 bepaalde waterkwantiteits- en waterkwaliteitsparameters in de 2 SWNBL proefgebieden. ICW nota 1787, ICW, Wageningen.
- WESSELING, J.G., G.W. BLOEMEN and W.A.J.M. KROONEN, 1984. Computer program CAPSEV. ICW nota 1500, ICW, Wageningen.



NOTA 1876

BYL1

## BIJLAGE 1

### STIJGHOOGTEVERLOOP VAN DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S

Legenda bij de plots van het stijghoogteverloop in relevanten meetpunten betreffende de scenario's 0, 1, 5 en 6.

Voor de ligging van de meetpunten zie figuren 10 en 11 in hoofdstuk 5 in de hoofdtypekst.

- - - maaiveldshoogte

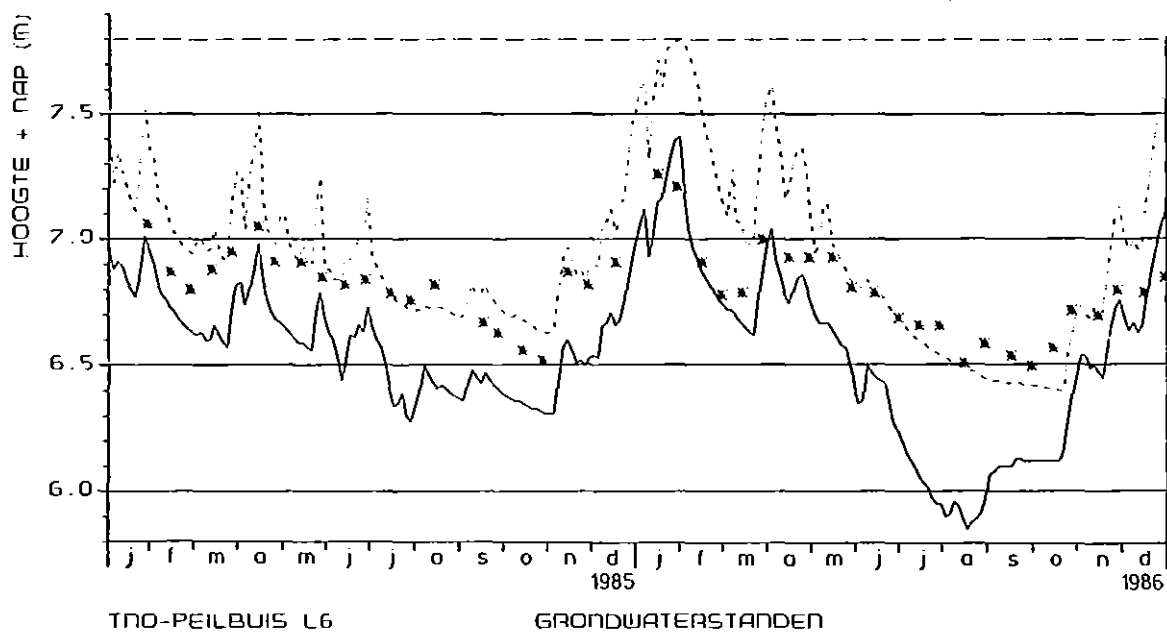
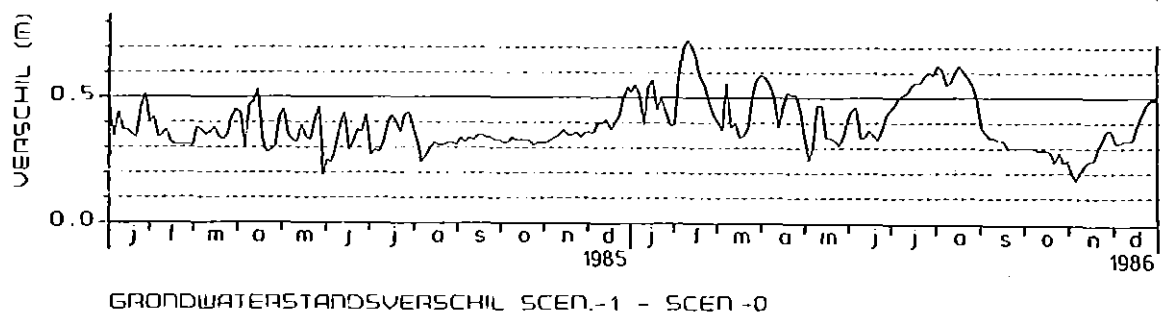
----- berekende grondwaterstand betreffende scenario

——— berekende grondwaterstand scenario-0

\* gemeten grondwaterstand scenario-0

BIJLAGE 1

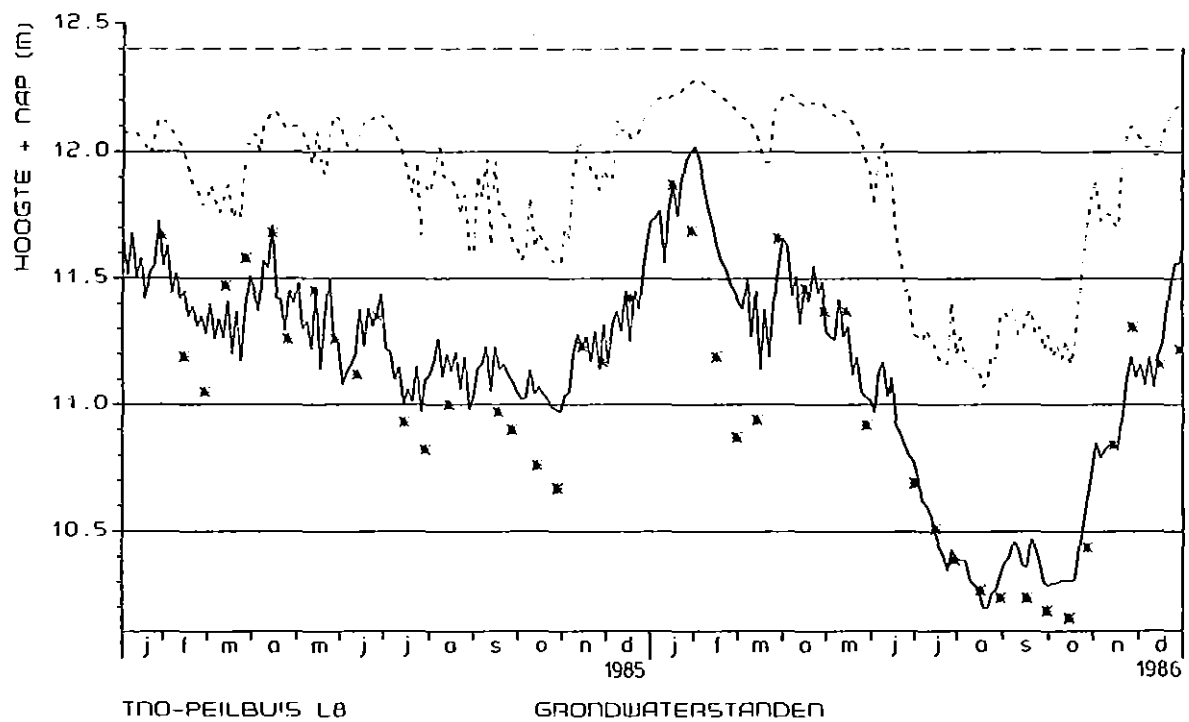
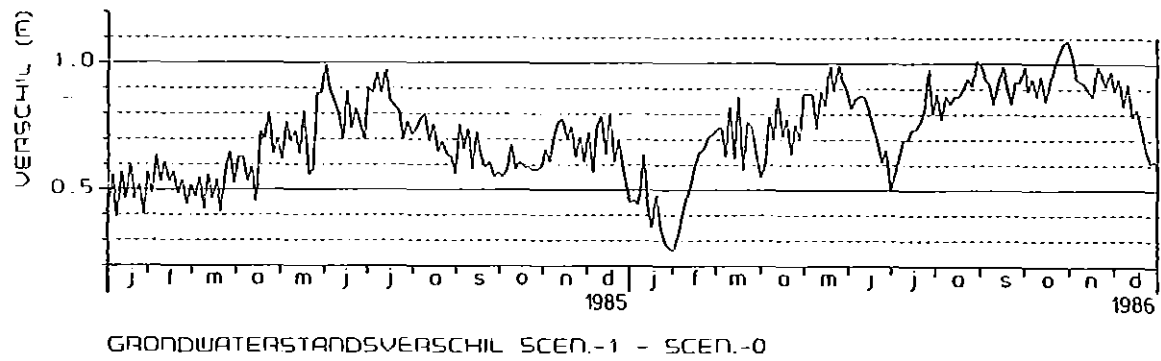
SCENARIO-0 en 1



NOTA 1876

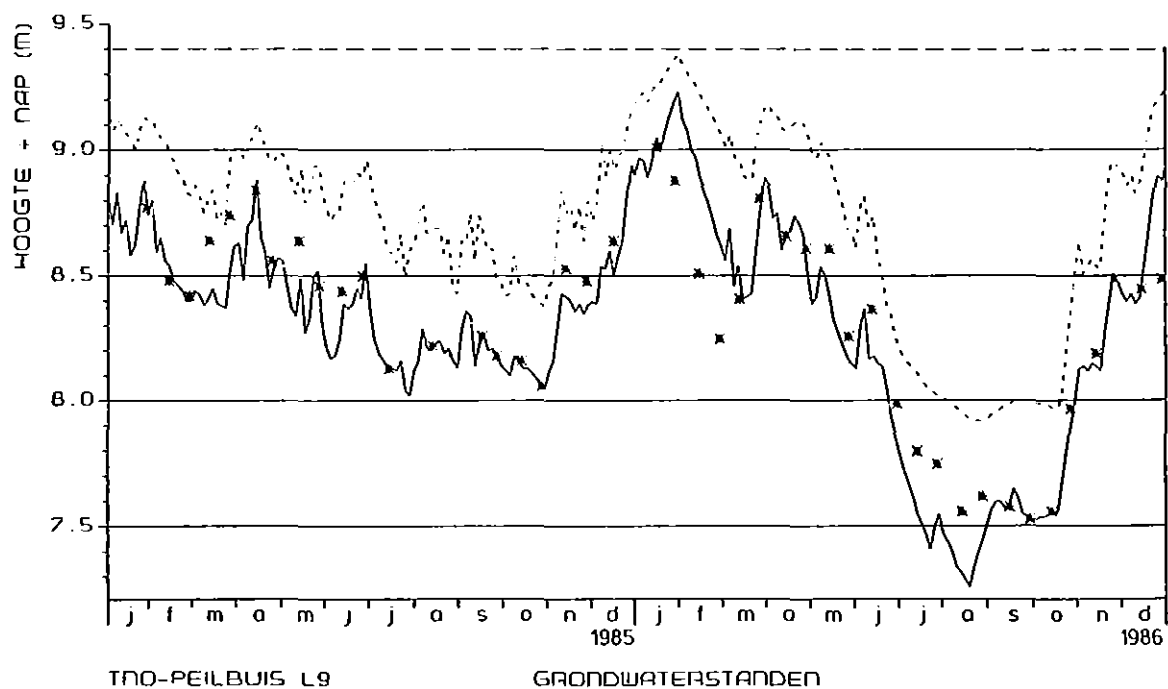
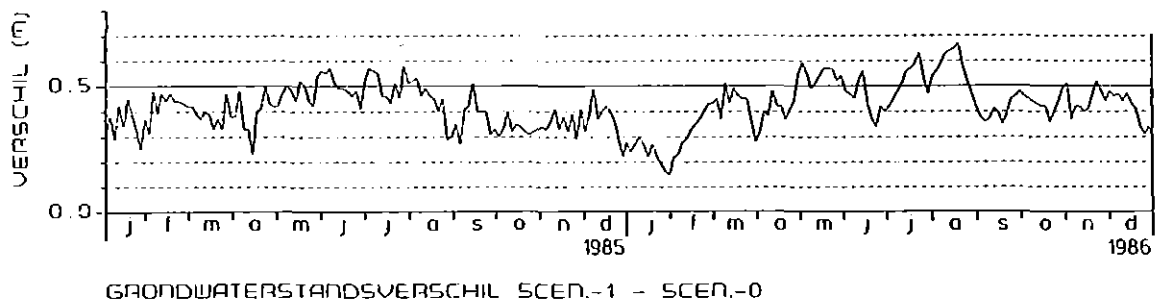
BIJLAGE 1

SCENARIO-0 en 1



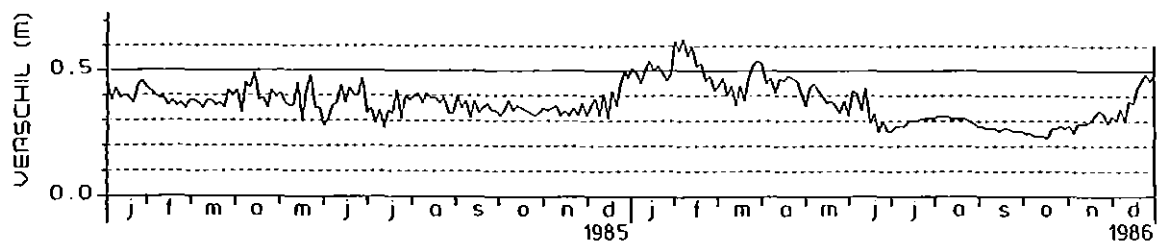
BIJLAGE 1

SCENARIO-0 en 1

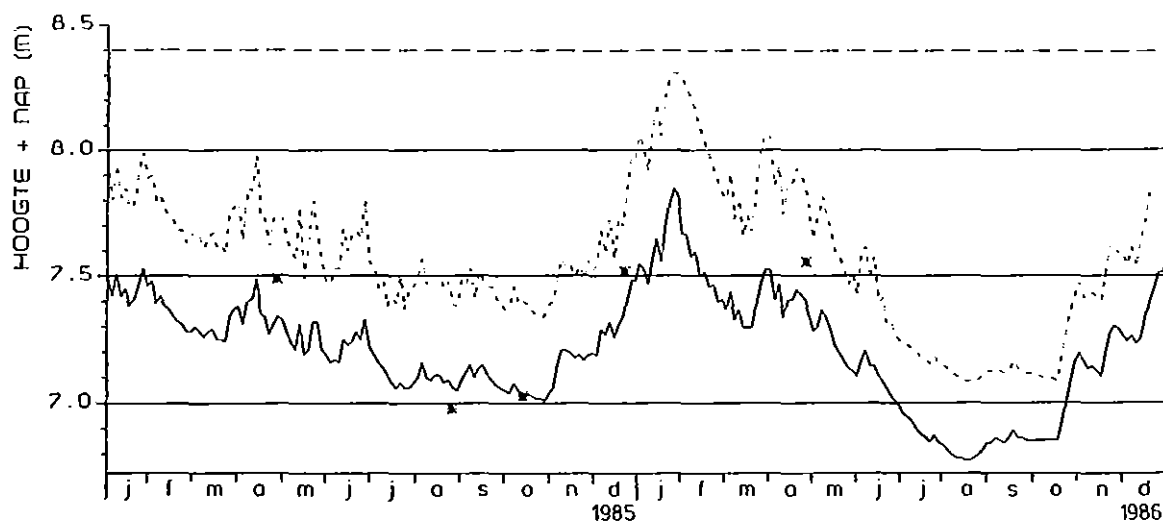


BIJLAGE 1

SCENARIO-0 en 1

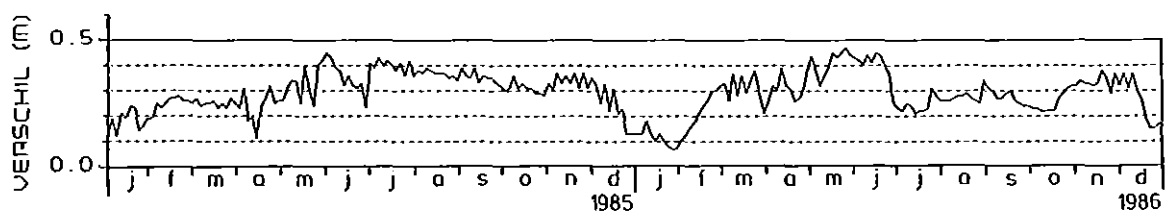


GRONDWATERSTANDSVerschil SCEN.-1 - SCEN.-0

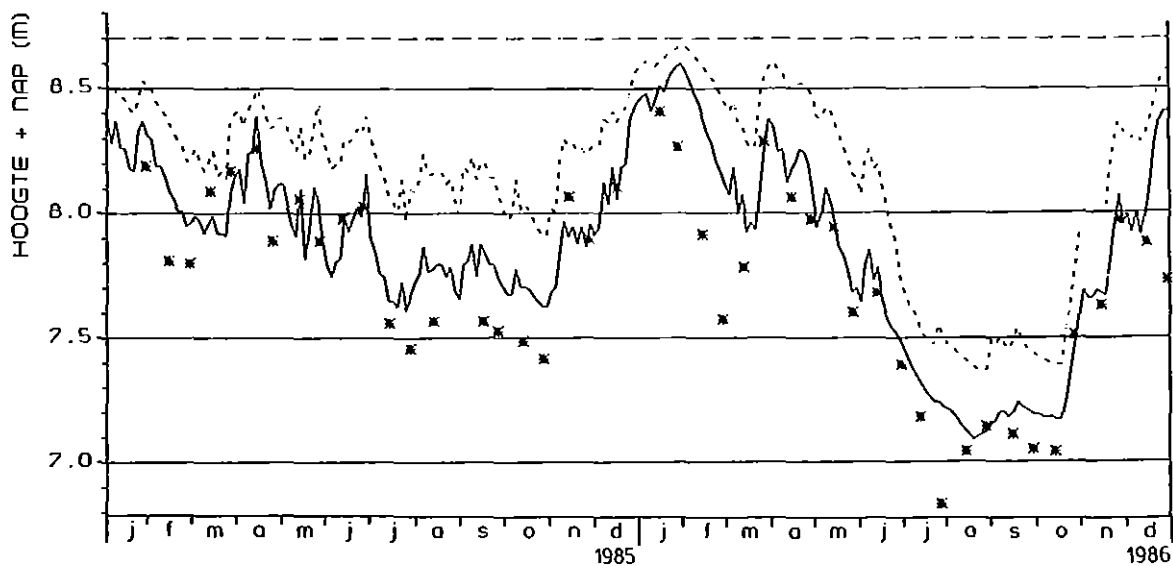


TNO-PEILBUIJS L11

GRONDWATERSTANDEN

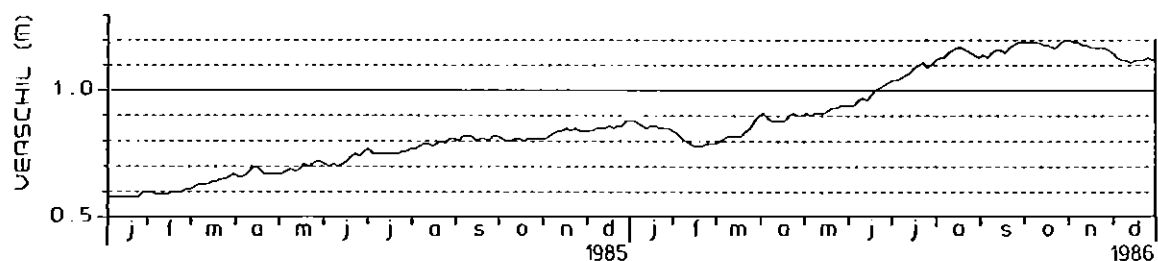


GRONDWATERSTANDSVerschil SCEN.-1 - SCEN.-0

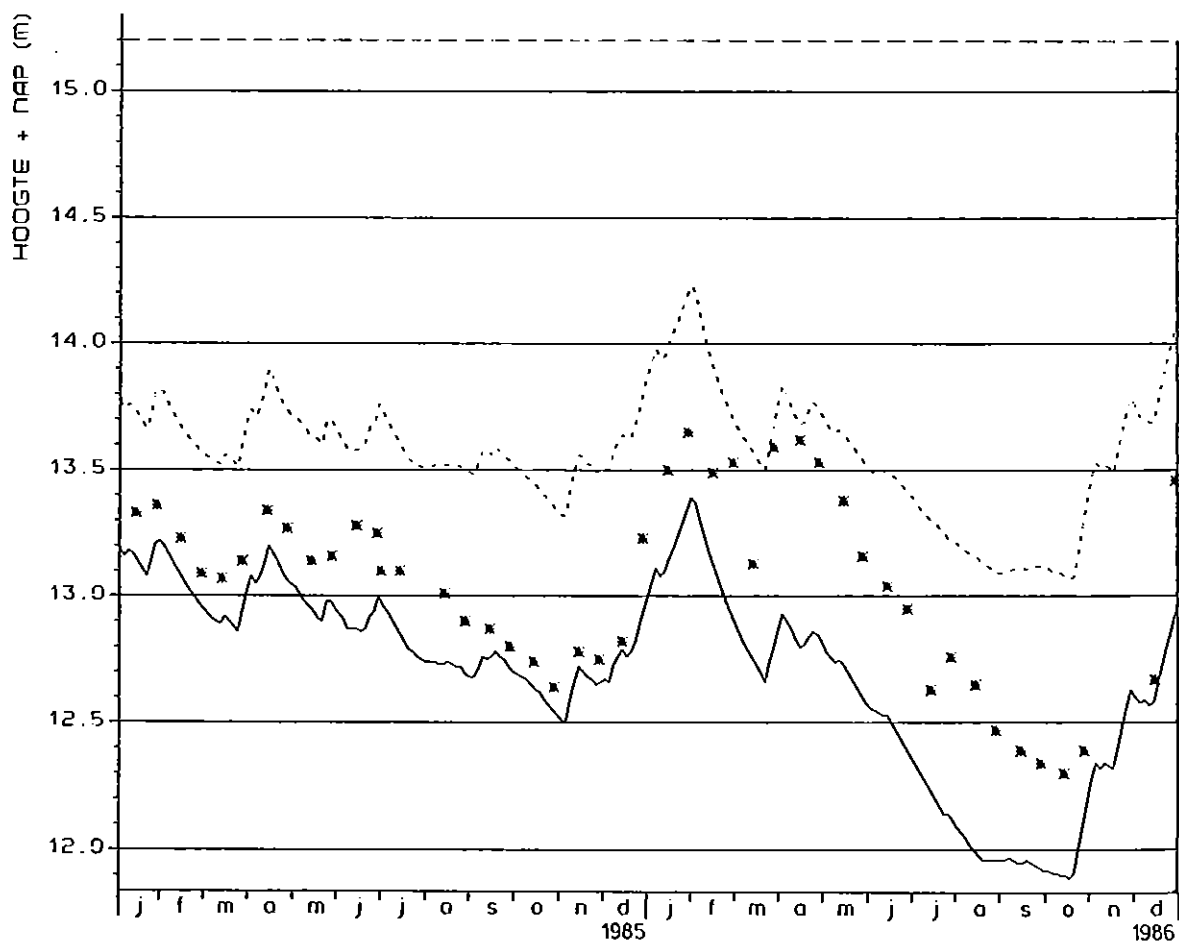


BIJLAGE 1

SCENARIO-0 en 1



GRONDWATERSTANDSVerschil SCEN.-1 - SCEN.-0



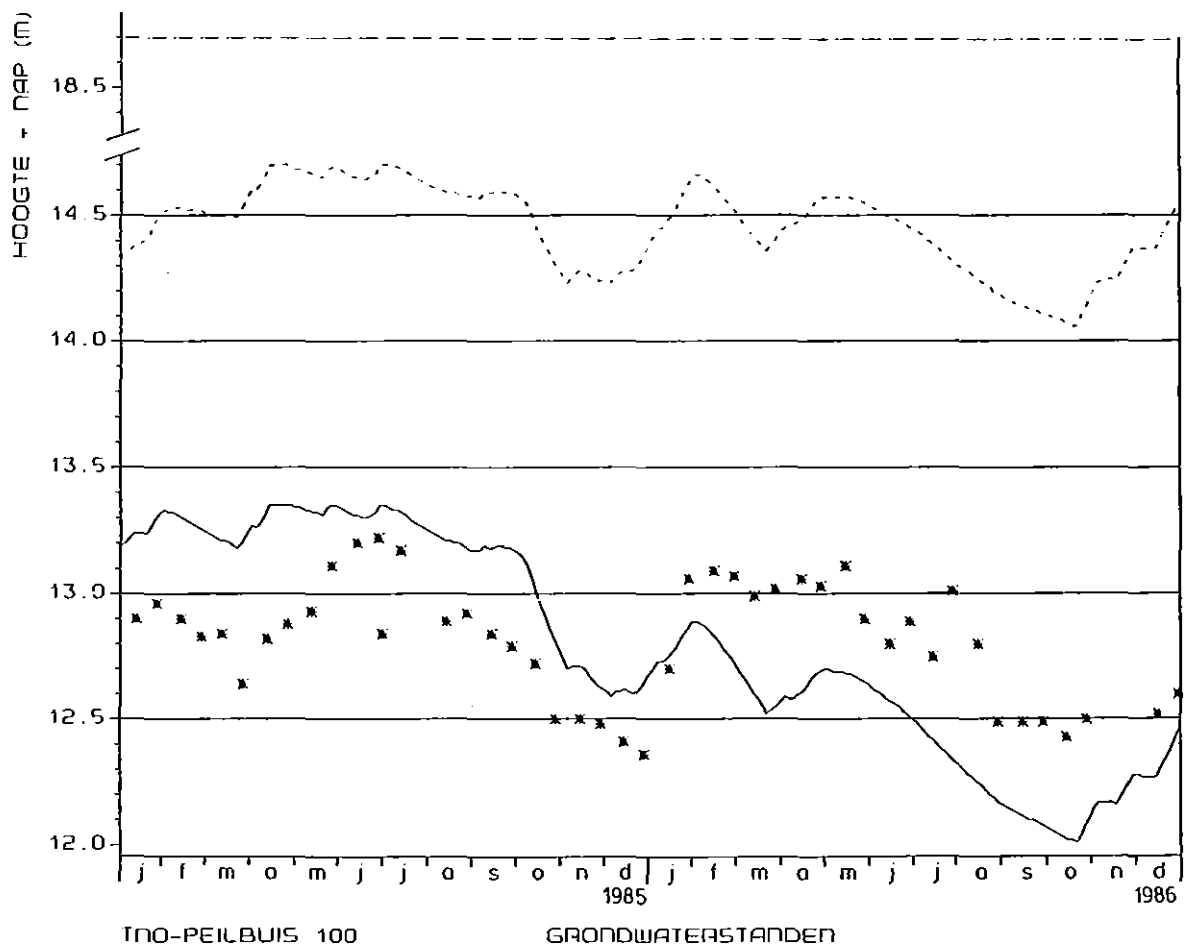
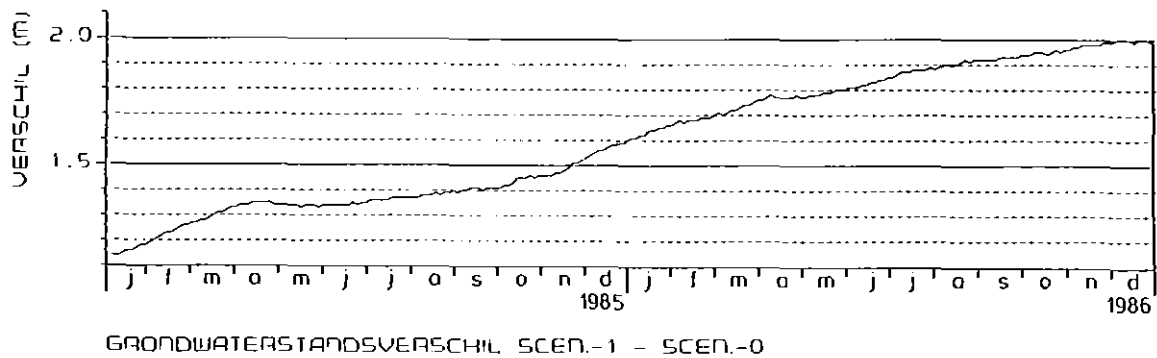
TNO-PEILBUIS 10

GRONDWATERSTANDEN

NOTA 1876

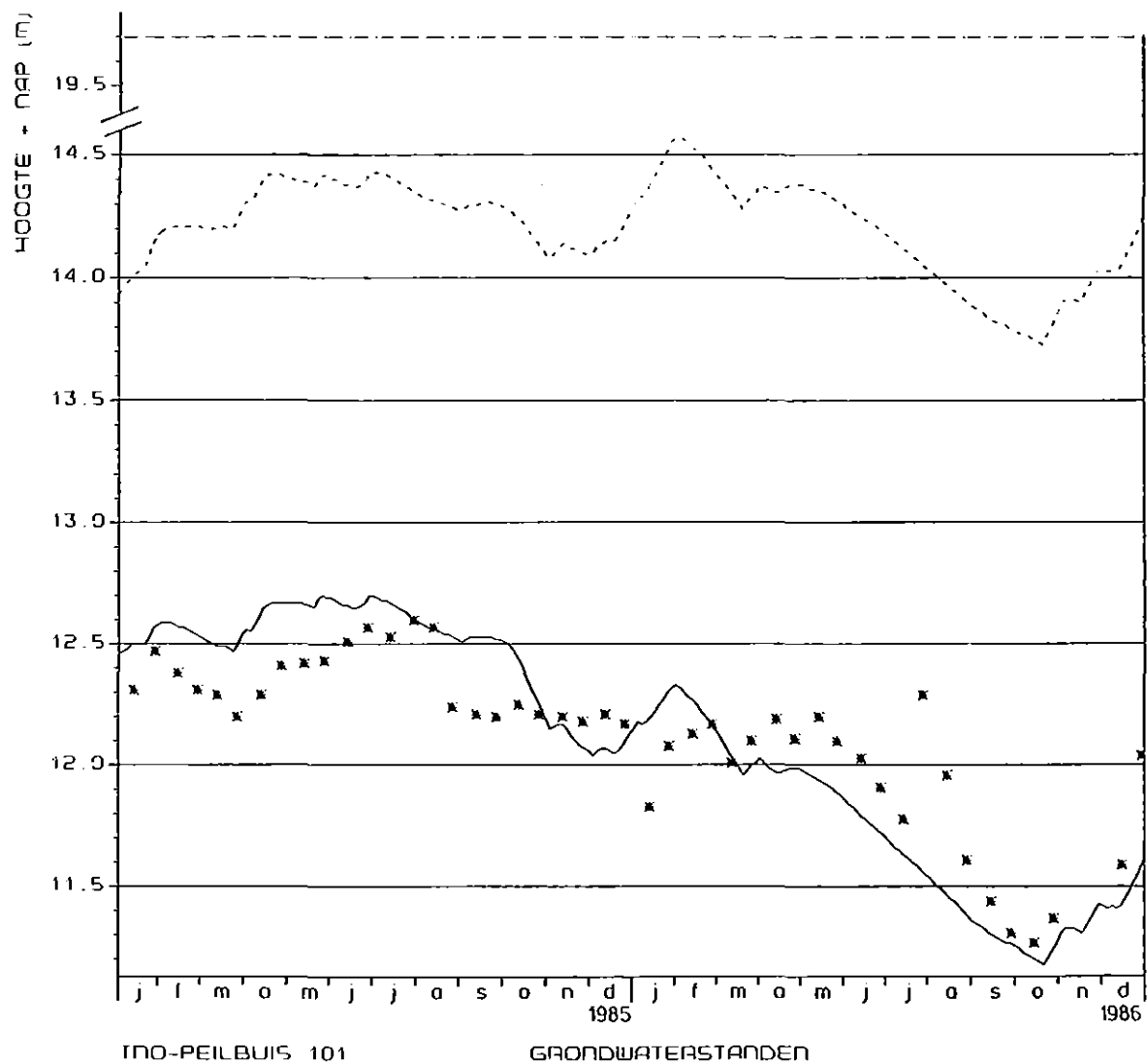
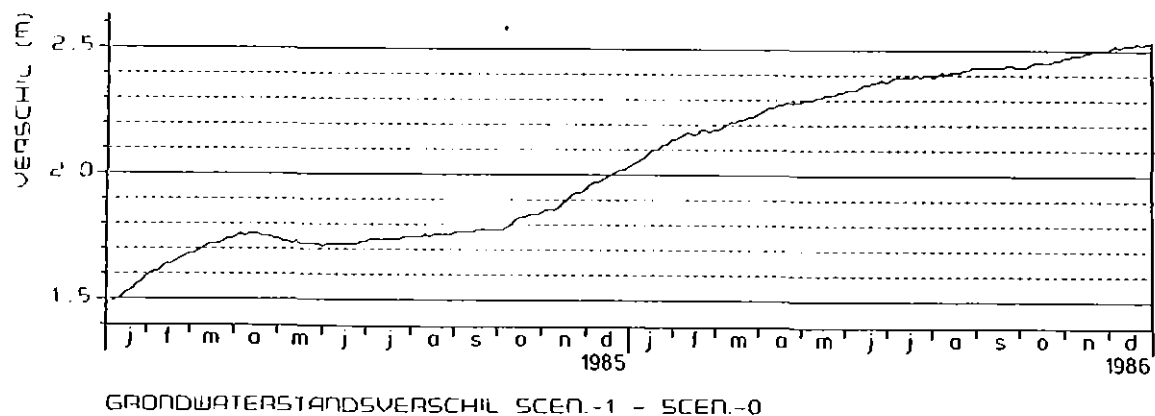
BIJLAGE 1

SCENARIO-0 en 1



BIJLAGE 1

SCENARIO-0 en 1

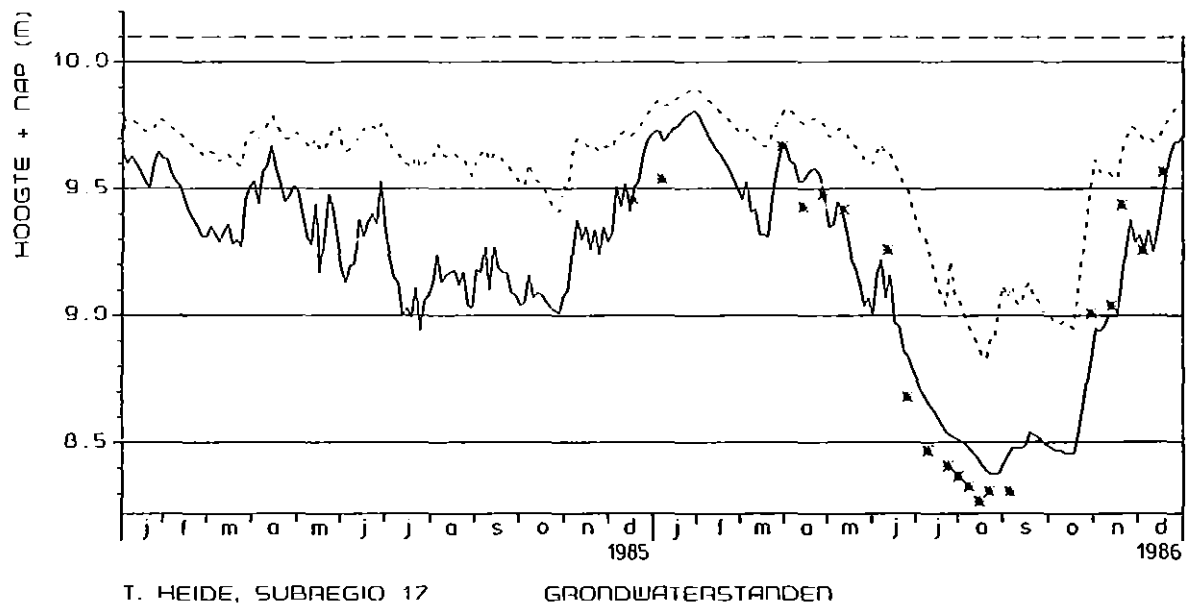
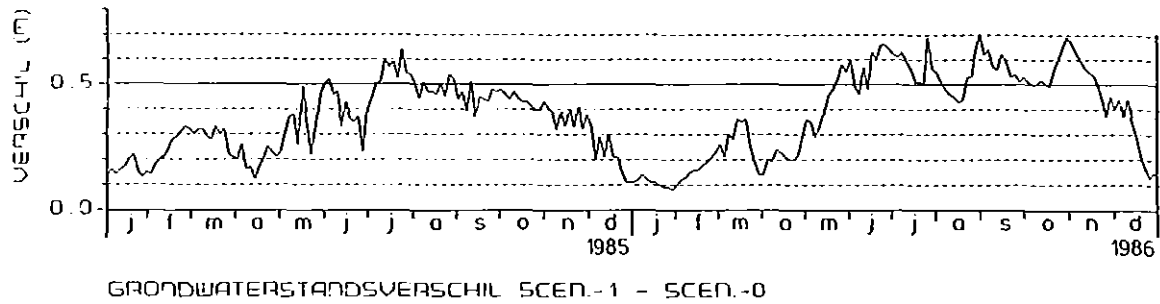




NOTA 1876

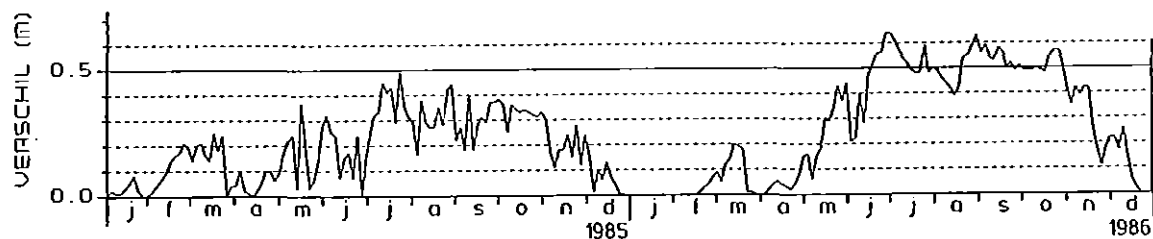
BIJLAGE 1

SCENARIO-0 en 1

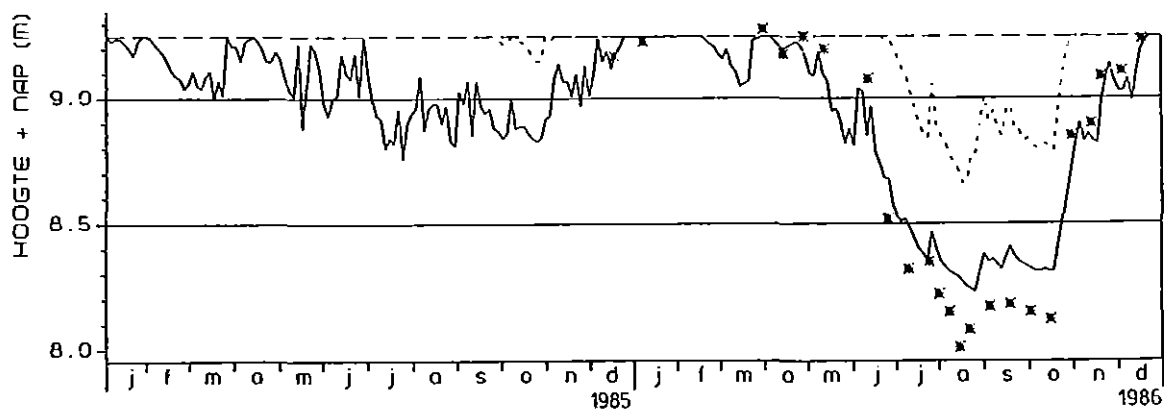


BIJLAGE 1

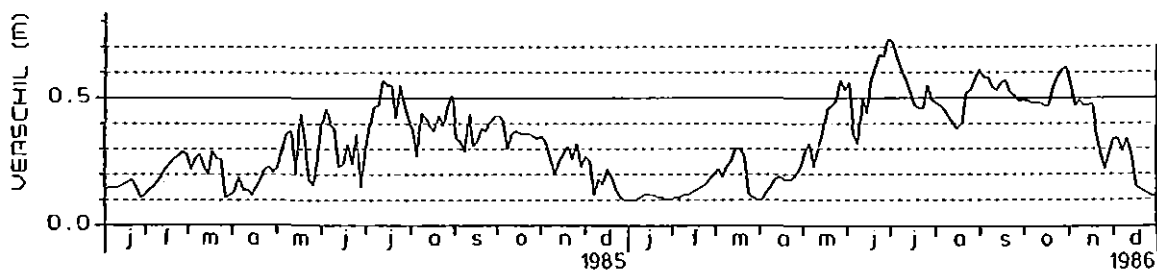
SCENARIO-0 en 1



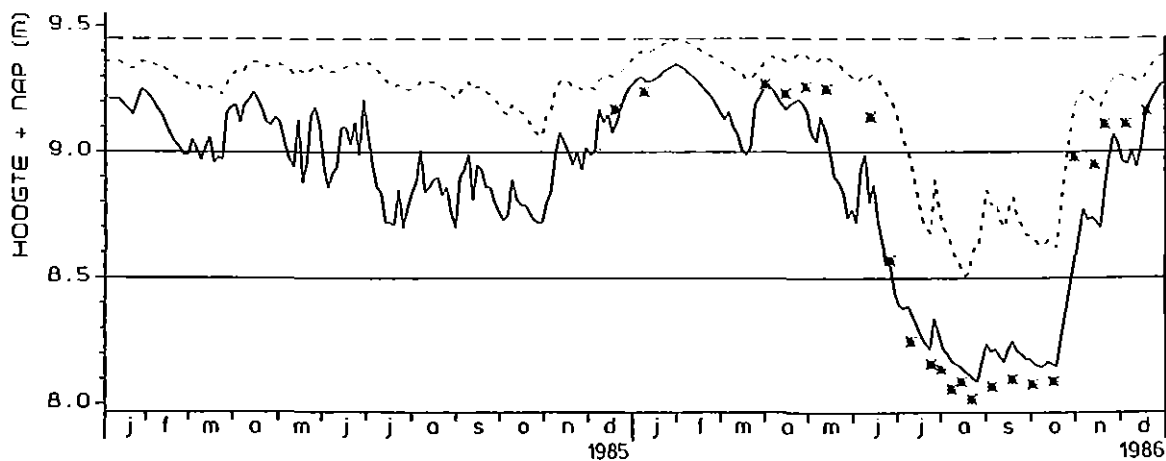
GRONDWATERSTANDSVERSCHIL SCEN.-1 - SCEN.-0



T. HEIDE, SUBREGIO 18-WEST GRONDWATERSTANDEN



GRONDWATERSTANDSVERSCHIL SCEN.-1 - SCEN.-0

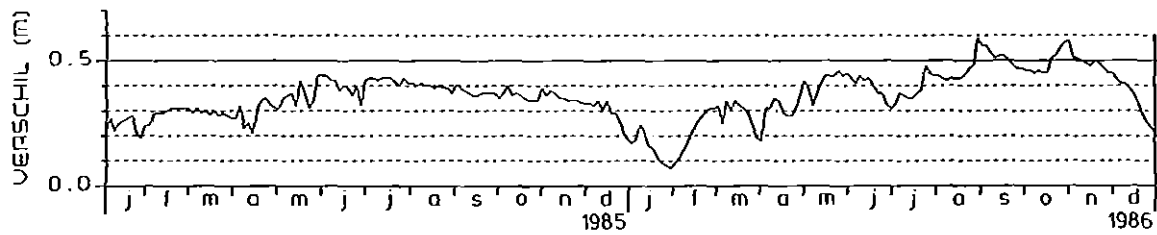


T. HEIDE, SUBREGIO 18-OOST GRONDWATERSTANDEN

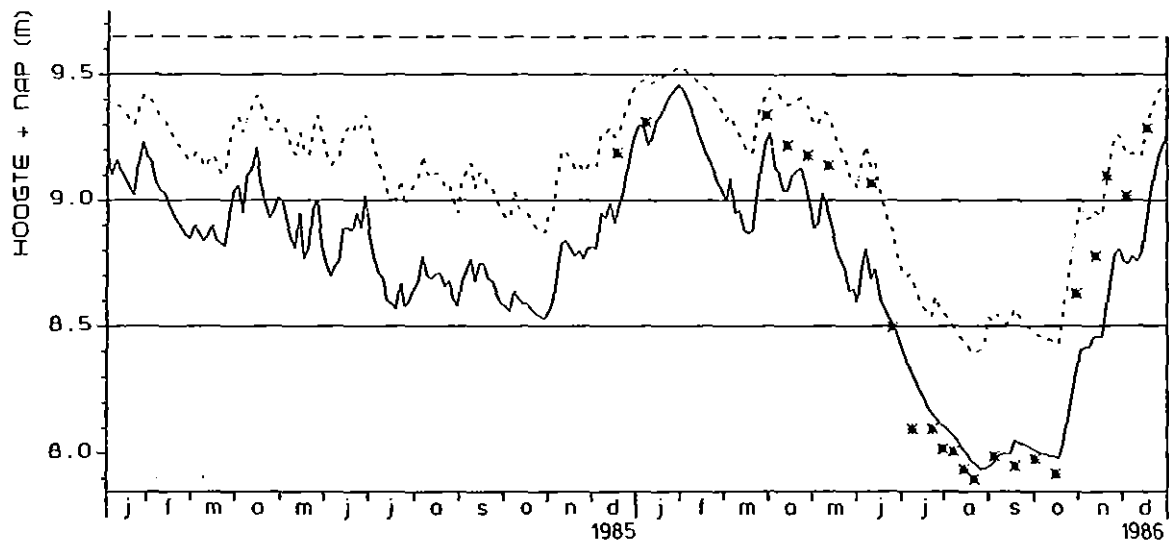
NOTA 1876

BIJLAGE 1

SCENARIO-0 en 1

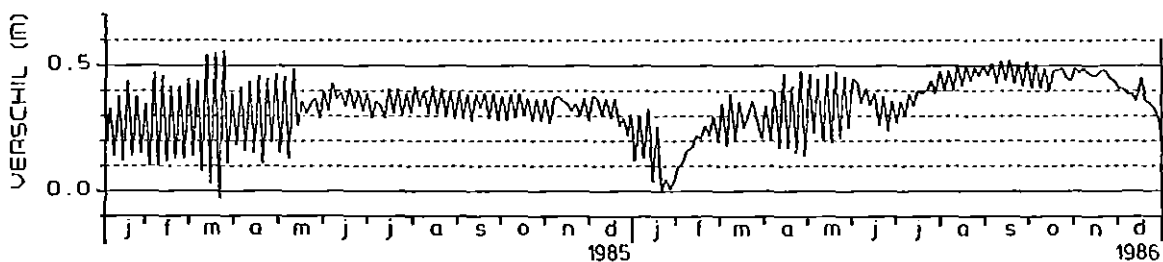


GRONDWATERSTANDSVerschil SCEN.-1 - SCEN.-0

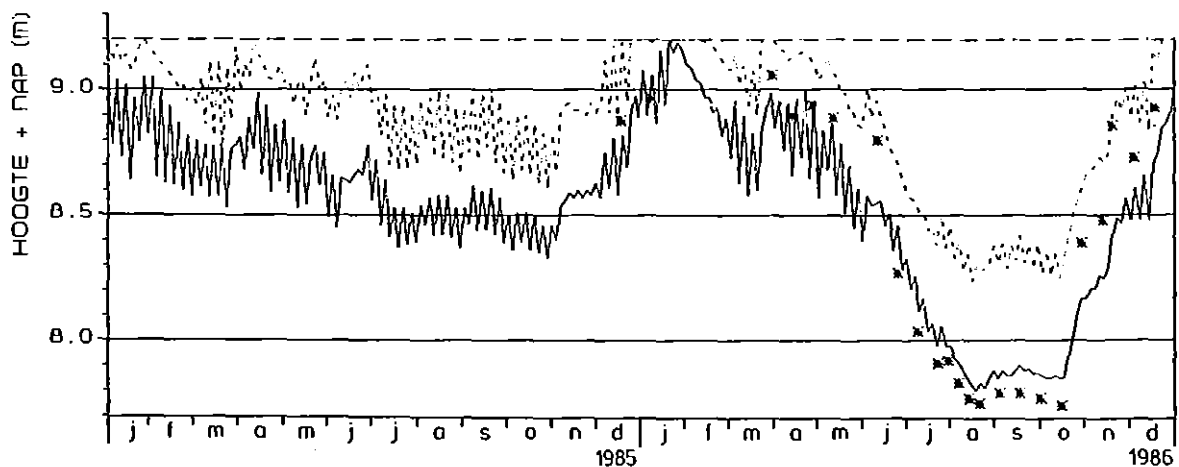


T. HEIDE, SUBREGIO 19

GRONDWATERSTANDEN



GRONDWATERSTANDSVerschil SCEN.-1 - SCEN.-0

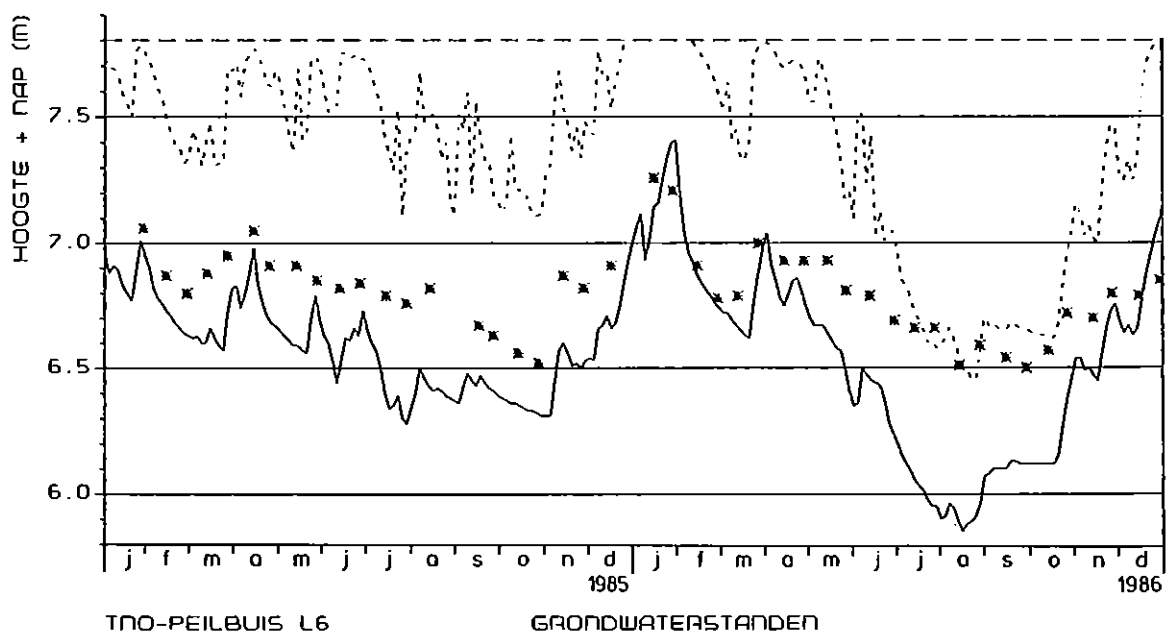
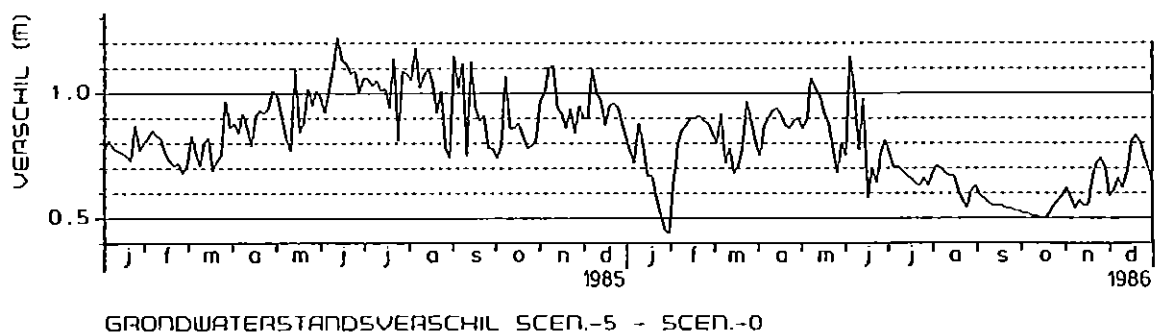


T. HEIDE, SUBREGIO 20

GRONDWATERSTANDEN

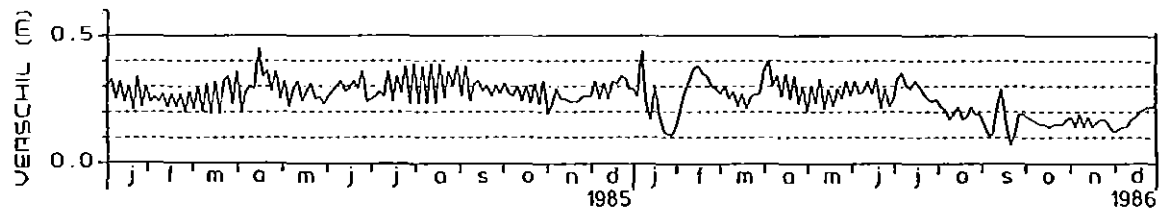
BIJLAGE 1

SCENARIO-5

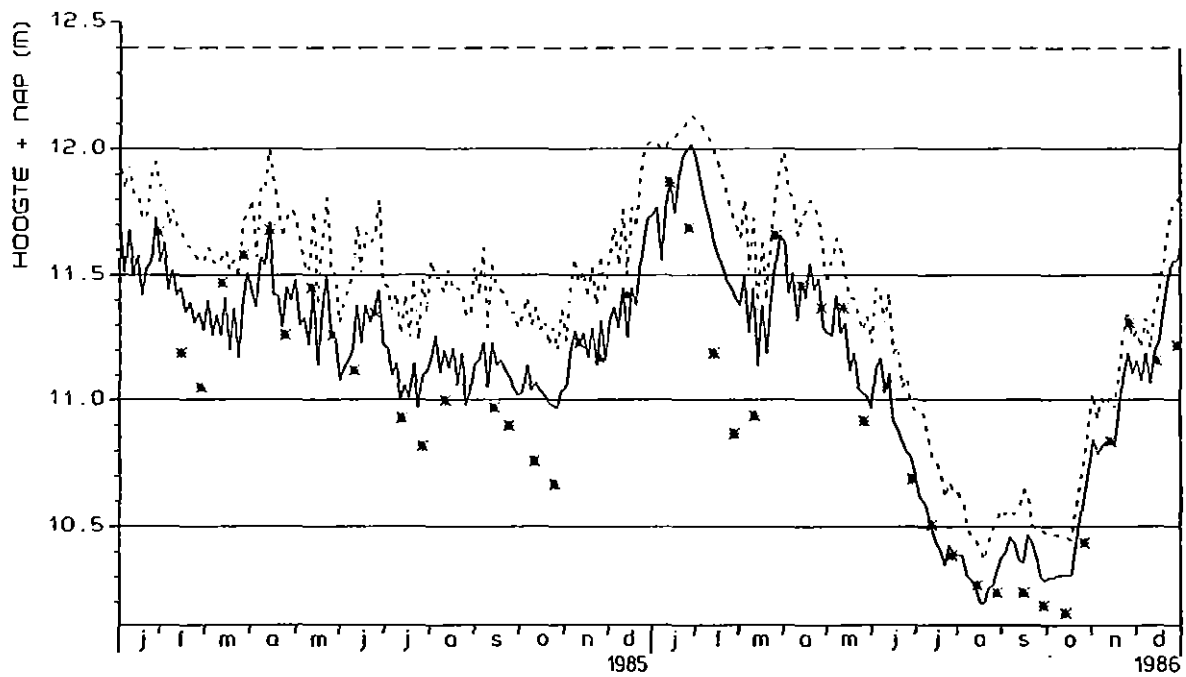


BIJLAGE 1

SCENARIO-5



GRONDWATERSTANDSVerschil SCEN.-5 - SCEN.-0

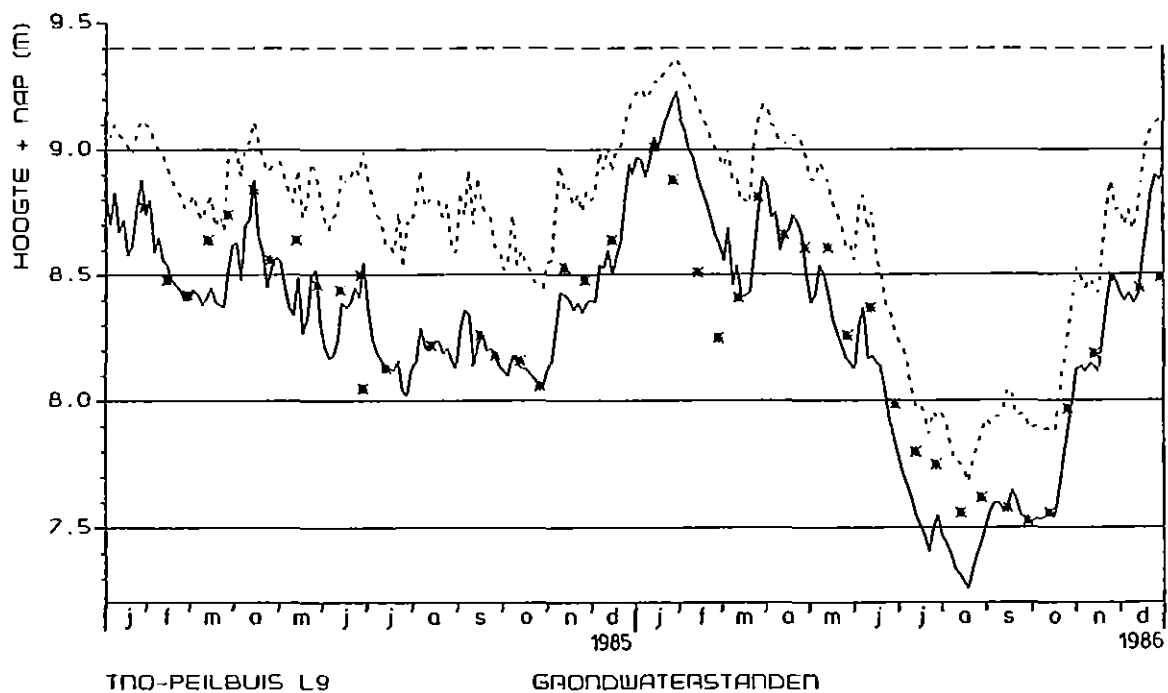
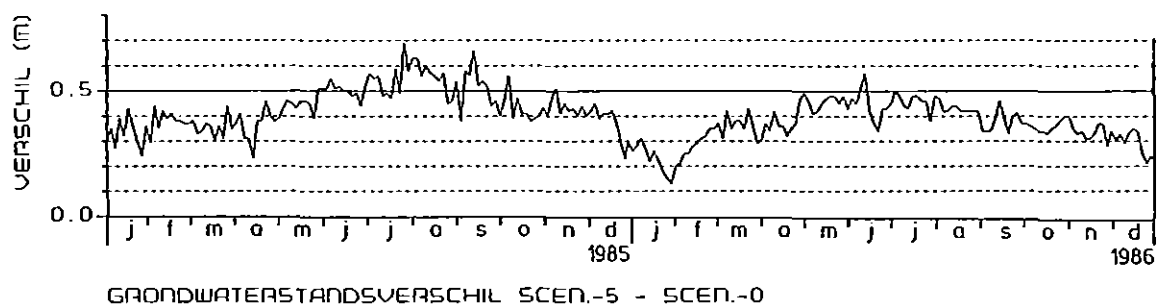


TNO-PEILBUIS L8

GRONDWATERSTANDEN

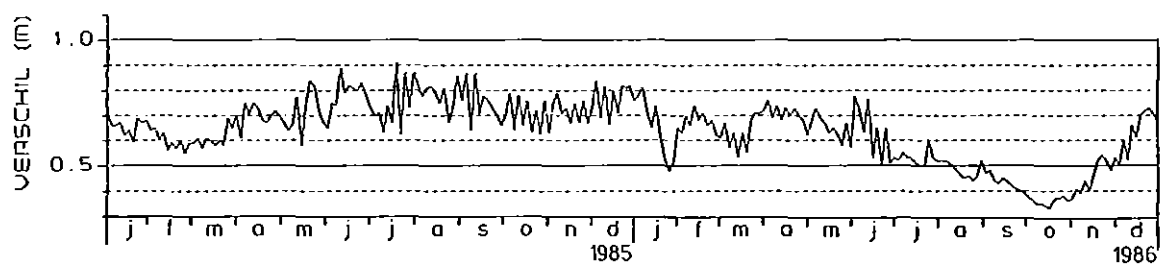
## BIJLAGE 1

## SCENARIO-5

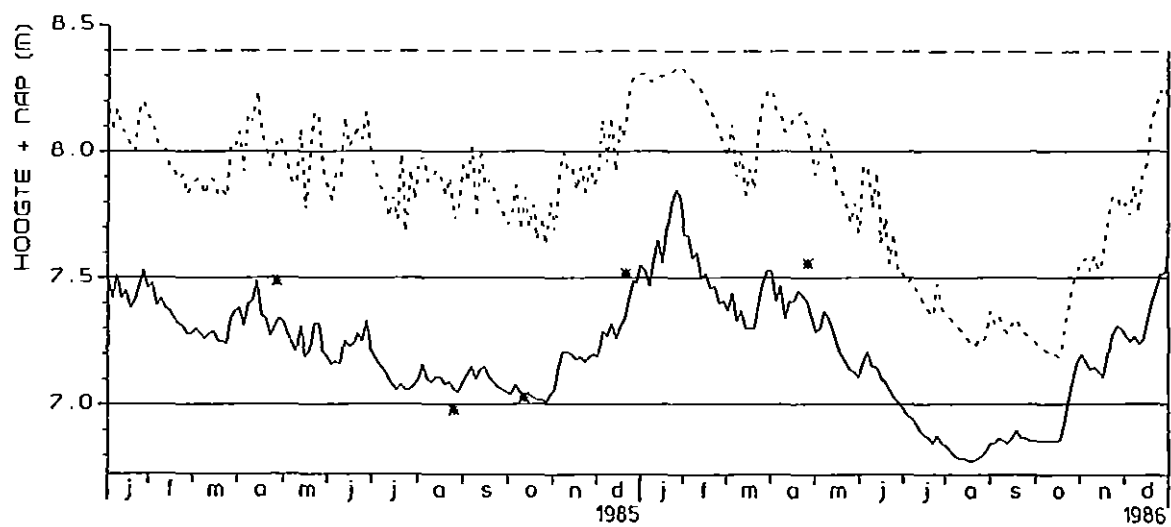


BIJLAGE 1

SCENARIO-5



GRONDWATERSTANDSVerschil SCEN.-5 - SCEN.-0

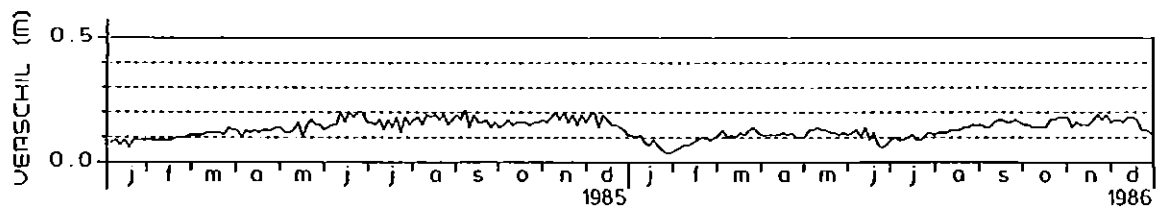


TNO-PEILBUIS L11

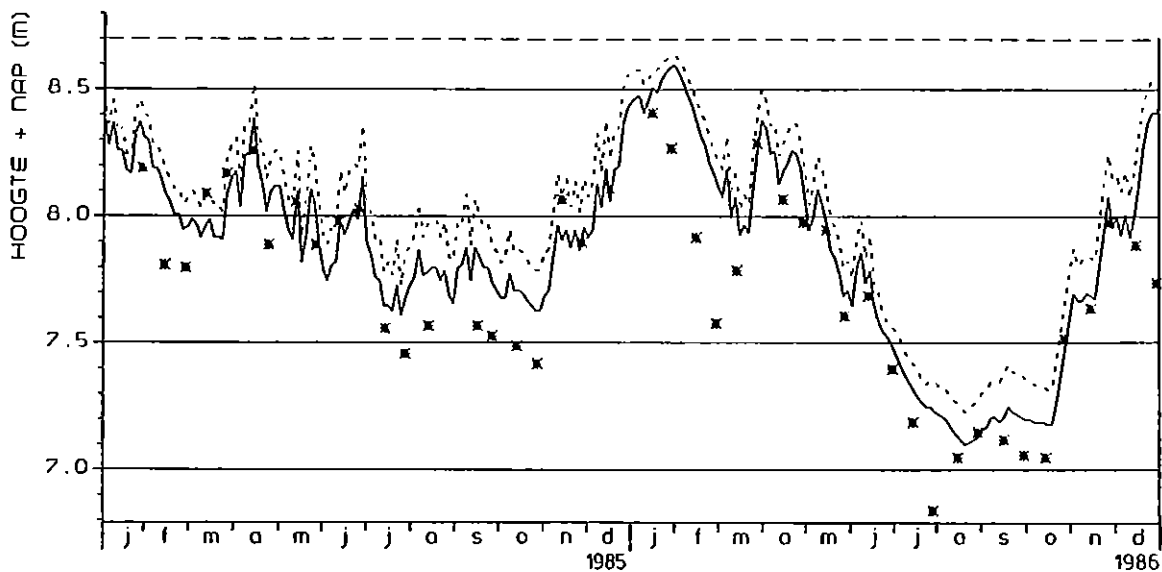
GRONDWATERSTANDEN

## BIJLAGE 1

## SCENARIO-5

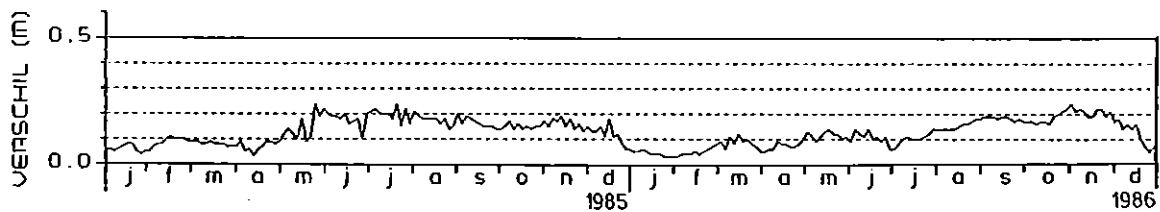


GRONDWATERSTANDSVerschil SCEN.-5 - SCEN.-0

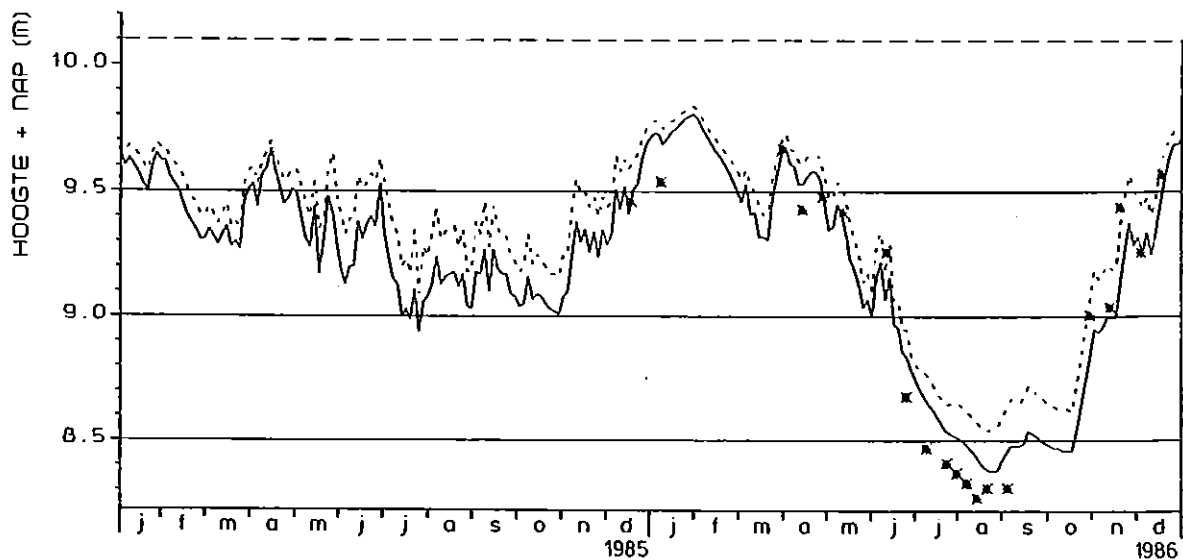


TNO-PEILBUIS L21

GRONDWATERSTANDEN



GRONDWATERSTANDSVerschil SCEN.-5 - SCEN.-0



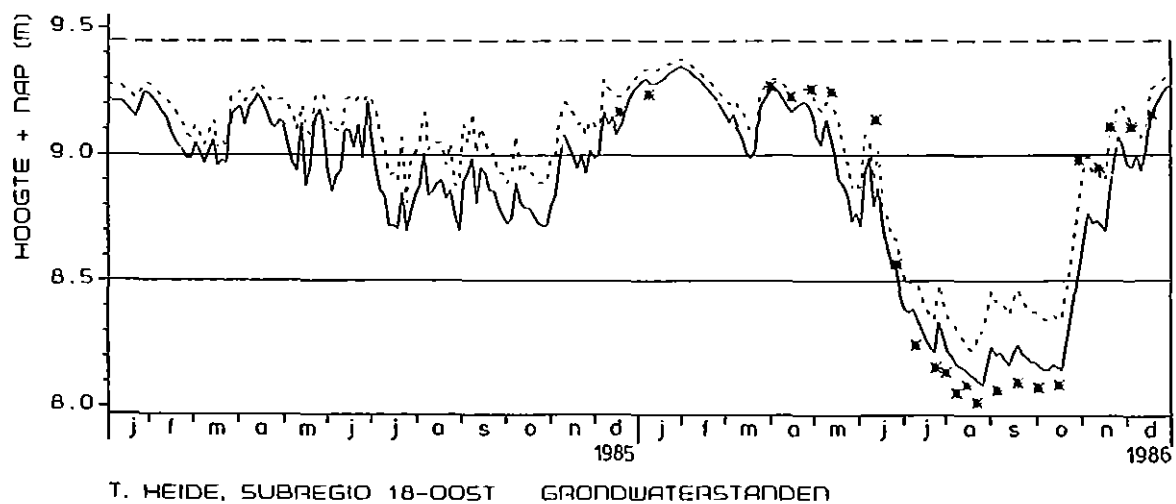
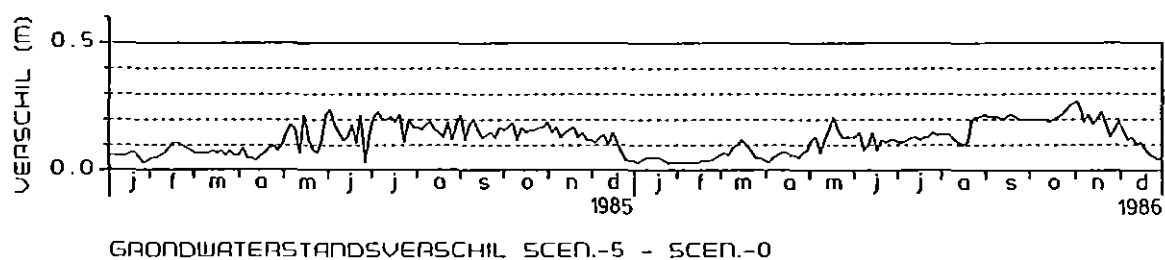
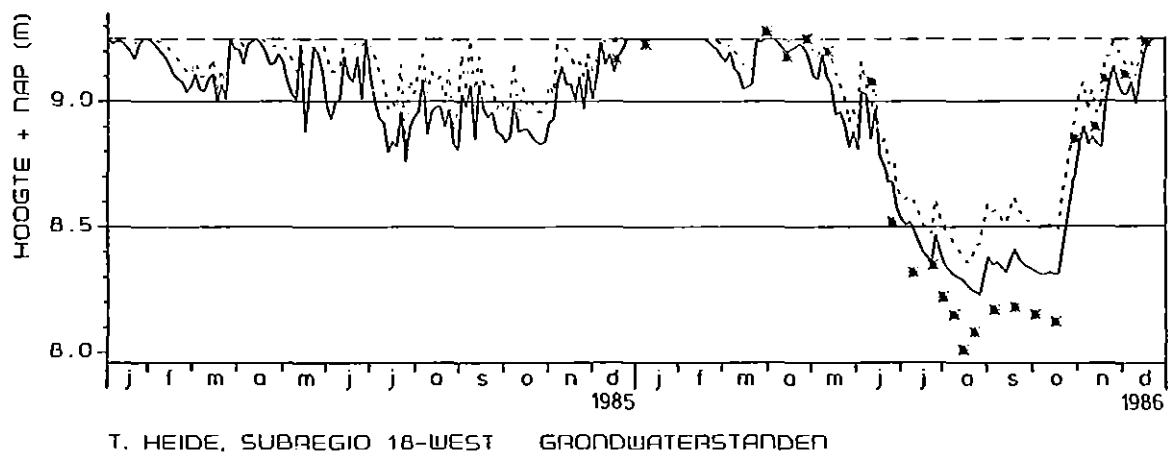
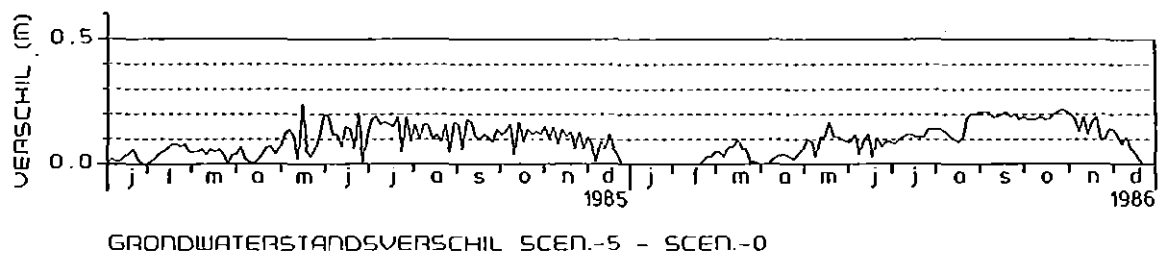
T. HEIDE, SUBREGIO 17

GRONDWATERSTANDEN



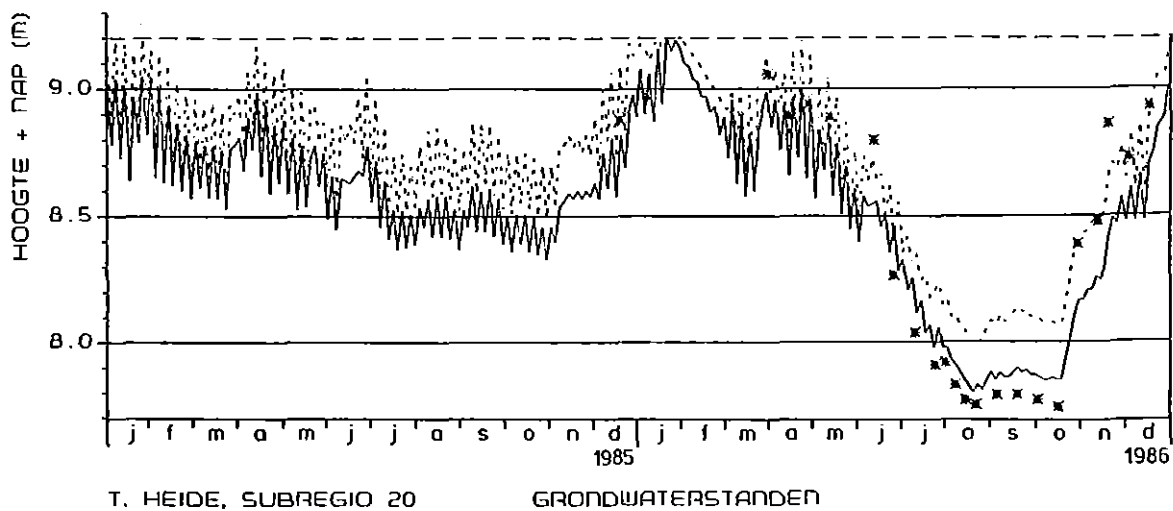
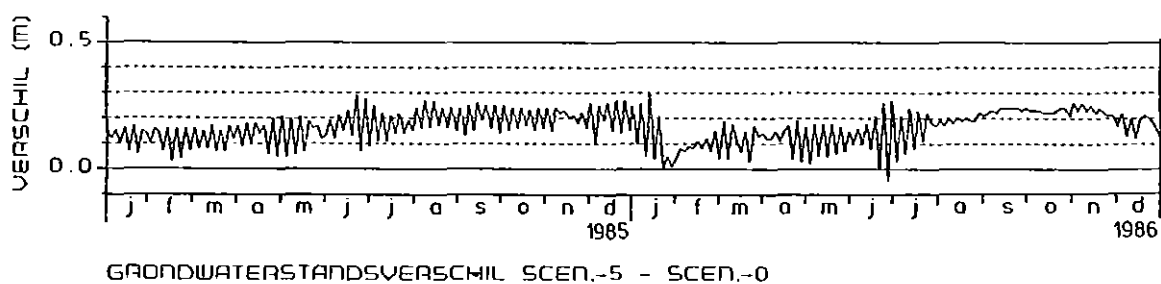
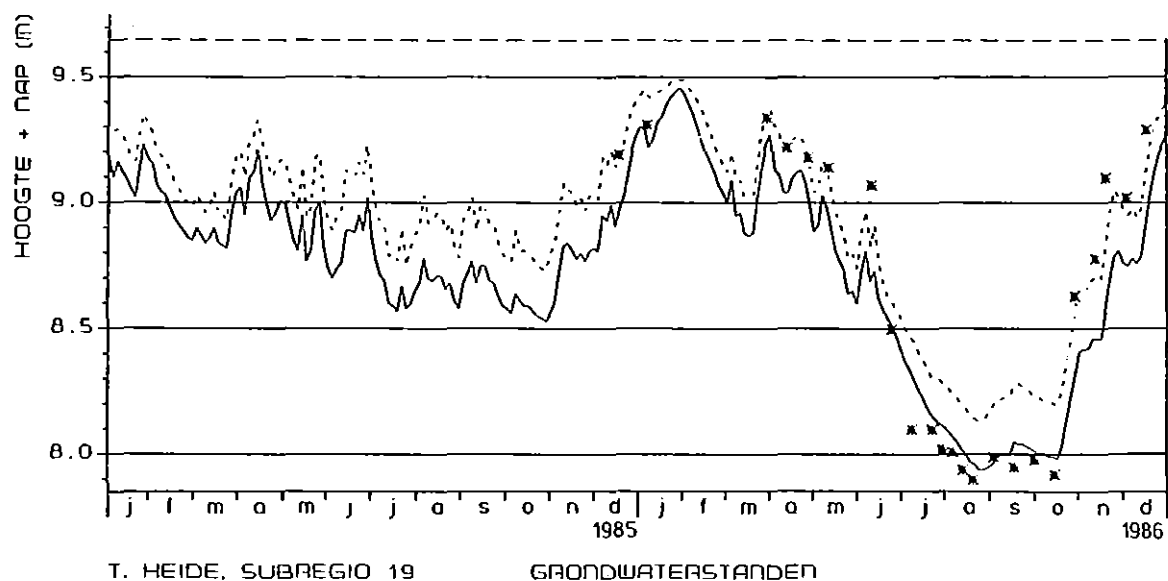
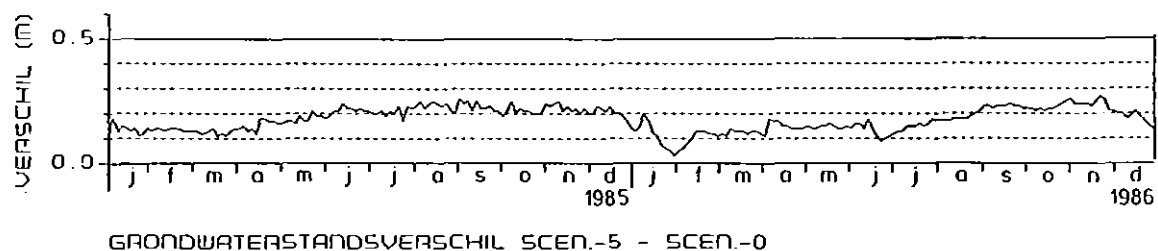
BIJLAGE 1

SCENARIO-5



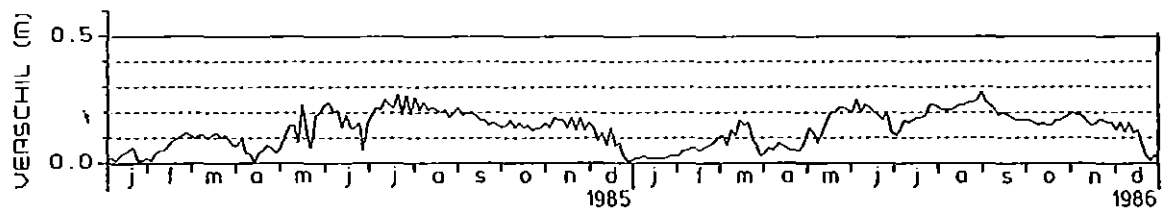
BIJLAGE 1

SCENARIO-5

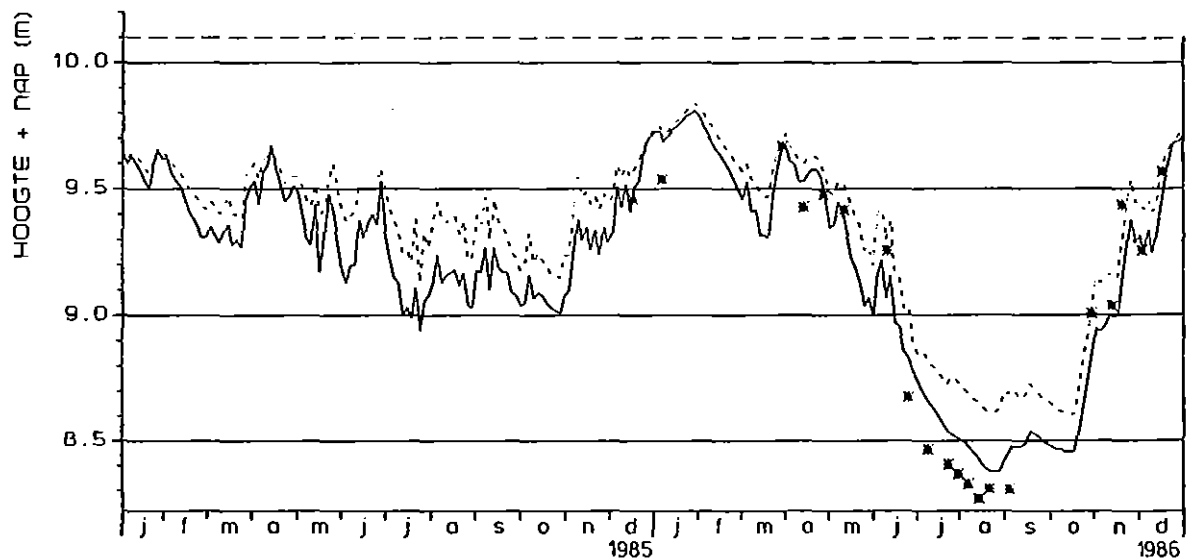


BIJLAGE 1

SCENARIO-6



GRONDWATERSTANDSVerschil SCEN.-6 - SCEN.-0

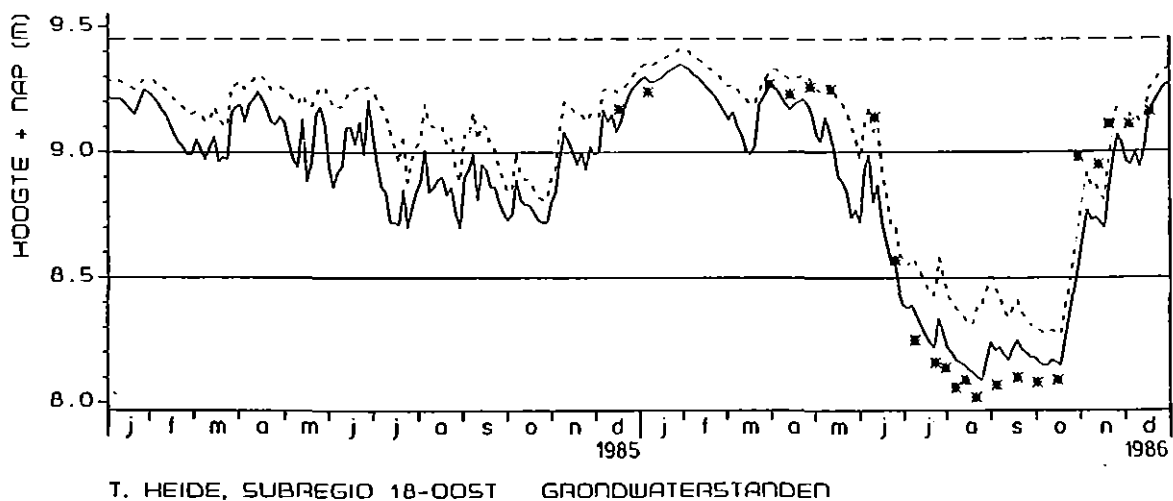
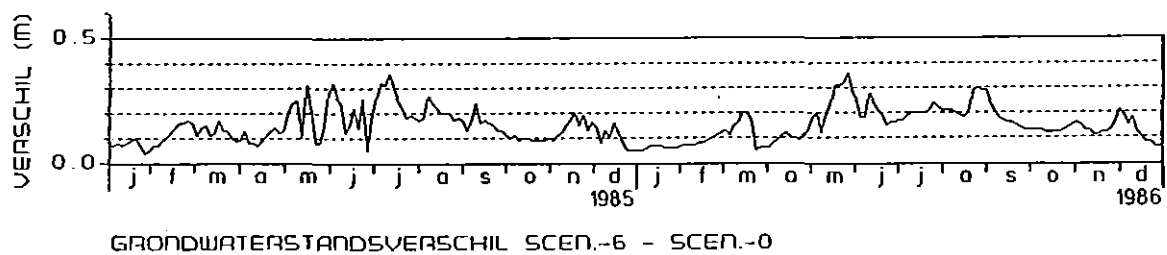
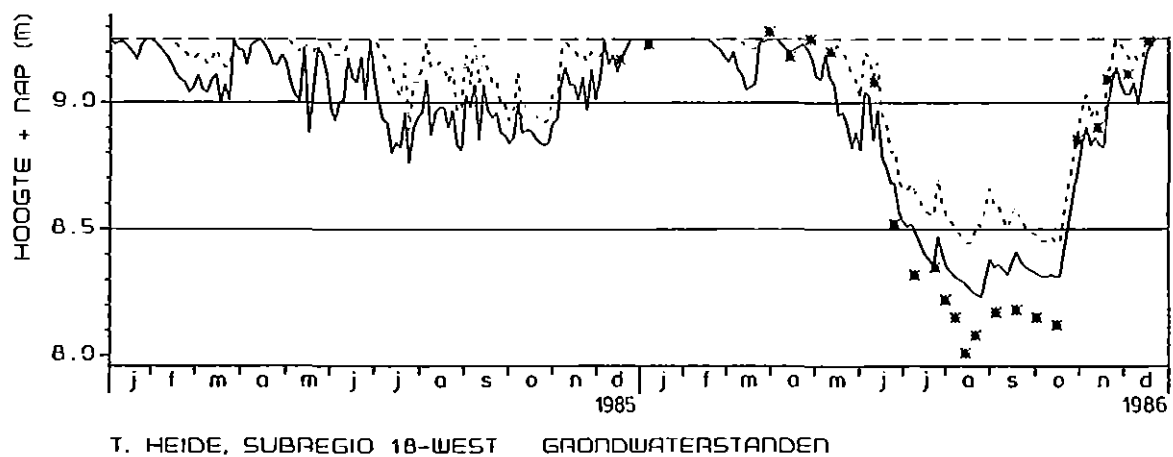
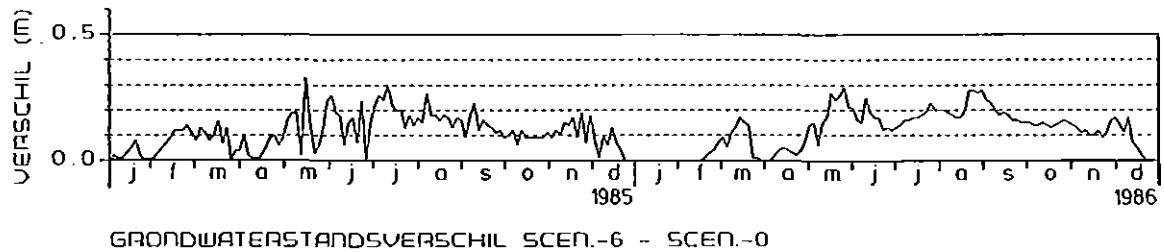


T. HEIDE, SUBREGIO 17

GRONDWATERSTANDEN

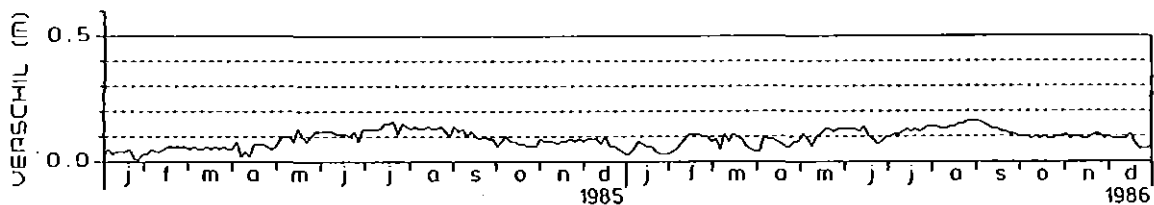
BIJLAGE 1

SCENARIO-6

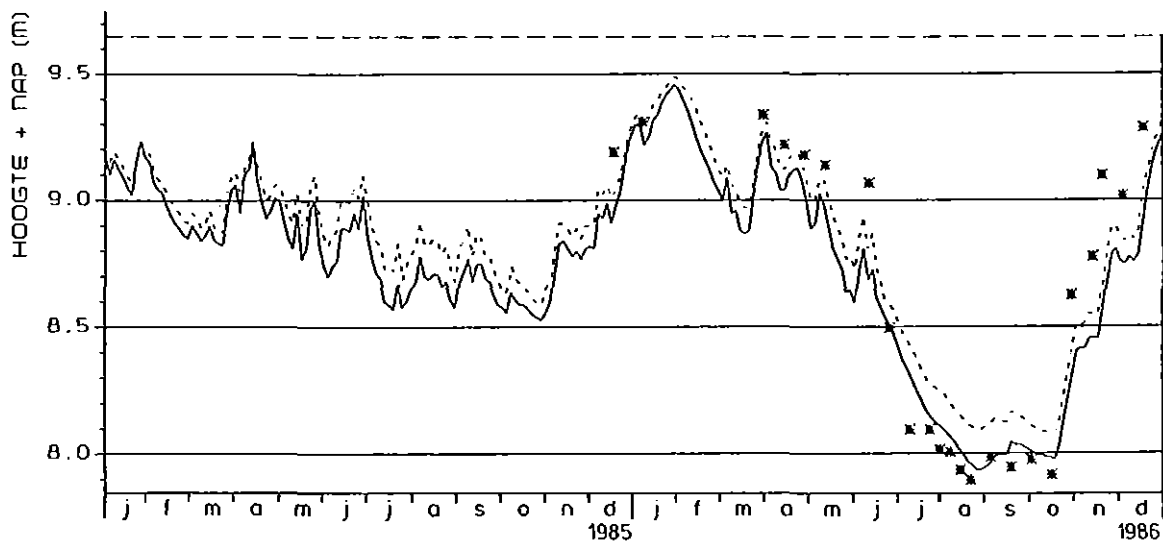


BIJLAGE 1

SCENARIO-6

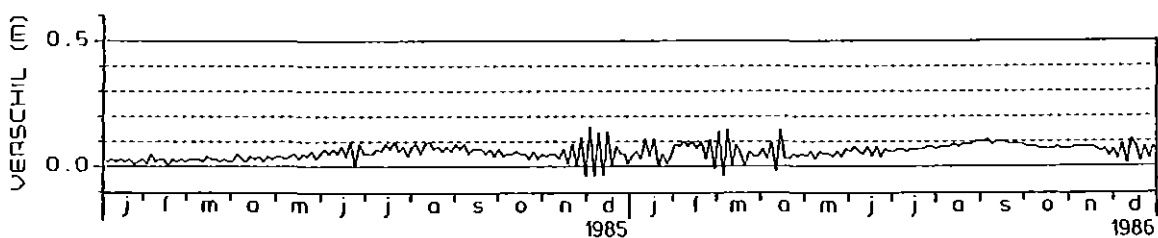


GRONDWATERSTANDSVerschil SCEN.-6 - SCEN.-0

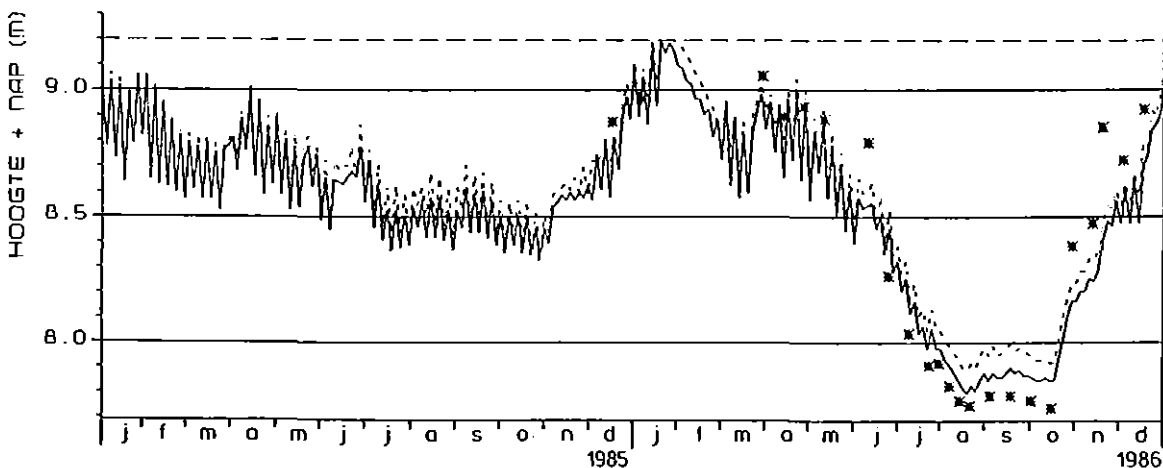


T. HEIDE, SUBREGIO 19

GRONDWATERSTANDEN



GRONDWATERSTANDSVerschil SCEN.-6 - SCEN.-0



T. HEIDE, SUBREGIO 20

GRONDWATERSTANDEN

NOTA 1876

BYL2

## BIJLAGE 2

### WATERBALANSEN VAN HET GEHELE MODELGEBIED

Waterbalansen van het gehele modelgebied voor de periode 1 januari 1985 tot en met 31 december 1986 betreffende de verschillende scenario's, in mm waterschijf.

| SCENARIO                          | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| INGAAND:                          |      |      |      |      |      |      |      |
| Neerslag                          | 1438 | 1438 | 1438 | 1438 | 1438 | 1438 | 1438 |
| Berekening                        | 194  | 0    | 73   | 212  | 187  | 110  | 176  |
| Infiltratie                       | 48   | 17   | 45   | 54   | 49   | 61   | 51   |
| UITGAAND:                         |      |      |      |      |      |      |      |
| Verdamping                        | 910  | 818  | 887  | 909  | 909  | 899  | 898  |
| Afvoer                            | 680  | 827  | 695  | 641  | 679  | 751  | 706  |
| Ontrekking 1e pakket              | 190  | 0    | 71   | 214  | 183  | 106  | 172  |
| Ontrekking 2e pakket (incl. kwel) | 246  | 112  | 246  | 332  | 246  | 246  | 246  |
| Uitstroming over rand 1e pakket   | -22  | -19  | -22  | -17  | -21  | -22  | -22  |
| Uitstroming over rand 2e pakket   | -277 | -231 | -277 | -307 | -276 | -277 | -277 |
| Toename berging                   | -47  | -52  | -44  | -68  | -48  | -94  | -59  |

\*) Scenario-2 betreft een beregeningsintensiteit in zomer 1986 van 25% van de beregeningsintensiteit in scenario-0

### BIJLAGE 3

#### VERANDERING VAN HET FREATISCH VLAK TENGEVOLGE VAN VERANDERINGEN IN DE GRONDWATERONTTREKKING

##### A. Stijging van het freatisch vlak bij verminderde grondwateronttrekking (Scenario-1)

Ter verkrijging van de criteria die hebben gegolden bij de schatting van de verlaging van de randfluxen tengevolge van een reductie van de grondwateronttrekking met 50%, is de volgende schematisatie toegepast:

- de onttrekkingsput wordt verondersteld in het midden te liggen van een horizontaal cirkelvormig gebied met straal  $R$  (zie Fig. 23)
- binnen dit gebied percoleert de nuttige neerslag ( $N$ ) volledig naar het grondwater omdat de ontwateringsmiddelen zijn drooggefallen en dus geen water meer afvoeren
- buiten het gebied wordt de nuttige neerslag ( $N$ ) voornamelijk afgevoerd door de ontwateringsmiddelen
- over de rand van het gebied vindt geen stroming plaats; de put wordt volledig gevoed door de nuttige neerslag ( $N$ )
- verder wordt verondersteld dat  $N$  constant is over het gehele beschouwde gebied.

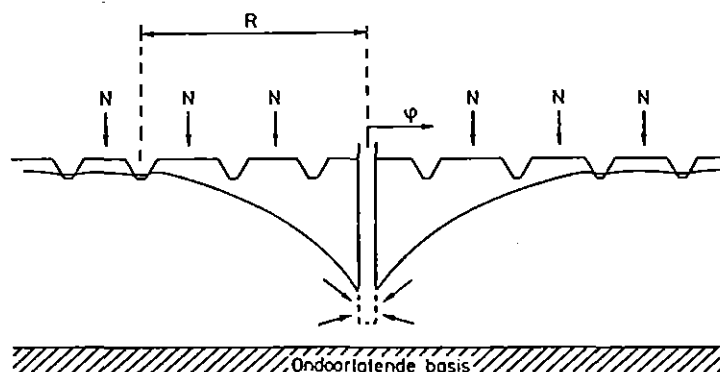


Fig. 23. Schematisatie van de grondwateronttrekking

NOTA 1876

BYL3A

Deze schematisatie is niet conform de werkelijkheid omdat het gebied in de werkelijke situatie helt van west naar oost. Aangezien de onttrekkingsput en de twee in deze berekening beschouwde TNO-peilbuizen (100 en 101) min of meer langs dezelfde hoogtelijn liggen is voor een deel aan dit bezwaar tegemoet gekomen. Verder komt in het meest oostelijke deel van het onttrekkingsgebied de Eemkleilaag in de ondergrond voor. Deze laag is niet in de schematisatie betrokken.

Ondanks de afwijkingen van de werkelijkheid is de schematisatie voldoende geschikt geacht voor het gestelde doel: het schatten van de orde van grootte van de grondwaterstijging als gevolg van een vermindering van de onttrekking. Zoals vermeld in hoofdstuk 5 van de hoofdtekst (5.1.2 en 5.2.2), is de grondwateronttrekking, vanwege de ligging in een hoek van het gebied, een moeilijk te modelleren factor. Door middel van een 'trial and error'-procedure aan de hand van een bepaald criterium juiste waarden voor de randfluxen proberen te verkrijgen, is slechts globaal mogelijk omdat het in de niet-stationaire situatie zeer veel gegevens betreft. Om deze reden is het voldoende als criterium de orde van grootte van de grondwaterstijging te nemen.

Voor de daling van het grondwater tengevolge van een onttrekking uit een put geldt volgens Thiem-Dupuit (VAN DER MOLEN, 1977; TNO, 1964):

$$s = \frac{Q}{2\pi kD} \ln \frac{R}{r} \quad (1)$$

waarin:

s = daling grondwaterstand (m)

R = straal van cirkelvormige gebiedsrand (zie Fig. 23) (m)

r = afstand tot onttrekkingsput (m)

Q = debiet onttrekkingsput, gelegen in middelpunt cirkel met straal R  
 (zie Fig. 23) (m<sup>3</sup>/d)

kD = transmissiviteit (m<sup>2</sup>/d)

In het geval dat voldaan is aan de voorwaarden van bovenbeschreven schematisatie, kan worden gesteld dat:



NOTA 1876

BYL3B

$$R = \sqrt{\frac{Q}{\pi N}} \quad (2)$$

waarin:

$N$  = langjarig gemiddelde nuttige neerslag (m/d)

Volgens gegevens van ERNST (1971) bedraagt  $N$  voor Nederland circa 0,5 mm/d. De gemiddelde transmissiviteit bedraagt voor het betreffende deel van het modelgebied 1740 m<sup>2</sup>/d.

Met behulp van (2) is de invloedsfeer van de onttrekking, de straal  $R$ , bij verschillende debieten ( $Q$ ) te berekenen:

$$Q_1 = 17750 \text{ m}^3/\text{d} \text{ (gemiddeld debiet 0-situatie)} \longrightarrow R_1 = 3362 \text{ m}$$

$$Q_2 = 8875 \text{ m}^3/\text{d} \text{ (debiet scenario-1)} \longrightarrow R_2 = 2377 \text{ m}$$

De berekende  $R$ -waarde van circa 3,4 km voor de 0-situatie komt goed overeen met de, uit het isohypsenpatroon voor 28-3-1979 (Fig. 10a uit de hoofdtekst) af te leiden noordgrens van de onttrekkingsinvloed.

Met behulp van (1) en de berekende  $R$ -waarden is de daling  $s$  voor verschillende punten op afstand  $r$  van de onttrekkingsput bij de debieten  $Q_1$  en  $Q_2$  te berekenen. Dit is gedaan voor TNO-peilbuizen 100 en 101 (Fig. 10a van de hoofdtekst):

1) Buis 100 (  $r = 750 \text{ m}$  ):

$$\text{Bij } Q_1: \quad s_1 = \frac{17750}{2\pi 1740} \ln \frac{3362}{750} = 2,44 \text{ m}$$

$$\text{Bij } Q_2 \quad s_2 = \frac{8875}{2\pi 1740} \ln \frac{2377}{750} = 0,94 \text{ m}$$

$$\text{Stijging grondwaterstand: } s_1 - s_2 = 1,50 \text{ m}$$

2) Buis 101 (  $r = 350 \text{ m}$  )

$$\text{Bij } Q_1: \quad s_1 = \frac{17750}{2\pi 1740} \ln \frac{3362}{350} = 3,67 \text{ m}$$

$$\text{Bij } Q_2: \quad s_2 = \frac{8875}{2\pi 1740} \ln \frac{2377}{350} = 1,56 \text{ m}$$

$$\text{Stijging grondwaterstand: } s_1 - s_2 = 2,11 \text{ m}$$

NOTA 1876

BYL3C

Aan de hand van de berekende grondwaterstijgingen voor de buizen 100 en 101, zijn als criteria voor de 'trial and error'-procedure gesteld:

- het traject 1,0 tot 2,0 m voor buis 100
- het traject 1,5 tot 2,5 m voor buis 101

B. Daling van het freatisch vlak bij verhoogde grondwateronttrekking  
(scenario-3)

De verlaging van de stijghoogten van de negen randknooppunten rond het onttrekkingspunt tengevolge van de verhoogde onttrekking zijn op een zelfde wijze berekend als de grondwaterstijgingen in bijlage 3a.

De verlagingen bedroegen circa 0,40 tot circa 1,0 m, afhankelijk van de afstand van het betreffende randknooppunt tot het onttrekkingspunt.

## BIJLAGE 4

### VOCHTHUISHOUDING VAN DE WORTELZONE IN RELATIE TOT VERDAMPINGS- EN BEREGENINGSREDUCTIE

#### A. Verdampingsreductie tengevolge van wateroverlast

De verdamping wordt in het model SIMGRO op de volgende wijze berekend  
(QUERNER and VAN BAKEL, 1984):

$$E = \alpha \cdot E_p \quad (3)$$

waarin:

- E = actuele verdamping
- $E_p$  = potentiële verdamping
- $\alpha$  =  $f(V/V_{eq(0)})$ , relatieve verdamping
- V = werkelijke vochtgehalte van de wortelzone
- $V_{eq(0)}$  = evenwichtsvochtgehalte van de wortelzone bij een  
grondwaterstandsdiepte van 0 meter.

Het quotiënt  $V/V_{eq(0)}$  is de 'uitdrogingsfactor voor de wortelzone'. De relatie tussen deze factor en de relatieve verdamping  $\alpha$ , zoals die in het model is ingevoerd, is weergegeven in figuur 24.

Uit deze figuur valt te lezen dat er een reductie van de verdamping optreedt als het vochtgehalte van de wortelzone een waarde bereikt die hoger is dan 95% van de  $V_{eq(0)}$ -waarde. Dit zal zich voordoen bij grondwaterstanden tot in de wortelzone en bij hoge neerslagintensiteiten. In het laatste geval zal de waarde van 0,95 voor  $V/V_{eq(0)}$  eerder worden overschreden naarmate het vochtgehalte van de wortelzone vóór de neerslag hoger is, met andere woorden, naarmate de grondwaterstand hoger is. Deze situatie doet zich voor in scenario-4 en 5 in vergelijking tot scenario-0.

NOTA 1876

BYL4A

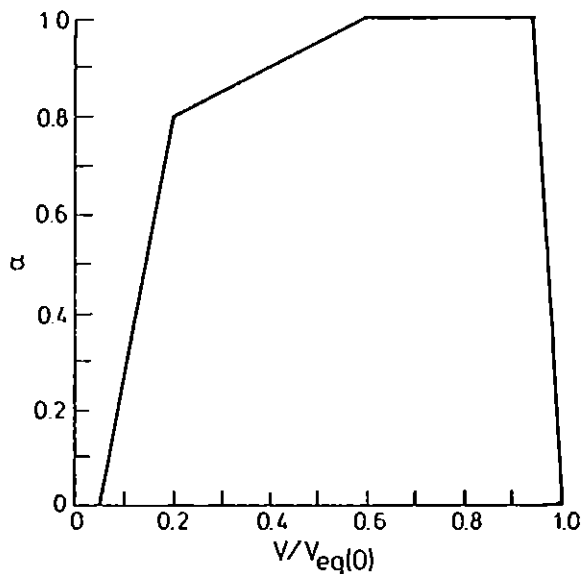


Fig. 24. Relatie tussen de 'uitdrogingsfactor voor de wortelzone' ( $V/V_{eq(0)}$ ) en de relatieve verdamping ( $\alpha$ )  
 (Bron: QUERNER en VAN BAKEL, 1984)

#### B. Beregeningsreductie tengevolge van hogere capillaire opstijging

Zoals vermeld in hoofdstuk 4 van de hoofdtekst is in het model een beregeningsdrempel ingevoerd in de vorm van de relatieve vochtvoorraad van de wortelzone. Er wordt berekend indien deze beregeningsdrempel niet wordt overschreden. Naarmate het vochtgehalte hoger is, zal er dus minder snel tot beregening worden overgegaan.

Bij hogere grondwaterstanden zal de capillaire opstijging toenemen met als gevolg dat het vochtgehalte in de wortelzone groter wordt en de situatie dat de relatieve vochtvoorraad hoger is dan de beregeningsdrempel en er dus niet tot beregening wordt overgegaan, zich eerder zal voordoen. De grootte van de toename van de capillaire opstijging tengevolge van een stijging van de grondwaterstand is afhankelijk van:

- de relatie grondwaterstand/capillaire opstijging
- de grootte van de stijging van de grondwaterstand
- het traject waarbinnen de stijging plaatsvindt.

In Figuur 25 zijn de twee relaties tussen de grondwaterstand en de capillaire opstijging, die het frequenst voorkomen in het 'waterconserveringsgebied' en het middengebied, weergegeven.

NOTA 1876

BYL4B

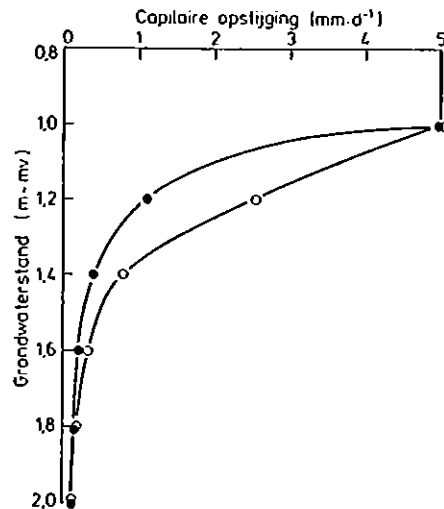


Fig. 25. Relaties tussen grondwaterstand en capillaire opstijging voor het 'waterconserveringsgebied' en het middengebied

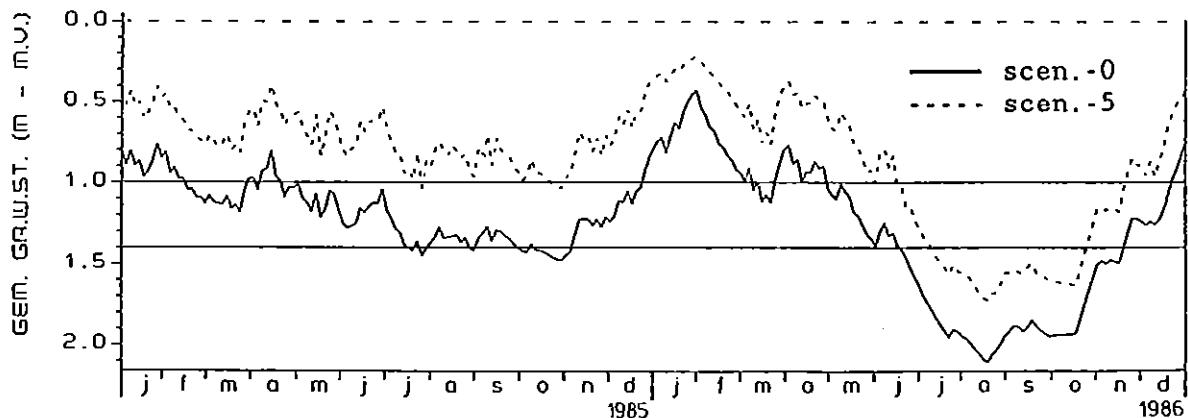


Fig. 26. Gemiddelde grondwaterstand in het middengebied voor scenario-0 en scenario-5 over de periode 1-1-1985 - 31-12-1986

In Figuur 25 is te zien dat voor beide relaties in het grondwaterstands- traject van 1,40 tot 1,00 m - maaiveld een stijging van de grondwater- stand een groot positief effect heeft op de capillaire opstijging. Figuur 26 laat zien dat deze situatie zich voor scenario-5 vooral voor- doet in de perioden juni tot en met september 1985 en juni 1986. In de maanden augustus en september 1986 vindt de grondwater- standsstijging plaats in het traject van 2,00 tot 1,50 m - maaiveld, waardoor de toename van de capillaire opstijging minder is dan in de maanden juni en juli 1986. Bovengeschetst beeld wordt bevestigd door

NOTA 1876

BYL4C

Figuur 19 in de hoofdtekst (6.5.3). Hierbij moet niet uit het oog worden verloren dat de werkelijke toename van de capillaire opstijging ook afhankelijk is van de grootte van de potentiële verdamping.

Voor scenario-4 geldt in grote lijnen hetzelfde verhaal als voor scenario-5, met dit verschil dat in scenario-4 de stijging van de grondwaterstand slechts circa 0,05 m bedraagt, waardoor de toename van de capillaire opstijging en de daarmee samenhangende vermindering van de berekening veel kleiner zijn dan in scenario-5 (zie ook Figuur 16 in de hoofdtekst, 6.4.3).