

L. D.

afdel. O en E.  
Zwolle

18/68

## **VERDROGINGSONDERZOEK PUNTHUIZEN**

**Modellering met behulp van Femsats**

**D. HILLEMANS**

**F. Vliegenthart**

**Juni 1989**



# **VERDROGINGSONDERZOEK PUNTHUIZEN**

**Modellering met behulp van Femsats**

Leeropdracht in het kader van de studie  
aan de IAHL-Velp (voorheen HBCS).

Opdracht voltooid bij de  
Landinrichtingsdienst afd. onderzoek-Zwolle

Trefwoorden: Verdroging  
Modellen  
Punthuizen

D. Hillemans  
F. Vliegenthart

Juni 1989





## VOORWOORD

Dit rapport is gemaakt in het kader van de studie aan de IAHL-Velp. Het is een leeropdracht waarbij opgedane kennis van 4 jaar in praktijk moet worden gebracht.

Gedurende de afstudeerperiode zijn we tegen verscheidene problemen gelopen. Gelukkig was er altijd iemand om ons te helpen.

De volgende personen willen we hiervoor bedanken:

dhr. H. Geerlink (Ld-Zwolle); hij was onze persoonlijke begeleider bij de landinrichtingsdienst. Met behulp van een logische benadering heeft hij ons uit een groot aantal problemen geholpen.

dhr. F. Foekema (Ld-Utrecht); heeft ons geleerd met een model om te gaan. Praktische problemen wist hij altijd in het model te simuleren.

dhr. J. Wagenvoort (Waterschap Regge en Dinkel); heeft voor de topografische-, waterschaps-, en situatiekaarten gezorgd. In een informatief gesprek heeft hij het een en ander toegelicht.

dhr. F. Eysink (SBB); heeft ons rond geleid in het natuurgebied Punthuizen en ons op de problemen van het gebied gewezen.

Velp, 5 Juni 1989.

D. Hillemans  
F. Vliegenthart



# INHOUDSOPGAVE

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| <b>INLEIDING</b>                                  | 1  |
| <b>1. GEBIEDSBESCHRIJVING</b>                     | 3  |
| 1.1 Algemeen                                      | 3  |
| 1.2 Geomorfologie                                 | 3  |
| 1.3 Geologie                                      | 4  |
| 1.3.1 Algemeen                                    | 4  |
| 1.3.2 Ontstaanswijze                              | 4  |
| 1.4 Geohydrologie                                 | 6  |
| 1.4.1 Eerste watervoerend pakket                  | 6  |
| 1.4.2 Waterscheidende laag                        | 7  |
| 1.4.3 Tweede watervoerend pakket                  | 7  |
| 1.4.4 Mesozoïsche afzettingen                     | 7  |
| 1.5 Bodemkundige situatie                         | 7  |
| 1.6 Waterhuishouding                              | 8  |
| 1.6.1 Waterkwantiteit                             | 8  |
| 1.6.2 Waterkwaliteit                              | 9  |
| <b>2. MODELBeschrijving</b>                       | 11 |
| 2.1 Beschrijving Femsats                          | 11 |
| 2.1.1 Relatie Grondwater/Oppervlaktewater         | 12 |
| 2.2 Invoer Femsats                                | 12 |
| 2.2.1 Modelnetwerk                                | 12 |
| 2.2.2 De Femsats-files                            | 13 |
| 2.2.3 Schematisatie van de lagen                  | 14 |
| 2.2.4 Randvoorwaarden                             | 15 |
| 2.2.5 Maaiveldshoogte                             | 15 |
| 2.2.6 Hoofdwaterlopen                             | 15 |
| 2.2.7 Kavel- en Perceelsloten                     | 16 |
| 2.2.8 Neerslag                                    | 16 |
| <b>3. CALIBRATIE EN GEVOELIGHEIDSanalyse</b>      | 17 |
| 3.1 Calibratie                                    | 17 |
| 3.1.1 Calibratie op isohypsenpatroon              | 17 |
| 3.1.2 Beschouwing van de waterbalans per subregio | 18 |
| 3.2 Gevoeligheidsanalyse                          | 21 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| <b>4. MOGELIJKE OPLOSSINGEN</b>                                  | 23 |
| 4.1 Algemeen                                                     | 23 |
| 4.2 Waterconservering                                            | 23 |
| 4.3 Bodemverhoging                                               | 25 |
| 4.4 Waterconservering in combinatie met wateraanvoer             | 27 |
| 4.5 Waterconservering door peilverhoging in het Omleidingskanaal | 29 |
| 4.6 Overige oplossingen                                          | 30 |
| 4.7 Verantwoording van de keuze                                  | 30 |
| <b>5. EFFECTEN VAN SCENARIO-6</b>                                | 31 |
| 5.1 Waterhuishouding                                             | 31 |
| 5.1.1 Waterkwantiteit                                            | 31 |
| 5.1.2 Waterkwaliteit                                             | 34 |
| 5.2 Economische effecten                                         | 35 |
| 5.2.1 Wateroverlast en droogteschade                             | 35 |
| 5.2.2 Bodem- en Gt-kaart als basis                               | 36 |
| 5.2.3 Toelichting op de depressiepercentages                     | 36 |
| 5.2.4 Geautomatiseerd berekenen van de opbrengstdepressies       | 37 |
| <b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>                               | 40 |
| <b>SAMENVATTING</b>                                              | 42 |
| <b>LITERATUURLIJST</b>                                           | 44 |
| <b>BIJLAGEN</b>                                                  |    |
| 1 Topografisch overzicht van Nederland                           |    |
| 2 Topografische kaart                                            |    |
| 3 Geomorfologische kaart                                         |    |
| 4 Hoogtelijnenkaart                                              |    |
| 5 Geologische kaart                                              |    |
| 6 Overzicht Geologische profielen                                |    |
| 6a Profiel A - A'                                                |    |
| 6b Profiel B - B'                                                |    |
| 6c Profiel C - C'                                                |    |
| 7 Bodemkaart                                                     |    |
| 8 Grondwatertrappenkaart                                         |    |
| 9 Waterstaatskaart                                               |    |
| 10 Isohysenkaart 1e watervoerend pakket                          |    |
| 11 Isohysenkaart 2e watervoerend pakket                          |    |
| 12 Overzicht Subregio's                                          |    |
| 13 Overzicht Otion-record                                        |    |
| 14 Hoofdwaterlopen                                               |    |
| 15 Stijghoogteverschillen Scenario-6                             |    |
| 16 Lengteprofiel 32-1-0-2/32-1-0-1                               |    |

## INLEIDING

Dit rapport is gemaakt in het kader van onze studie aan de IAHL (Internationale Agrarische Hogeschool Larenstein). Deze studie wordt het laatste jaar afgesloten met een afstudeeronderwerp. Wij hebben deze leeropdracht verkregen via de afdeling Onderzoek van de Landinrichtingsdienst in Zwolle.

Natuurgebied Punthuizen en de omliggende landbouwgronden hebben al geruime tijd last van verdroging. Om dit tegen te gaan is in eerste instantie gedacht aan het creëren van een hydrologische bufferzone rondom het gebied. Dit wilde men bereiken door enkele hectare landbouwgebied onder relatienota te brengen. In de bufferzone zou dan een hoger grondwaterpeil opgezet kunnen worden met als doel een tegendruk in het grondwater te krijgen, teneinde 'leegloop' van het natuurgebied te verminderen.

De verdroging is onder andere het gevolg van afwaterings- en ontwateringswerken van het noordwestelijk gelegen landbouwgebied. Het landbouwgebied heeft in de zomer last van verdroging doordat de grondwaterstanden te diep wegzakken. Soortgelijke problemen komen echter voor in een veel groter gebied langs het Omleidingskanaal. Deze studie kan mogelijk als voorbeeldstudie dienen voor dit hele gebied.

De heer H. Geerlink, technisch medewerker van de afdeling Onderzoek, is gevraagd zijn verwachtingen uit te spreken omtrent de hydrologische effecten van zo'n bufferzone. Na bestudering van de situatie in dit gebied kwam hij tot de conclusie, dat een bufferzone van enkele hectare geen oplossing zou bieden. Het nabij gelegen droge landbouwgebied zal, indien de grondwaterstand verhoogd wordt, waarschijnlijk een hogere opbrengst te zien geven. Er moet dus niet gekeken worden naar het creëren van een kleine bufferzone met een verhoogd waterpeil, maar de oplossing moet gezocht worden voor een veel groter gebied. Hierbij zijn door dhr. H. Geerlink enkele oplossingen aangedragen, namelijk waterconservering en wateraanvoer. Beide oplossingen zorgen voor een tegendruk in het grondwater zodat een te snelle grondwaterstands daling wordt voorkomen.

Het doel van deze leeropdracht is: trachten inzicht te krijgen in de hydrologische situatie van het natuurgebied Punthuizen en de omliggende landbouwgebieden, waarbij gekeken wordt naar mogelijke oplossingen van het geschetste probleem. Dit willen we bereiken met behulp van het hydrologisch model Femsats. Dit programma is ontwikkeld bij het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Met dit model kunnen onder andere grondwaterstandveranderingen, effecten van opstuwing in sloten en effecten van wateraanvoer berekend worden.

Hoofdstuk 1 begint met een algemene beschrijving van het gebied. Hierbij komen punten als topografische ligging, bodemkundige situatie en voorkomende grondwaterstanden aan de orde. Ook de ontstaanswijze, de (geo)hydrologie en het in het gebied aanwezige isohypsenpatroon worden besproken. Bijlagen 1 tot en met 11 dienen om de tekst van hoofdstuk 1 te verduidelijken.

Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van het programma Femsats. Tevens worden de gekozen opties en ingevoerde waarden voor het modelgebied Punthuizen besproken en gemotiveerd. Bijlagen 12 tot en met 14 behoren bij dit hoofdstuk.

Om het model verantwoord te kunnen gebruiken, moeten de door het model berekende stijghoogtes zoveel mogelijk overeenkomen met de werkelijke stijghoogtes. Naast vergelijking van de stijghoogtes wordt bij dit zogenaamde calibratie- of ijkingsproces gekeken naar de realiteitswaarde van de waterbalans en de ingevoerde parameters. Dit wordt in hoofdstuk 3 beschreven. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk worden de belangrijkste parameters in waarde verdubbeld, om zo een beeld te krijgen van de gevoeligheid van het model.

Nadat het model geijkt is, worden in hoofdstuk 4 de verschillende oplossingsmogelijkheden uitgewerkt. Voor elke mogelijkheid (scenario) wordt het doel, de aanpak en de manier van invoer in het model weergegeven. Tevens worden per scenario de resultaten besproken. Bijlage 15 geeft de resultaten van het meest ideale scenario.

In hoofdstuk 5 worden de effecten besproken, welke door het zojuist genoemde scenario worden veroorzaakt. Deze effecten zijn onder te verdelen in effecten op de waterhuishouding en effecten voor de landbouwkundige opbrengst (met behulp van HELP-tabellen). Er wordt afgesloten met een paragraaf over de geautomatiseerde berekening hiervan.

## 1. GEBIEDSBESCHRIJVING

### 1.1 Algemeen

Het gebied dat in dit verslag beschreven wordt ligt 4 km ten zuidoosten van Denekamp en 8 km ten noordoosten van Oldenzaal. De ligging is weergegeven op bijlage 1. Het ligt binnen de gemeentegrenzen van Denekamp en valt onder het waterschap Regge en Dinkel. Het gebied is gesitueerd in de voormalige ruilverkaveling Denekampseveld. Deze ruilverkaveling is in de jaren '60 afgesloten.

Het gebied bestaat uit circa 600 ha., gesitueerd rond het natuurgebied Punthuizen (ca. 37 ha.). De oostrand van het gebied valt samen met de Westduitse grens. Aan de zuidzijde komt de Puntbeek het gebied binnen. Deze grotendeels gekanaliseerde beek mondt uit in het Omleidingskanaal. Dit kanaal is in de jaren '60 aangelegd om piekafvoeren van de Dinkel om te leiden, ter voorkomen van inundatie van het Dinkeldal. In de directe omgeving van Punthuizen liggen ook nog de natuurgebieden Beuninger-Achterveld en Stroothuizen. Een topografisch overzicht is gegeven in bijlage 2.

Het natuurgebied Punthuizen is voor nederlandse begrippen van ongekende kwaliteit. Het bestaat uit orchideeënrijke schraallanden met onder andere soorten als moeraswespenorchis, vleeskleurige orchis, parnassia, spaanse ruiter en vetblad (lit. 19). Het gebied wordt afgewisseld met vochtige en droge heide.

Punthuizen ligt in een overwegend agrarisch gebied. Het grondgebruik in dit gebied bestaat uit 40 % bouwland, 35 % grasland en 25 % bos.

### 1.2 Geomorfologie

Het modelgebied behoort tot het oostelijk dekzandlandschap. Het oostelijk dekzandlandschap heeft een algemene helling van zuidoost naar noordwest. Deze helling wordt onderbroken door geïsoleerde stuwheuvels. De belangrijkste reliëfeenheden in dit dekzandgebied zijn gevormd door het ijs in het Saalien en de eolische afzettingen uit het Weichselien.

Het zuidelijk deel van het modelgebied bestaat uit een grote vlakte van lage landduinen. De lage landduinen bereiken slechts een geringe hoogte, maar vallen door de steile hellingen toch op. Het zuidelijk deel van het natuurgebied Punthuizen bestaat ook uit lage landduinen, welke in noordwestelijke richting overgaan in een vrij egale dekzandvlakte (zie geomorfologische kaart, bijlage 3). In deze dekzandvlakte liggen twee dalvormige laagten. Deze laagten hebben hun ontstaan grotendeels te danken aan het eertijds, over de diep bevroren ondergrond, afstromen van smeltwater.

De Puntbeek volgt de meest zuidelijke laagte. De andere laagte ligt in het noordoostelijk deel van natuurgebied Punthuizen. Verder komt er in Punthuizen een lange dekzandrug voor, die parallel ligt aan de dalvormige laagten.



De hoogtes van het maaiveld in de omgeving van het gebied variëren van 25.00 mtr +NAP tot 31.00 mtr +NAP. Het verloop geeft een hoogtelijnenpatroon zoals is weergegeven in bijlage 4. De hoogtelijnen zijn geïnterpreteerd van de hoogtecijferkaart van de Topografische dienst (schaal 1:10.000).

### 1.3 Geologie

#### 1.3.1 Algemeen

Een goed inzicht in de geologie, de kennis omtrent de opbouw der aardlagen, is bij een hydrologisch onderzoek van groot belang (lit.2). In de eerste plaats betreft dit de lithologische (gesteentekundige) kenmerken van die afzettingen waarin het grondwater stroomt. Deze kenmerken zijn: korrelgrootte, korrelverdeling en afzettingsstructuur, al of niet gelaagde opbouw, voorkomen van geulpatronen en dergelijke. Deze kenmerken bepalen immers of het grondwater gemakkelijk kan stromen door de kleine of grote poriënruimte tussen de korrels. Inzicht in de ontstaansgeschiedenis (geogenese) en daarmee in de opeenvolging en samenhang van de afzettingen (stratigrafie) is onontbeerlijk om aan de hand van een aantal geo-electrische metingen en boringen de ruimtelijke verbreiding van de aangetroffen aardlagen te kunnen bepalen.

#### 1.3.2 Ontstaanswijze

Voor de kennis van het voorkomen en bewegen van het grondwater in dit onderzoeksgebied behoeft slechts de opbouw van de bovenste circa 200 mtr van de aardkorst te worden bestudeerd.

Op 200 m diepte bevinden zich de afzettingen uit het Onder-Krijt. Het Onder-Krijt maakt deel uit van het Mesozoïcum en bestaat uit kleiïge en zandige afzettingen. De Onder-Krijt afzettingen worden in Nederland lokaal onderbroken door een opheffing, met daarop volgend erosie. In een latere fase breidde de Krijt-transgressie zich naar het zuiden uit, waarbij ook de Achterhoek door de zee werd overspoeld. Hierna volgde de afzetting van mergels en krijtkalken in het Boven-Krijt, die al halverwege dit tijdvak werd onderbroken door de positieve tektonische bewegingen. De sedimentatie ging in het hogere Boven-Krijt buiten het besproken gebied voort in het oostelijker gelegen Bekken van Munster en in het gebied ten noorden en het noordoosten van Twente (lit. 16).

Aan het einde van het Krijt vonden de bodembewegingen (tektoniek) plaats. De erosie sneed in Oost-Nederland diep in. Deze ontwikkelingen hebben de zanden en kleien sterk verbrokkeld en vermengd.

Een overzicht van de geologische doorsneden door het gebied zijn aangegeven op bijlage 6. Deze doorsneden zijn bepaald met behulp van geo-electrische metingen en boringen, uitgevoerd door TNO dienst grondwaterverkenning (lit. 15).

Bijlage 6a (doorsnede A-A') en 6b (doorsnede B-B') geven een overzicht in noordzuidelijke richting. Bijlage 6c (doorsnede C-C') geeft een overzicht in oostwestelijke richting. Een overzicht van de tijdschaal met bijbehorende formaties is gegeven in figuur 1.1.

Gedurende het Onder-Pleistoceen zijn op het Mesozoïcum grof grindhoudende zanden afgezet door de Oostelijke Noordduitse rivieren. Deze afzettingen behoren tot de Formaties van Harderwijk en Enschede (lit 16).

In het Saalien bedekte een landschap een groot deel van Nederland. Doordat deze landschap langzaam in zuidelijke richting vooruit schoof zijn door dit ijs diepe bekkens gevormd. Onder het stuwende ijs werden grondmorenes gevormd. De grondmorenes kunnen in dit gebied bestaan uit een mengsel van fijne leem (soms klei), fijn en grof zand, grind en zelfs forse stenen. Dit sediment behoort tot de Formatie van Drenthe en is bekend onder de naam 'Keileem'.

De bekkens worden omgeven door stuwwallen, welke bestaan uit materiaal dat door het ijs zijdelings en frontaal werd weggedrukt. Deze zijn te vinden in de directe omgeving als de stuwwallen van Uelsen, Ootmarsum en De Lutte.

Tijdens een warmere periode stagneerde de stuwing door de ijsmassa. Gedurende deze warme periode is veel hellingmateriaal door middel van afschuiving over de bevroren ondergrond (gelifluctie) het bekken in gestroomd. Tevens is in het bekken een goed gesorteerd en gelaagd pakket afgezet door de smeltwaterbeken (fuvio-glaciaal). Op deze fluvio-glaciale afzettingen zijn in een rustig watermilieu meerafzettingen gevormd, welke bestaan uit fijne tot matig grove zanden afgewisseld door kleilagen (Formatie van Drenthe). In de meerafzettingen langs het opkomende Mesozoïcum komt veel ingespoeld materiaal uit het Mesozoïcum voor (lit 16).

In de hierop volgende periode is de Formatie van Twente afgezet. De afzettingen zijn opgebouwd uit materiaal van lokale herkomst en hangen wat ontstaanswijze betreft direct samen met de zeer koude omstandigheden van de laatste ijstijd (Weichselien). Smeltwaterafzettingen, gevormd door water afkomstig uit de ontdooide bovenlaag van de permafrost en van smeltende sneeuw, vormen een belangrijk onderdeel van de formatie. Ze bestaan veelal uit grof zand en komen onder andere voor in rivier- en beekdalen. Daarnaast komt in depressies leem voor terwijl in ondiepe meren veenvorming (Brørup-interstadiaal) optrad. In een later stadium was vegetatiearmoede, vanwege de koude periode, de oorzaak van dikke pakketten eolische afzettingen. Het zogenaamde dekzand ontleend zijn naam aan het verschijnsel, dat het als een dek over het pleistocene landschap ligt. In het gebied komt het in het grootste gedeelte voor. Voor een overzicht van de dagzomende geologische afzettingen wordt verwezen naar de geologische kaart 1:50.000 (bijlage 5).

Er is geen duidelijke grens waarneembaar tussen het pleistoceen en het holocene. De eolische afzettingen zijn, met korte onderbrekingen, gedurende het gehele laat-glaciaal afgezet en kunnen tevens behoren tot de oudste afzettingen van het holocene.

In de Dinkelvallei komt de formatie van Singraven voor. Deze formatie bestaat uit afzettingen, die zijn te beschouwen als opvullingen van oude stroombeddingen. Ze bestaan voornamelijk uit klei, leem, veen en uit afzettingen die als deklaag over pleistocene sedimenten liggen (lit. 16)

Figuur 1.1 Lithostratigrafische indeling (R.G.D.)

| Tijdsindeling |                                      |            |             | Lithostratigrafie<br>Punthuizen                                                                        |
|---------------|--------------------------------------|------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kenozoïcum    | K<br>W<br>A<br>R<br>T<br>A<br>I<br>R | HOLOCEEN   |             | Fo. van Kootwijk<br>Fo. van Singraven                                                                  |
|               |                                      | P          | Weichselien | Fo. van Twente                                                                                         |
|               |                                      | L          | Eemien      | Fo. van Drenthe                                                                                        |
|               |                                      | E          | Saalien     |                                                                                                        |
|               |                                      | I          | Holsteinien | Fo. van Enschede<br>Fo. van Enschede<br>Fo. van Harderwijk<br>Fo. van Harderwijk<br>Fo. van Harderwijk |
|               |                                      | S          | Elsterien   |                                                                                                        |
|               |                                      | T          | Cromerien   |                                                                                                        |
|               |                                      | O          | Menapien    |                                                                                                        |
|               |                                      | C          | Waalien     |                                                                                                        |
|               |                                      | E          | Eburonien   |                                                                                                        |
|               |                                      | E          | Tiglien     |                                                                                                        |
|               |                                      | N          | Praetiglien |                                                                                                        |
| Mesozoïcum    | K<br>R<br>Y<br>T                     | O          | Hauterivien | Gildehauser zandst.                                                                                    |
|               |                                      | N K        |             | Noricum zandst.                                                                                        |
|               |                                      | D R        |             | Grens zandst.                                                                                          |
|               |                                      | E Y<br>R T | Valanginien | Dichotomiet zandst.<br>Bentheimer zandst.                                                              |

## 14 Geohydrologie

### 1.4.1 Eerste watervoerend Pakket

In het gebied bestaat het bovenste pakket uit matig fijn zand (Formatie van Twente en Kootwijk). Dit eerste watervoerende pakket heeft een dikte van circa 15 mtr. De transmissibiliteit (kD) is geschat op 150 m<sup>2</sup>/dag, waaruit volgt dat de doorlaatfactor op k = 10 m/dag is gesteld. De doorlaatfactor is bepaald met behulp van korrelgrootteverdeling, welke is ontleend uit boorgegevens van de firma Haitjema en de Geologische dienst. Deze is ingevuld in de door Ernst bepaalde formule:  $k = 58000/U^2 \cdot (ABC)$ . Dekzand is goed gesorteerd en heeft een korrelgrootte van circa 150 µm.

Het eerste watervoerende pakket wordt ingesneden door het waterlopenstelsel in het gebied. Het Omleidingskanaal is hiervan de belangrijkste waterloop. Het kanaal ligt evenwijdig aan de isohypsen van het gebied. Bijlage 10 geeft een overzicht van het isohypsenpatroon van het freatisch grondwater. Deze bijlage wordt verder besproken in § 1.6.

De topografische waterscheiding valt in de omgeving van het gebied samen met de Duitse grens. Vanaf deze waterscheiding stroomt het water door het eerste pakket in de richting van het Omleidingskanaal. Uit isohypsenkaarten blijkt echter dat ook ten oosten van het Omleidingskanaal het water richting Omleidingskanaal stroomt (lit.15). Hieruit valt te concluderen dat het freatisch water, afkomstig uit het onderzoeksgebied, wordt afgevangen door het kanaal (drainerend). De overige afwateringsmiddelen zijn ook drainerend.

#### 1.4.2 Waterscheidende laag

Onder het eerste watervoerende pakket ligt een waterscheidende laag. Deze bestaat uit veen, fijn zand en klei (deel van de Formatie van Drenthe). Hierin vindt voornamelijk verticale stroming plaats. De weerstand van deze laag is uit de beschikbare gegevens moeilijk te herleiden, doordat de samenstelling van de laag sterk kan variëren. In eerste instantie is de weerstand op  $c = 300$  dagen gesteld.

#### 1.4.3 Tweede watervoerend pakket

Het onder de waterscheidende laag liggende pakket is weer watervoerend. Dit is het tweede watervoerende pakket. Dit pakket heeft een dikte variërend van 20 tot 40 mtr en bestaat voornamelijk uit Kwartair zand gemengd met Mesozoïsch zand. De doorlatendheid van deze zanden is geschat op  $k = 15$  mtr/dag.

Uit het isohypsenpatroon van het tweede watervoerende pakket (bijlage 11), blijkt dat de stroming van het water westwaarts is. De waterscheiding van het tweede watervoerende pakket ligt ten hoogte van de lijn Bentheim, Brandlecht en Nordhorn (lit. 16).

#### 1.4.4 Mesozoïsche afzettingen

Onder het tweede watervoerende pakket bevinden zich de afzettingen uit het Onder-Krijt (Mesozoïcum). Deze afzettingen bestaan uit zanden en kleien. Door tektonische bewegingen is er in dit Mesozoïsch pakket geen duidelijke gelaagdheid aangetroffen. Doordat weinig gegevens voorhanden zijn omtrent deze afzettingen, is het moeilijk iets te zeggen over de aanwezige waterbewegingen in dit pakket.

### 1.5 Bodemkundige situatie

Het gebied wordt voornamelijk gekenmerkt door zandgronden. De veldpodzolen Hn21 en Hn23 beslaan de grootste oppervlakte. Voor een overzicht wordt verwezen naar bijlage 7, de bodemkaart. Deze podzolgronden hebben een A1 horizont dunner dan 30 cm en geen ijzerhuidjes rondom de zandkorrels direct onder de B2 horizont. Ze zijn onder natte omstandigheden ontstaan, maar hebben nu voor het grootste deel een diepe ontwatering en komen daarom behalve op Gt V, ook voor op Gt VI en Gt VII. Bijlage 8 geeft een overzicht van de voorkomende grondwatertrappen.

De haarpodzolgronden, Hd21, onderscheiden zich van de veldpodzolgronden door de dunne A1 horizont van 10 cm. Ze liggen in het gebied nabij het brede erosiedal in de omgeving van fluvioglaciale afzettingen. Verder worden haarpodzolgronden gekenmerkt door de vele horizontaal verlopende, dunne, zwarte inspoelingsbanden in de zandondergrond. In het gebied komen deze gronden alleen voor bij Gt VII.

De duinvaaggronden, Zd21, in het zuidelijk deel van het gebied, kenmerken zich door een zeer dunne, uiterst humusarme tot zeer humusarme A1. Deze gronden hebben een onrustig reliëf met soms zeer steile stuifduinen.

De beekeerdgronden zijn voornamelijk gesitueerd in de doorlopende laagten van de Puntbeek en het Omleidingskanaal. De bovengronden zijn over het algemeen 20 à 30 cm dik, zeer donker grijsbruin en sterk roestig.

Daaronder ligt lichtgrijs tot licht bruin C-materiaal dat uiteenloopt van sterk lemig, zeer fijn (eolisch) zand tot leemarm, grindhoudend matig grof (fluviatiel) zand. De beekeerdgronden hebben in het modelgebied voornamelijk een Gt IV.

## 1.6 Waterhuishouding

### 1.6.1 Waterkwantiteit

Zoals in § 1.1 al vermeld, maakt het gebied Punthuizen deel uit van het waterschap 'Regge en Dinkel'.

Gebied Punthuizen ligt waterstaatkundig in de afwateringseenheid van 'Het Omleidingskanaal boven stuw D ten noordwesten van Noord-Deuningen'. Dit is een onderdeel van het stroomgebied van de Dinkel. Het gebied heeft een oppervlakte van 4215 ha, waarvan 2070 ha in Nederland ligt. De Dinkel ontspringt bij Holtwick in Duitsland, stroomt daarna noordwaarts en komt bij Glane Nederland binnen. Vervolgens stroomt zij langs Lossen en Denekamp, om ten noordwesten van Lattrop Nederland te verlaten en ten noorden van Neuenhaus in de Vecht uit te monden.

Via het Omleidingskanaal wordt tweederde deel van het aangevoerde water (uit de afwateringseenheid) afgevoerd. Voor een overzicht wordt verwezen naar bijlage 9.

De Dinkel (waterschapsleiding 40) komt middels het Omleidingskanaal (wsl.32) het gebied binnen. Dit kanaal dient, zoals reeds vermeld om de piekafvoeren van de Dinkel op te vangen en inundatie van het Dinkeldal te voorkomen.

Het Omleidingskanaal vormt in het gebied de westelijke grens. Een andere belangrijke waterloop is de Puntbeek (wsl.32-1). Deze zorgt voor een afwatering van het Duitse deel van de afwateringseenheid (ca. 2145 ha.).

In de Puntbeek zijn bij de stuw Beuningerveldweg gedurende Augustus 1988 tot en met Mei 1989 debietmetingen uitgevoerd. Een gemiddelde voor de afvoer van Augustus tot April komt hierbij op 0.14 m<sup>3</sup>/sec. De afvoer in April/Mei is gemiddeld 0.29 m<sup>3</sup>/sec (lit. 17).

Andere belangrijke waterlopen in het modelgebied zijn de overige waterschapsleidingen. De volgende nummers liggen in het gebied: 32-1-0-1, 32-1-0-2 en 32-1-0-3. Zij monden allen uit in de Puntbeek. Deze waterlopen zijn gemiddeld 1.5 mtr. diep. Hun werking is over het algemeen sterk drainerend. Aan het begin van het hydrologisch jaar (1 April) staan sommige leidingen reeds droog. Om de stroomsnelheid van het water te verminderen zijn op diverse plaatsen landbouwkundige stuwen geplaatst.

Het natuurgebied Punthuizen heeft in het voorjaar hoge grondwaterstanden. Op enkele plekken zijn gedurende een aantal maanden 'vennen' aanwezig. In de loop van de zomer zakt de grondwaterstand in de huidige situatie tot 2.5 - 3 mtr beneden maaiveld. Een uitgebreide beschrijving van het gebied (per regio) vindt plaats in § 3.1.2.

Het isohypsenverloop van het freatische grondwater in het gebied is weergegeven in bijlage 10. Het stijghoogteverloop is van 29.5 mtr +NAP in het oosten naar 25.5 mtr +NAP in het westen. Hierbij is het opvallend dat de waterschapsleidingen in dezelfde richting lopen als de isohypsen. De isohypsenkaart is bepaald door de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand van het maaiveld af te trekken. Voor een bepaling van de GVG is gebruik gemaakt van de formule van der Sluijs:

$$GVG = 5.4 + 0.83 \text{ GHG} + 0.19 \text{ GLG}$$

GLG en GHG zijn overgenomen uit de HELP-tabellen (lit. 7). Hierin zijn de GHG en GLG gerelateerd aan bodemtype en bodemgebruik. Het is van belang dat een nauwkeurige beschouwing van de gemiddelde maaiveldshoogte plaats vindt. Een afwijking hierin kan grote verschillen in de berekende stijghoogte opleveren. Tevens worden fouten geïntroduceerd doordat gebruik gemaakt wordt van kaartmateriaal met verschillende schalen (Gt-kaart 1:50.000, Hoogtelijnenkaart 1:10.000). Interpretatie van stijghoogtelijnen kan daarom beter gebeuren met behulp van peilbuisgegevens. Deze zijn voor het gebied echter niet voorhanden.

### **1.6.2 Waterkwaliteit**

Natuurgebied Punthuizen ligt over het algemeen hoger dan de omliggende landbouwgronden, terwijl het zuidoostelijke deel samen valt met de stroomgebiedsgrens. Deze twee factoren zorgen er voor dat er alleen water het natuurgebied uitstroomd. Het enige water dat het gebied instroomt komt van een naastliggend landbouwperceel. Dit water stroomt via twee kleine stroompjes het natuurgebied binnen, waar het zich verzameld in een ven (voorjaarssituatie).

Uit beide stroompjes is op 17 April 1989 een watermonster genomen. Op dat moment was het perceel in gebruik als grasland. Het landgebruik wordt soms afgewisseld met maïs. De watermonsters zijn geanalyseerd door het laboratorium van waterschap Regge en Dinkel. De analyseresultaten zijn weergegeven in figuur 1.2

**Figuur 1.2 Analyseresultaten oppervlaktewater, 17-04-'89  
(Waterschap Regge en Dinkel)**

| Analyses           | Punthuizen I<br>Coörd. 269,5-485,8 | Punthuizen II<br>269,3-485,7 |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------|
| N.kj               | 3.8 mg/l                           | 3.5 mg/l                     |
| NH <sub>4</sub> -N | 0.7 mg/l                           | 0.4 mg/l                     |
| NO <sub>2</sub> -N | 0.03 mg/l                          | 0.03 mg/l                    |
| NO <sub>3</sub> -N | 0.6 mg/l                           | 9.4 mg/l                     |
| o-P                | 0.23 mg/l                          | 0.05 mg/l                    |
| Tot. P             | 0.82 mg/l                          | 0.30 mg/l                    |
| Cl                 | 32.00 mg/l                         | 34.00 mg/l                   |

De analyseresultaten van figuur 1.2 zijn slechts een momentopname. Om een indruk te krijgen van deze waarden, worden hieronder enkele normen van de IMP-M-basiskwaliteit (indicatief meerjarenprogramma-milieubeheer) gegeven.

Normen van de IMP-basiskwaliteit zijn 10 mg N/ltr (NO<sub>3</sub>-N + NO<sub>2</sub>-N), 0.02 mg N/ltr (NH<sub>4</sub>-N) en 0.15 mg P/ltr (t-PO<sub>4</sub>-P).

Uit vergelijking van de gehalten uit figuur 1.2 blijkt dat concentraties van ammonium-nitraat (NH<sub>4</sub>-N) en totaal fosfaat (t-PO<sub>4</sub>-P) een forse overschrijding te zien geven ten opzichte van de IMP-basiskwaliteit.

## 2. MODELBESCHRIJVING

### 2.1 Beschrijving Femsats (lit. 11)

Simulatie van regionale hydrologische situaties kan onder andere geschieden met behulp van numerieke modellen. Essentieel voor de keuze van het modelprogramma was de koppeling van de grondwaterstand aan het oppervlaktewater in verband met het (mogelijk) opzetten van slootpeilen ten behoeve van de vegetatie. Voor deze koppeling en voor het berekenen van veranderingen in stijghoogtes en grondwaterstromingen in de verzadigde zone is gekozen voor het programma Femsats (Finite Element Model for SATurated Steady groundwater flow. Bij dit onderzoek is uitgegaan van een stationaire situatie aan het begin van het hydrologisch jaar (1 April). In het modelgebied staan dan reeds enkele waterlopen droog zodat deze geen rol meer spelen bij de Femsats berekeningen.

Femsats werkt, zoals de naam al aangeeft, met een netwerk van eindige elementen waarvan de hoekpunten de knooppunten vormen. De knooppunten zijn representatief voor het omliggende gebied. Het invloedsoppervlak van een knooppunt wordt door het model zelf berekend. Een of meer knooppunten kunnen ingevoerd worden als subregio. Het voordeel van het werken met subregio's is, dat de hoeveelheid output van het model aanzienlijk kan worden gereduceerd waardoor resultaten overzichtelijker zijn. Zo'n indeling kan bijvoorbeeld gebeuren naar bodemtype of grondwatertrap.

Voor het beschrijven van de grondwaterbeweging in de verzadigde zone wordt een schematisatie toegepast in watervoerende- en waterscheidende lagen. Femsats is een quasi drie-dimensionaal model. Dat wil zeggen, dat vanuit een knooppunt, per laag alleen horizontale en verticale fluxen worden berekend. In watervoerende lagen vindt alleen horizontale stroming plaats en in waterscheidende lagen alleen verticale stroming.

Bij stationaire stroming vindt geen verandering tussen inkomende en uitgaande waterstroom over tijdstap  $t$  plaats. De continuïteitsvergelijking wordt dan:

$$\sum_j Q_{ij} + Q_o = 0 \quad (1)$$

Alle stroming naar knooppunt  $i$ , vanaf het omliggende knooppunt  $j$  in dezelfde laag ( $Q_{ij}$ ), moet gelijk zijn aan de uitgaande stroming ( $Q_o$ ) (Waterbalans).

De stromingsvergelijking voor de stroming tussen knooppunt  $i$  en aangrenzend knooppunt  $j$  in dezelfde laag kan geschreven worden als (Darcy):

$$\sum_j Q_{ij} = \sum_j kD_{ij} (h_j - h_i) \quad (2)$$

Een combinatie van bewegings- en continuïteitsvergelijkingen levert een stelsel van vergelijkingen op, die numeriek iteratief worden opgelost.



### 2.1.1 Relatie grondwater/oppervlaktewater

De interactie tussen grondwater en oppervlaktewater is gemodelleerd weergegeven door middel van een tertiair, secundair en primair of hoofdwaterlopen systeem (channel system). Het tertiaire systeem bestaat uit perceelsloten. Het secundaire systeem bevat de wat grotere kavelsloten. De relatie tussen grondwater en kavel/perceelsloten wordt per knooppunt berekend volgens de formule van Ernst:

$$q = \frac{H_g - H_s}{W}$$

q = drainageflux  
 H<sub>s</sub> = Konstant slootpeil  
 H<sub>g</sub> = Gemiddelde grondwaterstand  
 ( 0.8 \* max. opbolling)  
 W = Konstante drainageweerstand

Omdat H<sub>s</sub> en W konstanten zijn, is q alleen afhankelijk van H<sub>g</sub>. Dit geeft een lineair verband tussen q en H<sub>g</sub>.

## 2.2 Invoer Femsats

### 2.2.1 Modelnetwerk

Het knooppuntennetwerk is gemaakt met een hulpprogramma van Femsats, Femsin. Met behulp van ingevoerde waarden kan deze netwerkgenerator het aantal elementen en de contactpunten van elk knooppunt berekenen. Het modelgebied heeft 110 knooppunten, waarvan 38 randknooppunten.

De ligging van het netwerk is zodanig gekozen, dat de randen van het model makkelijk te definiëren zijn. In paragraaf 2.2.4 wordt hier verder op ingegaan.

De keuze van de gebiedsgrootte is zodanig dat de belangrijkste (geo)hydrologische invloeden op het natuurgebied binnen het modelgebied liggen. Enkele voorbeelden hiervan zijn; de Puntbeek, de ontwaterde noordwestelijk liggende landbouwgebieden en het Omleidingskanaal.

De afstand tussen de knooppunten is 250 meter. Bij deze dichtheid kunnen de hoofdwaterlopen zo gesitueerd worden, dat deze nog in redelijke mate overeen komen met hun werkelijke ligging.

De 110 knooppunten zijn onderverdeeld in twaalf subregio's, waarvan vier subregio's alleen randknooppunten bevatten. Deze randknooppunten hebben geen representatieve invloedsoppervlakte. Ze zorgen alleen voor een in- en uitgaande volumestroom.

De indeling in interne subregio's is tot stand gekomen door uit te gaan van hydrologisch uniforme eenheden. Elke subregio wordt namelijk gekenmerkt door het voorkomen van een bepaalde grondwatertrap (Zie Gt-kaart, bijlage 8). Bijlage 12 geeft een overzicht van de verdeling in subregio's.

## 2.2.2 De Femsats-files

Voordat het model daadwerkelijk werkt moeten eerst een aantal files aangemaakt worden waarin de data en overige gegevens staan vermeld.

In de file Femsats.dat staat, verspreid over diverse records, allerlei algemene informatie. In bijlage 13 wordt een uitgebreid overzicht gegeven van de option-record. Deze record geeft het model allerlei algemene informatie waarmee gerekend moet worden. Hieronder volgt een overzicht van de bij dit model gebruikte opties. De afkortingen hebben betrekking op de in Femsats gebruikte records. Naast het recordtype staan eerst de default-waarden van Femsats ingevuld, dan de waarde die in dit model is gebruikt, en tenslotte een korte karakterisering van de optie.

|   |       |   |   |   |                         |
|---|-------|---|---|---|-------------------------|
| a | ICON  | : | 1 | 1 | (Contactpunten)         |
| b | IPLR  | : | - | - | (niet-stationair)       |
| c | IPRI  | : | 1 | 1 | (print-optie)           |
| d | IREG  | : | 0 | 1 | (subregio's)            |
| e | IRES  | : | 1 | 1 | (resultaten output)     |
| f | IANIS | : | 1 | 5 | (isotroop/anisotroop)   |
| g | ISURF | : | 0 | 7 | (oppervlaktewater)      |
| h | ISEC  | : | 0 | 1 | (waterlopenstelsel)     |
| i | ICAP  | : | 0 | 0 | (capillaire opstijging) |
| j | IRAIN | : | 0 | 0 | (netto neerslag)        |

De belangrijkste opties worden hieronder besproken.

ad d Deze optie geeft de mogelijkheid om te werken met subregio's. Zoals reeds vermeld is het model ingedeeld in subregio's per grondwatertrap. De indeling in subregio's heeft het grote voordeel dat output overzichtelijk per regio wordt gegeven.

ad f Voor ons model hebben we gekozen voor isotropie en invoer van gegevens per knooppunt en per laag. Dit laatste om zo nauwkeurig mogelijk te blijven werken. Regionale verschillen en laagdikteverschillen kunnen middels deze keuze goed tot hun recht komen. In praktijk zal een bodemprofiel altijd enige anisotropie vertonen. Indien echter met deze optie gewerkt wordt, moeten zeer nauwkeurige gegevens voor handen zijn.

ad g ISURF geeft de mogelijkheid om te werken met een secundair en tertiair waterlopensysteem. Ook hier hebben we voor de meest nauwkeurige optie gekozen. Keuze 7 biedt de mogelijkheid om per subregio, de drainweerstand, de bodemdiepte en de waterstand van zowel de kavelsloten als de perceelsloten in te voeren. Er had ook gekozen kunnen worden voor optie 4. Hier moet echter de relatie tussen de drainageweerstand en de grondwaterstand bekend zijn.

ad h Aangezien in het modelgebied veel waterschapsleidingen voorkomen is uiteraard gekozen voor de mogelijkheid om hoofdwaterlopen in te voeren.

ad j Tijdens een stationaire toestand wordt van een neerslagoverschot uitgegaan, welke direct in het freatisch grondwater terecht komt.

Naast de Femsats.dat file moeten ook de files Femsats.nde, Femsats.hds en Femsats.con aangemaakt worden. In Femsats.nde staat de hydrologische toestand per knooppunt beschreven. Femsats.hds bevat de stijghoogte per knooppunt. Dit kunnen richtwaarden zijn, omdat Femsats rekent met de randvoorwaarden ( 'head-' en 'flow defined boundary's (zie § 2.2.4)). De laatst benodigde file is de contactpunten file, Femsats.con. Hierin staan de knooppunten met hun omliggende knooppunten.

De uitvoer van Femsats bestaat uit de file's Femsats.res, Femsats.hdn en Femsats.itr. In Femsats.res staan alle berekende resultaten zoals: de waterbalans per knooppunt of per regio, de totale waterbalans van het gehele gebied, de gebiedsgrootte per regio etc. Femsats.hdn geeft een overzicht van de berekende stijghoogtes in elk knooppunt. In de laatste file, Femsats.itr, staan het door Femsats gebruikte aantal iteraties.

### 2.2.3 Schematisatie van de lagen

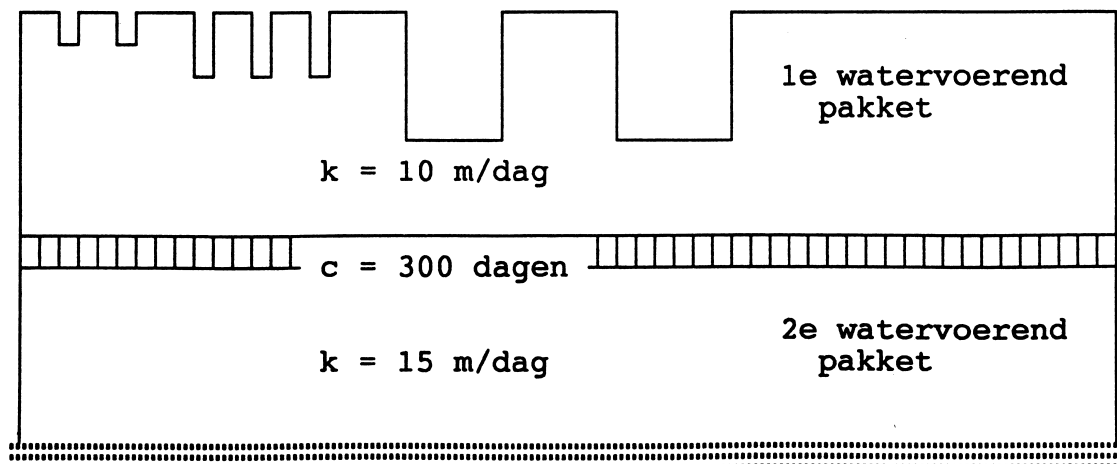
Uit het geologisch onderzoek (§ 1.3 en § 1.4) is een geschematiseerde opbouw te herleiden, bestaande uit twee watervoerende pakketten. Het eerste watervoerende pakket is in het oostelijk deel van het modelgebied ongeveer 20 mtr dik en aflopend naar het westen ongeveer 10 mtr. Deze laag bestaat voornamelijk uit dekzand (Form. van Twente) met daar onder grofzandige fluvioglaciale afzettingen uit de Formatie van Drenthe.

Het tweede (diepe) watervoerende pakket heeft een dikte variërend van twintig tot veertig meter. Deze laag bestaat voornamelijk uit kwartair zand, gemengd met Mesozoïsch zand. Deze grove zanden hebben een doorlatendheid van  $k = 15\text{m/d}$ .

De slecht doorlatende (scheidende) laag kan bestaan uit keileem, veen, lemig fijn zand of een combinatie van deze drie. De weerstand van deze laag is in eerste instantie op  $c = 300$  dagen gesteld.

De mesozoïsche zanden en kleien zijn vanwege hun zeer verbrokkelde en vermengde karakter niet in het model opgenomen als watervoerende laag. De top van het mesozoïsch pakket wordt hier als basis van het model beschouwd. Figuur 2.3 geeft een beeld van de geschematiseerde ondergrond.

Figuur 2.3 Schematisatie van de laagopbouw



## 2.2.4 Randvoorwaarden

De noordelijke en zuidelijke rand van het modelgebied staan nagenoeg loodrecht op de isohypsen van het eerste watervoerende pakket. Er stroomt daar dus maar weinig water in of uit het modelgebied. De oostelijke rand valt bijna samen met de waterscheiding van het stroomgebied. Ook hier zal de flux dus zeer klein zijn. Aangezien voor deze grenzen mogelijk schommelingen in de stijghoogte kunnen gaan optreden en een volumestroom redelijk eenvoudig te bepalen is met behulp van de isohypsenkaart, zijn deze grenzen met een volumestroom ingevoerd ('Flow defined').

Het Omleidingskanaal is in het model opgenomen als westelijke rand omdat deze vrij diep insnijdt in het eerste watervoerende pakket. Doordat deze een vrij constant peil heeft, wordt hiervoor een vaste stijghoogte ingevoerd. Om deze grens als vaste stijghoogte in te kunnen voeren zijn de kD-waarden rondom deze knooppunten verlaagd. Hierdoor wordt een drainageweerstand gesimuleerd. Als zodanig is deze rand een 'Head defined' boundary. Er kunnen nu echter geen volumestromen voor het eerste en tweede watervoerende pakket opgegeven worden. De volumestromen door het tweede watevoerend pakket (noord-, zuid- en oostrand), zijn in eerste instantie bepaald door middel van een isohypsenkaart van het diepere pakket (lit. 16).

## 2.2.5 Maaiveldshoogte

De ingevoerde maaiveldshoogte per knooppunt is ontleend aan de hoogtepuntenkaart, schaal 1:10.000 van de Topografische Dienst. De hoogte per knooppunt is gekozen, zodat 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.

## 2.2.6 Hoofdwaterlopen

Bij 33 knooppunten bevindt zich binnen het invloedsoppervlak een grote waterloop. Binnen deze studie worden de Puntbeek en alle waterschapsleidingen als hoofdwaterlopen beschouwd. Bijlage 13 geeft een overzicht van deze hoofdwaterlopen in de werkelijke situatie en de overeenkomende knooppunten in het model.

Voor deze knooppunten zijn de volgende gegevens betreffende de waterlopen ingevoerd:

- De bodemlagen waarin de waterloop insnijdt. In het modelgebied is dit alleen de eerste watervoerende laag.
- Totale lengte binnen het invloedsoppervlak van het knooppunt.
- De bodembreedte.
- De bodemhoogte ten opzichte van NAP.

- Het waterpeil ten opzichte van NAP. Hierbij is uitgegaan van een afvoer van 0.1 l/s/ha. Met het programma WATER (voor wsl zonder stuwen) en STUW (voor wsl met stuwen) kan de waterdiepte berekend worden (Ld-Utrecht).
  - De radiale weerstand, voor de Puntbeek is deze gesteld op 0.5 d/m, voor waterschapsleiding 32-1-0-2 is deze 1.0 d/m.
  - De intreeweerstand. Voor alle knooppunten moet dezelfde waarde ingevuld worden. Voor dit model is voor het eerste watervoerende pakket 2 d aangehouden.
  - De hoek van het talud.
- De betreffende gegevens van de waterlopen zijn verkregen uit lengte- en dwarsprofielen van het waterschap Regge en Dinkel.

### 2.2.7 Kavel- en Perceelsloten

Onder de kavel- en perceelsloten vallen, met uitzondering van de Puntbeek en de waterschapsleidingen, alle overige sloten uit het gebied. Voor deze waterlopen moeten per subregio de volgende gegevens ingevoerd worden:

- Bodemdiepte van de sloot, ten opzichte van maaiveld
- waterstand ten opzichte van maaiveld
- drainageweerstand van het secundaire systeem
- drainageweerstand van het tertiaire systeem

Bij inventarisatie in het veld is gebleken dat in sommige delen met Gt VII geen sloten voorkomen. Voorbeelden hiervan zijn de subregio's 4 en 5. In subregio 11, het natuurgebied Punthuizen, zijn ook geen sloten aangetroffen. In subregio 8 en 9 zijn, naast de hoofdwaterlopen, weinig secundaire en tertiaire sloten aanwezig. Teneinde een dubbele berekening van de afvoer door de kavel- en perceelsloten te voorkomen, zijn voor de drainageweerstanden van deze subregio's een 'oneindig' grote waarden ingevoerd. De sloten worden op deze wijze uitgeschakeld.

Een ander drainagesysteem is het greppelsysteem. Het systeem zit standaard in Femsats en heeft een drainagebasis voor het gehele modelgebied van 0.20 beneden maaiveld. De drainageweerstand hiervan is gesteld op 50 dagen. De GVG zit in het gebied echter dieper dan de greppelbodem, dit drainagesysteem werkt hierdoor niet mee.

### 2.2.8 Neerslag

In het model een neerslagoverschot van 0.97mm/d ingevoerd. Deze neerslag geeft direct voeding aan het eerste watervoerende pakket. De invoer van deze post is bepaald voor een gemiddelde voorjaarssituatie (Februari en Maart). De cijfers zijn vermeld in figuur 2.4

Figuur 2.4 Neerslag en verdamping in het modelgebied(station: Twente)

| jaar                 | '77 | '78 | '79 | '80 | '81 | '82 | '83 | '84 | '85 | '86 | '87 |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| N-0.8 E <sub>o</sub> | 43  | 68  | 84  | 61  | 122 | 36  | 95  | 58  | 25  | 29  | 74  |

### 3. CALIBRATIE EN GEVOELIGHEIDSANALYSE

#### 3.1 Calibratie

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 gedeelte 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 bijstelling van een aantal parameters plaatsvindt. Voor dit model heeft, wegens een gebrek aan meetgegevens, geen verificatie plaats gevonden. Het model is gecalibreerd voor een gemiddelde stationaire voorjaars situatie.

##### 3.1.1 Calibratie op isohypsenpatroon

In elke calibratiestap zijn de door het model berekende stijghoogtes van de knooppunten vergeleken met de stijghoogte zoals die bepaald is in bijlage 10 (zie paragraaf 1.5). Voor de calibratie is bij het onderzoek uit gegaan van deze isohypsenkaart, omdat relevante stijghoogtegegevens (peilbuizen) niet voorhanden waren. Aangezien deze kaart bepaald is met behulp van maaiveldshoogtes en GVG's is het gevaarlijk om het model hierop te calibreren (zie § 1.6.1). Het calibreren heeft in een achttal stappen plaatsgevonden:

- Optimalisatie van de volumestroom over de grenzen
- Optimalisatie van de kD-waarden van het eerste watervoerende pakket
- Optimalisatie van de kD-waarden van het tweede watervoerende pakket
- Optimalisatie van de c-waarden van de waterscheidende laag
- Kritische beschouwing van de ingevoerde maaiveldshoogtes
- Heroptimalisatie van de eerste kD-waarden
- Optimalisatie van de secundaire en tertiaire drainageweerstanden

Tijdens elke optimalisatiestap zijn de in de voorgaande stap verkregen optimale parameterwaarden ingevoerd. Dit heeft geresulteerd in een door Femsats berekend isohypsenpatroon. In bijlage 10 wordt het berekende isohypsenpatroon vergeleken met het 'werkelijke' isohypsenpatroon. Hierbij valt op te merken dat de berekende stijghoogtelijn van 28.0 en 28.5 mtr. afwijken van de werkelijke. Door middel van calibratie is het niet gelukt om deze afwijking te corrigeren. In figuur 3.1 wordt een overzicht gegeven van de verschillen tussen werkelijke en berekende stijghoogtes. Hierin komen de afwijkingen van de stijghoogtelijnen 28.0 en 28.5 tot uiting in de subregio's 9, 11 en 4.

**Figuur 3.1** Vergelijking tussen werkelijke en berekende stijghoogtes per subregio

| sub-regio | werkelijke stijghoogte<br>Hw (mtr) | berekende stijghoogte<br>Hb (mtr) | verschil<br>Hw-Hb (cm) |
|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| 1         | 27.20                              | 27.30                             | -10                    |
| 2         | 29.24                              | 29.35                             | -11                    |
| 3         | 26.45                              | 26.49                             | - 4                    |
| 4         | 28.46                              | 28.30                             | 16                     |
| 5         | 27.45                              | 27.53                             | - 8                    |
| 6         | 29.16                              | 29.23                             | - 7                    |
| 7         | 26.72                              | 26.69                             | 3                      |
| 8         | 26.93                              | 26.97                             | - 4                    |
| 9         | 27.62                              | 27.82                             | -20                    |
| 10        | 28.40                              | 28.32                             | 8                      |
| 11        | 28.82                              | 28.98                             | -16                    |
| 12        | 25.85                              | 25.91                             | - 6                    |

### 3.1.2 Beschouwing van de waterbalans per subregio

Nadat het berekende isohypsenpatroon in redelijke mate in overeenstemming was met de werkelijke, is gekeken naar de realiteitswaarde van de waterbalansen. Dit wil echter nog niet zeggen dat de waterbalansen in overeenstemming zijn met de werkelijkheid zoals die met behulp van veldkenmerken, literatuur en ervaring kan worden geschetst.

De waterbalans in het programma Femsats bestaat uit de volgende termen:

- Neerslag. Deze komt in het stationaire model geheel ter beschikking aan de verzadigde grondwaterzone.
- Oppervlaktewaterafvoer via het secundaire en tertiaire systeem. Dit systeem ontvangt grondwater en kan, indien aanwezig, dit grondwater afvoeren naar het hoofdwaterlopenstelsel.
- Hoofdwaterlopenstelselafvoer. Deze voeren in het modelgebied het water af naar het Omleidingskanaal.
- Wegzijging of kwel. De verticale waterbeweging per laag.
- Volumestroom over de grenzen van het model.
- Laterale (horizontale) stroming in de watervoerende pakketten.

In onderstaande alinea's wordt de waterbalans, zoals deze in praktijk verondersteld wordt, per subregio besproken. Voor de bijbehorende theoretische (berekende) waterbalans wordt verwezen naar figuur 3.2. De subregio's 1 tot en met 4 en 12 bevatten grensknooppunten. Hiervan wordt alleen de volumestroom die het gebied in of uit gaat berekend. Ze vertegenwoordigen dus geen oppervlakte in het modelgebied.

Regio 5 heeft een Gt VII. Dit gebied heeft in het voorjaar al een diepe grondwaterstand. Hierdoor zal de wegzijging in de zandbovengrond een zeer voorname rol spelen. De kavel- en perceelsloten zijn vrijwel niet aanwezig, hierdoor is de afvoerterm erg klein. Door de regio loopt echter wel een gedeelte van de Puntbeek, waardoor afvoer optreedt.

Regio 6 bevat de waterloop 32-1-0-3 en een gedeelte van de Puntbeek. Deze zullen voor een grote afvoer zorgen. Door de aanwezigheid van een secundair en tertiair systeem zorgen ook deze voor enige afvoer.

Regio 7 heeft een hoge afvoer door de kavel- en perceelsloten. Deze detailontwatering is door afwezigheid van het hoofdwaterlopenstelsel sterk vertegenwoordigd.

Regio 8 ligt in het beekdal van de Puntbeek. Er vinden grote afvoeren plaats. De werkelijke afvoer ( \$1.6.1, 0.29 m<sup>3</sup>/sec), circa 25.000 m<sup>3</sup>/dag, komt grotendeels uit het achterliggende Duitse gebied. Deze afvoer is niet te vergelijken met de berekende afvoer uit de waterbalans. Door de drainerende werking van de Puntbeek is de laterale stroming naar de beek toe groot, en de wegzijging klein.

Regio 9 vertegenwoordigt een groot landbouwgebied met Gt VI. Door de waterschapsleidingen wordt een groot deel van de neerslag afgevoerd. Vanwege de goede doorlatendheid is hier sprake van een 'snel reagerend gebied'. Door de dichte ontwatering met waterschapsleidingen zal het secundaire en tertiaire systeem weinig afvoer vertonen.

Regio 10 is een gedeelte van het natuurgebied Beuninger Achterveld. Het bestaat voor een groot gedeelte uit droge heide. Er vindt een grote wegzijging plaats.

Regio 11 is het natuurgebied Punthuizen. Dit gebied heeft, zoals te verwachten is, een grote wegzijging en een grote horizontale stroming.

Figuur 3.2 Netto Waterbalans per subregio (m<sup>3</sup>/dag)

| regio | neer-<br>slag | secund.<br>tertiair<br>systeem<br>positief = naar subregio / negatief = uit subregio | hoofd-<br>water-<br>lopen | - wegzijging<br>+ kwel | volume<br>stroom<br>grens | horizont.<br>stroming |
|-------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1     | 0.00          | 0.00                                                                                 | 0.00                      | 0.00                   | 160.00                    | 202.34                |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 0.00                   | 0.00                      | 0.00                  |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 0.00                   | 275.00                    | -141.98               |
| 2     | 0.00          | 0.00                                                                                 | 0.00                      | 0.00                   | 125.00                    | -125.25               |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 0.00                   | 0.00                      | 0.00                  |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 0.00                   | 365.00                    | 365.43                |



Vervolg figuur 3.2 Netto Waterbalans per subregio (m³/dag)

| regio | neer-<br>slag | secund.<br>tertiair<br>systeem<br>positief = naar subregio / negatief = uit subregio | hoofd-<br>water-<br>lopen | - wegzijging<br>+ kwel | volume<br>stroom<br>grens | horizont.<br>stroming |
|-------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 3     | 0.00          | 0.00                                                                                 | 0.00                      | 0.00                   | 230.00                    | 229.96                |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 0.00                   | 0.00                      | 0.00                  |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 0.00                   | 365.00                    | 364.90                |
| 4     | 0.00          | 0.00                                                                                 | 0.00                      | 0.00                   | 0.00                      | -0.13                 |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 0.00                   | 0.00                      | 0.00                  |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 0.00                   | 440.00                    | 439.80                |
| 5     | 909.38        | 0.00                                                                                 | -300.25                   | -352.22                | 0.00                      | -257.93               |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | -1.15                  | 0.00                      | 0.00                  |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 353.37                 | 0.00                      | -354.30               |
| 6     | 485.00        | -13.28                                                                               | -256.06                   | -79.14                 | 0.00                      | -138.17               |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | -1.62                  | 0.00                      | 0.00                  |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 80.76                  | 0.00                      | -82.15                |
| 7     | 363.75        | 43.94                                                                                | 0.00                      | -164.26                | 0.00                      | 55.68                 |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | -0.14                  | 0.00                      | 0.00                  |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 164.40                 | 0.00                      | -164.51               |
| 8     | 788.13        | -23.60                                                                               | -866.93                   | -9.86                  | 0.00                      | 111.67                |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | -0.61                  | 0.00                      | 0.00                  |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 10.47                  | 0.00                      | -10.96                |
| 9     | 1151.88       | -0.13                                                                                | -514.64                   | -550.28                | 0.00                      | -89.38                |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | -2.56                  | 0.00                      | 0.00                  |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 552.84                 | 0.00                      | -554.59               |
| 10    | 242.50        | 12.07                                                                                | 0.00                      | -276.70                | 0.00                      | 21.24                 |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | -0.99                  | 0.00                      | 0.00                  |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 277.70                 | 0.00                      | -278.31               |
| 11    | 424.38        | 0.00                                                                                 | -35.24                    | -185.62                | 0.00                      | -205.08               |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | -1.52                  | 0.00                      | 0.00                  |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 187.14                 | 0.00                      | -188.07               |
| 12    | 0.00          | 0.00                                                                                 | 0.00                      | 0.00                   | 0.00                      | 306.36                |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 0.00                   | 0.00                      | 0.0                   |
|       |               |                                                                                      | 0.00                      | 0.00                   | 0.00                      | 1335.53               |

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de modelmatige uitkomsten in redelijke mate overeenkomen met de geschetste situatie uit §1.4 en § 1.6.1. De waarden uit de waterbalans zijn echter niet te toetsen aan de werkelijkheid, omdat er vrijwel geen afvoergegevens bekend zijn van het hoofdwaterlopensysteem.

### 3.2 Gevoelighedsanalyse

Met het rekenmodel Femsats is een groot aantal berekeningen uitgevoerd om inzicht te krijgen in de gevoeligheden van het model voor de verschillende parameters. Hierbij is telkens in de geijkte situatie een parameter veranderd. De gevoelighedsanalyse is uitgevoerd door vermenigvuldiging met een voor het gehele gebied constante factor. Alle belangrijke parameters zijn hierbij slechts met één vermenigvuldigingsfactor veranderd. De effecten op de stijghoogtes worden hier besproken.

De  $kD$ -waarden van het eerste watervoerende pakket zijn veranderd met factor  $f = 0.5$  van  $k = 10$  m/d voor de geijkte situatie naar  $k = 5$  m/d voor de aangepaste situatie. Het effect van veranderingen in de  $kD$ -waarden is een stijging van de stijghoogtes. De stijging van 0.11 mtr kan met behulp van een afgeleide wet van Darcy,  $H * dH/dS = - Q/kD$ , verklaard worden. Hieruit volgt dat bij gelijkblijvende randflux  $Q$  en halvering van  $kD$ -waarden de stijghoogte toeneemt.

De Volumestroom (Flux) over de randen door het eerste en tweede watervoerende pakket is vergroot met factor  $f = 2$ . Dit geeft ten opzichte van de geijkte situatie een gemiddelde daling van ongeveer 0.43 mtr te zien. De volumestroom heeft dus een behoorlijke invloed op de stijghoogtes. De daling van de stijghoogtes betekent dat de uitgaande volumestroom groter is dan de ingaande volumestroom. Bij verdubbeling van alle waarden neemt de uitgaande volumestroom relatief gezien meer toe.

De  $c$ -waarden van de waterscheidende laag is voor het hele gebied verdubbeld ( $f = 2$ ) van 100 dagen naar 200 dagen. Verandering van de grootte van de weerstand heeft zeer weinig effect op de stijghoogtes, namelijk een gemiddelde stijging van 0.01 mtr. Dit is het gevolg van het geringe verschil in stijghoogte tussen het eerste en tweede watervoerende pakket (verschil van circa 0.09 mtr) en gering verschil in  $kD_1$  en  $kD_2$ .

De radiale weerstanden van de hoofdwaterlopen zijn ook veranderd met  $f = 2$ . De verhoogde radiale weerstand in het eerste watervoerende pakket geeft een gemiddelde verhoging van de stijghoogtes van 0.13 mtr.

De intreeweerstand van de hoofdwaterlopen, 2 dagen voor de eerste watervoerende laag, is verhoogd naar 4 dagen. Er treedt hierdoor een stijging op van 0.07 mtr.

De hoeveelheid nuttige neerslag is weliswaar bepaald uit een voorjaarsgemiddelde van de laatste 10 jaar, maar om toch een beeld te krijgen van de invloed van een verandering in de hoeveelheid neerslag op de stijghoogtes, is deze waarde van 0.97 mm/d verandert met  $f = 0.8$  naar 0.8 mm/d. Er treedt dan natuurlijk een daling op van de stijghoogtes, en wel met een gemiddelde van 0.18 m over het hele gebied.

Drainageweerstand die per subregio zijn ingevoerd van het secundaire en tertiaire systeem zijn verdubbeld. De subregio's waarbij reeds zeer hoge waarde waren ingevoerd om dubbeltelling in de afvoeren te voorkomen, vertonen geen verschil met het stijghoogtepatroon van de geijkte situatie. Bij de andere subregio's is het verschil zeer klein (0.01 m).

Bij de ijking van het model zijn, met uitzondering van de neerslagterm, alle genoemde gegevens veranderd en geoptimaliseerd. Doordat weinig concrete waarden van het gebied voorhanden zijn, moeten veel aannames en schattingen gedaan worden. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat veranderingen in de volumestroom een grote invloed hebben op de stijghoogte. Deze kunnen echter alleen in het derde pakket fors worden aangepakt omdat in het eerste watervoerende pakket de volumestromen goed gedefinieerd zijn (zie §2.2.3).

## 4. MOGELIJKE OPLOSSINGEN

### 4.1 Algemeen

In de voorgaande hoofdstukken hebben we het gebied, de probleemstelling en de onderzoeksmethode beschreven. Het doel van het onderzoek is om na te gaan of verdroging van het natuurgebied Punthuizen is tegen te gaan. Daarnaast wil de landbouw ook meer grondwater ter beschikking hebben.

In dit hoofdstuk zullen we in gaan op de mogelijke oplossingen die met Femsats zijn onderzocht. De diverse oplossingen, om tot een verhoging van de stijghoogte in de voorjaars situatie te komen, zijn hieronder kort vermeld;

- scenario-1 Opstuwing in de Puntbeek (§ 4.1)
- scenario-2 Opstuwing in de Puntbeek en opstuwing in waterschapsleiding 32-1-0-2 (§ 4.1)
- scenario-3 Opstuwing in alle bestaande waterschapsleidingen (§ 4.1)
- scenario-4 Bodemverhoging van waterschapsleidingen 32-1-0-2 en 32-1-0-1 (§ 4.2)
- scenario-5 Oppompen van water uit de Puntbeek naar waterschapsleiding 32-1-0-2 (§ 4.3)
- X - scenario-6 Oppompen van water uit de Puntbeek naar waterschapsleiding 32-1-0-2 en het doortrekken van 32-1-0-2 naar 32-1-0-1 (§ 4.3)
- scenario-7 Peilverhoging in het Omleidingskanaal (§ 4.4)
- scenario-8 Wateriaanvoer naar zuidzijde natuurgebied (§4.5)
- scenario-9 Verwijderen deel wsl 32-1-0-1 (§4.5)

### 4.2 Waterconservering

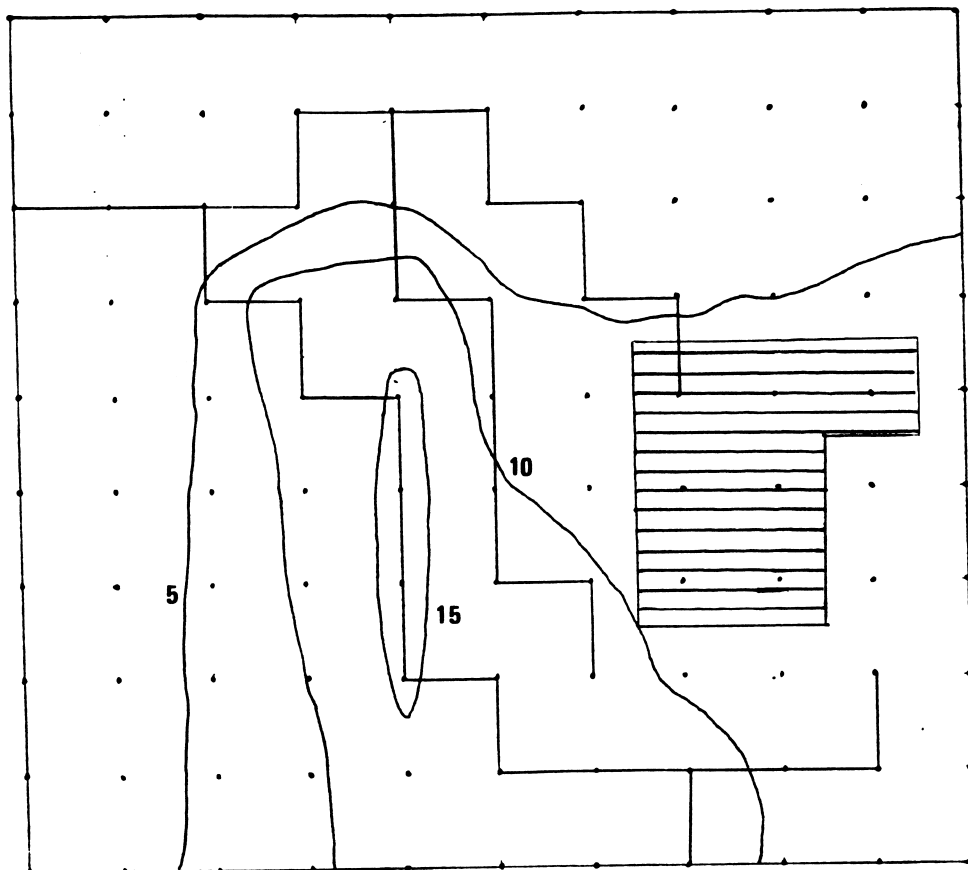
Omdat er in het gebied veel stuwen aanwezig zijn, is in eerste instantie onderzocht of verhoging van de bestaande stuwpeilen tot een oplossing kunnen leiden. Zoals in de inleiding van hoofdstuk 4 is vermeld, zijn er 3 van deze scenario's bekeken. Het doel van deze 3 scenario's is het nagaan of door middel van waterconservering in de noord-westelijk gelegen landbouwgebieden (ten opzichte van natuurgebied Punthuizen) de grondwaterstand omhoog gebracht kan worden. Hierdoor wordt een tegendruk in het grondwater gecreëerd en zullen hogere grondwaterstanden in het natuurgebied Punthuizen en het landbouwgebied bereikt worden.

**Scenario-1.** Hierin zijn de stuwen aan de Beuningerveldweg (in het modelgebied de meest stroomopwaarts gelegen), en tevens de stuw die hier stroomafwaarts van ligt, met 30 cm verhoogd. Om dit effect te simuleren zijn in het model de volgende parameters veranderd:

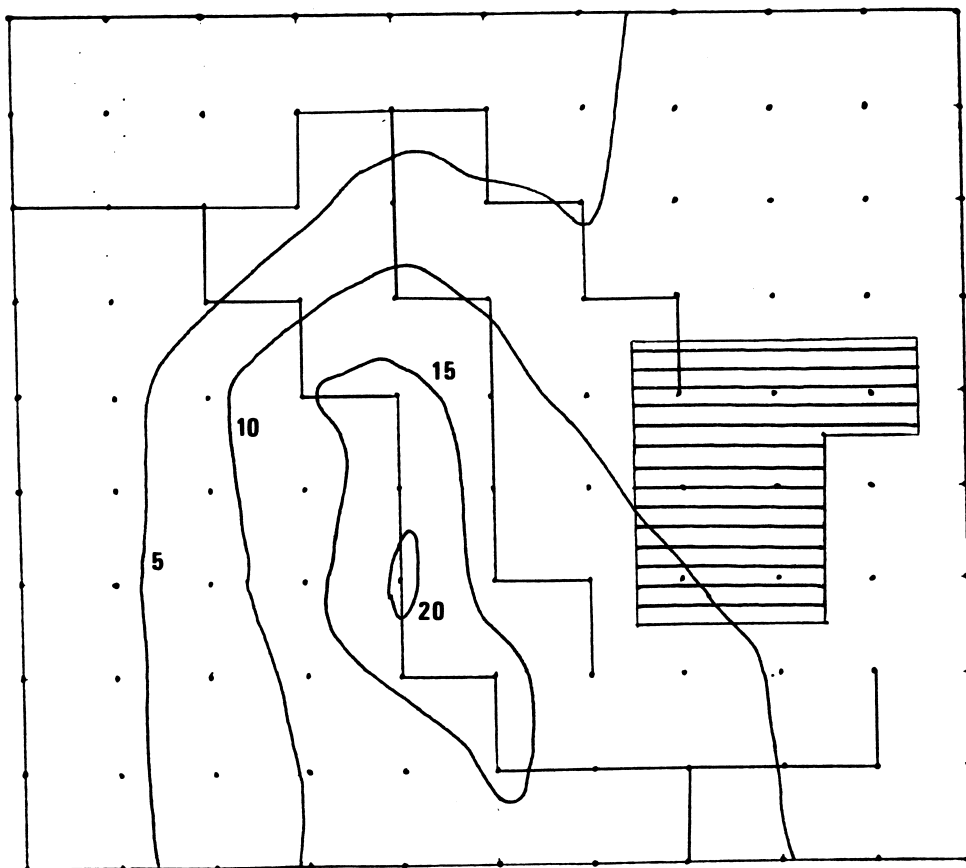
- Het waterpeil stroomopwaarts van beiden stuwen met 30 cm verhoogd. De waterdieptes zijn daarna opnieuw berekend met het programma STUW (Ld-Utrecht), zie § 2.2.6.
- Aanpassing van de radiale weerstand. Doordat de natte omtrek van het profiel groter wordt, zal de radiale weerstand afnemen.

Uit de berekening blijkt dat het opzetten van de peilen in de Puntbeek met 30 cm over een smalle strook effect heeft, er wordt een verhoging met 15 cm bereikt. In het natuurgebied wordt een verhoging met 5 cm bereikt. Figuur 4.1 geeft de stijging in cm van scenario-1 ten opzichte van de geijkte situatie.

**Figuur 4.1 Grondwaterstandsverandering scenario-1  
(Stuw Puntbeek verhoogd) tov geijkte situatie**



**Figuur 4.2 Grondwaterstandsverandering scenario-2  
(Alle stuwen verhoogd) tov geijkte situatie**



**Scenario-2.** Om te kijken of verhoging van een aantal andere stuwen ook effect kan opleveren zijn scenario-2 en scenario-3 uitgevoerd. Bij dit scenario is de stuw in waterschapsleiding 32-1-0-2 met 30 cm verhoogd. De stuwen in de Puntbeek zijn, net zoals in scenario-1, verhoogd met 30 cm. Dit effect is op dezelfde wijze als in scenario-1 gesimuleerd. De radiale weerstand is veranderd van 0.5 d/m naar 0.4 d/m. Bij dit scenario is er tevens van uit gegaan, dat opstuwning van het peil met 30 cm mogelijk is. Uit veldinventarisaties is echter gebleken dat zo'n hoog stuwpeil sporadisch voorkomt. Het grondwater wordt echter langer vastgehouden (naar de zomer toe) waardoor verdroging minder snel op treedt. Indien grote neerslaghoeveelheden (hevige buien) in de zomer voorkomen zal het stuwpeil waarschijnlijk niet bereikt worden. De neerslag zal door de goede doorlatendheid van het eerste watervoerende pakket snel wegzijgen naar dit pakket. Van een naijleffect zal echter, tengevolge van de neerslag in het voorjaar, wel sprake zijn. De beschreven ingrepen geven in het natuurgebied een verhoging van de stijghoogte met 10 cm. Figuur 4.2 geeft een beeld van de stijging.

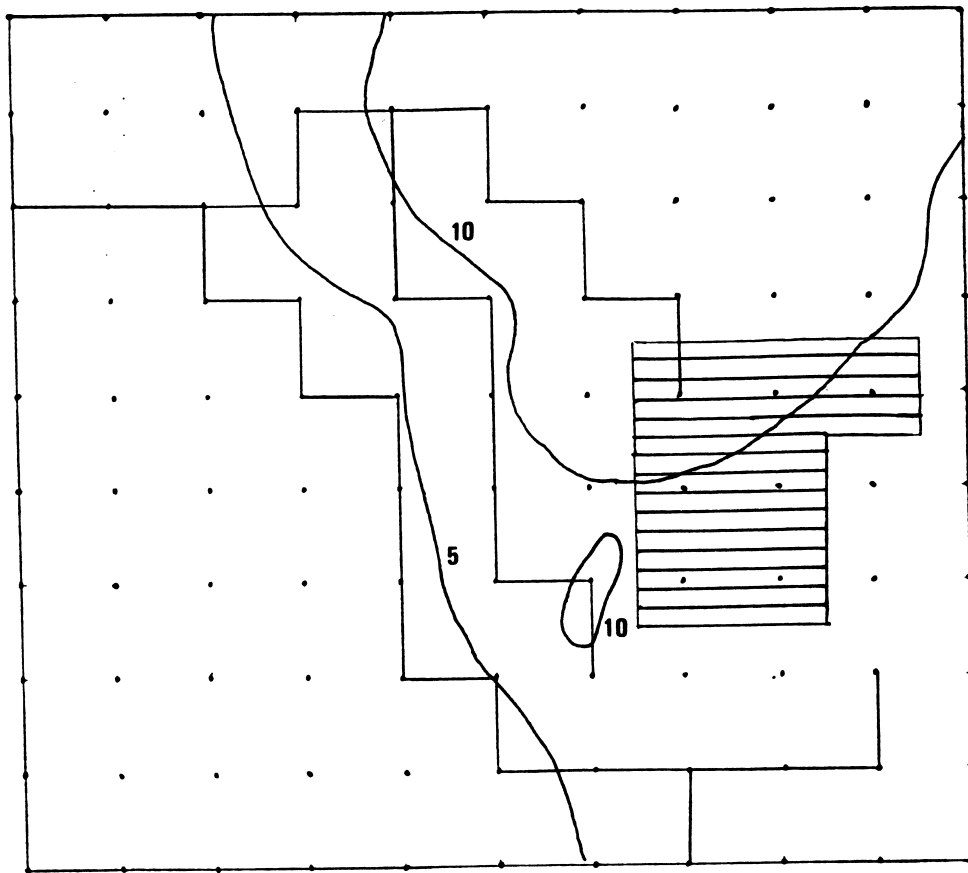
**Scenario-3.** Zoals in de vorige alinea is vermeld is dit derde scenario uitgevoerd om te kijken of verhoging van een aantal extra stuwen merkbaar zullen zijn in de grondwaterstand. Dit scenario is vergelijkbaar met scenario-2. Naast waterschapsleiding 32-1-0-2 zijn nu alle waterschapsleidingen opgestuwd. Ook hier is sprake van een naijleffect. Het is echter moeilijk te voorspellen (met een stationair model) hoe dit effect zich zal gedragen, daar het vrijwel geheel afhankelijk is van de neerslag in het voorjaar.

#### 4.3 Bodemverhoging

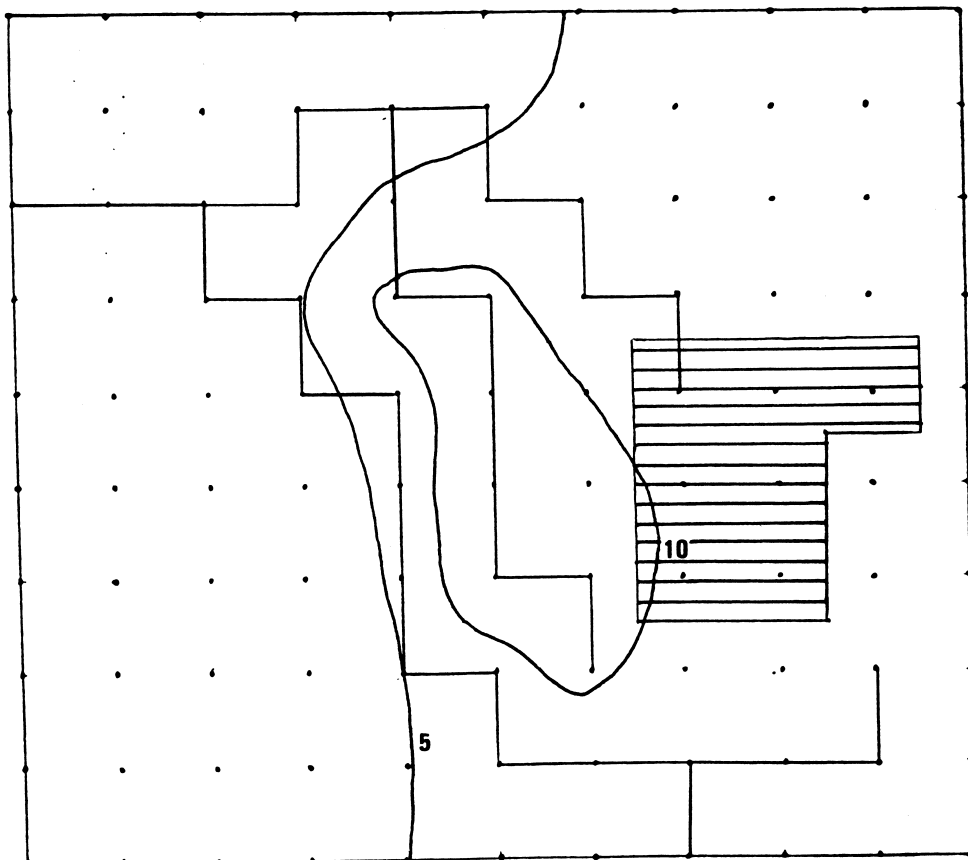
**Scenario-4** Dit scenario is uitgevoerd om te onderzoeken of de huidige waterlopen niet te diep in snijden en een te sterke drainerende werking te zien geven. Om een sterke drainerende werking te simuleren kan de bodemhoogte in de bestaande waterlopen omhoog gebracht worden. Een verhoging kan plaats vinden in de wsl 32-1-0-1 en 32-1-0-2.

Binnen het model is deze ingreep eenvoudig na te bootsen door de bodemhoogte omhoog te brengen en de radiale weerstand te verlagen, dit omdat de effectieve dikte groter wordt en hierdoor een kleinere weerstand wordt berekend. De radiale weerstand verminderd van 1.0 d/m naar 0.95 d/m. De bodem is met 0.5 mtr omhoog gebracht. De drainerende werking zal hierdoor aanzienlijk verminderen. Rekening houdend met het naijleffect vindt nu over een grotere periode capillaire opstijging plaats en wordt het vochttekort aanzienlijk terug gebracht. Indien de grondwaterstanden echter nog verder zullen zakken zijn we in dezelfde situatie terecht gekomen zoals die in de actuele situatie aanwezig is. Het behaalde effect is hier dus het naijleffect. Een overzicht van de bereikte grondwaterstandsverandering is gegeven in figuur 4.3.

**Figuur 4.3 Grondwaterstandsverandering scenario-4  
(Bodemverhoging) tov geijkte situatie**



**Figuur 4.4 Grondwaterstandsverandering scenario-5  
(Wateraanvoer en conservering 32-1-0-2)  
tov geijkte situatie**



#### 4.4 Waterconservering in combinatie met wateraanvoer

Uit de eerste vier scenario's is gebleken dat het resultaat ervan afhankelijk is van de neerslag in het voorjaar (nauwkeurig effect). Om te komen tot een meer permanente tegendruk in het grondwater is onderzocht of met wateraanvoer in combinatie met conservering wel de gewenste effecten, gedurende het hele jaar, bereikt kunnen worden.

**Scenario-5.** Bij dit scenario is in eerste instantie gedacht om water vanuit de Puntbeek, via een vrij verval, waterschapsleiding 32-1-0-2 in te laten. De verbinding die dan ontstaat komt evenwijdig aan de zuidwest-kant van het natuurgebied te liggen. Vanuit deze waterloop kan dan gedurende een groot deel van het jaar water infiltreren zodat een tegendruk gecreëerd wordt. Deze verbinding kan ter hoogte van knooppunt 18 (bijlage 13) gerealiseerd worden. Het is echter niet mogelijk om de verbinding met een vrij verval te realiseren. Door de huidige zuidwest helling van het terrein snijdt de te graven verbinding dan zo diep in dat voor de direct omliggende gronden meer nadelen als voordelen gaan optreden.

Om water in wsl 32-1-0-2 te brengen, moet een gemaal het water oppompen. De te graven leiding krijgt een verval dat gelijk is aan het verval in wsl 32-1-0-2 en 32-1-0-1.

Voor een optimale situatie wordt zoveel water opgepompt dat bij het gemaal een waterdiepte van 0.5 mtr ontstaat. De stuw in 32-1-0-2 wordt met 0.3 mtr verhoogd.

De simulatie van bovengenoemde ingrepen in het model is tot stand gekomen door in knooppunt 19 en 30 het waterpeil te verhogen met 0.5 mtr. Naast een verhoging van de waterstand is de radiale weerstand verlaagd van 1.0 d/m naar 0.75 d/m.

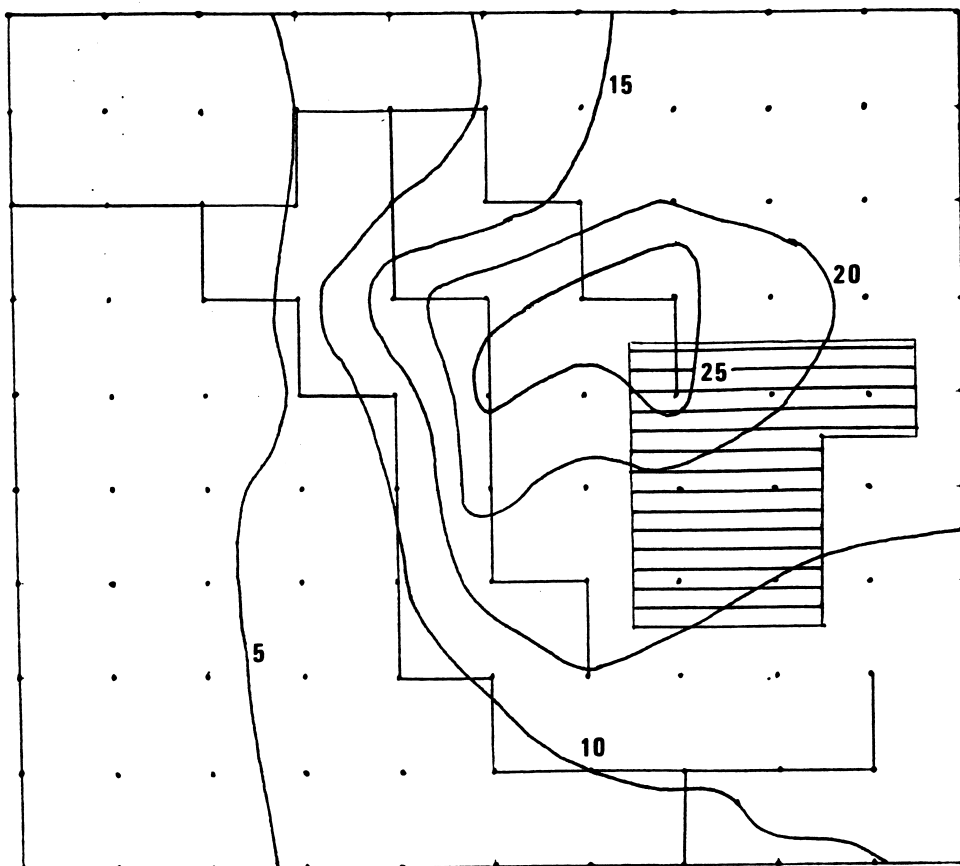
De gevolgen voor de stijghoogteveranderingen zijn weergegeven in figuur 4.4. Hierin valt op dat een grondwaterstandsverhoging evenwijdig aan de te graven waterloop bereikt wordt. De verhoging werkt echter nog niet genoeg door in het natuur- en landbouwgebied.

**Scenario-6.** Dit scenario is vergelijkbaar met scenario-5. Om een stijging van het grondwater in een groter deel van het natuur- en landbouwgebied te bereiken wordt ter hoogte van knooppunt 40 (bijlage 13) echter nog een extra waterloop gecreëerd om zodoende een doorbraak met wsl 32-1-0-1 te veroorzaken. Tegelijkertijd wordt waterloop 32-1-0-1 ter hoogte van de knooppunten 74 en 63 verwijderd. Door de constante aanvoer van water uit de Puntbeek, ook in de zomer, kan met behulp van het gemaal ten alle tijden water aangevoerd worden. De extra waterloop vindt geschematiseerd over de knooppunten 40, 51, 62 en 73 plaats. De verbinding tussen wsl 32-1-0-1 en 32-1-0-2 is onder een vrij verval te realiseren.

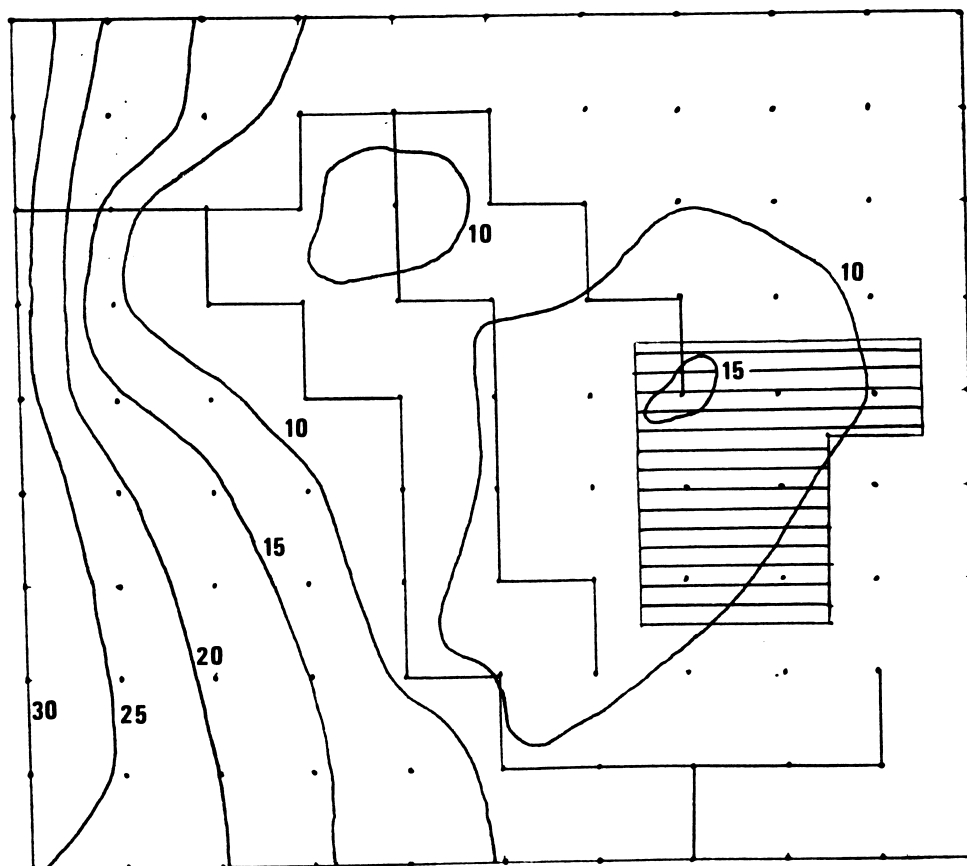
Simulatie van deze oplossing heeft hier, net als bij scenario-5, plaats gevonden door aanpassing van de waterhoogte en radiale weerstand, maar tevens door het toevoegen en verwijderen van een aantal knooppunten in het hoofdwatersysteem.



**Figuur 4.5 Grondwaterstandsverandering scenario-6**  
(Wateraanvoer + conservering 32-1-0-2 en 32-1-0-1)  
tov geijkte situatie



**Figuur 4.6 Grondwaterstandsverandering scenario-7**  
(Peilverhoging Omleidingskanaal)  
tov geijkte situatie



Gevolgen van dit scenario zijn uit figuur 4.5 af te leiden. Dit leidt in de zomer tot infiltratie uit wsl 32-1-0-1 en 32-1-0-2. De drainerende werking vermindert hierdoor aanzienlijk. De volumestroom die door het natuurgebied stroomt, krijgt nu een tegendruk van het grondwater in het eerste watervoerende pakket. In het natuurgebied gaat de stijghoogte met gemiddeld 15 cm omhoog. Het proces is echter voor een voorjaarssituatie doorgerekend. Met deze ingreep vindt in de drogere periodes infiltratie plaats en wordt er dus een tegenstuwung in het grondwater veroorzaakt. Met behulp van een niet-stationaire bespreking in § 5. zal een indruk worden gegeven van het verloop van de grondwaterstand in de loop van het jaar.

#### 4.5 Waterconservering door peilverhoging in het Omleidingskanaal

In de jaren '60 is, zoals reeds eerder vermeld, het Omleidingskanaal gegraven om piekafvoeren van de Dinkel om te leiden en inundatie van het Dinkeldal te voorkomen. Van de beheerder van gebied Punthuizen is vernomen dat sinds deze ingreep de natuur- gebieden ten oosten van het kanaal sneller en sterker verdroogden. Om de mogelijke drainerende werking van het kanaal te onderzoeken is een scenario hieraan gewijd.

**Scenario-7** Voor 1960 was het Omleidingskanaal nog niet aanwezig. Dat wil zeggen dat waarschijnlijk een hogere grondwaterstand aanwezig was. Voor een schatting van de volumestroom is gebruik gemaakt van de volgende veronderstellingen: in de jaren '50 waren hogere grondwaterstanden aanwezig en er was sprake van een kleinere regionale volumestroom naar het Omleidingskanaal.

Het criterium bij deze simulatie is geweest: de aanname dat de grondwaterstand op de grens (nu dus het Omleidingskanaal) voor 1960 circa 0.2 tot 0.3 mtr hoger was dan in de huidige situatie. Voor de simulatie zijn de randstijghoogtes met 0.3 mtr verhoogd. Daarnaast zijn de kD-waarden aangepast (§2.2.4) aan de natuurlijke situatie. Middels deze aanpassingen wordt de situatie van voor 1960 gesimuleerd.

De resultaten van deze verhoging zijn echter niet van dien aard dat de verlaging van de grondwaterstand in Punthuizen alleen aan het Omleidingskanaal toegeschreven kunnen worden (zie figuur 4.6). Voor een verklaring van de situatie van voor 1960 zal echter naar meer oorzaken gezocht moeten worden. In de jaren '60 is de ruilverkaveling Denekampseveld afgesloten. Deze ruilverkaveling heeft geleid tot een intensievere en diepere detailontwatering in het gebied. Tevens zijn een aantal stuwen geplaatst waarbij het oppervlaktewater niet meer enkel als drainage- en afvoersysteem werkt. Daarnaast hebben landbouwkundige ontwikkelingen geleid tot een grotere grondwaterontrekking en een intensievere beregening. De grondwaterstandsverlaging die vanaf de jaren '60 is begonnen, is dus niet alleen veroorzaakt door het Omleidingskanaal maar wordt door meerdere factoren veroorzaakt.

#### 4.6 Overige oplossingen

Als laatste zijn nog twee mogelijke scenario's bekeken. **Scenario-8.** Hierbij is bekeken of het mogelijk is om een waterloop te graven aan de zuidzijde van het natuurgebied en deze met de Puntbeek te verbinden.

Hieraan zijn twee nadelen verbonden:

- Het water dat aangevoerd wordt, moet vanuit de Puntbeek een hoogteverschil overbruggen van ongeveer 2 meter. Dit zal in twee fasen aangevoerd moeten worden, in verband met de hoogteligging van het maaiveld.
- Een ander groot nadeel is, dat met de aanvoer van water uit de Puntbeek, gebiedsvreemd water wordt aangevoerd. Aangezien het gebied een wegzijgingsgebied is zal dit water onder het natuurgebied door stromen. Indien capillaire nalevering uit dit water plaats gaat vinden komt het water in de wortelzone terecht. De vegetatie ontvangt dus een andere samenstelling van het grondwater en zal hierdoor zelf gaan veranderen.

**Scenario-9.** De laatste oplossingsmogelijkheid om verhoging van de stijghoogte te realiseren, is mogelijk door een deel van wsl 32-1-0-1 (knooppunt 63 en 74) te verwijderen. De beheerder van natuurgebied Punthuizen heeft, in overleg met waterschap Regge en Dinkel, zelf al een gedeelte van deze waterloop laten verwijderen. Onderzocht is of een verwijdering van een groter gedeelte nog enig effect te zien zou geven. De verandering in de stijghoogte voor het natuurgebied blijft echter zeer klein.

Hieruit kunnen de aanbevelingen van dhr. H. Geerlink worden bevestigd (inleiding). Door het verwijderen van de waterloop stijgt de grondwaterstand in het landbouwgebied. Er wordt hierdoor een bufferzone gecreëerd. De effecten voor het natuurgebied zijn een verhoging van de grondwaterstand (met enkele cm). Aankoop van dit landbouwgebied om het onder relatienota te brengen heeft dus weinig zin.

#### 4.7 Verantwoording van de keuze

Om het doel van dit onderzoek te bereiken zijn meerdere oplossingen mogelijk. Uit de diverse figuren en de begeleidende tekst is echter gebleken dat een tweetal scenario's voor een tegendruk gedurende het hele jaar kunnen zorgen. Scenario-6 heeft bovendien een groter beïnvloedingsgebied dan scenario-5. Met dit scenario (scenario-6) kan ten alle tijden water aangevoerd worden, de grondwaterstand stijgt in een groot deel van het landbouwgebied en de grondwaterstand in het natuurgebied stijgt over de gehele oppervlakte.

## 5. EFFECTEN VAN SCENARIO-6

Volgens de werkgroep water, bodem en lucht (Ld) dient een evaluatie van de effecten in drie fasen plaats te vinden (lit 5). Deze evaluatie kan verdeeld worden in water, bodem en lucht. Water is een factor die bij vrijwel alle land-inrichtingsactiviteiten beïnvloedt wordt. Veranderingen in de bodem komen al minder vaak voor. Effecten op de lucht worden besproken indien sprake is van aanleg en verwijderen van wegen, waterlopen, sloten, greppels, bomen en struiken. In het kader van dit onderzoek valt de lucht buiten beschouwing, terwijl voor de bodem de lucht- en vocht-huishouding aan de orde komen bij de beschrijving van de waterhuishouding.

### 5.1 Waterhuishouding

Voor een beschrijving van de effecten zullen in dit hoofdstuk alleen de effecten van scenario-6 beschreven worden. In figuur 4.5 is reeds een overzicht gegeven van de bereikte grondwaterstandsverandering. In bijlage 15 is deze figuur duidelijker weer gegeven. De effecten zijn voor de waterhuishouding in twee paragrafen te verdelen. Voor wateraanvoer is met name de waterkwantiteit, maar daarnaast ook de waterkwaliteit van belang.

Hieronder zijn de parameters die kunnen veranderen, van grond- en oppervlaktewater bij wateraanvoer en waterconservering bij elkaar gezet:

#### Kwantiteit van het water

- Beschikbaar bodemvocht
- Grondwaterstandfluctuaties, duurlijnen
- patroon en intensiteit kwel, wegzijging
- waterdiepte, waterpeil
- stroomsnelheid, -richting
- dwars- en lengteprofiel

#### Kwaliteit van het water

- EGV, pH, Relatief calciumgehalte
- Bicarbonaat
- Stikstof
- Fosfaat
- Sulfaat, metalen
- Chloride
- Microverontreinigingen

#### 5.1.1 Waterkwantiteit

Voor de overzichtelijkheid heeft hier een splitsing plaatsgevonden tussen grond- en oppervlaktewater. Deze splitsing is in de praktijk echter nauwelijks aanwezig gezien de nauwe relatie tussen grond- en oppervlaktewater. De hierboven genoemde parameters zullen niet allemaal even uitvoerig besproken worden. Alleen die parameters die sterk zullen veranderen worden hieronder besproken.

## **Grondwater**

### **Niet-stationaire stroming**

Met het model Femsats is een gemiddelde voorjaarssituatie doorgerekend. Dit is zowel voor de actuele als de plansituatie gebeurd. De resultaten van de berekeningen zijn van een gemiddeld voorjaar. Indien men gegevens van het einde van het groeiseizoen wil hebben dient een uitspraak gedaan te worden over het grondwaterstandsverloop in het groeiseizoen. Dit kan met niet-stationaire modellen (bv Femsat, Simgro of Swatre). Berekeningen met deze niet-stationaire modellen zijn ten gevolge van tijdgebrek buiten dit onderzoek gehouden. Door middel van een beredenering kan toch een indruk van het niet-stationaire verloop gekregen worden.

Gedurende het verloop van het groeiseizoen zal door afvoer (Volumestroom 1 wordt kleiner) en verdamping (Volumestroom 2 wordt groter) het verhang in het eerste watervoerende pakket gelijk blijven. Hier wordt aangenomen dat deze beide volumestromen aan elkaar gelijk zijn. In scenario-6 is uitgegaan van een aan te leggen waterloop. In deze waterloop wordt door permanente aanvoer een gelijk slootpeil gehandhaafd. Uit deze waterloop infiltreert nu water het gebied in. We gaan er nu vanuit dat de infiltratie groter wordt, omdat het potentiële verschil tussen slootpeil (0.5 mtr hoger) en freatisch vlak (actueel) groter is geworden. Hierdoor gaat de GVG omhoog. Gedurende het verloop van het groeiseizoen zal continu water aangevoerd worden. Bij deze hogere GVG zal de grondwaterstand minder snel uitzakken door een kleiner potentiaalverschil. Uit berekeningen blijkt de GLG in verhouding met de grondwaterstijging (bijlage 15 en figuur 4.5) omhoog te gaan. De GLG stijging wordt onder grondwater-standsfluctuaties verder besproken. De GHG blijft gelijk.

### **Beschikbaar bodemvocht**

De hoeveelheid beschikbaar bodemvocht is de hoeveelheid water (mm waterschijf) die in de wortelzone beschikbaar is voor gewas of vegetatie. Deze relatie hangt nauw samen met de vochtkarakteristiek (pF-curve), de bewortelingsdiepte voor de betreffende bodemlagen en van de  $K(h)$ -relatie (onverzadigde doorlatendheid) (lit. 5).

Met behulp van de  $G_t$  en het bodemtype is na te gaan wat het vochttekort in de huidige en de plansituatie is. Met het programma BODEP (zie § 5.2) is de indeling in HELP-bodemeenheden verkregen. Het is echter niet mogelijk om hiermee ook het vochttekort te berekenen. Dit is gebeurd met behulp van de HELP-tabellen (lit. 7). Het vochttekort zal echter in samenhang met de opbrengstdepressie in § 5.2 besproken worden. Uit het bovenstaande niet-stationaire verhaal blijkt dat de beschikbare hoeveelheid bodemvocht toe zal nemen, de GLG gaat immers omhoog zodat een grotere capillaire opstijging over een grotere periode zal plaats vinden.

### **Grondwaterstandsfluctuaties**

Landinrichtingsactiviteiten als wateraanvoer en peilwijziging beïnvloeden de grondwaterstand. Bij de berekening van economische effecten kan ter karakterisering van het grondwaterregime gebruik worden gemaakt van de indeling in  $G_t$ 's, die gebaseerd is op de gemiddelde hoogste en laagste grondwaterstanden.

De in het rapport van de werkgroep HELP-tabellen gegeven opbrengstdepressie-tabellen zijn gebaseerd op de indeling van het grondwaterregime in Gt's (lit. 7).

Door de constante aanvoer van water door de wsl 32-1-0-2 en 32-1-0-1 stijgen de GLG's over een groot gebied. Deze stijging is per regio samengevat in figuur 5.1. In de GHG zal bij goed peilbeheer geen verandering optreden.

Figuur 5.1 Stijging van de GLG per subregio

| Sub-regio | Actuele GLG | Plan GLG |
|-----------|-------------|----------|
| 5         | 2.60        | 2.50     |
| 6         | 1.40        | 0.75     |
| 7         | 1.70        | 1.50     |
| 8         | 1.10        | 1.10     |
| 9         | 1.70        | 1.00     |
| 10        | 1.40        | 1.10     |
| 11        | 1.70        | 1.00     |

#### Patroon en intensiteit Kwel-Wegzijging

In kwelgebieden is sprake van een opwaarts gerichte grondwaterstroming. Door de aanwezigheid van ontwateringsmiddelen reiken kwelstromen lang niet altijd tot het maaiveld. Indien de potentiaal van een dieper watervoerend pakket hoger is dan de potentiaal van het freatisch pakket spreekt men wel van 'diepe kwelstroming'. Bij infiltratie is sprake van het omgekeerde en spreekt men van een 'neerwaartse grondwaterbeweging'.

Kwel en infiltratie worden bepaald door onder meer de hydrogeologische gesteldheid van het betreffende gebied en de waterhuishoudkundige situatie. In de waterbalans van scenario-6 is deze term ook goed waar te nemen. In subregio 8 zal door de genoemde ingrepen kwel plaats gaan vinden. In de actuele situatie was hier nog sprake van een kleine infiltratie (0.012 mm/dag), in de plan situatie is er sprake van een kwelstroming van 0.17 mm/dag. Kwel wordt opgevangen door de Puntbeek dus veranderingen van de grondwaterstanden zullen niet merkbaar zijn. Voor de andere regio's blijft infiltratie overheersen. In de meeste gebieden neemt de infiltratie af. Voor een overzicht van kwel of wegzijging in de plan- en actuele situatie wordt verwezen naar figuur 5.2

Figuur 5.2 Overzicht Infiltratie en Kwel

| sub-regio | Kwel mm/d |      | infiltratie mm/d |      |
|-----------|-----------|------|------------------|------|
|           | actueel   | plan | actueel          | plan |
| 5         |           |      | 0.38             | 0.37 |
| 6         |           |      | 0.16             | 0.11 |
| 7         |           |      | 0.44             | 0.42 |
| 8         |           | 0.17 | 0.012            |      |
| 9         |           |      | 0.46             | 0.55 |
| 10        |           |      | 1.11             | 1.10 |
| 11        |           |      | 0.42             | 0.47 |

### Oppervlaktewater

#### Waterdiepte, Waterpeil

In de te graven waterloop tussen 32-1-0-2 en 32-1-0-1 wordt een vrij verval gerealiseerd. Tevens is gesteld dat voor een optimale situatie de waterdiepte bij het gemaal 0.5 mtr moet zijn.

#### Dwars- en Lengteprofiel

Om een vrij verval te realiseren is de bodemhoogte nabij het gemaal gesteld op 29.95 m +NAP. Met een verval van circa 0.15 m komt het water bij de stuw in wsl 32-1-0-1 terecht. Een lengteprofiel van de te graven verbinding tussen 32-1-0-2 en 32-1-0-1 is weergegeven in bijlage 16. De vorm van het dwarsprofiel blijft gehandhaafd. Een overzicht van de dimensionering is gegeven in de volgende alinea.

Ter hoogte van knooppunt 63 en 74 wordt de waterloop verwijderd door deze op te vullen met grond afkomstig uit het te graven gedeelte.

#### Stroomsnelheid en Stroomrichting

Zoals vermeld is het mogelijk om het water met een vrij verval naar respectievelijk 32-1-0-2 en 32-1-0-1 te leiden. Met behulp van het programma SLOOT (Hunink 1989) is het mogelijk een berekening te maken voor de bereikte stroomsnelheid in de te graven waterloop. In tabel 5.2 wordt een overzicht van de belangrijkste bekende en berekende parameters gegeven. De overige gegens kunnen bij een eventueel vervolgonderzoek gebruikt worden.

Figuur 5.3 Parameters met betrekking tot te gaven waterloop

| knooppunt :                    | 29     | 40     | 51     | 62     | 73     |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Snelheid (m/s)                 | 0.50   | 0.41   | 0.33   | 0.31   | 0.31   |
| snelheidshoogte(m)             | 0.013  | 0.008  | 0.005  | 0.005  | 0.005  |
| Verval (m)                     | 0.14   | 0.15   | 0.15   | 0.15   | 0.16   |
| Bod.br/wtr.diept               | 1.56   | 1.27   | 1.27   | 1.08   | 0.82   |
| hydr. straal (m)               | 0.41   | 0.50   | 0.50   | 0.58   | 0.75   |
| nat opp.vlak (m <sup>2</sup> ) | 0.62   | 0.84   | 0.84   | 1.09   | 1.68   |
| Verhang (-)                    | 0.0006 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0001 |
| breedte (m)                    | 0.7    | 0.70   | 0.70   | 0.70   | 0.70   |
| diepte (m)                     | 0.45   | 0.55   | 0.55   | 0.65   | 0.85   |
| lengte (m)                     | 240.0  | 500.0  | 750.0  | 1000.0 | 1300.0 |
| talud (1:t)                    | 1.5    | 1.5    | 1.5    | 1.5    | 1.5    |

#### *5.1.2 Waterkwaliteit*

De kwaliteit van het grondwater dat het natuurgebied binnen komt is van matige tot slechte kwaliteit (voor natuurgebieden) (§ 1.6.2). Het water dat eenmaal in het gebied infiltreert zal ten gevolge van de langere verblijftijd veranderen.

Met name ecosystemen die voornamelijk afhankelijk zijn van neerslag, zoals het gebied Punthuizen, zijn zeer kwetsbaar voor inlaat van gebiedsvreemd water.

Enige verandering in biologische en chemische samenstelling van het water werkt voor het natuurgebied al verontreinigend.

Bij dit onderzoek is er daarom ook van uitgegaan, dat geen gebiedsvreemd water het natuurgebied mag bereiken. De landbouwgronden waar grondwaterstandsverhoging plaatsvindt, zullen echter met de kwaliteit van het ingelaten water te maken krijgen. Het aangevoerde oppervlaktewater zal via infiltratie en beregening het grondwater bereiken.

Verschillen tussen het in het gebied voorkomend water en het ingelaten water kunnen, door gebrek aan waterkwaliteitsgegevens, niet genoemd worden. Er kan alleen verondersteld worden, dat de waterkwaliteit van de Puntbeek (beschreven in § 1.6.2) in grote lijnen overeenkomt met het al aanwezige water. Een reden voor deze veronderstelling is de ligging van de bedoelde waterlopen door landbouwgebieden. De Puntbeek stroomt ook op Duits grondgebied alleen door landbouwgebieden en er vindt geen lozing van riooloverstorten plaats. Dit impliceert dat naast veelvoorkomende verontreinigingen vanuit de landbouw, geen andere verontreinigingen in het water terecht komen.

Waarschijnlijk zijn er dus geen beperkingen ten aanzien van de waterinlaat, veroorzaakt door het waterkwaliteitsprobleem.

## 5.2 Economische effecten

Onder deze paragraaf zullen de effecten van de waterhuishoudkundige werken op de opbrengst van landbouwgewassen besproken worden.

### 5.2.1 Wateroverlast en droogteschade

De effecten of opbrengstdepressieverandering zijn van twee aspecten afhankelijk, namelijk een verandering in (mogelijke) wateroverlast en/of een verandering in het vochttekort.

Opbrengstdepressies door wateroverlast worden veroorzaakt door een complex van factoren. Naast een aantal factoren die de gewasgroei nadelig beïnvloeden (o.a. slechte luchthoudding, stikstoftekort, te lage bodemtemperatuur) spelen bij wateroverlast bodemtechnische factoren als bewerkbaarheid en draagkracht een belangrijke rol. De invloed hiervan op de uiteindelijk te verkrijgen opbrengst is sterk afhankelijk van de bedrijfsvoering (graad van mechanisering, vebezetting etc.) en verschilt dientengevolge van bedrijf tot bedrijf. Het ligt niet in het kader van dit verslag om al deze factoren te bespreken. Er wordt verwezen naar de literatuur (lit 7).

De groeisnelheid van een gewas wordt behalve door water beïnvloed door factoren als zonnestraling, temperatuur, voedingsstoffen, zuurstof etc. Alleen wanneer al deze factoren optimaal beschikbaar zijn, wordt de maximaal mogelijke groei bereikt. Wanneer een van deze groeifactoren in beperkte mate aanwezig is, wordt de groeisnelheid en ook de uiteindelijke opbrengst beperkt. Zulke effecten zijn in gebied Punthuizen goed waar te nemen.



De voor een potentiële groei van een gewas benodigde hoeveelheid water (de vraag) wordt bepaald door de potentiële verdamping. De grootte hiervan is afhankelijk van de eigenschappen van het gewas en een aantal meteorologische factoren zoals straling, temperatuur, windsnelheid en relevante luchtvochtigheid.

De voor verdamping beschikbare hoeveelheid water wordt bepaald door de vochtvoorraad in de wortelzone aan het begin van het groeiseizoen en de aanvulling hiervan gedurende het groeiseizoen door neerslag en capillaire aanvoer vanuit de ondergrond. Indien de grondwaterstand in het landbouwgebied omhoog gebracht wordt, wordt de capillaire aanvoer en de verdamping verhoogd en wordt er dus een grotere opbrengst behaald. Met andere woorden: de droogtedepressie zal afnemen.

### *5.2.2 Bodem- en Gt-kaart als basis*

De opbrengstdepressieverandering is berekend met behulp van de HELP-tabellen. Deze tabellen zijn door de werkgroep HELP-tabel (Ld) ontwikkeld en geven een overzicht van de wateroverlast, droogteschade en het vochttekort. Binnen hoofdgroepen van bodemtypes is een onderverdeling aangebracht op grond van eigenschappen en kenmerken die van invloed zijn op de oogstdepressie.

In het modelgebied zijn alleen zandgronden aangetroffen (zie bijlage 7), en worden hier alleen besproken. Belangrijke bodemkundige factoren bij het bepalen van oogstdepressie op zandgronden zijn:

- de dikte en het humuspercentage van de bovengrond
- de granulaire samenstelling
- storende lagen in het profiel

De bodemkaart geeft informatie over de dikte van het humeuze dek, de granulaire samenstelling en storende lagen in het profiel (Podzolgronden).

### *5.2.3 Toelichting op de depressiepercentages*

In de HELP-tabellen zijn de depressiepercentages als gevolg van wateroverlast en vochttekort afzonderlijk weergegeven. Daarnaast is ook het vochttekort vermeld. De opbrengstdepressies en vochttekorten zijn zowel voor grasland als voor bouwland gegeven. De depressies gelden als een gemiddelde over een reeks van jaren. De depressies zijn weergegeven in een percentage van de 'praktische potentiële produktie', dat wil zeggen de groei die bereikt wordt onder de huidige meteorologische omstandigheden bij een optimale water- en voedingsstoffenvoorziening en bij optimale condities van zuurstofvoorziening. Deze is echter alleen in theorie te bereiken. De in de depressietabellen vermelde depressiepercentages voor landbouw zijn gebaseerd op een gewogen gemiddelde voor een bepaald bouwplan. De samenstelling van het bouwplan varieert afhankelijk van het hoofdbodemtype. Voor zandgronden gaat men uit van de volgende bezetting: graan 0 %, maïs 50 %, aardappelen 25 % en suikerbieten 25 %.

Voor deze gewassen zijn tevens vergelijkingen opgesteld om na te gaan hoe de vocht-tekort-depressies van de afzonderlijke gewassen zich verhouden tot de gemiddelde depressie van het bouwplan (lit. 7).

#### 5.2.4 Geautomatiseerd berekenen van de opbrengstdepressies

Met het beschikbaar komen van de nieuwe HELP-tabellen is het aantal gebruiksmogelijkheden van de HELP-tabellen belangrijk uitgebreid. Hierdoor zijn de toepassingsmogelijkheden dermate vergroot, dat het handmatig berekenen van de opbrengstdepressie bij toepassing van al deze mogelijkheden een zeer tijdrovende aangelegenheid is geworden. Het is nu echter mogelijk de depressies geautomatiseerd te berekenen met het programma BODEP (Voet 1987). Met BODEP is het mogelijk op basis van de bodembeschrijving de HELP-code op een geautomatiseerde manier vast te stellen. Tevens is het mogelijk om een plansituatie te creëren waarbij wijzigingen kunnen worden aangebracht in de Gt, de GHG en/of de GLG, de HELP-code en de correcties als gevolg van een afwijkende profielopbouw. Hierna kan tenslotte de opbrengstdepressie in de plansituatie worden berekend, alsmede het verschil in depressie met de huidige situatie.

Voor het modelgebied is zowel de actuele- als de plansituatie doorgerekend met behulp van BODEP. Hierbij zijn de depressies per regio uitgerekend. Dit is alleen gedaan voor de regio's waar landbouw bedreven wordt. Per subregio zijn daarna de voorkomende bodemtypes (Stiboka) ingevoerd. Bij elk bodemtype wordt vervolgens naar de voorkomende grondwatertrappen gevraagd. Als de gegevens van de actuele situatie zijn ingevoerd kan de plansituatie verwerkt worden. Hierbij is tijdens dit onderzoek uitgegaan dat de GHG niet stijgt, terwijl de GLG wel omhoog gaat (alinea grondwaterstandsfluctuaties). Voor een overzicht van de opbrengstdepressies en de verschillen tussen water- en droogteschade in actuele en plansituatie wordt verwezen naar figuur 5.3.

Figuur 5.3 Opbrengstdepressie per subregio  
voor de actuele en de plansituatie.

#### SUBREGIO 6

| GRONDGEBRUIK     | Actueel | Plan  | Vershil |
|------------------|---------|-------|---------|
| Grasland:        |         |       |         |
| opp:             | 25.00   | 25.00 | 0.00    |
| depressie-% : Wa | 1.00    | 2.50  | -1.50   |
| Dr               | 14.13   | 6.88  | 7.25    |
| tot              | 15.13   | 9.38  | 5.75    |
| Bouwland:        |         |       |         |
| opp:             | 25.00   | 25.00 | 0.00    |
| depressie-% : Wa | 7.63    | 9.33  | -1.70   |
| Dr               | 14.38   | 6.76  | 7.62    |
| tot              | 22.01   | 16.09 | 5.92    |

Wa = Wateroverlast in %, Dr = Droogte in %, tot = Wa + Dr

Vervolg figuur 5.3 Opbrengstdepressie per subregio  
voor de actuele en de plansituatie.

## SUBREGIO 7

| GRONDGEBRUIK     | Actueel | Plan  | Vershil |
|------------------|---------|-------|---------|
| Grasland:        |         |       |         |
| opp:             | 24.75   | 24.75 | 0.00    |
| depressie-% : Wa | 0.00    | 0.00  | 0.00    |
| Dr               | 16.50   | 12.50 | 4.00    |
| tot              | 16.50   | 12.50 | 4.00    |
| Bouwland:        |         |       |         |
| opp:             | 12.75   | 12.75 | 0.00    |
| depressie-% : Wa | 0.33    | 0.33  | 0.00    |
| Dr               | 15.66   | 11.67 | 3.99    |
| tot              | 15.99   | 12.00 | 3.99    |

## SUBREGIO 8

| GRONDGEBRUIK     | Actueel | Plan  | Vershil |
|------------------|---------|-------|---------|
| Grasland:        |         |       |         |
| opp:             | 61.75   | 61.75 | 0.00    |
| depressie-% : Wa | 0.00    | 0.00  | 0.00    |
| Dr               | 3.15    | 3.15  | 0.00    |
| tot              | 3.15    | 3.15  | 0.00    |
| Bouwland:        |         |       |         |
| opp:             | 19.50   | 19.50 | 0.00    |
| depressie-% : Wa | 5.38    | 5.38  | 0.00    |
| Dr               | 3.15    | 3.15  | 0.00    |
| tot              | 8.53    | 8.35  | 0.00    |

## SUBREGIO 9

| GRONDGEBRUIK     | Actueel | Plan  | Vershil |
|------------------|---------|-------|---------|
| Grasland:        |         |       |         |
| opp:             | 80.75   | 80.75 | 0.00    |
| depressie-% : Wa | 0.26    | 0.32  | -0.26   |
| Dr               | 16.11   | 8.47  | 7.64    |
| tot              | 16.37   | 8.79  | 7.58    |
| Bouwland:        |         |       |         |
| opp:             | 38.00   | 38.00 | 0.00    |
| depressie-% : Wa | 0.85    | 1.11  | -0.26   |
| Dr               | 15.22   | 8.47  | 6.75    |
| tot              | 16.07   | 9.58  | 6.49    |

Wa = Wateroverlast in %, Dr = Droogte in %, tot = Wa + Dr

Regio 6 geeft zowel voor gras- als bouwland een vermindering in de droogteschade van circa 7.3 % te zien. In deze regio liggen voornamelijk veldpodzolgronden met Gt V\*. Daarnaast komen lokaal duinvaaggronden voor (bijlage 7). Door de voorgestelde ingreep zal de droogteschade afnemen. Deze gronden zijn echter beperkt droogtegevoelig. De akkerbouwgronden zijn echter wel gevoelig voor wateroverlast. Aangezien de GHG niet stijgt zal deze niet veel toenemen. De totale vermindering aan opbrengstdepressie ligt rond de 5.8%.

In regio 7 liggen alleen maar veldpodzolgronden. Deze gronden hebben over het algemeen ruime mogelijkheden voor de akkerbouw. Een kleine verhoging van de grondwaterstand is gunstig om de matige schade door verdroging tegen te gaan (lit. 12). Voor de weidebouw heeft een verhoging ook een gunstig effect. De weidegronden in deze regio zijn namelijk zeer gevoelig voor verdroging.

Regio 8 geeft geen verschillen in de opbrengstdepressie te zien. De GHG en GLG liggen hier op respectievelijk 0.5 en 1.10 mtr beneden maaiveld. In regio 8 liggen voornamelijk de beekeerdgronden (zie bijlage 7). Er treedt kwel op. Volgens de geschiktheidsbeoordeling van de Stiboka hebben deze gronden voor weidebouw ruime mogelijkheden. Voor akkerbouw hebben deze gronden wat meer beperkingen. Ze zijn in deze regio echter matig aanwezig. Het feit dat de grondwaterstanden (GLG en GHG) niet veranderen is reeds beschreven in § 5.1 (kwel).

In regio 9 komen naast veldpodzolgronden ook beekeerdgronden en bruine enkeerdgronden voor. Zij hebben allen een Gt VI. De ingreep heeft voor dit landbouwgebied dan ook het grootste effect, de GVG verhoogd hier met gemiddeld 15-25 cm. De podzol- en duinvaaggronden hebben in de actuele situatie voornamelijk last van droogteschade. De Beekeerdgrond bevindt zich al in een gunstige situatie; het zijn hier gronden met zeer ruime mogelijkheden. De droogteschade zal nu echter aanmerkelijk verminderen. Het totale percentage aan opbrengstdepressie neemt af met 7.58 % voor grasland en met 6.49 % voor bouwland.

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Het is onduidelijk of de Mesozoïsche afzettingen al dan niet waterdoorlatend zijn en of zij hun invloed uitoefenen op de bovenste pakketten van het systeem. Deze afzettingen zijn daarom niet in het model opgenomen.

Uit kaartmateriaal van voor 1960 blijkt, dat een groot gebied langs de Duitse grens in een nattere situatie verkeerde dan in de huidige situatie. De droogte in dit gebied is een gevolg van meerdere factoren waarbij de aanleg van het Omleidingskanaal in de jaren '60 de belangrijkste is.

Er zijn geen recente peilbuisgegevens van het gebied beschikbaar. Bij het maken van een redelijk betrouwbare isohypsenkaart zijn deze gegevens onmisbaar. In het rapport is het isohypsenpatroon gecreëerd door de GVG's van de maaiveldshoogtes af te trekken. Voor het iken van een model zijn peilbuisgegevens noodzakelijk.

Het slotenstelsel in het gebied werkt drainerend. De meeste sloten bevatten het grootste deel van het jaar geen water. De veel voorkomende Gt VII duidt op een grote wegzijging in het gebied.

De voor het model benodigde parameters, zijn met behulp van gegevens uit de literatuur zo goed mogelijk bepaald en ingeschat. Diepgaand onderzoek naar deze gegevens is door de korte tijdsduur van deze leeropdracht echter niet mogelijk.

Een goede planning bij het werken met een hydrologisch model, vooral als dit voor de eerste keer gebeurt, is moeilijk in te schatten. Te weinig ervaring, onwetendheid en ijking van het model vragen meer tijd, dan van te voren kon worden overzien.

Het plan om enkele hectaren landbouwgebied onder relatienota te brengen, om zo een bufferzone rond het natuurgebied te creëren, is niet zinvol. Er kan dan namelijk alleen een gedeelte van waterschapsleiding 32-1-0-1 verwijderd worden. Dit veroorzaakt volgens de berekeningen weinig effect. Voor zo'n bufferzone zal een veel groter gebied nodig zijn (enkele honderden hectaren).

Met betrekking tot het doel, het tegengaan van verdroging in het landbouw- en natuurgebied, zijn er verschillende oplossingen (scenario's) mogelijk. Als meest ideale oplossing is gekozen voor waterinlaat uit de Puntbeek. Dit wordt door middel van een verbinding tussen waterschapsleiding 32-1-0-1 en 32-1-0-2 langs het natuurgebied geleidt. Hierdoor wordt een tegendruk in het grondwater gecreëerd zodat het water minder snel het natuurgebied uitstroomt.

De Mesozoïsche afzettingen zijn in het model als ondoorlatend beschouwd. Uit nader onderzoek kan echter blijken dat het pakket wel water doorlatend is. In dit geval moet het model nogmaals doorgerekend worden met een dikker tweede watervoerend pakket.

Er zijn modelberekeningen voor de niet-stationaire situatie gewenst zodat uitspraken gedaan kunnen worden omtrent het verloop van de grondwaterstand in de zomer (Q-h relatie)

Uit deze studie blijkt dat er goede verbeteringsmogelijkheden aanwezig zijn voor het natuurgebied en de omliggende landbouwgebieden. Verdere uitwerking van de hier geschetste oplossingen wordt daarom aanbevolen. Tevens kan bekeken worden, of de droogteproblemen die zich voordoen in het gebied ten oosten van het Omleidingskanaal, niet van dezelfde aard zijn als in het onderzoeksgebied.

## SAMENVATTING

Natuurgebied Punthuizen en omliggende landbouwgronden hebben veel last van verdroging. In dit rapport is geprobeerd om met behulp van een hydrologisch model een oplossing voor dit probleem te zoeken.

Het gebied is ongeveer 600 ha. groot en ligt in de gemeente Denekamp. Het behoort tot het oostelijk dekzandgebied en bestaat uit een aantal zuidwest gerichte heuvels en laagten. De belangrijkste geologische formaties die aangetroffen kunnen worden zijn de Formatie van Twente en de Formatie van Kootwijk. Deze twee formaties vormen samen het eerste watervoerende pakket. Deze watervoerende laag heeft een geschatte  $K_D$ -waarde van  $150 \text{ m}^2/\text{dag}$ . Op een diepte van circa 20 mtr wordt de Formatie van Drenthe (Keileem) als een waterscheidende laag aangetroffen. De  $c$ -waarde hiervan is 300 dagen. Onder de waterscheidende laag ligt een tweede watervoerend pakket met een  $k$  van  $15 \text{ mtr/dag}$  en bestaat uit grof zandig materiaal.

Aan het oppervlak komen voornamelijk veldpodzolgronden voor met een  $G_t$  VI en VII. Regionaal komen wat lagere  $G_t$ 's voor. Het gebied wordt door een aantal waterlopen ingesneden. De voornaamste zijn het Omleidingskanaal en de Puntbeek. Deze waterlopen werken drainerend op het gebied. De kwaliteit van het water (Puntbeek) is redelijk te noemen. Het bevat hoge waarden aan ammonium-nitraat en totaal-fosfaat.

Het gebied is met behulp van het hydrologische model-programma doorgerekend voor een gemiddelde voorjaars situatie. Met dit model kan alleen stationair gerekend worden. Er kunnen diverse situaties doorgerekend worden waarbij tevens rekening wordt gehouden met het waterlopenstelsel, stijghoogte, neerslag etc. Voor het model is het noodzakelijk dat een geschematiseerde opbouw van de lagen wordt verkregen. Voor dit onderzoek zijn de drie eerder genoemde lagen in het model opgenomen. De hydrologische basis wordt gevormd door het hieronder liggende Mesozoïsche pakket.

Het model is op 2 manieren gecalibreerd. De eerste calibratie heeft met behulp van de isohypsenkaart plaats gevonden. Na calibratie vertoonde de met het model verkregen isohypsenkaart grote overeenkomsten met de isohypsenkaart van de actuele situatie. Er is ook een calibratie aan de hand van de waterbalans uitgevoerd. Hierbij is gekeken of de waterbalans per regio in overeenstemming is met de realiteit. Ten slotte is voor het model een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Het is gebleken dat het model zeer gevoelig is voor verandering van de in- en uitgaande volumestromen.

Met het gecalibreerde model zijn een negental oplossings-mogelijkheden (scenario's) doorgerekend. Hieruit is naar voren gekomen dat aanvoer van water in combinatie met conservering in de waterschapsleidingen 32-1-0-1 en 32-1-0-2 het meeste effect opleveren. In het model kan dit gesimuleerd worden door de grondwaterstand in de betreffende knooppunten aan te passen. Daarnaast moet ook de radiale weerstand verlaagd worden.

Bij dit scenario zijn de waterlopen het hele jaar watervoerend. In de zomer vindt infiltratie vanuit deze waterlopen plaats.

Hierdoor wordt een tegendruk in het grondwater gecreërd en kunnen de grondwaterstanden niet meer zo ver weg zakken. Dit heeft tot gevolg dat de beschikbare hoeveelheid bodemvocht toeneemt. De GLG neemt immers toe. Toename van de GLG gebeurt in verhouding met de grondwaterstandswijziging. Voor de opbrengstdepressie heeft dit tot gevolg dat een vermindering in de droogteschade van circa 6 % wordt bereikt. Voor het landbouwgebied is dit een belangrijke verbetering.

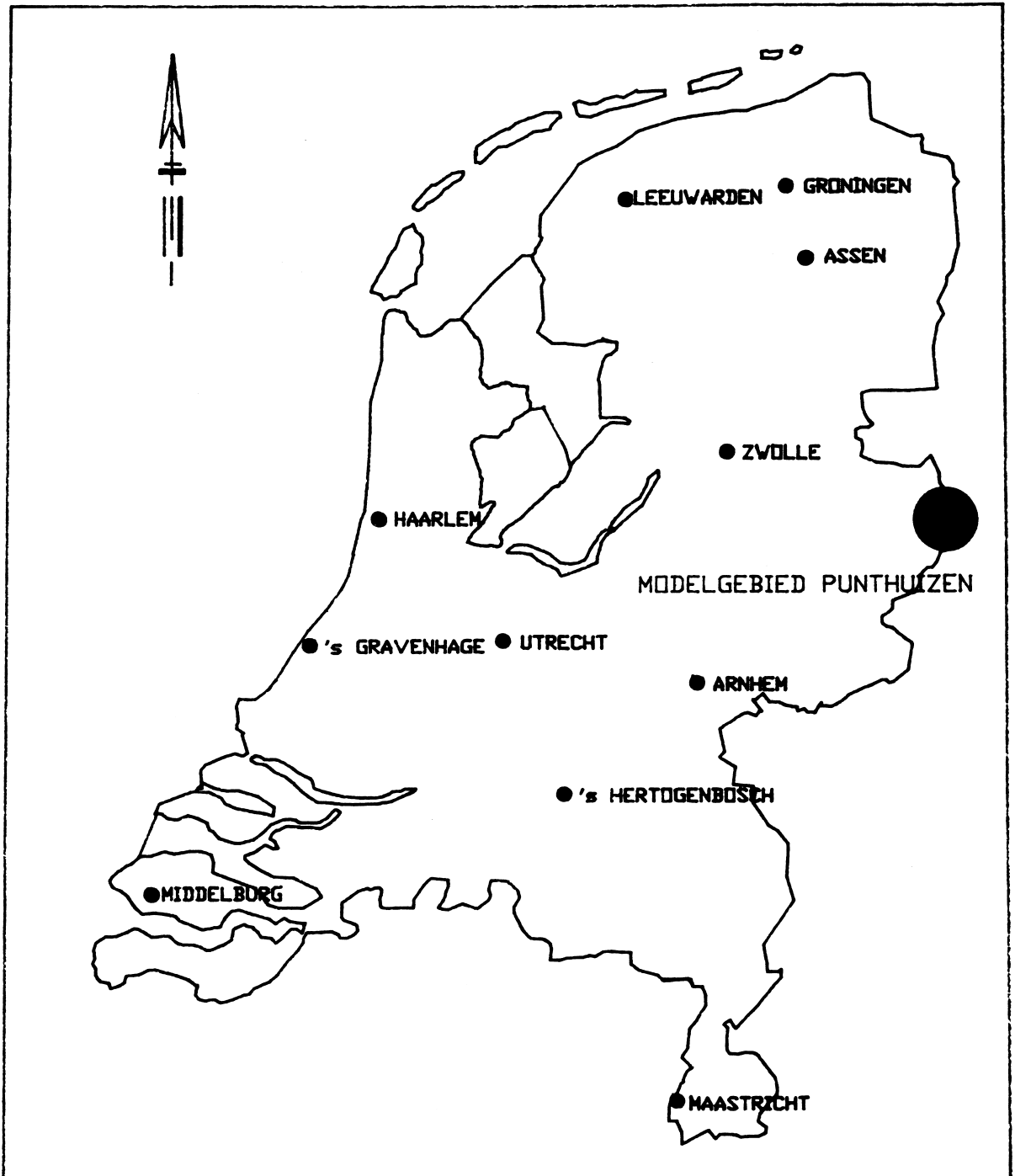


## LITERATUURLIJST

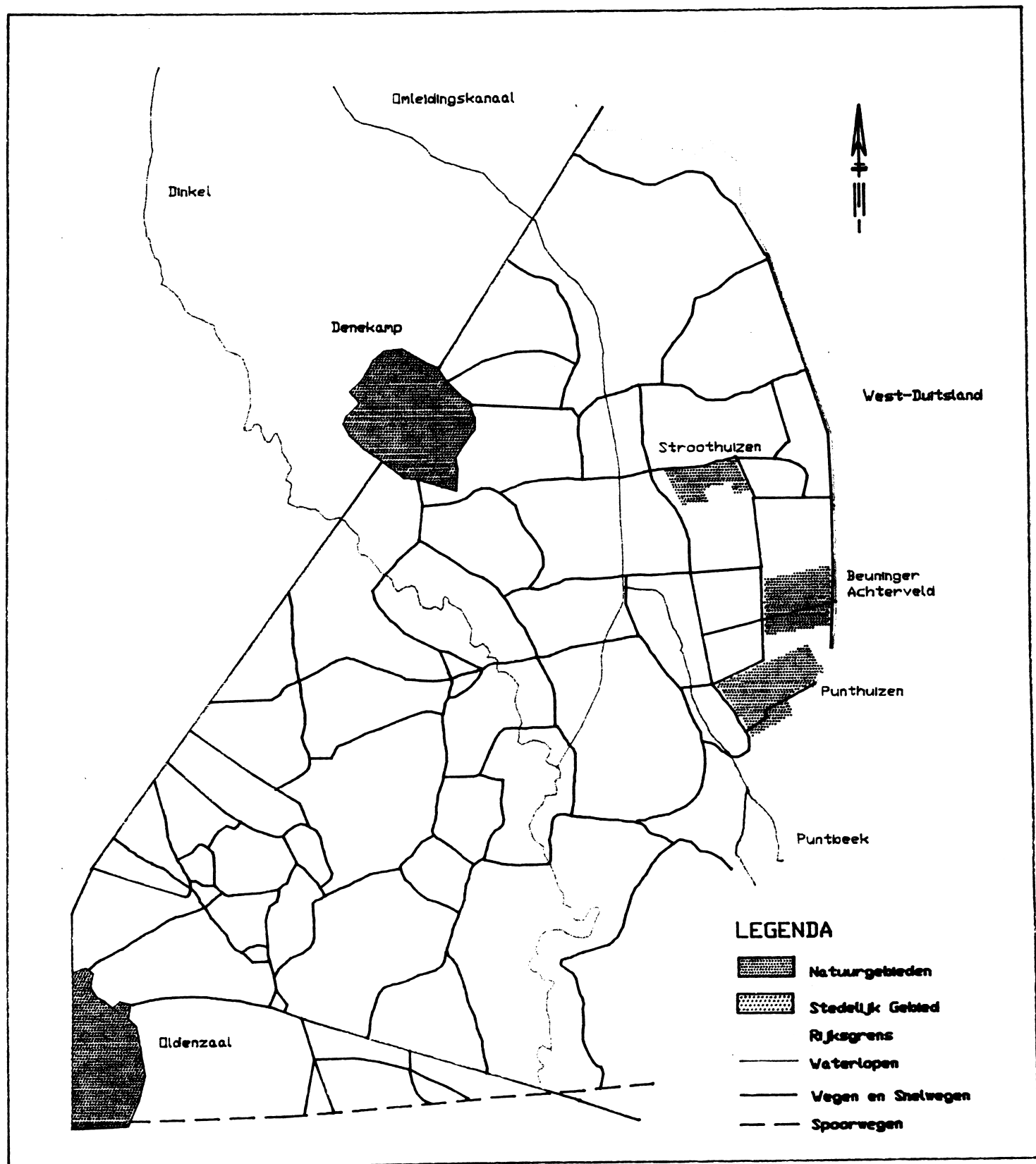
1. Cultuurtechnische vereniging, Cultuurtechnisch vademecum. Utrecht, 1988.
2. Geerlink, H.T. en Witteveen, H., (Geo)hydrologische systeembeschrijving Saasveld-Gammelke. Landinrichtingsdienst Overijssel, Zwolle, 1988.
3. Hendriks, R.F.A., Onderzoek naar de effecten van wateraanvoer en peilveranderingen in agrarische gebieden op de waterkwaliteit in natuurgebieden. ICW-nota 1876, Wageningen, 1988.
4. Hunink, G., Grondwaterhydrologie deel I en II. Diktaten HBCS, Velp, 1986.
5. Landinrichtingsdienst, Evaluatie van landinrichtingsprojecten, voorspellingen van de veranderingen in de gesteldheid van water, bodem, lucht als gevolg van landinrichtingsprojecten. Mededeling 167, Utrecht 1987.
6. Landinrichtingsdienst, Hydrologisch onderzoek Rottige Meente. Mededeling 160, Leeuwarden, 1985.
7. Landinrichtingsdienst, De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige situatie. Mededeling 176, Utrecht, 1987.
8. Locher, W.P., en Bakker, H. de, Bodemkunde van Nederland. Den Bosch, 1987.
9. Molen, W.H., van der, Waterbeheersing deel II. Diktaat LU-Wageningen, Wageningen, 1987.
10. Natuurbeschermingsraad, Gebiedsvreemd water, advies over de ecologische effecten van de aanvoer van rivierwater. Utrecht, 1987.
11. Querner, E.P., Program Femsat, Part II-User's manual. ICW-nota 1558-1, Wageningen, 1988.
12. Stiboka, Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000. Wageningen, 1975.
13. Streefkerk, J.G., De hydrologische problematiek in en rond het reservaat Punthuizen en een mogelijke verbetering van de waterbeheersing in het gebied.
14. TNO-CHO, Verklarende hydrologische woordenlijst. rapportnr. 16, Den Haag 1986.
15. TNO-DGV, Onderzoek Denekamp-Noord/Beuninger Achterveld. rapportnr. OS 86-39, Delft, 1986.

16. Waterleidingmaatschappij Overijssel, Nieuw waterwingebied Denekamp (inventarisatie onderzoek) en bijlagen. Zwolle, 1985.
17. Waterschap Regge en Dinkel, Afvoergegevens Puntbeek en Omleidingskanaal Augustus 1988-Mei 1989. Almelo, 1989.
18. Waterschap Regge en Dinkel, Technologische dienst - Verslag over het jaar 1984. Almelo, 1984.
19. Westhoff, v., Wilde Planten, Flora en vegetatie in onze natuurgebieden deel III. Deventer 1974.
20. Diverse kaartmaterialen

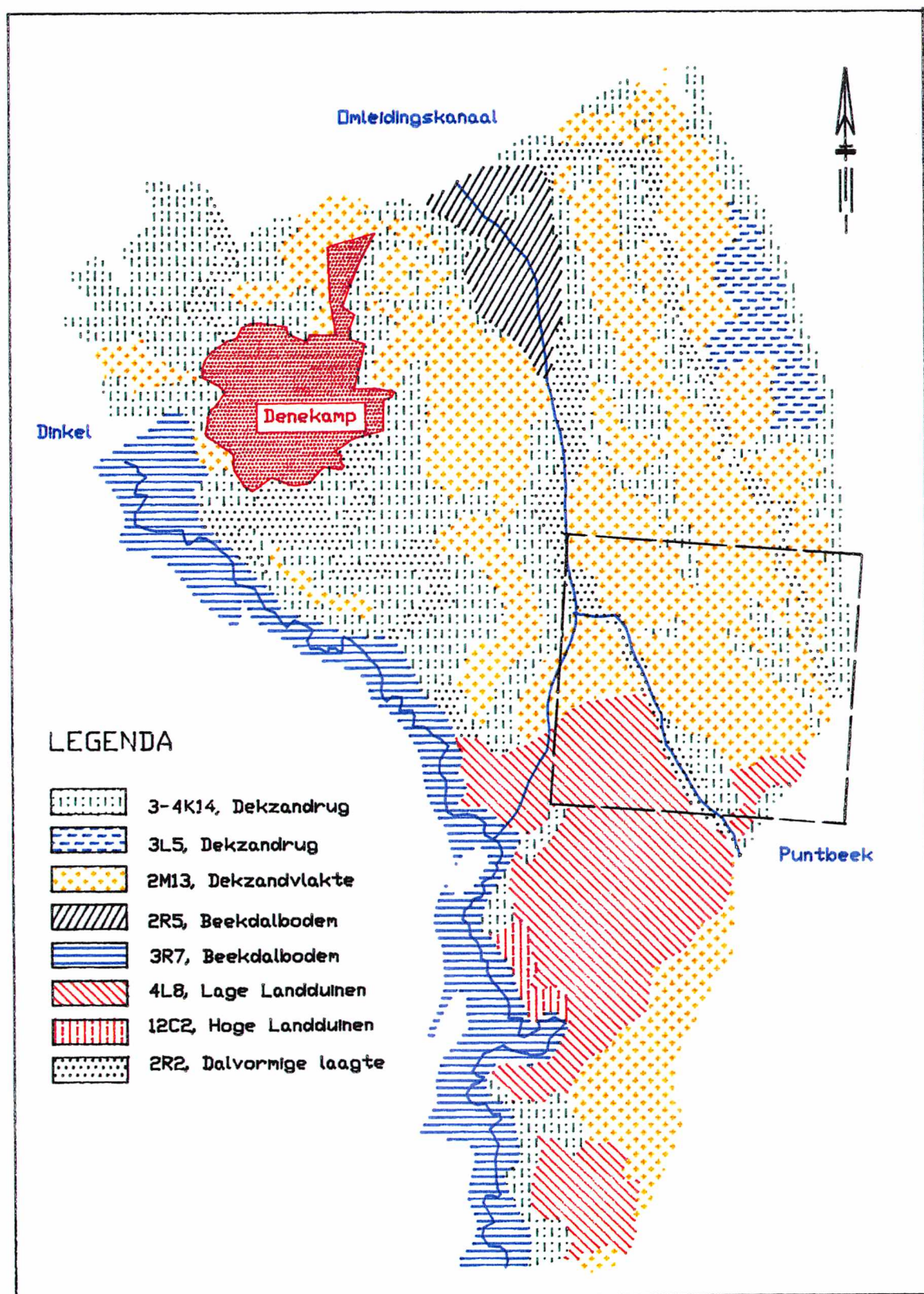
## BIJLAGE 1



# TOPOGRAFISCHE KAART



## GEOMORFOLOGISCHE KAART

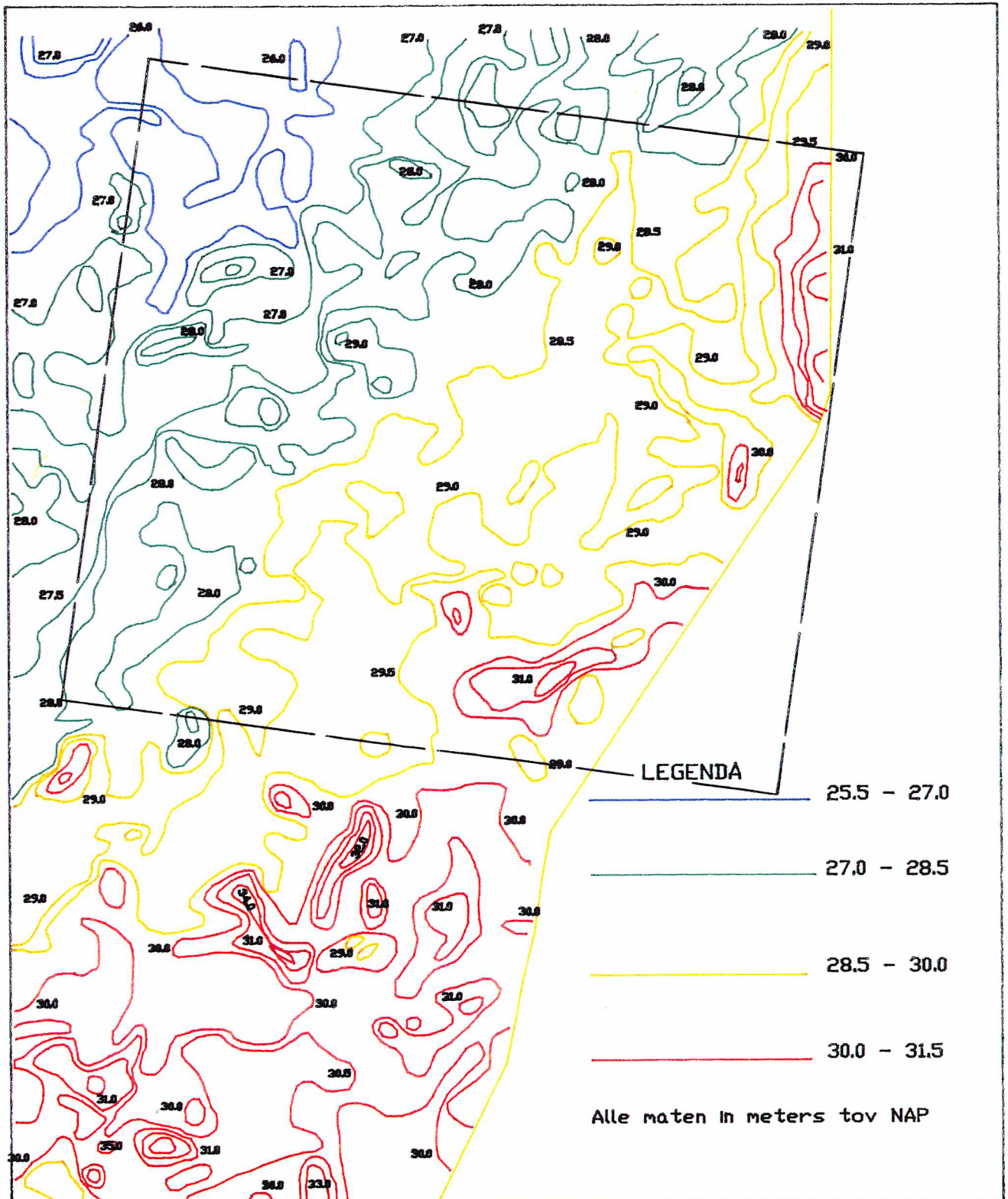




## BIJLAGE 4

Schaal 1 : 20.000

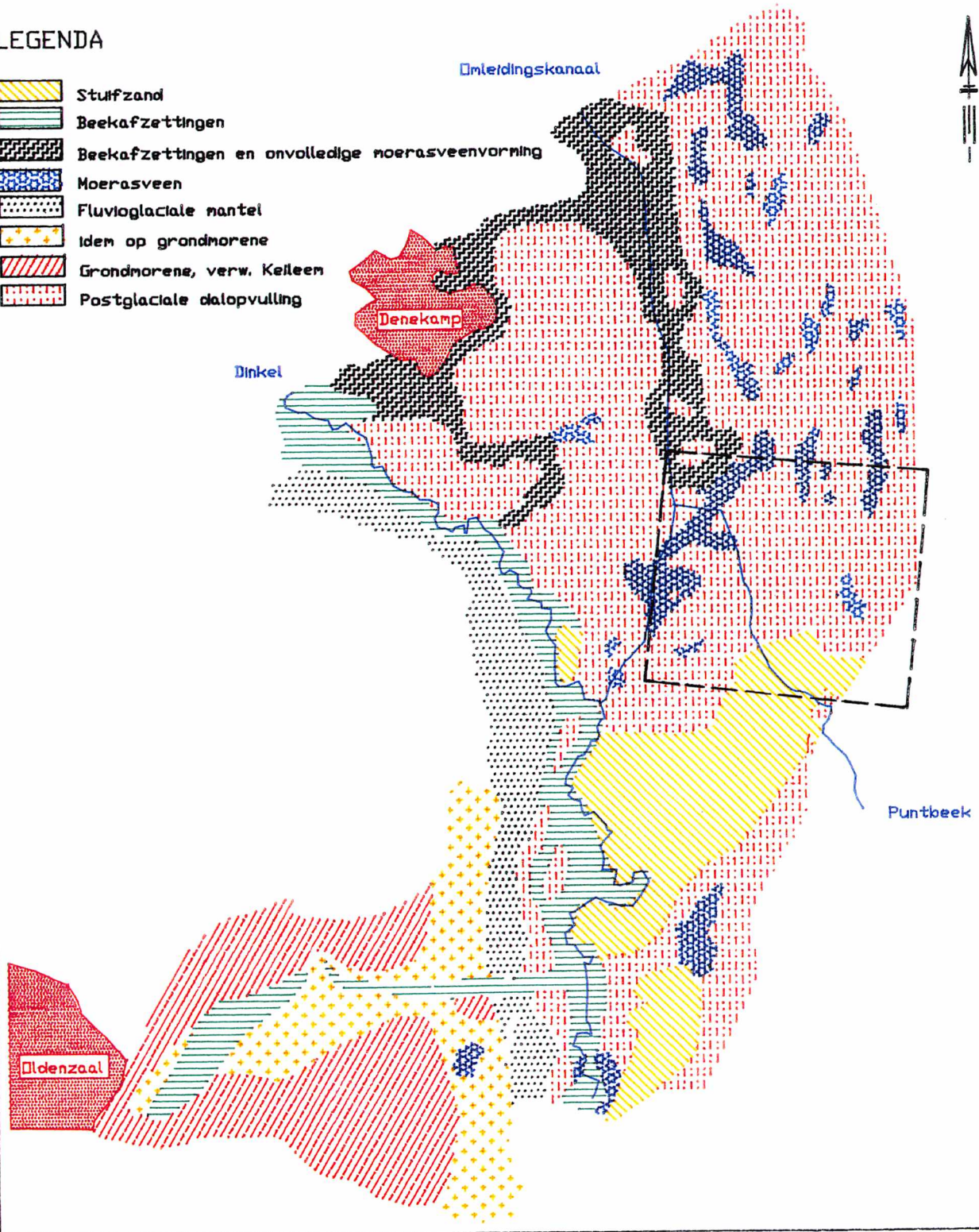
### HOOGTELIJNENKAART



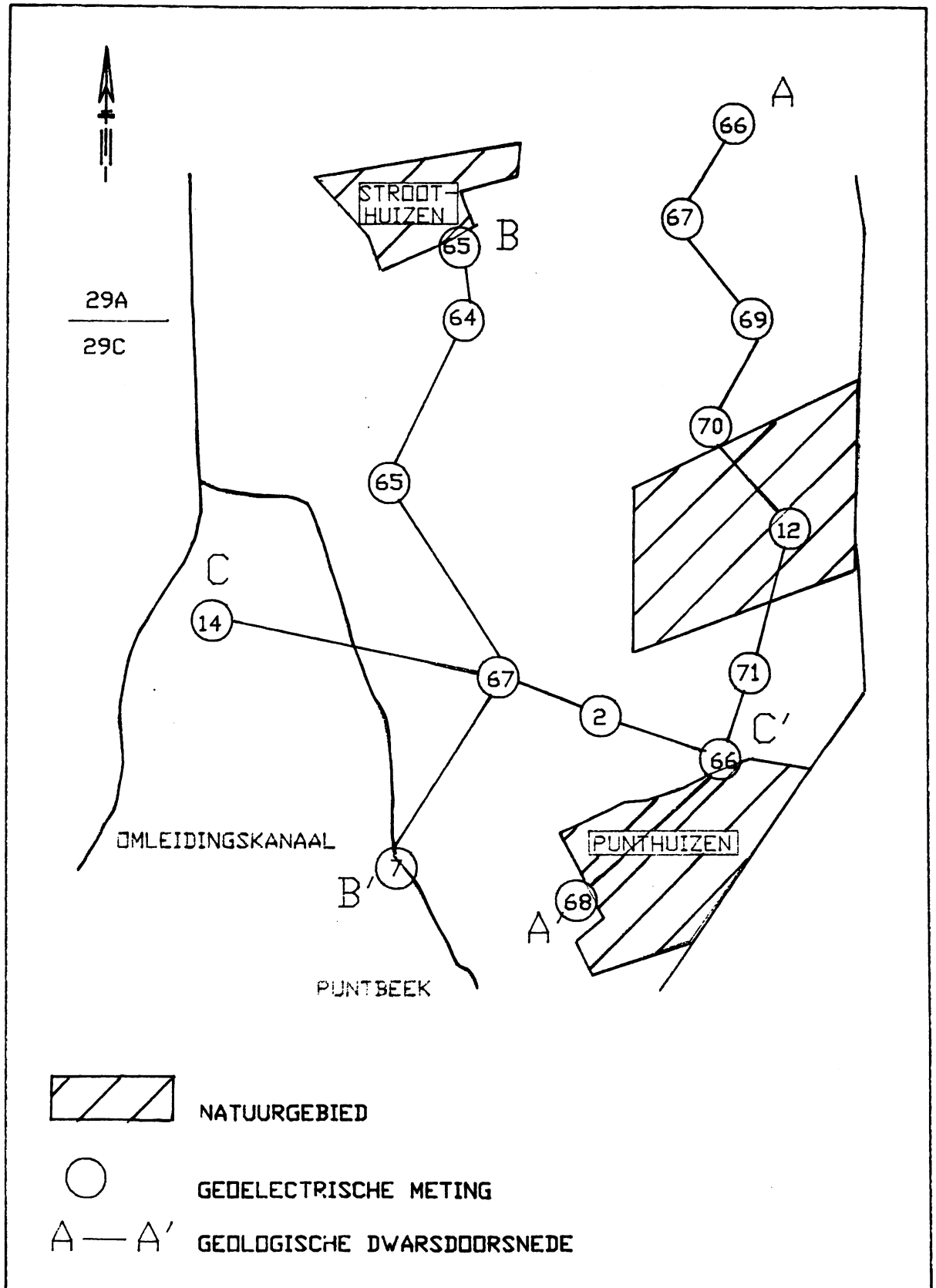
# GEOLOGISCHE KAART

## LEGENDA

-  Stufzand
-  Beekafzettingen
-  Beekafzettingen en onvolledige moerasveenvorming
-  Moerasveen
-  Fluvioglaciale mantel
-  Idem op grondmorene
-  Grondmorene, verw. Keileen
-  Postglaciale dalopvulling



# OVERZICHT GEOLOGISCHE PROFIELEN

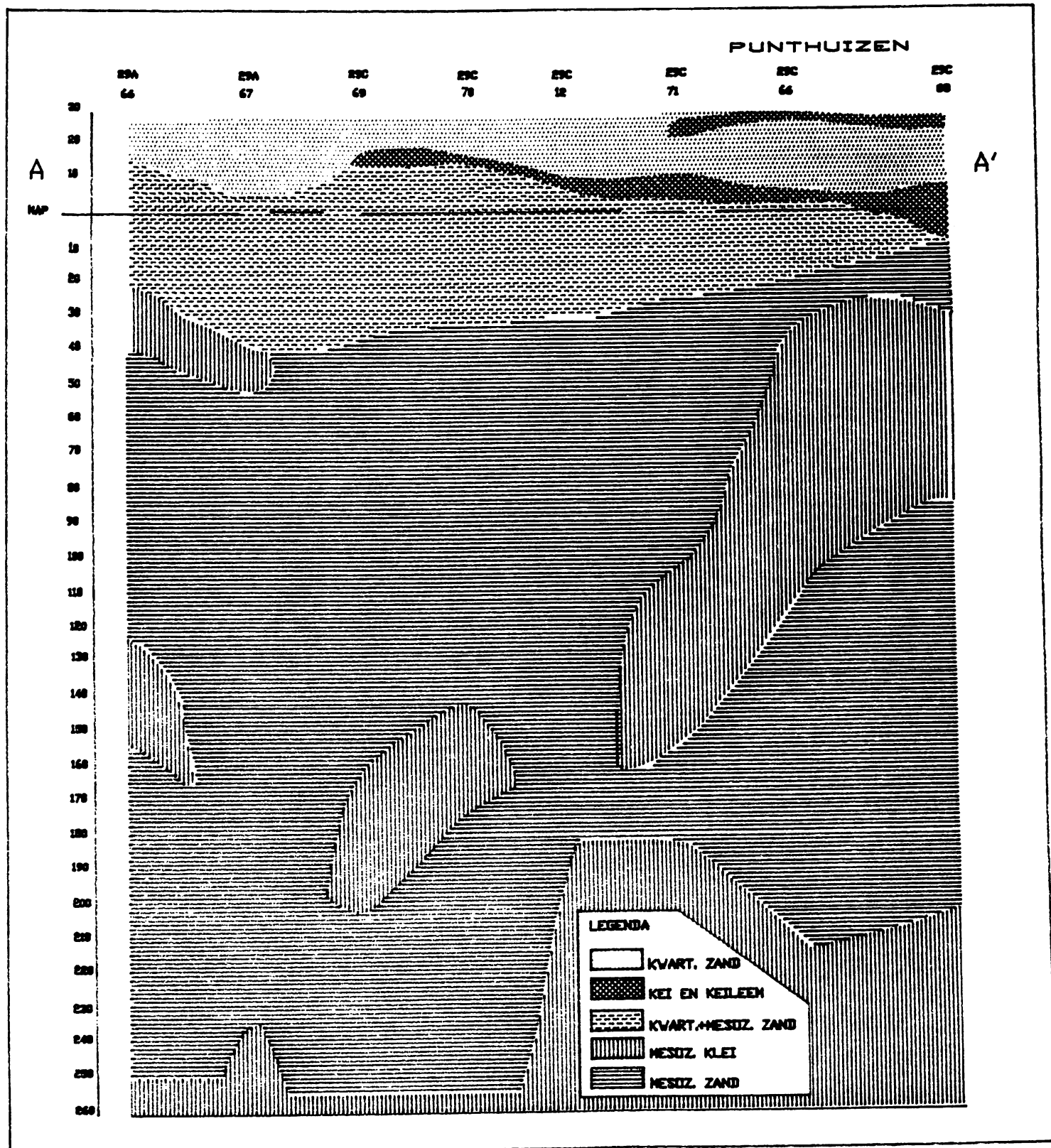




# BIJLAGE 6a

Hor. schaal 1 : 25.000  
Vert. schaal 1 : 1.500

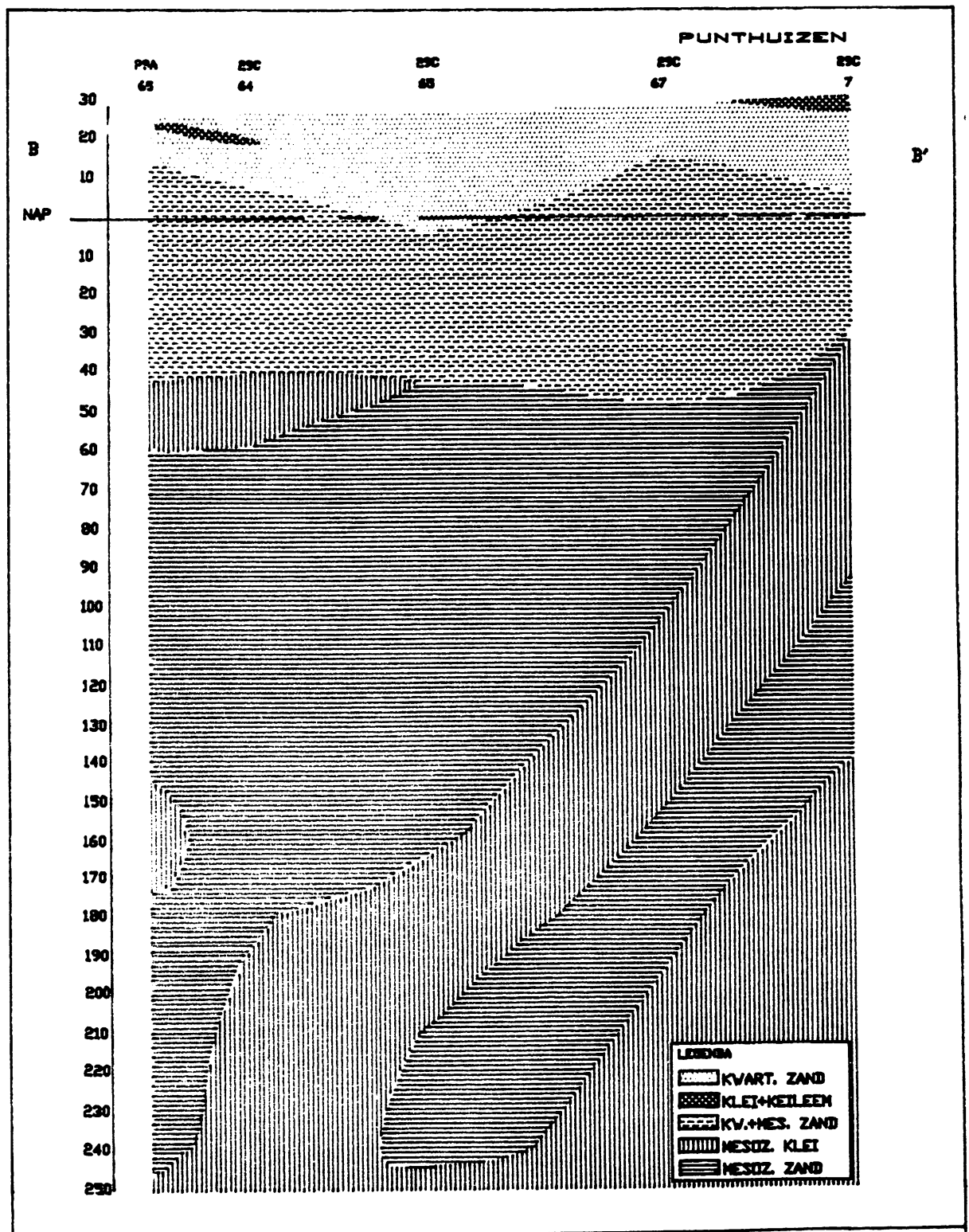
## GEOLOGISCH PROFIEL A - A'



## BIJLAGE 6b

Hor. schaal 1 : 25.000  
Vert. schaal 1 : 1.500

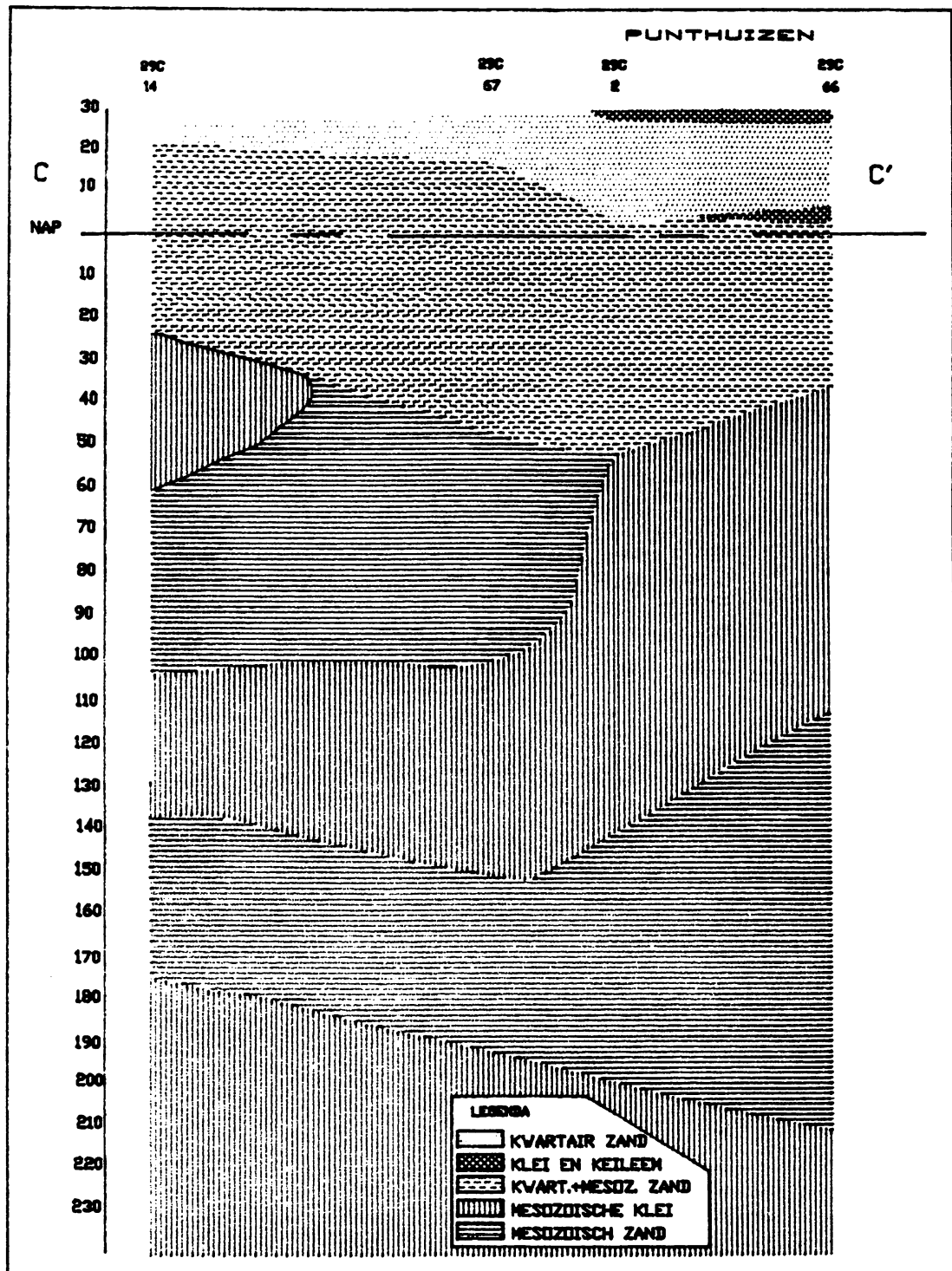
### GEOLOGISCH PROFIEL B - B'



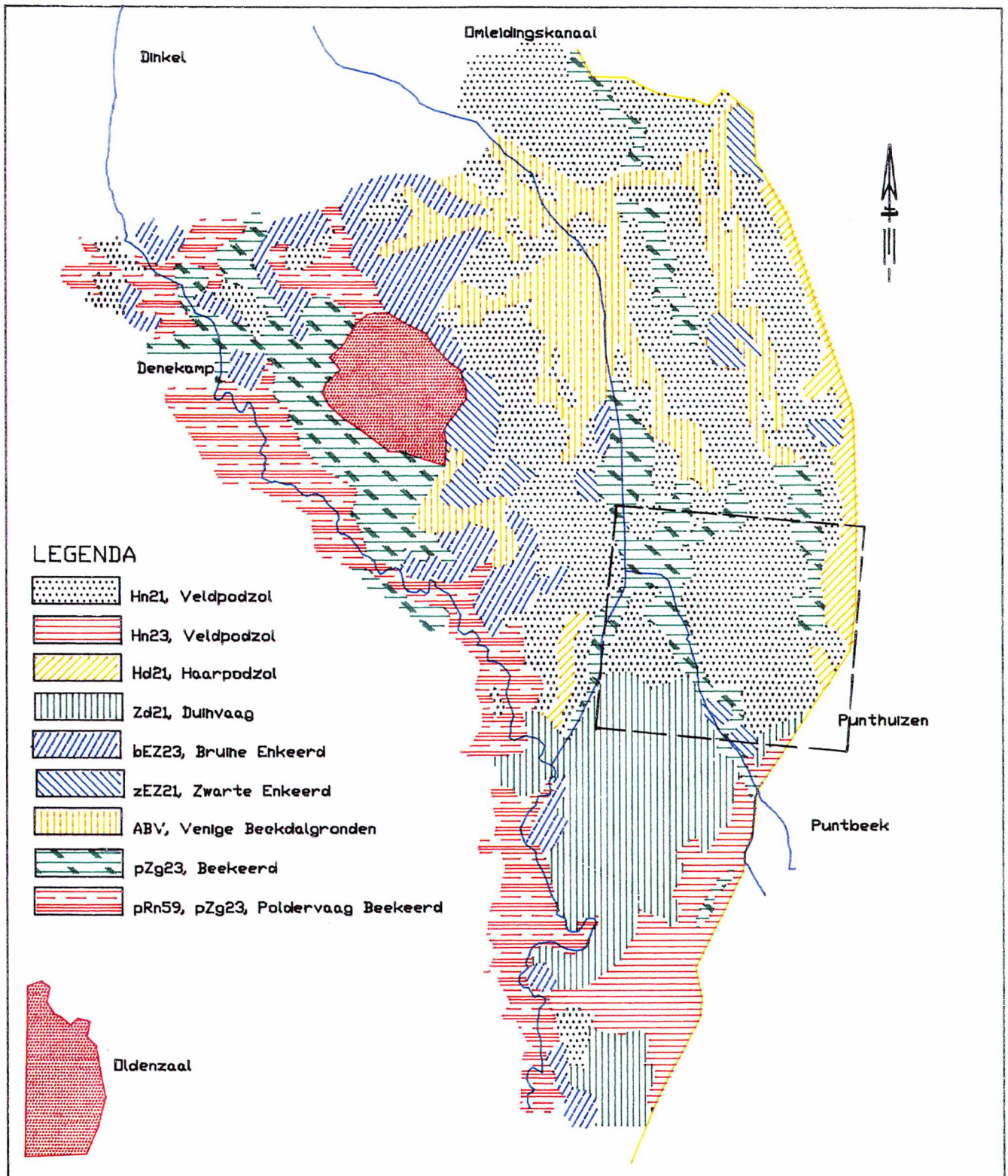
## BIJLAGE 6c

Hor. schaal 1 : 25.000  
Vert. schaal 1 : 1.500

### GEOLOGISCH PROFIEL C - C'

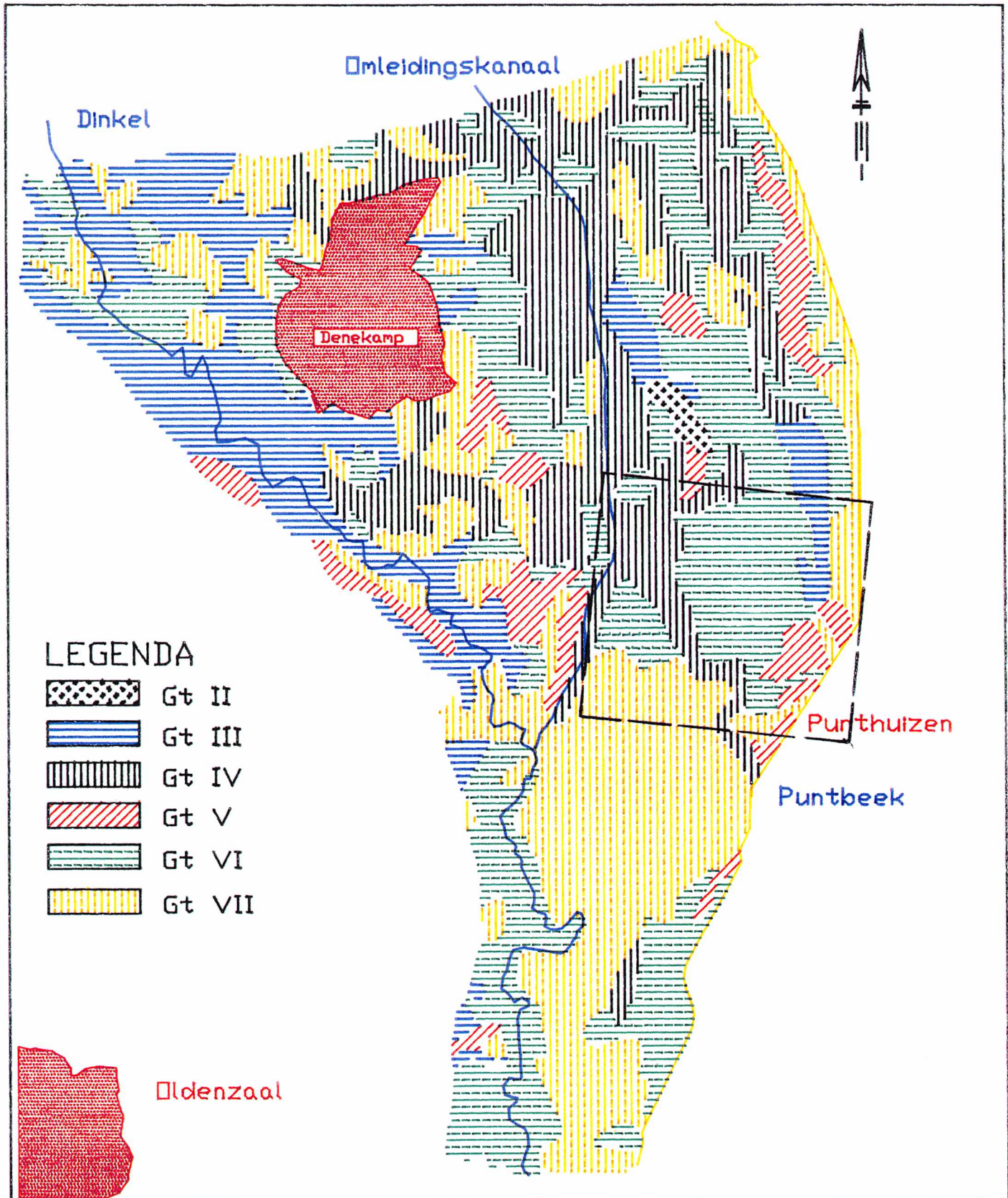


# BODEMKAART

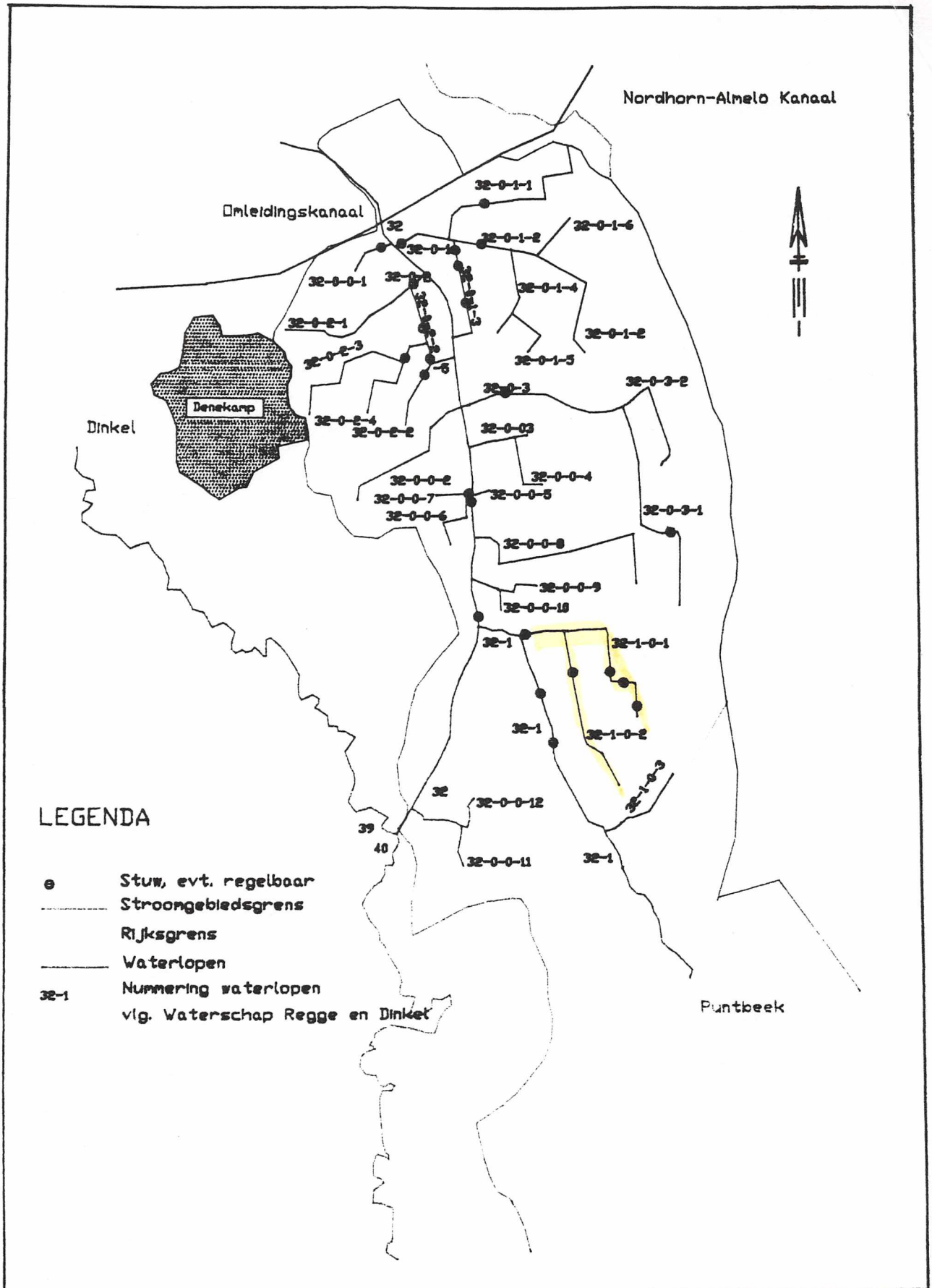




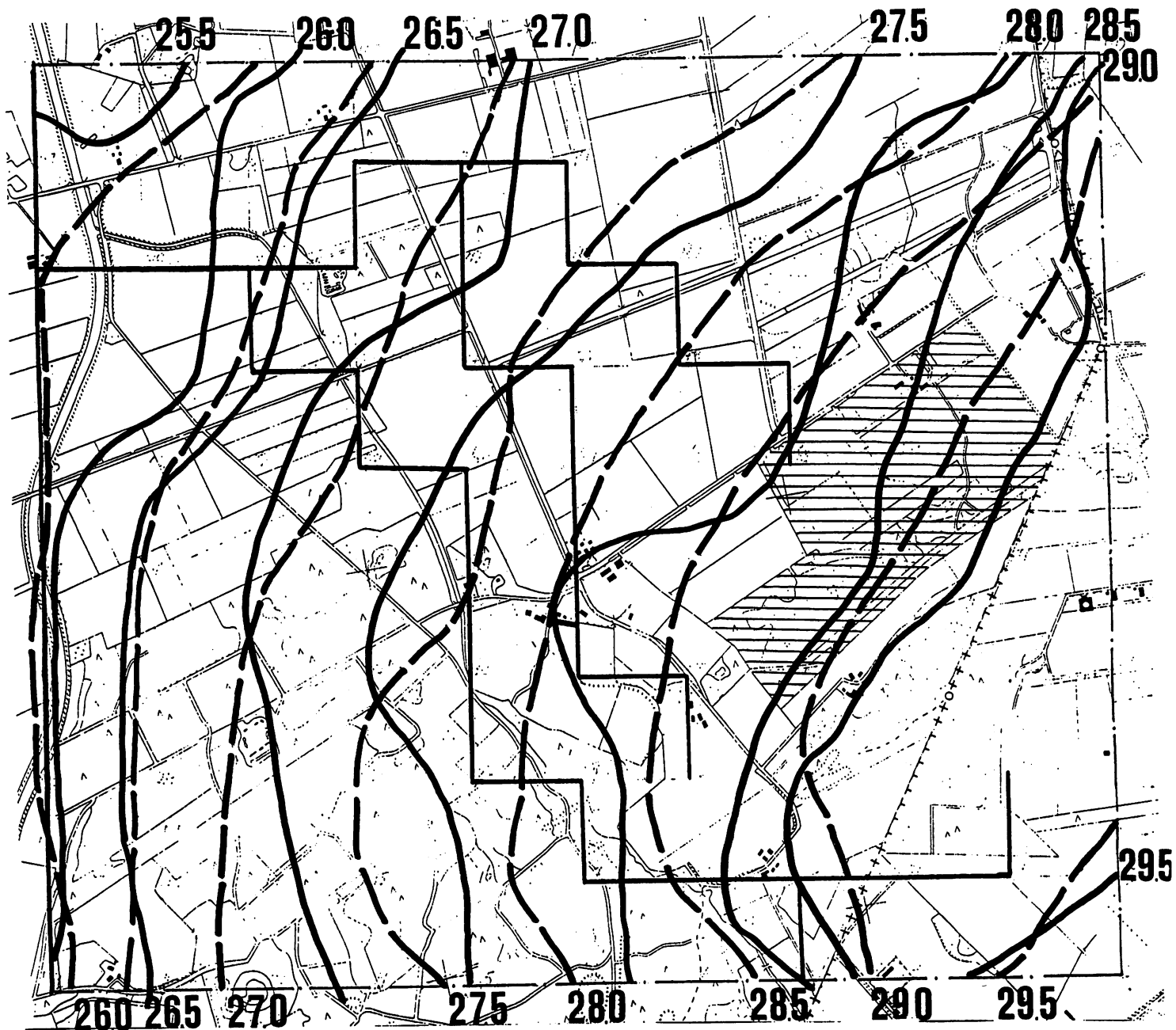
## GRONDWATERTRAPPEN-KAART



# WATERSTAATSKAART



**BIJLAGE 10**  
**ISOHYPSENKAART**  
**1e WATERVOEREND PAKKET**



— Stijghoogte bepaald dmv maaiveld - GVG  
 (waarden aan bovenzijde)

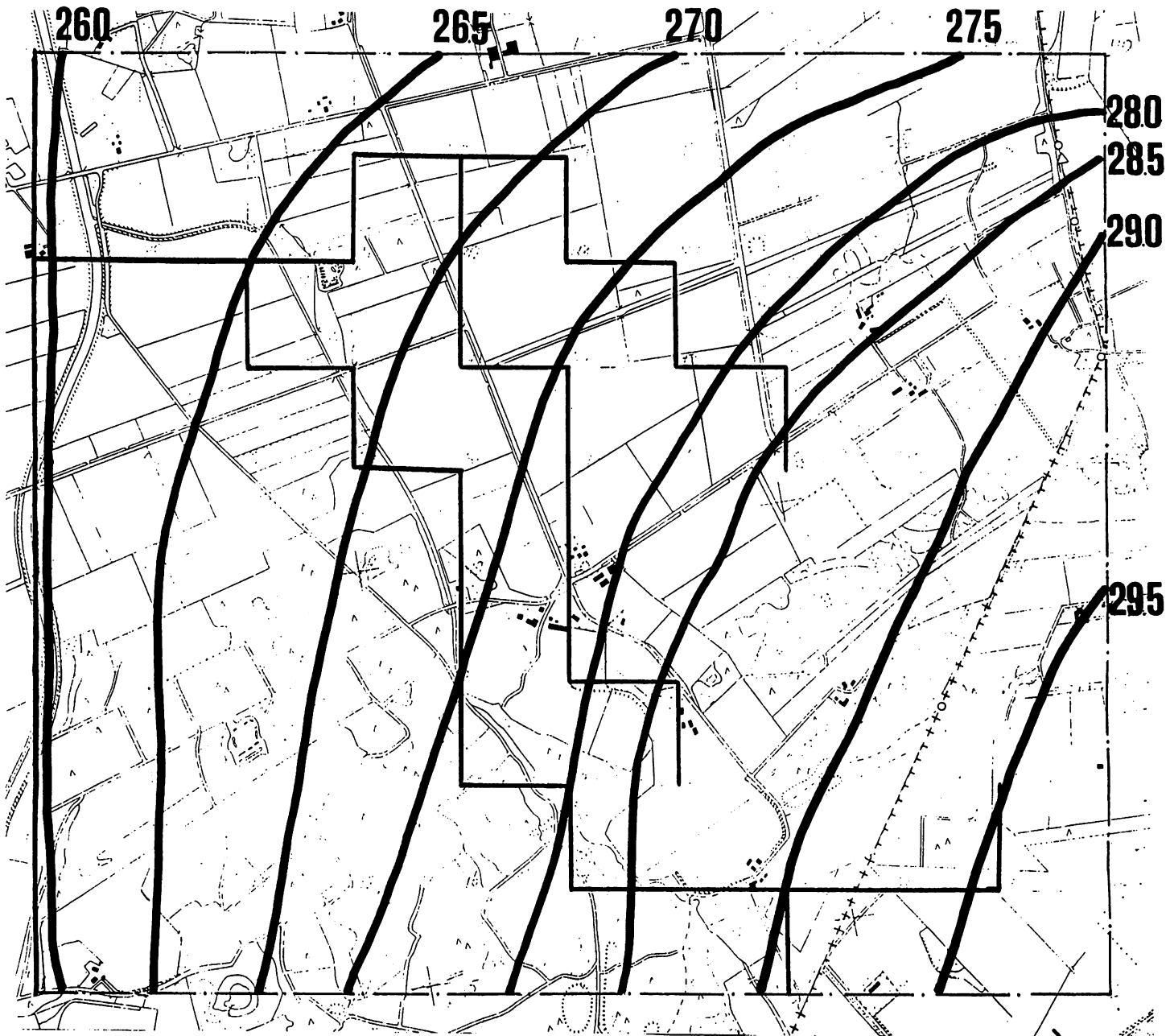
- - - Stijghoogte berekend met Femsats  
 (waarden aan onderzijde)

Alle stijghoogtes in mtr. tov NAP

Schaal 1 : 15.000



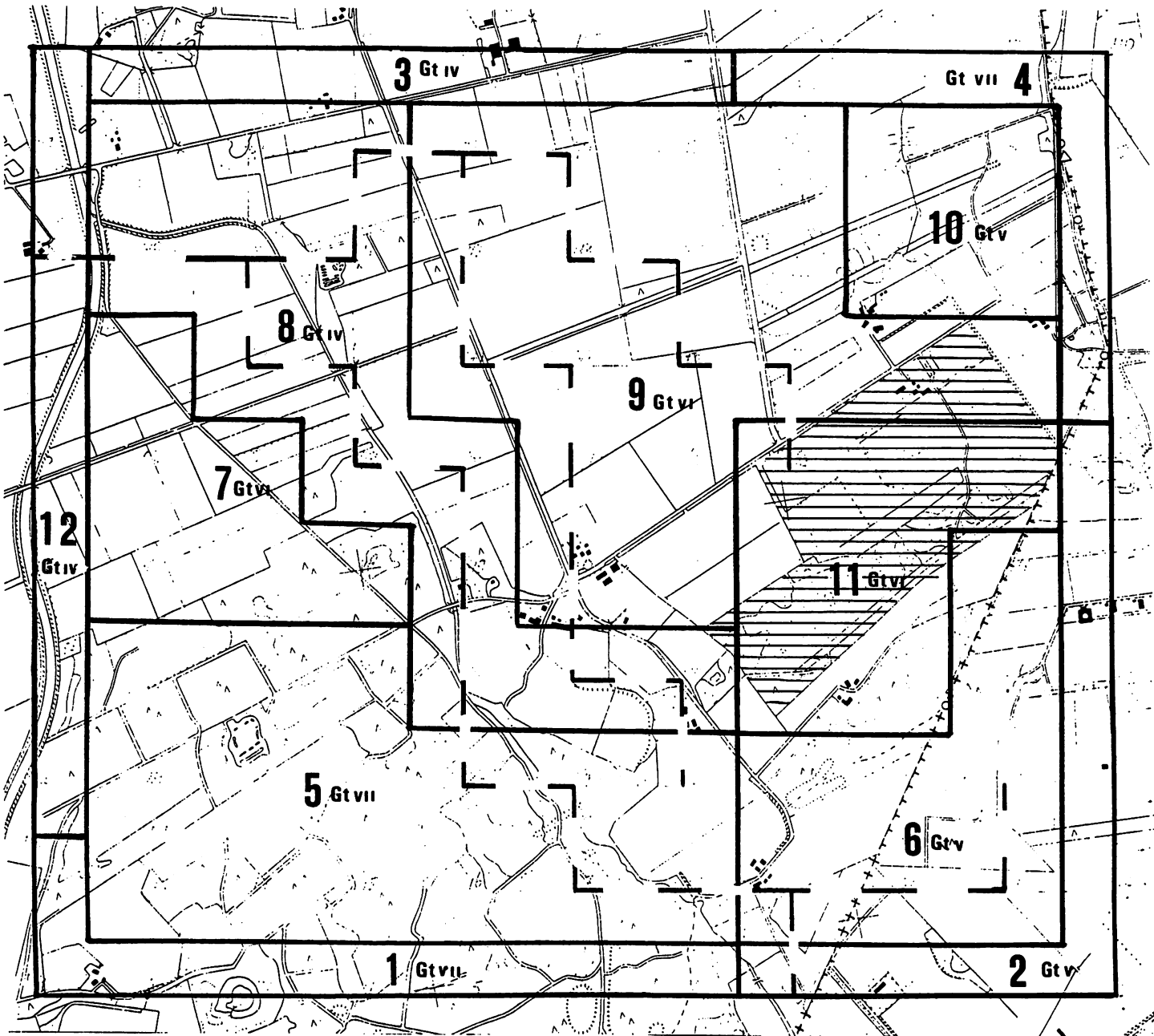
**BIJLAGE 11**  
**ISOHYPSENKAART**  
**2e WATERVOEREND PAKKET**



**275** Stijghoogte berekend met Femsats  
Alle stijghoogtes in mtr. tov NAP  
Schaal 1 : 15.000



**OVERZICHT BIJLAGE 12  
SUBREGIO'S**



**8** Subregio nummer

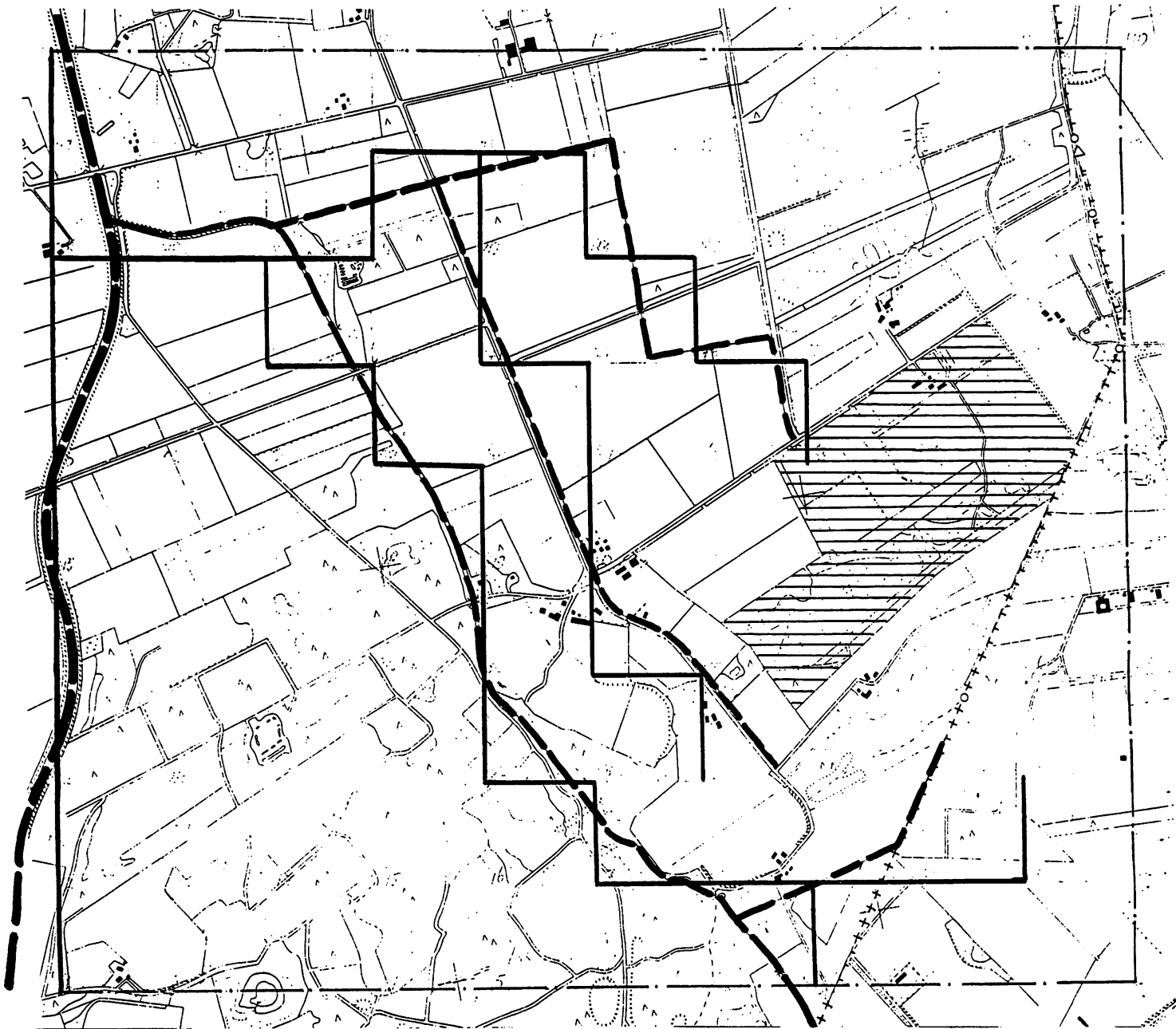
Schaal 1 : 15.000

## BIJLAGE 13 OVERZICHT OPTION-RECORD

De option record is een onderdeel van de file Femsats.dat. Het is echter wel een van de belangrijkste records.

- ICON :   1. relaxatie factor constant voor alle knooppunten.  
          2. relaxatie factor per knooppunt als verhouding tussen oude en nieuwe stijghoogte
  
- IPLR :   1. schrijft stijghoogte naar een file (plotten) voor bepaalde knooppunten  
          2. schrijft stijghoogte naar een file voor subregio's
  
- IPRI :   1. alleen general input wordt geprint  
          2. gelimiteerde output wordt geprint  
          3. alle output wordt geprint
  
- IREG :   0. geen data voor subregio's  
          1. input van knooppunten per subregio
  
- IRES :   1. output resultaten per knooppunt  
          2. output resultaten per subregio
  
- IAN5 :   1. Isotroop en gegevens per laag  
          2. Anisotroop en gegevens per laag  
          3. Isotroop en gegevens per subregio en laag  
          4. Anisotroop en gegevens per subregio en laag  
          5. Isotroop en gegevens per knooppunt en laag  
          6. Anisotroop en gegevens per knooppunt en laag
  
- ISURF :   0. geen oppervlaktewatersysteem  
          1. standaard relatie afvoer-opp.water  
          2. input data voor relatie afvoer-regio  
          3. input data voor relatie afvoer-gebied  
          4. oppervlaktewater aanwezig:  
              drainweerstand afh. van grondwtrdiepte (13)  
          5. oppervlaktewater aanwezig:const.  
              drainweerstand  
          6. input drainweerstand per subregio en input invert en waterstand per knooppunt  
          7. input drainweerstand en diepte van het 2e en 3e systeem
  
- ISEC :   0. geen waterlopenstelsel  
          1. waterlopenstelsel aanwezig
  
- ICAP :   0. geen capillaire opstijging  
          1. constante capillaire opstijging per subregio  
          2. variabele capillaire opstijging per subregio  
          3. constante capillaire opstijging hele gebied  
          4. variabele capillaire opstijging hele gebied
  
- IRAIN :   0. geen regenvaldata  
          1. regenvaldata voor het gehele gebied (steady flow)

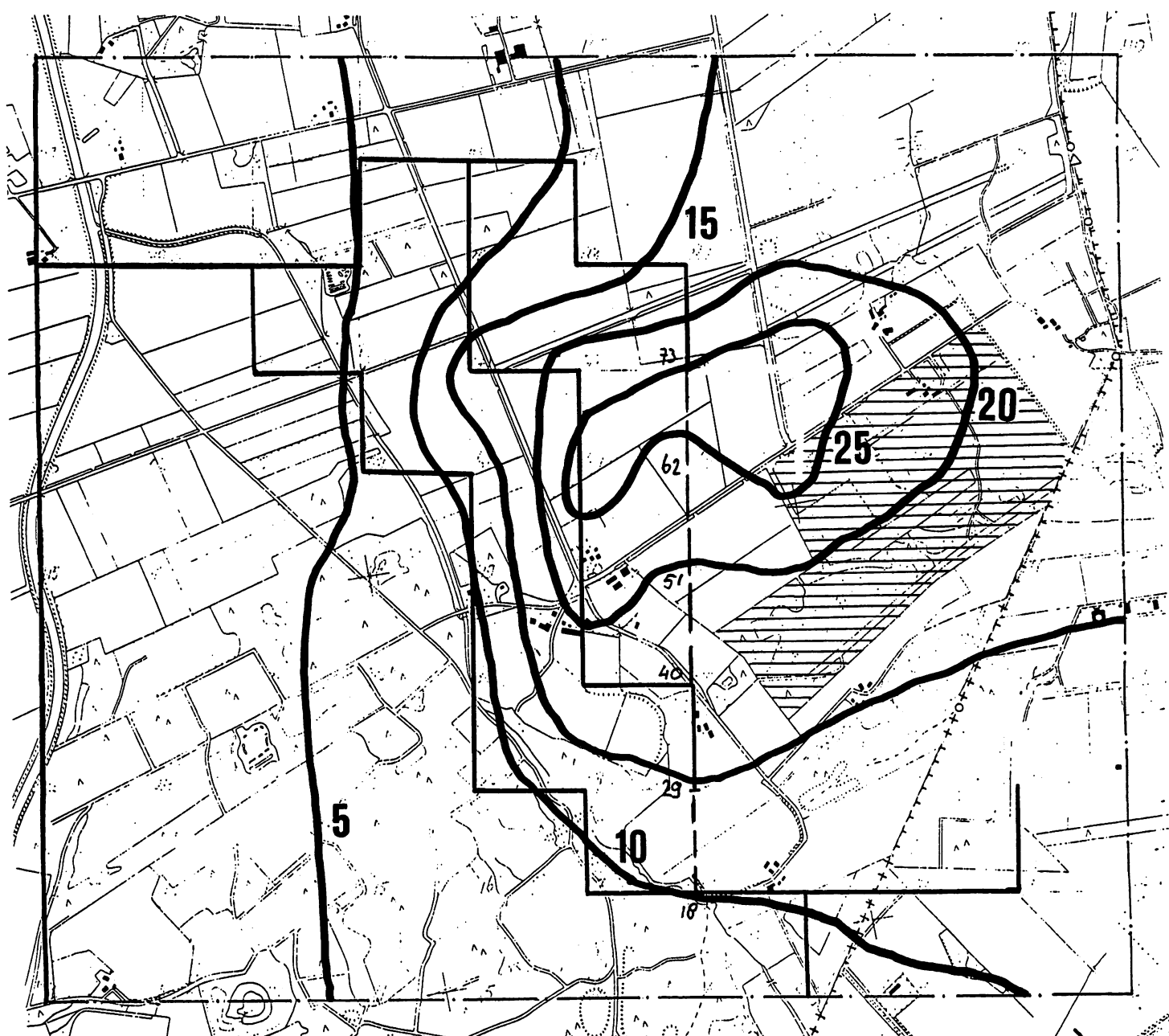
**BIJLAGE 14**  
**OVERZICHT WATERLOPEN**



————— Werkelijke waterlopen  
————— Modelmatige waterlopen

Schaal 1 : 15.000

**BIJLAGE 15**  
**GRONDWATERSTANDSVERANDERING**  
**MBT SCENARIO-6**



— 10

Grondwaterstandsverhoging t.o.v de geijkte  
 situatie (in cm).  
 schaal 1 : 15.000

**BIJLAGE 16**  
**LENGTEPROFIEL WATERLOOP**  
**32-1-0-2 EN 32-1-0-1**

Schaal horizontaal 1 : 500  
 verticaal 1 : 50

